R G B WH GR BL

Grey Scale #13

C M Y K

Part Code ST1316

DANES PICTA .COM

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

Colour Chart #13

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

Inches 1 2 3 4 5 6 7 8

Centimetres 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

DANES PICTA .COM

COURS

D'ART MILITAIRE.

COURS

D'ART MILITAIRE,

OU

LEÇONS SUR L'ART MILITAIRE

ET LES FORTIFICATIONS,

DONNÉES A L'ÉCOLE MILITAIRE, A BRUXELLES,

Par feu le Major du Génie Laurillard Fallot.

—

TROISIÈME ÉDITION,

REVUE ET AUGMENTÉE PAR LE COLONEL DU GÉNIE

E. LAGRANGE,

COMMANDANT EN SECOND DE L'ÉCOLE MILITAIRE
ET DIRECTEUR DE LA BRIGADE TOPOGRAPHIQUE DU GÉNIE.

XXII. C. 1.
1

Bruxelles,

IMPRIMERIE MILITAIRE DE TH. LESIGNE,
Rue de la Charité, 19, faub. de Louvain.

1864

COURS
D'ART MILITAIRE.

QUATRIÈME PARTIE.

COURS

D'ART MILITAIRE.

QUATRIÈME PARTIE.

FORTIFICATION EN TERRAIN VARIÉ.

§ Ier.

DÉFILEMENT.

1re LEÇON.

PARTIE GRAPHIQUE.

SOMMAIRE.

Objet du défilement ; moyens de l'établir. — Questions relatives aux intersections des plans et des surfaces et aux plans tangents : trouver l'intersection d'un plan et d'une surface, de deux surfaces, d'une droite et d'une surface ; par un point donné sur une surface mener un plan tangent à cette surface ; par une droite donnée faire passer un plan tangent à une surface ; par un point donné mener un plan tangent à une surface.

Dans les premières sections de la fortification permanente, nous avons examiné le cas le plus simple, celui où un front de fortification doit être établi, en plaine, sur un sol horizontal et sans aucun accident de terrain qui commande des modifications aux dispositions exigées par les besoins de la défense. Maintenant nous allons nous occuper du cas plus difficile, et cependant bien plus fréquent, d'une fortification élevée en terrain varié.

Pour arrêter les idées, nous posons en principe que les formes et les dimensions que nous avons adoptées pour les fronts en terrain horizontal, sont celles qui présentent le plus de facilité à la défense, le plus de résistance à l'attaque, comme étant basées sur des expériences de guerre et conformes aux méthodes préconisées par les hommes les plus versés dans l'art des siéges. Il ne s'agit donc plus que de trouver le moyen de plier la fortification au terrain, quelque forme qu'il affecte, afin de conserver aux ouvrages, sur tous les sites, les mêmes propriétés que nous nous sommes efforcés de leur donner en plaine, le commandement convenable sur la campagne et le commandement relatif, le flanquement exact et effectif, l'interposition de masses de terre entre les maçonneries et les batteries éloignées de l'ennemi, la sûreté et la facilité des communications, etc., tout en évitant une transformation totale du sol et des mouvements de terre trop dispendieux.

Ce moyen semblerait tout trouvé, s'il était possible de remplacer le terrain naturel par un ou plusieurs plans au-dessus desquels la fortification s'élevât, en conservant, par rapport à ces plans, les mêmes relations que les ouvrages en plaine ont avec l'horizon, et quoique l'inclinaison des plans divers présente des obstacles à l'emploi des armes usitées, ce qui apporte quelque complication dans l'application, c'est effectivement la méthode la plus rationnelle dont on puisse faire usage pour obtenir une solution approchée du problème. Dès lors la question se réduit au choix des plans tangents ou sécants qu'on substituera, en idée, à la surface du terrain naturel sur lequel on doit construire les fortifications. Dans de précédentes leçons, nous vous avons indiqué les procédés pratiques, usités dans le défilement des ouvrages de campagne, les rapportant aux méthodes graphiques, autant qu'il était nécessaire pour vous faire comprendre les motifs de la marche suivie; ces procédés sont presque toujours des expédients imaginés, soit pour suppléer au défaut d'études préalables du terrain, soit pour remédier au défaut du relief des ouvrages de campagne. Aussi l'occupation des positions dominantes est-elle considérée comme le moyen le plus efficace d'atteindre le but, c'est-à-dire de se couvrir et de voir les accès de la fortification. Mais la construction des fortifications permanentes n'a presque jamais lieu que lorsqu'on a suffisamment le temps de reconnaître avec exactitude les formes du site, à l'aide de levers et de nivellements détaillés. Avant d'entreprendre la solution des divers cas de défilement, nous allons examiner de plus près les méthodes graphiques au moyen desquelles les plans tangents ou sécants sont déterminés.

Nous continuerons à suivre, à cet égard, les excellentes leçons données à l'École de Metz par M. le lieutenant-colonel Noizet, comme étant ce que nous connaissons de plus clair et de plus complet sur la matière (n° 6 du *Mémorial de l'officier du génie*). Nous commencerons par quelques problèmes sur les intersections des plans et des surfaces.

Trouver l'intersection d'un plan avec une surface courbe donnée (pl. I, fig. 1).

Nous savons comment les plans se déterminent par des droites horizontales équidistantes ou par leur échelle de pente et les surfaces par des courbes. La surface étant donc donnée par ses courbes, on trouve la suite des horizontales du plan qui ont les mêmes cotes que les courbes. Chacune de ces horizontales se trouvera dans le même plan qu'une des courbes, et pourra la rencontrer en plusieurs points qui se projetteront aux intersections des projections de ces lignes. La suite de ces points, réunis convenablement par une courbe, formera la projection de l'intersection cherchée.

On observera, pour la réunion des points, qu'en suivant les horizontales du plan dans un même sens, tous ceux où ces lignes commencent à pénétrer dans la surface doivent former une même branche de la courbe, et que ceux, au contraire, où les horizontales sortent de la surface, appartiennent à une autre branche, en sorte qu'il ne faut jamais réunir un point de pénétration avec un point de sortie. Pour connaître avec quelque précision la limite supérieure ou inférieure de la courbe d'intersection, on doit rechercher l'horizontale du plan qui est tangente à l'horizontale de même cote de la surface, et l'on est ordinairement obligé pour cela de faire un tâtonnement, en intercalant quelques portions de courbes horizontales entre celles qui sont voisines du point cherché. On est également obligé de faire des intercalations dans les parties où les points d'intersection, résultant des courbes directement connues, ne sont pas assez multipliés pour donner le sentiment de la courbe cherchée. Ces intercalations se font avec assez d'exactitude, en partageant plusieurs normales entre deux courbes successives en parties aliquotes, et reliant par des courbes continues les points de division correspondants. La subdivision de l'échelle de pente du plan en un même nombre de parties aliquotes donnera la position des horizontales, dont les intersections compléteront la courbe demandée.

Si le plan donné était horizontal, l'intersection serait une des courbes horizontales qui déterminent la surface ou une autre courbe intercalée.

Si le plan était vertical, l'intersection se confondrait en projection avec la trace de ce plan.

Trouver l'intersection de deux surfaces données par leurs courbes horizontales (pl. I, fig. 2).

Cette question est trop simple, d'après ce qui précède, pour nous y arrêter. Il est évident qu'on n'aura qu'à joindre entre eux, dans un ordre convenable, les points d'intersection des courbes qui ont les mêmes cotes, sauf à en intercaler quelques-unes, si les courbes qui définissent les surfaces ne déterminaient pas suffisamment l'intersection.

Trouver l'intersection d'une droite et d'une surface (pl. I, fig. 3).

On fera passer par la droite un plan quelconque, dont on cherchera l'intersection avec la surface. Le point où la courbe d'intersection rencontrera la droite sera le point demandé, puisqu'il appartiendra en même temps à la surface et à la droite.

Une opération analogue sert à trouver l'intersection d'une courbe et d'une surface (*pl. I, fig. 4*); seulement le plan arbitraire se change alors en cylindre, dont les génératrices horizontales s'appuient sur la courbe donnée.

Par un point donné sur une surface, mener un plan tangent à cette surface (pl. I, fig. 5 et 6).

La surface étant donnée par ses courbes horizontales, il peut se présenter deux cas : ou que le point donné tombe sur une des courbes, ou qu'il se trouve entre deux. Dans le premier cas, on remarquera que la tangente à la courbe, menée par le point donné, sera déjà une horizontale appartenant au plan cherché. Que l'on conçoive maintenant par le point de contact un plan perpendiculaire à cette horizontale, il coupera la surface suivant une courbe, dont l'élément, passant par le point donné, appartiendra encore au plan cherché, et, de plus, se trouvera dans la direction de sa ligne de plus grande pente. Mais cet élément est connu, puisqu'il n'est autre chose que la normale génératrice de la zone comprise entre deux courbes; le plan sera donc complétement déterminé, et l'on aura immédiatement son échelle de pente.

Si les courbes horizontales étaient infiniment rapprochées, le problème n'aurait qu'une solution, car les deux éléments de la courbe comprise dans la section verticale, l'un supérieur, l'autre inférieur au point donné, se confondraient en direction et ne donneraient qu'une tangente. Mais si les plans des courbes sont séparés par une distance finie assez considérable, ainsi qu'il arrive toujours dans la pratique, on aura en général deux éléments, et, par suite, deux plans différents

(*fig.* 6), suivant que l'on considère, pour déterminer la normale, la courbe supérieure ou la courbe inférieure à celle qui passe par le point donné. Bien plus, on peut concevoir, par la pensée, que l'un des plans tangents tourne autour de l'horizontale de contact, en se détachant de l'élément perpendiculaire, suivant lequel il touchait la surface, jusqu'à ce que la partie située de l'autre côté de l'horizontale, vienne se rabattre sur le second plan, et dans toutes les positions qu'il pourra prendre pendant ce mouvement, il satisfera toujours à la condition de ne pas couper la surface au point donné, en sorte que le problème aura une infinité de solutions comprises entre deux limites fournies par les plans primitifs de contact.

Dans le cas où le point donné sur la surface tomberait entre deux courbes horizontales, qu'on supposera assez rapprochées l'une de l'autre pour que la normale commune soit sensiblement droite, on tracera cette normale passant par le point donné, et sa projection sera évidemment, d'après ce que nous avons dit tout à l'heure, l'échelle de pente du plan cherché; mais alors il ne pourra y avoir qu'un seul plan tangent, qui touchera la zone comprise entre les deux courbes horizontales suivant une génératrice tout entière.

Par une droite donnée faire passer un plan tangent à une surface (pl. I, fig. 7).

A cause du défaut de continuité de la surface dans le sens des lignes de plus grande pente, il arrivera, le plus souvent, que le plan le touchera en un point d'une seule des courbes qui la définissent. Mais si l'on conçoit, par la pensée, que les plans horizontaux des courbes soient rapprochés jusqu'à ce que la distance qui les sépare devienne infiniment petite ou seulement extrêmement petite, le plan touchera une des zones comprises entre deux courbes suivant toute sa largeur, et, par conséquent, contiendra les tangentes aux deux courbes horizontales. Ces tangentes, devant être contenues dans un même plan, seront nécessairement parallèles entre elles, et, de plus, elles s'appuieront sur la droite donnée, qui est, ainsi qu'elles, dans le plan tangent. Si donc on suppose cette droite partagée en parties égales, en ses points de rencontre avec les plans équidistants qui déterminent les courbes, et que par chacun de ces points on mène une tangente à la courbe qui est dans le même plan, l'une de ces tangentes appartiendra nécessairement au plan tangent, et devra être telle qu'il s'en trouve une autre immédiatement voisine qui lui soit parallèle.

Mais cette circonstance, qui aurait toujours lieu lorsque le problème

est soluble, si les courbes données étaient fort rapprochées, n'est que rarement satisfaite dans la pratique. Il faut alors, au lieu de chercher deux horizontales successives parallèles entre elles, suivre les variations de l'angle que ces horizontales font avec la projection de la droite donnée, et lorsqu'en passant d'une horizontale à l'autre on reconnaîtra que cet angle, après avoir crû ou diminué constamment, commencera, au contraire, à croître ou à décroître, on prendra pour l'horizontale du plan cherché celle qui sert de limite entre l'accroissement et le décroissement, ou, en d'autres termes, celle dont l'angle avec la projection de la droite donnée est un *maximum* ou un *minimum*. Cette ligne doit en effet satisfaire à la question, car si l'on s'imagine qu'on rétablisse la surface dans sa continuité au moyen de nouvelles courbes très-rapprochées, et qu'on trace, en même temps, leurs tangentes horizontales, s'appuyant sur la droite donnée, les variations de l'angle deviendront infiniment petites et ne pourront changer de signe sans passer par zéro, c'est-à-dire qu'au point de changement de signe il se trouvera nécessairement deux horizontales parallèles. L'horizontale pour laquelle on obtient un *maximum* ou un *minimum* de l'angle est donc celle qui correspond à la variation zéro, et, par conséquent, celle du point cherché.

On conçoit cependant que le plan tangent ne doit pas se comporter dans les deux cas de la même manière, par rapport à la surface donnée, et qu'il faut savoir reconnaître quelle est sa situation dans chacun d'eux. On doit également étudier ce qui arrive lorsque l'angle des tangentes horizontales avec la projection de la ligne donnée, après avoir atteint un *maximum*, décroît ensuite jusqu'à former un *minimum*, puis croît de nouveau et passe ainsi plusieurs fois par l'état de *maximum* et de *minimum;* enfin, il n'est pas moins curieux d'apprendre à quoi répond le cas où l'angle croît ou décroît sans atteindre de *maximum* ou de *minimum*. Néanmoins, nous ne nous arrêterons pas à toutes les questions dont la solution peut se déduire avec un peu d'attention de celle du cas qui se présente le plus fréquemment dans la pratique, lorsqu'on veut que le plan tangent laisse entièrement d'un même côté toute la partie de la surface qui est dans le voisinage du point de contact. Il est aisé de voir que lorsque l'horizontale du point de contact, touchant une courbe dans sa convexité, formera un angle *minimum* avec la projection de la partie descendante de la droite donnée, le plan tangent laissera au-dessous de lui la surface, et qu'au contraire il la laissera au-dessus lorsque les courbes seront concaves et que le même angle sera un *maximum*.

Si l'on suppose, en effet, qu'un plan prenne toutes les positions possibles autour d'une droite oblique, et que l'on ne considère que la partie de ce plan qui est située d'un même côté de la droite, les horizontales feront un angle d'autant plus petit avec la projection de la partie descendante de cette droite qu'il sera plus relevé, et un angle d'autant plus grand qu'il sera plus abaissé. Cet angle se réduira à zéro lorsque le plan sera vertical au-dessus de la droite donnée, et il deviendra égal à 180° lorsque, ayant fait une demi-révolution, il sera redevenu vertical au-dessous. Cela posé, si après avoir mené les horizontales tangentes aux courbes de la surface, comme nous l'avons expliqué tantôt, on choisit celle qui, s'appuyant sur une courbe convexe, forme un angle *minimum*, il est clair que le plan qui passera par cette horizontale et par la droite donnée rencontrera la surface au moins en un point ; de plus, ce plan qui laisse entièrement au-dessous de lui la courbe le long de laquelle il rencontre la surface, est le plus élevé de tous ceux qui remplissent la même condition. Il est donc nécessairement tangent, sans quoi on pourrait le relever encore, et il est supérieur à la surface, puisqu'il laisse au-dessous de lui tous les plans qui la rencontrent. On verrait de même que dans le cas d'un angle *maximum* et des courbes concaves, le plan serait inférieur.

Dans la plupart des cas où l'on se propose de faire passer un plan au-dessus de la surface du terrain, cette surface n'est ni continue ni indéfinie, mais ordinairement terminée d'une manière brusque par un cylindre ou par des plans verticaux qui en limitent l'étendue à une ligne droite ou brisée. Ainsi, dans la fortification passagère, nous avons décrit des cercles des saillants des ouvrages et relié ces courbes par des lignes droites tangentes à leur convexité, pour limiter le terrain extérieur, au-dessus duquel le plan des crêtes devait passer. Le plan cherché ne doit pas toujours alors être tangent à cette surface, mais il doit s'appuyer sur elle sans la couper, en la laissant entièrement au-dessous de lui. La solution que nous venons de donner s'applique encore parfaitement à ce cas, c'est-à-dire qu'on divisera la droite en parties égales, en des points qui soient à la même hauteur ou qui aient les mêmes cotes que les courbes horizontales de la surface donnée, que par chacun de ces points on mènera des horizontales, non pas toujours tangentes aux courbes, mais qui les laissent entièrement du côté de la partie ascendante de la droite donnée, en s'appuyant pour cela, s'il est nécessaire, sur leurs extrémités, et celle de toutes ces lignes qui fait le plus petit angle avec la partie descendante de la droite donnée sera l'horizontale du plan cherché.

On sent que le problème deviendra insoluble si la droite donnée pénètre la surface, ou lorsqu'elle est embrassée par la surface de manière à la percer par ses prolongements. Il en est quelquefois de même, bien que la droite soit en dehors et au-dessus de la surface, lorsque celle-ci s'étend des deux côtés, et il peut arriver que le plan tangent ou supérieur à la surface d'un des côtés de la droite la coupe du côté opposé, et réciproquement. Pour que cette circonstance n'ait pas lieu, il faut que l'horizontale qui détermine le plan d'un côté de la droite, étant prolongée de l'autre, fasse également avec la partie descendante un angle plus petit que celui de toutes les tangentes menées du même côté aux courbes de la surface.

L'application de cette solution a l'avantage de n'exiger le tracé d'aucune ligne de construction sur le dessin, car dans la plupart des cas, avec un peu d'habitude, on saisit immédiatement à l'œil la position de la courbe horizontale pour laquelle on obtiendra un angle *minimum*, et s'il reste quelque incertitude, il suffit, pour la lever, d'appliquer la branche d'une équerre dans la direction de l'horizontale qu'on présume appartenir au plan, et de la promener parallélement à elle-même, en l'arrêtant sur chacun des points de division de la droite donnée, afin de reconnaître s'il est nécessaire d'ouvrir ou de fermer l'angle qu'elle forme avec la partie descendante de cette droite, pour obtenir une tangente à la courbe de même niveau.

Cette solution n'est cependant pas applicable dans tous les cas, dans celui, par exemple, où la droite donnée est horizontale, puisqu'alors elle ne rencontre pas les plans horizontaux des courbes. Il en est de même lorsque la droite, sans être horizontale, est assez peu inclinée pour que ses points de rencontre avec les plans des courbes sortent des limites du dessin. Voici le procédé à employer pour le premier cas (*pl. I, fig.* 8).

On commencera par mener à toutes les courbes horizontales des tangentes parallèles à la droite horizontale donnée ; elles détermineront un cylindre, auquel devra être tangent le plan cherché, et l'une d'elles sera l'horizontale du point de contact. Il ne s'agira donc plus que de la reconnaître au milieu des autres, ce qui serait facile en s'aidant d'une section verticale et d'un rabattement ; mais si on veut employer une méthode analogue à la précédente, on agira de la manière suivante. A partir d'un point quelconque de la droite donnée, on tracera une droite arbitraire qui coupe toutes les tangentes parallèles menées aux courbes. On portera, à partir du même point sur la droite donnée, une suite de distances proportionnelles aux distances verticales de ce point à chacun

des plans des courbes, puis on joindra les points successivement obtenus ainsi avec les points de rencontre de la droite arbitraire et des tangentes prises dans le même ordre. Celle des droites de jonction qui fera le plus petit angle avec la droite donnée, l'ouverture de l'angle étant tournée vers la droite arbitraire, correspondra à l'horizontale cherchée, appartenant au plan qui laisse tous les autres au-dessous de lui. Il est aisé de voir que cette solution revient à chercher le point de contact d'une tangente, menée par le point quelconque pris sur la droite donnée, à la courbe de section du cylindre faite par le plan vertical, dont la droite arbitraire, menée par ce point, est la trace horizontale.

Nous résoudrons le cas de la droite peu inclinée quand nous aurons donné la solution du problème suivant.

Par un point donné mener un plan tangent à une surface (pl. 1, fig. 9).

On concevra par le point donné un cône tangent à la surface, qui, dans ses applications, est ordinairement celle du terrain; on coupera ce cône par un plan horizontal quelconque, et la tangente à la courbe de section sera l'horizontale du plan cherché. Telle est la solution générale. Maintenant il s'agit d'expliquer les procédés par lesquels on exécute les diverses opérations lorsque le cas est soluble.

Pour obtenir le cône tangent, par le point donné (*fig.* 9), on fera dans le terrain, une suite de sections verticales aussi rapprochées qu'on voudra. Les tangentes menées par le même point aux courbes seront les génératrices du cône, dont il faudra chercher les intersections avec un plan horizontal, que l'on prendra un peu au-dessus du point donné et à une cote entière. La réunion de tous les points d'intersection donnera la courbe à laquelle doit être tangente l'horizontale du plan cherché.

Pour obtenir les points de tangence des génératrices, par la projection du point donné, on mènera une première droite, que l'on regardera comme la trace d'un des plans de section. Ce sera en même temps la projection de la courbe et celle de la tangente ou de la génératrice du cône. On connaît déjà un point de cette génératrice; il suffira donc d'en déterminer un second, et ce sera le point de tangence avec la courbe que l'on cherchera. La courbe de section est donnée non-seulement par sa projection, mais par les cotes d'un certain nombre de ses points, résultant de la rencontre du plan vertical avec les horizontales du terrain. Cela posé, on remarquera que si on prend une droite arbitraire en dehors du plan de section, mais passant par le point donné,

et que l'on conçoive par cette ligne une suite de plans dans toutes les positions possibles, un de ces plans viendra s'appuyer sur la courbe sans la couper, et son point de contact sera précisément le point de tangence cherché de la génératrice sur laquelle on opère. D'après la solution du problème précédent, il suffira, après avoir marqué sur la droite arbitraire les points d'intersection avec les plans horizontaux des courbes du terrain, de joindre ces points avec ceux de la courbe de section, de même cote, et l'horizontale qui fera le plus petit angle avec la partie descendante de la droite arbitraire passera par le point de contact.

Rien ne sera alors plus facile que d'avoir immédiatement l'intersection de cette génératrice avec le plan horizontal choisi arbitrairement. Il suffira de mener une horizontale, parallèle à la droite de jonction, par le point de la droite arbitraire appartenant au plan horizontal de section; la rencontre de cette parallèle et de la projection de la génératrice fera connaître le point cherché, et en répétant la même opération pour autant de sections qu'on voudra, on obtiendra une suite de points qui détermineront la courbe. On peut, à cet effet, se servir de la même droite arbitraire, et même se dispenser de tracer toute autre ligne, en se servant de l'équerre pour déterminer l'horizontale la plus inclinée de chaque plan de section, comme nous l'avons précédemment expliqué. L'intersection du cône et du plan horizontal une fois trouvée, il ne reste plus, pour déterminer le plan cherché, qu'à y mener une tangente dans la position convenable, ce qui, sous le rapport graphique, ne présente aucune difficulté; mais il y a, relativement au choix de cette tangente, quelques observations importantes à faire.

Si le terrain sur lequel on commence l'opération est plus élevé que le point donné, les génératrices du cône seront ascendantes et rencontreront le plan horizontal qu'on a pris un peu au-dessus du point donné; mais si ce point n'est pas dans une cavité fermée de toutes parts, la surface qu'on considère finira par s'abaisser d'un côté ou de l'autre, et à mesure que les sections seront faites dans une partie moins élevée, les génératrices s'inclineront de plus en plus, et leurs points d'intersection avec le plan s'éloigneront de plus en plus du sommet du cône. Enfin, si une génératrice devient horizontale, elle ne rencontrera plus le plan qu'à l'infini, par conséquent la courbe aura une branche indéfiniment prolongée, analogue aux branches de la parabole ou de l'hyperbole. La génératrice horizontale se trouvera

facilement en cherchant une section dont le point culminant soit à la hauteur du point donné. Si le terrain continue à descendre au delà de cette génératrice horizontale, les nouvelles génératrices qu'on obtiendra deviendront descendantes, et dès lors elles ne rencontreront plus le plan horizontal que dans leur prolongement en arrière du sommet du cône; on obtiendra donc une nouvelle courbe qui aura, comme la première, un point situé à l'infini sur la génératrice horizontale, mais du côté opposé, et qui tournera sa convexité en sens contraire de ce qu'elle aurait été si les génératrices fussent restées ascendantes. Si les ondulations de la surface du sol sont multipliées, on pourra passer ainsi, à plusieurs reprises, d'une espèce de courbe à une autre, et toujours, dans le passage, il se trouvera une génératrice horizontale donnant à la fois un point à l'infini sur chacune des deux courbes. Pour distinguer ces courbes les unes des autres, on les désignera par les noms de courbes de la nappe descendante, ou courbes de la nappe ascendante du cône.

La projection de la génératrice horizontale sur laquelle se trouvent deux points à l'infini sert en quelque façon de limite aux courbes auxquelles appartiennent ces points; cependant elle n'est pas leur asymptote commune, mais seulement une parallèle à leur asymptote commune, puisque la génératrice n'est pas située dans le plan même des courbes. Pour obtenir l'asymptote véritable, qui est une tangente à l'infini, il faut mener un plan tangent au cône suivant la génératrice horizontale et trouver une intersection avec le plan des courbes. Mais le plan tangent au cône est en même temps tangent au terrain; si donc par le point de contact de la génératrice horizontale avec la surface du terrain, on mène un plan tangent à cette surface, l'intersection de ce plan avec le plan horizontal des courbes donnera la ligne cherchée. Au reste, la plupart du temps, dans la pratique, on peut se dispenser de construire les asymptotes réelles des courbes, parce qu'on a moins besoin de connaître leur position absolue que leur direction, comme nous le verrons tout à l'heure.

Dans le cas où le plan cherché doit laisser au-dessous de lui toute la surface du terrain, il doit de même laisser le cône au-dessous de lui. Par conséquent, si l'on n'a à considérer qu'une courbe appartenant à une nappe ascendante, la projection de la tangente devra passer entre la projection de la courbe et celle du point donné. Si, au contraire, on agit sur une courbe appartenant à une nappe descendante, comme la partie du cône dont on a déterminé l'intersection avec le plan horizontal est

le prolongement au delà du sommet de celle qui touche le terrain, il s'ensuit que le plan supérieur au terrain et à la nappe descendante qui le touche doit être inférieur au prolongement de cette nappe, et que par conséquent son intersection avec le plan horizontal ou la tangente à la courbe doit laisser cette courbe tout entière entre elle et le point donné.

La condition qu'on vient de poser ne suffit pas pour déterminer la tangente, soit qu'on agisse sur la courbe d'une nappe ascendante ou sur celle d'une nappe descendante. Le problème aura donc, en général, une infinité de solutions, et l'on n'oubliera pas qu'il n'est pas nécessaire que la droite qu'on nomme ici *tangente* touche en effet la courbe dans l'acception géométrique, mais seulement passe par un de ses points, en la laissant entièrement d'un même côté. Si la courbe est finie, il sera facile de saisir la limite de ces solutions, parce qu'on verra immédiatement si la tangente, en quelqu'un des points de cette courbe, ne va pas la couper en un autre point; mais il n'en sera pas de même dans le cas où une de ses branches s'étendrait à l'infini. Il faudra avoir recours alors à l'asymptote, ou du moins à sa parallèle, et l'on ne devra admettre aucune tangente qui, indéfiniment prolongée dans le sens où s'étend la courbe, ne concourrait pas avec l'asymptote en s'éloignant de la courbe, car, dans le cas contraire, elle rencontrerait nécessairement cette courbe à une distance finie.

Il suit de là que le problème sera insoluble lorsque les deux génératrices horizontales feront entre elles un angle dont l'ouverture est tournée vers la nappe descendante, puisqu'une tangente ne pourrait alors concourir avec une asymptote en s'éloignant de la courbe sans concourir avec l'autre en s'en rapprochant. En d'autres mots, le problème sera insoluble lorsque la courbe horizontale, de même cote que le point donné, pourra être coupée par les deux prolongements d'une même droite horizontale passant par ce point.

Lorsqu'on a à considérer à la fois une courbe appartenant à une nappe ascendante et une autre appartenant à une nappe descendante, les limites de l'indétermination des solutions se resserrent; quelquefois le problème devient tout à fait déterminé, plus souvent encore il devient insoluble. Il faut, en effet, pour que le plan remplisse l'objet proposé, qu'en touchant le terrain dans la partie supérieure, il n'aille pas la couper dans la partie la plus basse, ou réciproquement. Or, d'après ce que nous avons dit, il satisfera à cette condition si la tangente à la courbe de la nappe ascendante, laissant cette courbe du côté opposé

au point donné, laisse, au contraire, la courbe de la nappe descendante tout entière dans l'autre sens, c'est-à-dire passe entre les deux courbes, en touchant une d'elles ou toutes les deux sans les couper. Si donc on peut mener diagonalement deux tangentes communes aux deux courbes, les laissant chacune dans le sens convenable, les directions des horizontales qu'on pourra prendre pour le plan cherché devront être comprises entre ces deux lignes. Quelquefois il arrivera que les deux tangentes ou diagonales se confondront en une seule ligne; le problème alors sera déterminé, et n'aura qu'une solution. Il deviendra insoluble, lorsque toute tangente à l'une des courbes coupera nécessairement l'autre, à plus forte raison lorsque les courbes se pénétreront.

Si, au lieu de n'avoir à considérer qu'une seule courbe de nappe ascendante et une de nappe descendante, on en avait plusieurs de chaque espèce, ce qui peut se rencontrer dans un terrain fortement ondulé, il n'y aurait rien à ajouter à ce que nous venons de dire, parce qu'on pourrait considérer toutes les courbes de même espèce comme des parties d'une même courbe; seulement, il faudrait s'assurer que la tangente choisie pour l'horizontale du plan passe non-seulement en dehors des asymptotes de la courbe à laquelle elle est tangente, mais qu'elle remplit cette condition pour chacune des courbes en particulier.

Une dernière observation : c'est que, dans la pratique, on a souvent moins pour but d'appuyer un plan sur la surface du terrain que de faire en sorte qu'il ne le coupe nulle part. Or le plan tangent est le plus bas de tous ceux qui satisfont à cette condition. Il n'est donc nullement nécessaire que l'horizontale du plan s'appuie réellement sur la courbe. Toute droite, contenue dans le même plan horizontal, et qui laisse la courbe du côté convenable en ne la coupant pas, pourra servir à déterminer un plan supérieur à la surface, et on prendra celle qui convient le mieux à l'objet qu'on a en vue. Une fois le choix arrêté, il suffira d'abaisser une perpendiculaire du point donné sur l'horizontale pour avoir l'échelle de pente du plan et en déterminer tous les points.

Nous avons dit, en traitant la question précédente, qu'à l'aide de la solution que nous venons de donner, on pouvait aussi résoudre le problème de mener par une droite horizontale ou peu inclinée un plan tangent à une surface. Rien n'est plus facile, en effet : car, si par un point quelconque de la droite donnée, on commence par mener un cône tangent au terrain, on n'aura plus ensuite qu'à faire passer par la droite

un plan tangent au cône. Si la droite est horizontale, la tangente horizontale devra lui être parallèle. Si la ligne est inclinée, il faudra avoir soin de prendre le plan de section du cône assez près du sommet pour qu'il puisse couper la droite dans les limites de la feuille de dessin, et du point d'intersection mener une tangente à la courbe. Cette attention de prendre le plan de section peu éloigné du sommet, est même bonne à observer dans tous les cas, afin d'obtenir des courbes dont les projections ne sortent pas trop promptement de la feuille de dessin.

2me LEÇON.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE TRACÉ ET LE RELIEF DES OUVRAGES DÉFILÉS.

SOMMAIRE.

Discussion du tracé de la magistrale de l'enceinte, d'après la forme du terrain.—Limites du fond des fossés. — But du défilement : couvrir les hommes et les machines de guerre sur les remparts, et découvrir le terrain extérieur.— Plan de site général.— Plans de défilement de l'enceinte et des dehors.—Cas dans lequel un plan unique peut être adopté.— Plans partiels.— Principes pour la disposition du tracé, déduits de la considération d'un relief égal et des vues à prendre sur le terrain extérieur.— Limites du terrain dangereux.

Lorsqu'on crée une place de guerre, sa position est déterminée par le but stratégique qu'on veut atteindre, les communications terrestres ou fluviales à intercepter ou à assurer, les établissements militaires, industriels ou commerciaux à renfermer dans son enceinte, etc. Son étendue dépend de son importance, des forces qu'on prévoit pouvoir employer à sa défense, de la dépense, enfin, qu'on se propose d'y faire. Toutes ces données deviennent autant de conditions pour l'ingénieur chargé de la rédaction du projet, et comme elles sont souvent peu en harmonie avec ce que les circonstances locales exigeraient, parfois même contradictoires entre elles, il s'agit pour lui bien moins de combiner les meilleures dispositions défensives, appropriées au terrain, que de choisir les moins mauvaises parmi celles qui satisfont aux

conditions auxquelles il est assujetti. C'est sans doute un inconvénient, sous le rapport de la bonté des fortifications, mais c'est une nécessité pour le bien de l'État, car un ingénieur, comme tout autre auteur, s'éprend de son œuvre; l'importance du point qui lui est confié s'agrandit à ses yeux de toute celle qu'il met à s'acquitter le mieux possible de ses devoirs, et si des limites ne lui sont rigoureusement posées, il entraîne le trésor dans des dépenses exorbitantes, en même temps que ses ouvrages, trop multipliés, exigent plus d'hommes et de matériel de guerre pour leur défense que les ressources du pays ne permettent d'y consacrer. Dans l'application que nous allons faire, à une place idéale, de toutes les règles posées jusqu'ici, nous admettrons, par cela même, que la position des saillants ou angles flanqués est fixée, ce qui détermine le nombre des fronts et la longueur des côtés du polygone extérieur. La forme du terrain nous est connue par ses courbes horizontales, la profondeur de la rivière par sa jauge, la quantité d'eau qu'elle fournit par son profil moyen et sa pente. Nous en déduirons des limites pour la profondeur des fossés et l'étendue des inondations, et nous ne pourrons faire varier la position des crêtes des parapets qu'en satisfaisant aux exigences résultant de ces données.

Suivant l'usage généralement admis, nous considérerons les points fixés, pour les ouvrages revêtus, comme les projections des verticales passant par les intersections des plans extérieurs des revêtements; pour les fronts à fossés pleins d'eau, comme les projections des intersections de la crête intérieure des parapets des contre-gardes dont, suivant nos idées, les bastions revêtus doivent être précédés.

Nous suivrons, pour le tracé de la magistrale, les principes de Vauban, comme nous l'avons fait en terrain horizontal, c'est-à-dire que nous proportionnerons la perpendiculaire au côté du polygone extérieur, et que les faces seront également des parties aliquotes de ce côté. Nous placerons les flancs, d'ordinaire, perpendiculairement aux lignes de défense, mais nous ne limiterons la longueur et la position de la courtine par les extrémités des perpendiculaires abaissées des angles d'épaule sur les lignes de défense, que pour autant que le relief n'exige pas un plus grand espacement pour rendre le flanquement complet. Nous n'entendons non plus faire le front symétrique, ou aligner les deux faces au même point de la perpendiculaire, que lorsqu'aucun motif ne nous engage à déroger à cette régularité; car si, au contraire, par suite de la configuration générale du périmètre, un des demi-bastions était plus spécialement susceptible d'attaque, comme appartenant

à un saillant aigu, entouré d'un terrain favorable aux travaux des siéges, etc., nous n'hésiterions pas à agrandir le flanc qui doit défendre le passage de son fossé et à infléchir la face collatérale, pour obtenir des vues moins obliques sur la marche des attaques. Nous pourrions même, pour augmenter encore l'étendue du flanc, le courber, le reculer de quelques mètres, ou dépasser le prolongement de la ligne de défense, modifications auxquelles le tracé de Vauban se prête sans difficulté, et qui n'entraînent aucun inconvénient, tant qu'on n'outrepasse pas les bornes posées par la portée et la direction des armes en usage. La simplicité du tracé, résultant de la symétrie, est une qualité indispensable des méthodes employées pour les ouvrages de campagne, parce que toutes les opérations doivent s'y faire avec rapidité, sans autres instruments que ceux qu'on est sûr d'avoir toujours à sa disposition, la moindre hésitation, la moindre perte de temps pouvant enlever celui nécessaire à l'achèvement des retranchements avant l'arrivée de l'ennemi; mais des considérations pareilles ont moins d'influence dans la fortification permanente. Là le temps employé aux opérations préliminaires est de peu d'importance, en comparaison du temps total que la construction exige, et la simplicité des méthodes devient un mérite de convention, sans effet notable sur la valeur des ouvrages après qu'ils sont construits. Nous consulterons donc le figuré du terrain pour régler la direction des lignes diverses, et si nous pouvons nous soustraire aux vues d'enfilade en avançant la position de l'angle d'épaule d'un demi-bastion, c'est-à-dire en raccourcissant la perpendiculaire, ou bien améliorer le flanquement en l'agrandissant, nous n'y manquerons pas, tout en nous conformant aux autres principes admis sur la direction et la longueur des flancs, par rapport au fossé qu'ils défendent.

Nous ne négligerons pas, dans cette discussion, les considérations relatives aux ouvrages avancés à construire sur chaque front, ces ouvrages devant être enlevés avant l'approche de l'enceinte et faisant, par cela même, partie du terrain extérieur, par rapport au corps de place. Ils ont, en outre, besoin d'être flanqués par des lignes de l'enceinte, ce qui doit influer sur leur tracé relatif. Cependant ces considérations sont secondaires, car la défense d'une place repose principalement sur son enceinte : si celle-ci pouvait être enlevée, tous les ouvrages extérieurs tomberaient en même temps.

La position approximative de la magistrale du corps de place étant déterminée, nous rechercherons, pour chaque front en particulier, la

limite du fond du fossé. Si les eaux ou le rocher ne la donnent pas, nous pourrons la laisser indéterminée, et la fixer plus tard, suivant les déblais que nous devrons extraire pour balancer le remblai exigé par les profils des remparts, afin de prendre le commandement convenable sur le terrain environnant. Dans le cas, plus fréquent, où ce fond ne peut dépasser une certaine cote, pour rester au-dessus du niveau des sources ou y atteindre, profiter d'une manœuvre d'eau, ou présenter en toutes les saisons une profondeur non guéable, etc., nous obtiendrons une première donnée pour le relief du front; le commandement à prendre sur le terrain naturel nous en fournit une seconde, et nous rechercherons de suite quelle modification cette détermination du relief peut exiger dans le tracé, afin que le flanquement de chaque ligne de l'enceinte reste réel. Nous combinerons le résultat avec les prescriptions données pour être à l'abri d'escalade, à savoir : que dans le cas des fossés secs, l'escarpe ait au moins $8^m,50$ de hauteur, et qu'elle surmonte de $6^m,00$ le niveau de l'eau dans les fossés, lorsque ces fossés sont remplis d'eau sur une profondeur de $2^m,00$, en toutes saisons.

Il n'y a généralement aucune nécessité, ni même aucune utilité, à ce que le fond des fossés soit de niveau; au contraire, il ne doit jamais l'être lorsqu'un cours d'eau y passe, et s'il se rapproche de l'étiage ou du niveau des sources, il convient qu'il ait une pente en longueur dans le sens des couches du sol, pour n'être nulle part humide. Pourvu que la contrescarpe conserve une hauteur suffisante, il est également peu utile qu'il soit de niveau transversalement, il y aura même économie à le relever vers la contrescarpe, et ce sera, par conséquent, dans le seul cas des fossés d'eau stagnante, qu'il existera une raison pour leur donner partout la même profondeur, afin de présenter sur tous les points un obstacle d'égale résistance. Observons, en passant, que si le fossé a une cunette et que le terrain soit sablonneux ou marneux, la pente transversale doit néanmoins être limitée de manière que le fond de la cunette ne soit pas au-dessous du niveau auquel on établit les fondations de la contrescarpe, de crainte de voir les couches intermédiaires délayées par l'eau de la cunette et les fondations fléchir au bout d'un certain laps de temps.

Ce n'est qu'après avoir arrêté ces dispositions et stipulé ces limites qu'on s'occupera du défilement, car le défilement n'augmente pas l'action des ouvrages ni la résistance des places, mais c'est un moyen d'obvier aux désavantages qui résulteraient, pour cette action et cette

résistance, de la courbure du sol, laquelle, si on n'y avait égard, faciliterait les vues dans l'intérieur et soustrairait une partie des approches aux feux du rempart. Le défilement aura donc deux buts principaux et distincts, le premier de mettre la crête des parapets dans des plans tels qu'ils donnent aux remparts en terrain varié la même protection qu'en plaine, le second de combiner leur position de manière à battre le terrain environnant, jusqu'à distance de la portée des armes, d'autant de feux et de feux aussi efficaces que l'est celui autour d'une place en terrain horizontal. Il est sans doute presque toujours impossible d'atteindre ces deux buts complétement, mais ce n'en est pas moins l'objet qu'on a en vue et dont on se rapproche, autant que les circonstances le permettent.

C'est le premier qu'on regarde comme le plus essentiel, puisque l'action des défenses serait sinon annulée du moins très-compromise si les hommes qui doivent les faire valoir pouvaient être atteints par des projectiles de plein fouet, malgré les parapets interposés, qui sont déjà impuissants pour les garantir du ricochet et des feux courbes. En s'attachant donc à ce premier but, nous voyons que le défilement sera parfait, lorsque le plan dans lequel les crêtes des parapets sont contenues passera au-dessus de tout le terrain environnant d'une quantité égale au relief ordinaire des ouvrages analogues au-dessus de la campagne en terrain horizontal. C'est-à-dire que le plan contenant les crêtes de l'enceinte se trouvera de 7 à 8 mètres, le plan des crêtes des demi-lunes de 5 à 6 mètres, le plan des crêtes des glacis de $2^{m},20$ à $3^{m},00$ au-dessus de la surface de tout le terrain sur lequel l'ennemi peut établir ses batteries ; prenant un seul plan pour toute l'enceinte, un plan parallèle pour toutes les demi-lunes, un autre plan pour tous les glacis. Mais il est facile de juger qu'il doit être presque toujours impossible d'en agir ainsi, en terrain varié, parce que le plan des crêtes passerait tantôt à une hauteur exorbitante au-dessus des enfoncements, tantôt recouperait à une grande profondeur les parties élevées, suivant qu'on s'établirait dans une vallée ou sur un coteau. Loin de là, on ne peut le plus souvent conserver un plan unique pour chaque front avec ses ouvrages avancés, sans tomber dans les mêmes inconvénients, encore en se départant de la première limite posée, et se contentant de faire passer le plan des crêtes prolongé au-dessus de la surface du terrain à une hauteur telle que l'ennemi ne puisse exhausser d'autant les emplacements de son artillerie, $4^{m},00$, ou, au *minimum*, $2^{m},50$. On se trouve ainsi réduit à défiler séparément chaque ouvrage ou

chaque partie d'ouvrage, par des plans de défilement particuliers, distincts du plan des crêtes et, s'il y a lieu, en interceptant par des traverses ou par des parados les coups dont les parapets ne sauraient garantir. On sent que les différences de cote résultant de l'emploi de ces plans partiels compliquent singulièrement le calcul de l'action mutuelle des ouvrages; mais, comme nous l'avons dit, il est presque toujours impossible d'éviter tous les désavantages attachés à la courbure de la surface du terrain, et le plus habile est celui chez qui les propriétés défensives des ouvrages en sont le moins altérées.

Il arrive parfois cependant que le tracé d'un ouvrage et son emplacement sont presque complétement indéterminés, et qu'on peut les faire varier entre des limites fort éloignées, comme lorsqu'il s'agit de porter un fort détaché à quelque distance d'une place forte, ou d'ajouter à cette place un grand dehors, afin d'occuper une position dangereuse entre les mains de l'ennemi. Pourvu que ce but soit atteint, il reste alors une grande latitude dans le choix de la forme à donner à l'ouvrage comme dans celui de son emplacement, et la considération d'un défilement convenable est une de celles qui ont le plus d'influence en pareil cas, parce que des ouvrages placés sur des plans qui se coupent sous de grands angles, ou morcelés par des traverses, peuvent difficilement être défendus et se défendre mutuellement avec la même intensité. En général, pour obtenir un relief régulier et éviter de grands mouvements de terre, il faut que les lignes principales de la fortification soient parallèles aux courbes de la surface sur laquelle on bâtit, en même temps que les horizontales des plans des crêtes s'éloignent peu de la direction des courbes du terrain extérieur. Afin de concilier ces exigences souvent opposées, ou du moins de reconnaître en combien elles sont conciliables, on suppose une verticale élevée au milieu du terrain à enceindre, d'une hauteur égale au commandement moyen qu'on veut donner aux ouvrages, et par son sommet on fait passer un plan tangent au terrain extérieur ou qui laisse au-dessous de lui tous les points dangereux relevés de la quantité nécessaire. On reconnaîtra d'abord si un plan pareil peut exister, ou s'il faut raccorder plusieurs plans, formant ensemble une surface développable, et la position de ces plans indiquera aussi de suite s'ils se recouvriront mutuellement, ou bien s'ils nécessiteront l'emploi de traverses. En effet, si, sur trois directions formant entre elles des angles de 90° ou plus, il se trouve des points plus élevés que le sommet de la verticale, un plan unique passant au-dessus du terrain à la hauteur désirée est inconciliable avec

le relief indiqué, car ce plan étant déterminé par les trois points extérieurs d'une manière invariable, pour qu'il comprenne les crêtes, il faut élever celles-ci au-dessus des lignes correspondantes dans les plans primitifs, c'est-à-dire dépasser le relief voulu. S'il n'y avait des points commandants que sur trois directions, on pourrait essayer d'en relier deux par une droite et de faire passer par cette droite des plans qui, laissant au-dessous d'eux le terrain extérieur à $2^m,50$ au moins, comprendraient le point central, ou le laisseraient au-dessus. Où cela se rencontre, un plan unique est possible, mais le commandement dans une des directions sera moindre que le relief moyen. Lorsqu'il y a des points commandants sur quatre directions, opposées deux à deux, un plan unique est naturellement bien plus difficile à obtenir, puisque les quatre points déterminent deux plans, dont les horizontales devraient être parallèles et également espacées pour pouvoir être réduits à un seul, en même temps que le point central devrait se trouver placé sur l'horizontale de même cote ou au-dessus, coïncidence qui constitue visiblement un cas tout exceptionnel. Un 5e ou 6e point rendrait la coïncidence bien plus fortuite encore. Il suffira, au surplus, pour s'en assurer, de faire passer un plan par trois des points, et de rechercher si les autres se trouvent au-dessus ou au-dessous. Dans la dernière supposition, c'est dans le plan ainsi formé qu'il faudrait chercher la position du point central; dans toute autre, un plan unique est impossible.

Lorsqu'une partie des points de tangence se trouvera au-dessus et une partie au-dessous du point central, on cherchera, par un tâtonnement analogue, un plan comprenant deux des points extérieurs et le point central et laissant au-dessous de lui tous les autres points de la surface relevée; et quand un pareil plan ne se rencontre pas, l'emploi d'un plan unique est inadmissible.

Nous ne nous occuperons pas du cas où le point intérieur serait plus élevé que tous les autres, puisqu'alors la surface tangente constitue une pyramide, et que toute section horizontale, perpendiculaire à l'axe de la pyramide ou moins oblique à cet axe que les plans qui constituent la surface, satisferait aux conditions du problème.

La position des plans tangents étant fixée, on reconnaîtra si ces plans se recouvrent mutuellement en comparant la direction de leurs horizontales ou de leurs échelles de pente. On considérera les plans deux à deux, et l'angle dièdre, déterminé par deux horizontales successives de même cote, indiquera si l'intersection est une arête ou une gouttière. Le premier cas aura lieu lorsque, l'ouverture de l'angle étant

tournée vers le point central, l'horizontale la plus rapprochée aura la cote la plus forte, l'inverse si cette cote est plus basse, et, réciproquement, si l'angle à l'intersection des horizontales regarde l'extérieur, il y aura gouttière lorsque la cote la plus rapprochée du point central sera la plus grande, arête quand elle sera la plus petite. La position des horizontales déterminant celle des échelles de pente, on peut dire aussi que les plans formeront arête si les échelles convergent en montant, alors qu'il y aura gouttière quand elles convergent en descendant. Deux plans, dont les horizontales sont parallèles, se couvrent à revers lorsque les cotes de leurs échelles augmentent en se rapprochant, et ne peuvent se couvrir dans le cas contraire.

En indiquant cette méthode, nous l'avons limitée aux ouvrages d'une petite surface, quoique habituellement on la donne comme générale, parce que, pour les enceintes un peu considérables, la considération d'un point central unique ne serait pas d'une application rationnelle ; le diamètre de la place, ajouté à la largeur de la zone de terrain soumise aux feux rapprochés des remparts, sur laquelle on ne peut raisonnablement supposer que l'ennemi viendra s'établir pour tirer par-dessus la ville aux ouvrages de l'attaque opposée, et l'interposition des bâtiments et habitations rendant, sauf dans des cas très-particuliers, les revers diamétralement opposés sans danger et l'adoption d'un plan unique sans utilité. Généralement on ne tire pas sur ce qu'on ne voit pas, encore moins s'amusera-t-on à brûler des munitions pour renverser un masque, sans savoir ce qu'on découvrira lorsqu'il sera tombé. La rue du rempart est donc, d'ordinaire, la limite en profondeur du terrain à couvrir, et les plans seront menés sur chaque front par le sommet d'une verticale en arrière du milieu de la courtine ; ce qui exclut toute idée d'unité. Nous verrons d'ailleurs, en combinant le relief de l'enceinte avec celui des dehors, combien l'adoption d'un plan unique, même pour un seul front, entraîne de difficultés.

Cette observation est au surplus de peu d'intérêt pour l'objet qui nous occupe, car, soit qu'on emploie un ou plusieurs plans de défilement, il faudra, pour que tous les ouvrages aient un relief à peu près uniforme, que leurs crêtes suivent sur ces plans des directions à peu près parallèles aux courbes du terrain sur lequel la fortification s'élève. Il n'y a donc qu'à chercher l'intersection de ce terrain, relevé d'une quantité convenable, qui ne s'éloignera pas sensiblement du relief moyen, avec le plan qu'on considère, et les faces des ouvrages ou la ligne qui joindra leurs saillants devront s'appuyer sur cette intersection, au moins

s'en écarter aussi peu que possible. Voilà la règle générale, dont on peut déduire plusieurs règles particulières, applicables aux différentes combinaisons entre la position du plan tangent et l'inclinaison de la surface sur laquelle on veut construire.

Supposons d'abord la surface horizontale (*pl. I, fig.* 10) : la ligne parallèle au plan de défilement suivant laquelle la fortification doit se développer sera elle-même horizontale. Or, si le terrain dont on s'est défilé est aussi horizontal, ou si les points les plus dangereux sur lesquels s'appuie le plan sont situés sur une droite horizontale, il est évident que la fortification devra être parallèle à la hauteur ou à la droite qui joint les points dangereux. Dans le cas, au contraire, où les points dont on s'est défilé se trouveraient sur une droite inclinée (*pl. I, fig.* 11), cette droite irait rencontrer l'horizontale sur laquelle se trouveraient les ouvrages, en sorte que la fortification devrait être disposée de manière à concourir avec la partie la plus basse de cette même droite, en s'éloignant de sa partie la plus élevée. On conçoit, en effet, qu'il doit en être ainsi, puisque plus les points dont on se défile sont élevés, plus ils deviennent dangereux, et plus, par conséquent, il faut s'en éloigner pour que le plan de défilement conserve la même inclinaison lorsque les reliefs ne changent pas.

Si maintenant on suppose que le sol même de la fortification soit incliné, il faudra toujours que la direction des ouvrages reste parallèle à l'intersection du plan de défilement avec le terrain relevé, c'est-à-dire que si le sol et la ligne sur laquelle s'appuie le plan de défilement pendent à peu près dans le même sens, la fortification devra se développer parallélement à la ligne des hauteurs ; que si, au contraire, la pente du sol concourt avec celle des hauteurs, le tracé de la fortification devra concourir vers le même point, et que si, dans son développement, ce tracé passe sur des pentes variables, il devra changer autant de fois de direction que les pentes elles-mêmes changent de point de concours avec la ligne des hauteurs.

Ce que nous venons de dire de la fortification située dans une plaine qu'on défile d'une hauteur doit s'entendre également de la fortification située sur des coteaux, et qu'on défile d'une plaine inférieure. Ainsi, dans le cas où le terrain dont on se défile sera horizontal, la fortification elle-même devra suivre l'horizontale du coteau; si la plaine s'incline de façon que le plan de défilement la rencontre suivant une droite oblique par rapport à la direction des collines, le tracé des ouvrages devra tendre à concourir avec cette ligne.

Parmi les autres corollaires qu'on peut déduire de la règle générale, nous énoncerons encore ceux relatifs aux arêtes ascendantes et descendantes. Si une arête se présente ascendante dans le sens du plan de défilement, les ouvrages établis sur ce terrain devront évidemment former saillant, tandis que si le terrain se creuse en ravin, les ouvrages formeront dans le fond un rentrant protégé par des branches latérales, qui se développeront en avant sur le penchant des deux collines.

Enfin, si on a un ouvrage à construire sur un terrain dont la pente diffère beaucoup de celle du plan de défilement, il faut éviter de faire présenter un saillant du côté où le plan se relève le plus par rapport au sol, d'autant qu'ainsi le relief deviendrait très-considérable et les revêtements plus difficiles à couvrir; les dehors, construits sur des lignes sensiblement parallèles aux directions principales de l'enceinte, avanceraient beaucoup sur la pente en descendant, alors que par rapport au plan de défilement ils devraient s'élever davantage, pour garantir l'enceinte et rester soumis à ses feux.

Ces règles ne sont sans doute que des indications subordonnées à des considérations plus impérieuses, qui déterminent le tracé des ouvrages, et que nous développerons bientôt; cependant lors même que des raisons majeures prescrivent de s'en éloigner, il faut s'en rapprocher autant que possible, pour éviter de se jeter dans de très-grands embarras, par la difficulté de raccorder ensemble des ouvrages d'un relief très-différent. Il est, en effet, presque impossible de remplir les conditions du commandement mutuel, de la soustraction des maçonneries aux feux de la campagne et de la sûreté des communications, lorsque les différentes parties d'un même front ou des fronts collatéraux sont établies sur des plans qui se coupent suivant de grands angles, même en s'astreignant aux grands remblais que des positions pareilles exigent. Nous en donnerons plusieurs exemples dans les prochaines leçons.

Quant à battre le terrain extérieur d'autant de feux et de feux aussi énergiques qu'en terrain horizontal, pour que cette condition soit remplie, nous emprunterons au relief plusieurs considérations qui influeront sur le tracé. Nous avons vu, en traitant de l'artillerie, dans la première partie de ce Cours, que la position la plus favorable à l'effet des bouches à feu est le haut d'une pente doucement inclinée. Pour en trouver la raison, il suffirait de projeter la trajectoire du projectile et la ligne de pente du terrain sur un plan vertical, et on verrait que si le terrain se courbe dans le même sens que la trajectoire, la portée du premier bond s'allongera en proportion, en même temps que le projectile

restera sur une plus grande longueur, à une hauteur telle au-dessus du sol, qu'il menacera tous les objets qu'on se propose d'atteindre. Lors donc que les fortifications s'établissent sur le haut d'un plateau à pente douce, le développement des ouvrages devra suivre la direction des intersections des plans tangents aux courbes avec un plan horizontal passant au-dessus du terrain à la hauteur du relief désiré, la position de la genouillère se rapprochant de la crête du talus aux points où la pente se roidit, se reculant là où elle devient plus douce, afin de conserver une même hauteur au-dessus du sol.

Quand, au contraire, le terrain descend vers l'emplacement des ouvrages, et qu'on s'établit en plaine au pied d'une hauteur, les feux directs dirigés sur la pente y ficheront en se rapprochant plus ou moins de la normale, à sa section verticale, et le flanquement sera limité à une zone très-étroite, en sorte que les feux, ceux de nuit spécialement, auront fort peu d'efficacité, les assaillants n'ayant rien à craindre en deçà ou au delà de la bande resserrée comprise entre les déviations des projectiles dans le sens vertical. Pour qu'une pente pareille soit convenablement battue, la direction des parapets flanquants devrait être perpendiculaire à celle des horizontales du sol, ou du moins les couper très-obliquement, ce qui, comme on voit, est juste l'opposé de ce que réclame la protection à donner au terre-plein, et il faudra nécessairement modifier le tracé suivant l'une ou l'autre considération, selon que cette partie du terrain sera plus ou moins favorable aux approches de l'ennemi. Les autres cas que la courbure du sol extérieur et la position relative des fortifications peuvent présenter sont naturellement intermédiaires entre ces deux extrêmes et se combinent de mille et mille manières, qu'il serait aussi impossible qu'inutile de mentionner, en prescrivant des règles particulières pour chacun d'eux. Nous observerons seulement que lorsqu'un talus devient trop rapide pour pouvoir être battu directement avec l'inclinaison habituelle des armes, ou trop court suivant la ligne de plus forte pente pour utiliser la portée des projectiles dans des feux directs, il faudra également placer les parapets perpendiculairement ou obliquement à la direction des horizontales du terrain, afin de tirer un plus grand parti de l'effet de nos armes. Croire remédier à l'inconvénient d'une autre disposition en forçant les dimensions du profil en travers serait une illusion dangereuse, car ce sont les machines de guerre et non les masses inertes des remparts qui sont redoutables à l'ennemi, et ces derniers doivent par conséquent être disposés convenablement pour le service des premières, si l'on veut qu'elles produisent l'effet désiré.

Enfin, il résulte de ces considérations que la position des crêtes sera aussi déterminée par la hauteur à laquelle tous les plans tangents au terrain extérieur passent au-dessus du sol sur lequel on s'établit, les crêtes devant se trouver dans ces plans pour assurer l'effet des armes qui se tirent par-dessus le parapet, les petites armes et les canons à barbette, et au-dessus de ce plan d'une quantité au moins égale à celle dont les embrasures sont entaillées au-dessous de la ligne de feu, pour pouvoir se servir du canon tirant à embrasures.

Dans ce que nous avons dit plus haut du défilement, nous avons supposé d'abord qu'on relevait le terrain extérieur d'une quantité égale au relief moyen des ouvrages. Il est évident que lorsqu'on en agit ainsi, ce relèvement de la surface à l'intérieur et à l'extérieur, à des hauteurs égales, produit un parallélisme complet dans la position des plans tangents, et que rien n'empêche alors de travailler sur la surface donnée, comme sur la surface relevée, les résultats étant identiquement les mêmes. C'était aussi la méthode suivie par les anciens ingénieurs, lesquels établissaient leurs ouvrages sur des plans tangents au terrain, qu'ils appelaient *plans de site artificiels*, faisant d'ailleurs varier la position des horizontales de ces plans, l'inclinaison des charnières, etc., tout comme on le fait en employant les plans tangents à la surface relevée. La seule différence des deux méthodes consiste en ce que, dans la leur, le relief au-dessus du plan de site était constant et égal au relief moyen, alors que, dans la nôtre, on peut le réduire à la hauteur minimum; nous obtenons ainsi une plus grande latitude pour la position des crêtes. Il est à remarquer qu'il ne peut guère en résulter d'inconvénient, parce que les points dangereux, mamelons ou sommets, sur lesquels les plans tangents s'appuient, ont rarement une grande étendue à leur plus grande élévation, et presque jamais une continuité telle que tous les points de la surface se trouveraient à une égale profondeur sous le plan tangent, en sorte que la différence de niveau s'accroît rapidement à mesure qu'on se rapproche des ouvrages en s'éloignant des points de tangence, ou qu'on se meut latéralement en se tenant à la même distance des ouvrages. Il suffira donc d'éloigner le prolongement des lignes principales dont la fortification est composée de la position des points culminants, pour amortir les effets les plus préjudiciables que le manque d'un relief égal au-dessus du plan de site pourrait produire, et cette considération vous prouve encore combien il est urgent de consulter le défilement dans la disposition à donner aux lignes du tracé.

Il nous reste encore une considération générale à examiner, c'est

celle de l'étendue du terrain dangereux. Quelques ingénieurs ont limité cette zone à 600 mètres de la crête des ouvrages les plus avancés, distance égale à la portée du but en blanc des plus fortes pièces de siége; mais il suffit de faire observer que l'artillerie bat fort bien en brèche à 700 et 800 mètres, pour faire sentir combien cette stipulation est insuffisante. Aussi d'autres ingénieurs plus récents ont reculé la limite à 1,000, à 1,200 et même à 1,500, à 1,800 et jusqu'à 2,500 mètres contre l'artillerie rayée. Il n'y a sans doute aucun inconvénient militaire à la reculer indéfiniment, mais comme la dépense est un objet qu'il ne faut pas perdre de vue, on peut demander s'il est indispensable de la porter aussi loin, et sous ce point de vue nous croyons qu'une distance de 1,200 mètres est bien suffisante pour rassurer contre l'effet de toute batterie agissant de plein fouet, la chance de toucher un objet déterminé de peu de surface devenant extrêmement petite à un pareil éloignement, qui ne permet aucunement de corriger le tir d'après l'effet des premiers coups, puisqu'on aura peine à distinguer le but, même avec une bonne lunette. Cela n'empêche pas qu'une batterie placée à 1,500 mètres, et prenant un front d'enfilade et de revers, ne puisse devenir très-incommode, comme celle des Prussiens au delà de l'Elbe, au siége de Wittemberg, en 1814; aujourd'hui l'artillerie rayée le serait bien davantage même à 2,000 ou 3,000 mètres; mais ces feux rentrent tout à fait dans la catégorie des feux verticaux, contre lesquels aucun parapet ne peut couvrir. Nous nous arrêterons par cela même à la limite de 1,200 mètres, pour les cas ordinaires, sauf à l'augmenter, si le but était très-étendu, d'autant qu'elle sera parfaitement suffisante pour la zone du terrain à battre par le feu des remparts, les travaux d'approche au delà de cette distance n'étant pas dangereux, et la chance de les toucher si faible, que diriger des feux contre eux serait brûler de la poudre à plaisir, à moins de tirer sur des objets d'une grande surface, comme le campement d'une division ou d'une armée entière. Ce ne sera que pour des feux de revers et dans des cas exceptionnels, comme lorsque les plans de défilement vont ficher dans une plaine dont on est séparé par un cours d'eau, et que la rivière, empêchant les retours offensifs, permet à l'assiégeant d'avancer ses batteries jusque sur le bord, ou dans des terrains très-accidentés, quand la différence de niveau sur une petite longueur peut s'élever à plusieurs décamètres, qu'il sera utile d'avoir égard à la forme du terrain à plus grande distance ; encore un rideau de verdure, une plantation d'arbres, ou tout autre obstacle pareil, qui intercepte la vue

seulement, suffira-t-il pour amortir l'effet des feux, et c'est aussi à de pareils moyens qu'on pourra avoir recours, si la position des crêtes est commandée d'ailleurs par des motifs plus importants, et qu'on a quelque raison de craindre des revers des terrains au delà de la limite que nous avons fixée. S'il s'agissait, non de l'enceinte principale mais d'un ouvrage extérieur ou d'un dehors, on pourrait sans beaucoup d'inconvénients réduire cette limite à 800 ou 1,000 mètres. On l'adopterait chaque fois qu'il devrait en résulter de grandes facilités pour le défilement. Mais on doit tenir compte, d'autre part, des effets de l'artillerie rayée et bien peser le pour et le contre dans les divers cas d'application.

Quant aux limites latérales, elles varient pour chaque point, leur direction étant déterminée par la position des objets couvrants. Il peut se trouver que l'intérieur d'un ouvrage doive être défilé circulairement, ainsi qu'il arriverait pour un bastion placé sur le point culminant de l'espace à fortifier ou pour un ouvrage isolé; mais dans toute autre occasion, on doit remarquer que si les reliefs des ouvrages collatéraux sont assez élevés, ils intercepteront une partie des coups dirigés de la campagne contre l'ouvrage à défiler, et il suffit de déterminer précisément les directions extrêmes suivant lesquelles des coups sont à craindre; c'est du terrain limité par ces directions et par l'arc qu'elles comprennent qu'on doit seulement chercher à se défiler. Dans la leçon suivante nous verrons les méthodes qu'on emploie pour les reconnaître avec exactitude.

3me LEÇON.

DÉFILEMENT DU TERRE-PLEIN.

SOMMAIRE.

Moyen de déterminer les limites latérales du terrain dangereux, par tâtonnement, rigoureusement. — Choix du plan de défilement, lorsque la position des crêtes est fixée : 1° la hauteur étant comprise entre les prolongements des faces; 2° le prolongement des faces fichant dans le terrain; 3° le point dangereux étant en arrière

du prolongement des faces ; 4° les deux faces étant vues à dos. — Défilement d'un tracé donné avec relief variable : premier cas, le plan étant assujetti à passer par deux points ; deuxième cas, la position du plan de défilement n'étant donnée que par un point ; troisième cas, les limites du relief bornant seules la position du plan. — Considérations générales sur le choix de ce plan.

Il n'est pas toujours facile de déterminer exactement la direction extrême des coups qu'on a à craindre, parce qu'il arrive souvent que la hauteur du saillant de l'ouvrage qu'on défile n'est pas connue d'avance et même qu'on n'a pas d'une manière bien fixe la projection de sa crête intérieure. On se contente alors d'un à-peu-près. On détermine approximativement la position du saillant de la crête intérieure, par la projection de ce point et par celle du point couvrant qui appartient aux ouvrages voisins, aux traverses ou même aux bâtiments de la ville, et qui est le plus saillant vers la campagne ; on trace une direction qu'on peut regarder comme la projection d'une droite qui, passant par le point couvrant, s'appuie sur le terrain supposé relevé de la quantité nécessaire pour le défilement. On cote cette droite à ses deux points connus, et on la divise de mètre en mètre, en la prolongeant jusqu'au saillant de l'ouvrage à défiler. Si la cote à ce point est telle qu'il n'y ait nul doute que l'ouvrage reste au-dessous de la droite, la direction qu'on a tracée est bien la limite cherchée. Si, au contraire, la droite passait évidemment au-dessous de l'ouvrage, le point qu'on aurait regardé comme couvrant ne couvrirait pas réellement, et il faudrait en chercher un autre plus en arrière, qui fût plus élevé, ou qui fût tel du moins que la ligne qui s'y appuierait en touchant le terrain relevé passât au-dessus du saillant de l'ouvrage. Il vaut mieux, dans le doute, comprendre trop de terrain dans la limite que d'en comprendre trop peu. Voilà aussi pourquoi on considère les vues de revers quant au saillant, quoi qu'il arrive souvent, lorsque l'objet couvrant est rapproché et les points dangereux du terrain éloignés, qu'une petite partie de l'ouvrage seulement ait des revers à craindre, et encore dans le voisinage du saillant, où le rapprochement des faces rend les revers peu redoutables ; mais en choisissant le point le plus exposé pour fixer les limites des revers, on acquiert une garantie assurée pour tout le reste de l'ouvrage.

L'opération que nous venons d'indiquer se fait souvent par tâtonnement ; mais il est possible d'agir plus rigoureusement, en faisant passer par le saillant présumé de la crête de l'ouvrage et par la partie supérieure de l'objet couvrant un plan, ou, plus généralement, un cône dont

on cherche l'intersection avec une surface parallèle au terrain et élevée au-dessus de lui d'une quantité égale au relief moyen de l'ouvrage. Tous les points qui sont compris entre cette intersection et l'obstacle, et qui se trouvent par conséquent au-dessous du cône dont nous venons de parler, ne peuvent diriger vers l'ouvrage que des coups interceptés, et la dernière direction des coups dangereux est la ligne extrême menée vers cette intersection, dans la partie comprise entre l'obstacle et l'arc décrit à 1,200, 1,800 ou 2,500 mètres. Mais, dans le cas où l'on se serait donné la peine de construire l'intersection, comme il vient d'être dit, il serait inutile de tracer la direction extrême des coups dangereux, car l'intersection elle-même servirait de limite très-précise à l'espace où l'on doit craindre les vues de l'ennemi ; il n'y aurait plus d'intersection là où le terrain relevé ne rencontrerait plus les génératrices du cône.

Il est indispensable d'employer le moyen rigoureux dont nous venons de parler, lorsque l'objet couvrant ne masque qu'une partie des coups de la campagne, soit parce que le terrain se relève de manière à voir par-dessus, soit, au contraire, parce que la masse couvrante s'abaisse ou s'éloigne. Quelquefois aussi, bien qu'on ait la certitude que la masse couvrante est assez élevée pour qu'aucun coup tiré par-dessus son sommet ne puisse atteindre l'ouvrage, il arrive que cet obstacle n'est point continu, et qu'après avoir intercepté les coups, suivant un secteur, il leur laisse accès de nouveau. Il faut, dans ce cas, déterminer la limite des coups dangereux en arrière du corps couvrant, ce qui se fait, comme pour la première limite, en joignant l'extrémité de la masse couvrante avec le point de l'ouvrage le plus saillant, par rapport à la nouvelle direction dans laquelle on craint les coups de l'ennemi. Le cas dont nous venons de parler se présente dans les places dominées par des hauteurs qui prennent les ouvrages à dos. (Exemple : demi-lune ou lunette avancée avec réduit, vue obliquement à revers.)

Comme toutes les opérations que nous avons indiquées se font souvent avant la détermination précise du relief du saillant de l'ouvrage à défiler, et même quelquefois avant celle de la crête couvrante, il est bon de vérifier, lorsque le défilement est établi et que le relief est arrêté, si les limites ont été bien choisies en effet, et si on n'a pas négligé quelque point dangereux que l'on aurait primitivement considéré comme masqué.

On doit remarquer encore que, pour certains ouvrages, ce ne sont pas seulement les points du terrain qui sont à craindre, mais aussi les

crêtes d'autres ouvrages plus avancés ; ainsi, par exemple, les chemins couverts de la place doivent être défilés des lunettes avancées, les demi-lunes doivent l'être des ouvrages extérieurs, etc., et l'on devra comprendre entre les limites du terrain dangereux les pièces avancées, où l'ennemi peut s'établir avant d'arriver à l'ouvrage qu'on défile. On observera seulement que la moindre hauteur à laquelle le plan de défilement doit passer au-dessus de ces pièces avancées n'est pas la même que pour les points dangereux de la campagne et que, dans certains cas, elle peut être réduite à 1 mètre ou même à 60 centimètres, égale au commandement que ces ouvrages prennent l'un sur l'autre en terrain horizontal.

Examinons maintenant les divers cas que le défilement peut présenter, en commençant par le plus simple.

Nous supposerons donc d'abord que nous avons à défiler un ouvrage dont le tracé est définitivement arrêté, dont le relief même est fixé, dans lequel on ne puisse, enfin, faire varier aucunement les crêtes intérieures. Pour simplifier la question, nous supposerons encore que l'ouvrage est composé de deux faces, qui se réunissent en formant un angle. Dans le cas où un ouvrage aurait un plus grand nombre de faces, on les considérerait deux à deux, ce qui ramènerait la question à celle que nous venons de poser.

Concevons, par les crêtes des deux faces, un plan prolongé sur tout le terrain dont on doit se défiler, et que nous nommerons simplement *terrain extérieur ;* construisons l'échelle de pente de ce plan, et supposons, en outre, le terrain extérieur relevé de la quantité dont le plan de défilement doit passer au-dessus de lui, ce qui se fera en augmentant la cote de chaque courbe de cette même quantité. Il pourra arriver de deux chose l'une : ou que le plan des crêtes passe par-dessus la surface relevée, sans la couper en aucun point, ou qu'il la rencontre et en laisse une partie au-dessus de lui. Dans le premier cas, l'ouvrage sera évidemment défilé des coups tirés sur l'objet vu, si l'on tient son terre-plein parallèle aux crêtes et à $2^{m},50$ au-dessous ; à plus forte raison l'ouvrage serait-il encore défilé, si, par quelque considération particulière, comme, par exemple, la nécessité de faire écouler les eaux vers un point donné, le terre-plein était formé de plusieurs plans inclinés, inférieurs à celui dont nous venons de parler. Ce cas ne présente, comme on voit, aucune difficulté.

Mais si le plan qui passe par les crêtes rencontre la surface relevée du terrain extérieur, il y aura alors une partie de cette surface d'où les

coups de l'ennemi plongeront dans l'intérieur de l'ouvrage. Si la position des plans des parapets est irrévocablement fixée, il faudra donc chercher à défiler par d'autres plans. Considérons d'abord une des faces de l'ouvrage, et supposons-la indéfiniment prolongée. Il pourra se présenter trois circonstances différentes : ou que la partie du terrain relevé qui domine le plan des crêtes se trouve entièrement en avant de la face prolongée, ou que la face aille ficher dans cette portion de terrain ; ou, enfin, qu'elle la laisse tout à fait en arrière. Dans le premier cas (*pl. I, fig. 12*), on fera passer par la crête de la face un plan tangent à la portion du terrain qui s'élève au-dessus du plan des crêtes, et pour que ce plan tangent soit bien le plan de défilement, il faudra qu'il laisse au-dessous de lui tous les points de la surface relevée compris dans les limites dont on doit se défiler.

Nous avons vu, dans une leçon précédente, comment on déterminait un pareil plan, quelle que soit la position de la droite par rapport au terrain coupé ; le plan du terre-plein devra être parallèle au plan de défilement ainsi fixé. Supposons maintenant que la seconde face présente la même particularité que la première, par rapport à la portion de surface qui domine les crêtes, c'est-à-dire que cette portion se trouve entièrement comprise dans l'angle formé par le prolongement des deux faces : on fera de même passer par la seconde face un plan tangent à la surface dominante, et l'on aura un nouveau plan de défilement. Les terre-pleins des deux faces formeront alors entre eux une gouttière, partant du saillant, et il est évident qu'on sera ainsi couvert dans tout l'intérieur de l'ouvrage ; car tant qu'on se tiendra sur le terre-plein de la première face on sera couvert par le parapet de cette face, et lorsqu'on passera sur le second plan, la première face cessera de couvrir, mais ce sera la seconde qui deviendra couvrante à son tour.

Il est à remarquer que lorsque l'inclinaison des deux plans de défilement est très-grande, et qu'il en résulte un déblai trop considérable dans l'intérieur de l'ouvrage, on peut se dispenser de prolonger les deux plans du terre-plein jusqu'à leur commune intersection. Si l'on joint, en effet, les deux points de tangence des plans de défilement avec le saillant de l'ouvrage, on observera que les parties du terre-plein comprises entre chacune des droites de jonction et la face voisine ne peuvent être relevées, parce que les points de tangence verraient tout ce qui se trouverait au-dessus de ces terre-pleins. Mais il n'en est pas de même de la partie angulaire comprise entre les droites

qui vont aux points de tangence; elle ne peut être vue par-dessus le saillant que de la portion de surface comprise entre les points de tangence, laquelle est inférieure aux plans de défilement. Si donc, par le saillant (*pl. I*, *fig.* 12), on conçoit un cône tangent à cette surface, et qu'on le prolonge dans l'intérieur de l'ouvrage, on aura une surface conique, qui se raccordera avec les deux plans voisins et parallélement à laquelle on pourra tenir le terre-plein. On pourrait aussi substituer à cette surface un ou plusieurs plans qui lui fussent tangents.

Le défilement que nous venons d'indiquer s'appelle assez généralement *défilement par le terre-plein*, parce que dans ce cas c'est sur le terre-plein seul qu'on opère. Comme les plans de défilement forment gouttière et ne se recouvrent pas réciproquement, il peut rarement être appliqué avec succès à des ouvrages pleins et à ceux dont la capitale est fort longue, parce que l'intérieur doit rester constamment à $2^{m},50$, au moins, au-dessous des plans de défilement. Il deviendrait, par exemple, très-difficile de défiler ainsi une grande demi-lune, car sa gorge devrait baisser sensiblement pour rester couverte, et sa communication pourrait être compromise; bien moins encore obtiendrait-on des résultats satisfaisants si la demi-lune contenait un réduit, puisque le revêtement de celui-ci se découvrirait aux feux de la campagne, à mesure qu'il se rapprocherait de la gorge. Appliqué à l'enceinte, enfin, ce genre de défilement en découvrira l'intérieur aux vues du dehors, à moins que la ville elle-même ne se trouve sur une déclivité aussi ou plus inclinée que l'intersection des plans, et par cela même, il sera rarement d'usage pour un ouvrage fermé, d'une petite étendue.

Si la face qu'on a d'abord considérée va ficher dans la partie de surface qui domine le plan des crêtes, le défilement deviendra impossible, car la ligne de feu, qui doit servir de charnière, n'étant pas supérieure ou tangente au terrain, ne peut être comprise dans un plan tangent, et il faudra changer les données de la question en relevant la position du saillant, soit par l'exhaussement des crêtes, soit par une bonnette qui intercepte les coups d'enfilade. Ce dernier parti est néanmoins entaché de plusieurs inconvénients que nous ne tarderons pas à développer, et qui font qu'on évite autant que possible de l'employer. Ce que nous venons de dire d'une des faces doit pareillement s'entendre de l'autre.

Passons au troisième cas (*pl. I, fig.* 14), celui où l'une des faces

prolongée laisserait derrière elle la partie de la surface d'où les vues sont à craindre. Il n'y a plus alors, dans les données de la question, de ligne qui soit capable de couvrir le terre-plein, puisque le plan qui passerait par la crête de la branche que l'on considère, et qui serait en même temps tangent au terrain relevé, laisserait au-dessous de lui la seconde crête de l'ouvrage. Mais on voit aussi que si l'on élève jusqu'à ce plan tangent et entre les deux crêtes une traverse assez prolongée pour comprendre les directions de tous les coups de la hauteur qui peuvent prendre la face à revers, on aura résolu le problème. La position de cette traverse reste indéterminée, si l'on ne doit satisfaire qu'aux conditions du défilement et si l'on n'agit que sur une des deux faces de l'ouvrage, ou qu'une des deux faces seulement craigne des vues de revers; mais si l'on voulait qu'elle s'élevât le moins possible, elle devrait nécessairement passer par le saillant pour intercepter tous les coups. Cependant, comme une traverse en ce point gêne beaucoup la défense et occupe la place de la barbette qu'on y construit d'ordinaire, comme à l'emplacement d'où l'on découvre le mieux la campagne, et prend les revers les plus étendus, il vaut mieux, généralement, la reculer sur la seconde face, en augmentant son relief. Elle doit alors, pour remplir complétement son objet, être prolongée par-dessus le parapet jusqu'à la ligne qui, passant par le saillant des crêtes intérieures, se dirige vers le point extrême d'où l'on peut avoir des coups à craindre; et lorsque cette condition ne permet pas d'éloigner assez la traverse, on brise le saillant par un pan coupé, pour le reporter plus en arrière, ou bien on laisse une petite partie de la crête en prise aux coups de revers de l'ennemi, ce qui n'est guère plus dangereux que pour les saillants qui sont défilés; car ce sera beaucoup si la plongée des coups de l'ennemi peut atteindre à un décimètre au-dessous du plan des crêtes.

Lorsque la seconde face est, comme la première, exposée à des vues de revers, c'est-à-dire quand il se trouve des points dominants des deux côtés de l'angle formé par le prolongement des faces, on agit sur la seconde branche comme sur la première, et il en résulte un nouveau plan de revers, jusqu'auquel il doit aussi s'élever une traverse. On conçoit qu'en général il suffira d'une seule traverse pour les deux faces, et la manière la plus avantageuse de la placer, pour lui donner le moins de relief possible, sera de la mettre à l'intersection des deux plans. S'il convenait de la placer ailleurs, il faudrait l'élever jusqu'à la rencontre de celui des deux plans de revers qui est le plus haut. Lors-

qu'on est obligé de diriger la traverse vers le saillant, il est toujours bon d'en briser l'extrémité, pour la reporter sur une des faces. Quelquefois, pour éviter les trop grands remblais, et lorsque les branches auront beaucoup d'étendue, au lieu d'une traverse on en placera trois, savoir, une brisée vers le saillant, qui servira pour une partie des deux faces et qui rencontre, par conséquent, les deux plans de revers, et une autre derrière chaque face, en forme de parados, qui rencontre seulement le plan de revers de la face qu'elle sert à défiler. Quelquefois encore on tracera un beaucoup plus grand nombre de traverses, lorsqu'on ne pourra pas les prolonger assez pour qu'une seule serve de parados à une face tout entière, comme il arrive souvent dans les chemins couverts, dans les contre-gardes, sur les courtines et, en général, dans les ouvrages fort étroits. Dans tous les cas, les longueurs de ces traverses doivent être combinées de manière que, pour chaque face, les coups qui cesseraient d'être interceptés par la traverse la plus avancée le soient par le parados suivant (*pl. I, fig. 14*), c'est-à-dire que l'extrémité couvrante de la traverse, le commencement du parados et le point extrême le plus en arrière des points dominants, doivent se trouver sur une ligne droite, ou même former un angle obtus, dont l'ouverture soit tournée vers le saillant.

Il est bien entendu, dans le cas dont nous venons de nous occuper, que non-seulement les faces doivent être défilées des points dominants en arrière de chacune d'elles, mais encore des points qui sont en avant; ce second défilement ne présente plus aucune difficulté et se fait par les terre-pleins, comme nous l'avons dit plus haut.

Si, outre les vues directes et les vues de revers, on avait encore à se couvrir de l'enfilade, on serait forcé de placer la traverse au saillant et de l'avancer jusqu'à sa rencontre avec le talus extérieur, en la relevant d'une quantité suffisante, ou bien de construire une bonnette. Les coups d'enfilade une fois interceptés, la question rentrerait dans les précédentes.

Enfin, un dernier cas se présente parfois, qui se combine avec les précédents, et qui est le plus désavantageux de tous : c'est celui où les deux faces sont vues à la fois de revers par une même partie du terrain, c'est-à-dire où l'ouvrage est vu par la gorge. Il est évident qu'il n'y a point alors d'autre parti à prendre que de fermer entièrement la gorge par un parados, dont le sommet se trouve dans ou au-dessus d'un plan mené par le saillant et les deux points les plus dangereux du terrain convenablement relevé. Si cependant il y avait déjà quelque obstacle

en arrière, qui couvrît une partie des faces, il faudrait, dans ce cas, après avoir déterminé les limites de la partie couvrante, pousser le sommet de la traverse de la gorge jusqu'à la direction des derniers coups dangereux.

Passons maintenant au défilement dans une circonstance qui se rencontre très-fréquemment : celle où le tracé de la ligne de feu est à peu près déterminé, mais où le relief ne l'est point entièrement. Nous supposons que le tracé ne soit pas tout à fait arrêté, parce que les opérations du défilement ne changent pas lorsqu'on ne fait que peu varier la position des lignes de feu, et que, dans bien des cas, le tracé de la magistrale peut être connu, sans que pour cela la position de la crête intérieure soit déterminée.

Le cas que nous venons d'énoncer se subdivise lui-même en trois autres : 1° le relief peut être en partie connu au moyen de deux points, soit de l'ouvrage même, soit de quelque autre ouvrage collatéral, ou en arrière, par lequel doit passer le plan de défilement. Cette première circonstance se présente lorsque quelque partie du relief de l'ouvrage à défiler est déjà arrêtée, lorsqu'on a en arrière quelque poterne ou quelque maçonnerie à couvrir, lorsque le plan est assujetti à passer à une hauteur donnée au-dessus du saillant de deux ouvrages collatéraux ou avancés, ou bien lorsqu'il doit passer au-dessous d'ouvrages en arrière; 2° le plan de défilement peut n'être assujetti qu'à passer par un point; 3° il peut enfin n'être soumis à d'autre condition que de donner pour l'ouvrage un relief compris entre certaines limites. Examinons successivement ces trois cas.

Dans le premier, deux points du plan étant connus, on voit que le plan n'a plus qu'une seule condition à remplir pour être complétement déterminé, et celle à laquelle on le soumettra, pour satisfaire au défilement, sera de le faire passer au-dessus de tout le terrain relevé compris entre les limites au delà desquelles les coups ne sont plus à craindre. Le problème du défilement sera résolu de cette manière, si l'ouvrage est couvert d'ailleurs à la gorge. Sa position limite sera donc celle tangente au terrain relevé. Mais il ne sera pas toujours possible de faire passer par la droite qui unit les deux points donnés un plan qui laisse au-dessous de lui tout le terrain relevé. Cela arrivera, par exemple, lorsque la droite, et par conséquent l'ouvrage lui-même, seront entourés de points dangereux trop élevés, et encore, par un autre motif, quand le plan de défilement deviendrait trop roide, par la position des points dangereux, rapprochée des prolongements de la droite. Alors le relief

au saillant serait trop considérable, ou il deviendrait trop faible vers les épaules. Le premier cas se subdivise lui-même en plusieurs autres que nous allons parcourir.

La droite qui passe par les deux points donnés peut couper ou ne pas couper le terrain relevé en dehors de la fortification dans les limites tracées pour le défilement. Supposons d'abord qu'elle ne le coupe pas, et négligeons les vues de revers par la gorge, qui ne peuvent, dans aucun cas, être interceptées que par des traverses ou des parados quelconques. On concevra le terrain situé en avant de l'ouvrage, divisé en trois parties : une première comprise dans l'angle formé par le prolongement des faces que l'on considère, et les deux autres de chaque côté de cet angle. Dans la supposition que nous venons de faire, il doit nécessairement arriver que le plan tangent à la partie de la hauteur qui est en dedans de l'angle coupe les hauteurs latérales, et réciproquement, que le plan tangent à la fois aux hauteurs latérales coupe la hauteur de face, car sans cela le problème serait directement soluble. Or, en ne s'occupant pas de la hauteur comprise dans l'angle, on prendra pour plan de défilement celui qui passe par-dessus les hauteurs latérales, s'il est possible d'en mener un, et ce plan déterminera les crêtes intérieures de l'ouvrage. Cela fait, on défilera chaque face par son terre-plein, de la hauteur comprise dans l'angle ; et de cette façon l'ouvrage entier, ou du moins les deux branches qu'on a considérées se trouvent défilées sans traverses. On observera seulement que, pour que cette solution soit possible, il ne faut pas que les faces soient enfilées, sans quoi il deviendrait nécessaire de construire une bonnette au saillant, ou de diviser l'ouvrage en deux par une traverse, pour défiler ensuite séparément chaque partie des hauteurs qui lui font face.

Si la droite donnée coupait le terrain latéral relevé, ou qu'on ne pût faire passer par elle aucun plan laissant à la fois au-dessous de lui tous les points de ce terrain, il n'y aurait pas moyen de défiler sans traverses, et il deviendrait inutile alors d'assujettir les crêtes à se trouver dans un même plan. On emploierait un plan de défilement particulier pour chaque face, et chacun de ces deux plans ne devrait plus passer que par un seul des points donnés, cas que nous allons examiner tout à l'heure. Nous devons auparavant achever ce qui est relatif aux plans de défilement passant par deux points donnés.

Les solutions que nous venons d'indiquer peuvent n'être point admissibles, ainsi que nous l'avons dit, à cause de la roideur des plans de défilement, qui donneraient ou des reliefs peu convenables ou des terre-

pleins impraticables. Si la trop grande roideur du plan de défilement dépend de la hauteur comprise dans l'angle des faces et non des hauteurs latérales, on le défilera d'abord uniquement de ces dernières, ce qui diminuera le relief du saillant, et l'on fera ensuite le défilement de chaque face par son terre-plein ; mais ce moyen ne remédiant qu'à l'imperfection du relief, on corrigera ensuite la roideur des terre-pleins en ne les tenant pas parallèles aux plans de défilement, mais en les abaissant vers la crête, ce qui, par rapport à la défense par la mousqueterie, n'aura d'autre inconvénient que d'allonger ou de roïdir le talus des banquettes. Malheureusement il n'en est pas de même pour le service de l'artillerie, qui exige d'autres modifications, si l'on veut qu'il ait lieu avec la même sécurité derrière les parapets défilés qu'en terrain horizontal. Nous nous réservons d'examiner plus en détail ces modifications dans une autre leçon.

Si la roideur du plan dépend des hauteurs latérales, on ne peut se passer de traverses, et l'on agit comme dans le cas où le plan de défilement coupe une de ces hauteurs.

Passons maintenant au cas où le plan de défilement est donné par un seul point, soit de l'ouvrage même à défiler, soit de quelque autre ouvrage. Les opérations ne diffèrent alors de celles qui précèdent que par la plus grande latitude dont on jouit pour la détermination du plan de défilement. Ce plan peut en effet toucher en deux points différents le terrain relevé, ce qui permet souvent de le tenir beaucoup plus bas que lorsque deux de ses points sont donnés, et en outre, comme rien n'oblige, dans le plus grand nombre de cas, à le faire toucher ainsi le terrain en deux points, il pourra prendre autour du point donné une infinité de positions, parmi lesquelles on choisira la meilleure, suivant les conditions de la question.

Les diverses particularités que nous avons examinées déjà peuvent se présenter dans le cas où l'on n'a qu'un point du plan ; mais, en général, les problèmes qui en résultent sont un peu plus faciles à résoudre, à cause de la plus grande liberté dont on jouit alors pour la position des plans de défilement.

On essayera d'abord de défiler par un seul plan, c'est-à-dire de faire passer par le point donné un plan qui laisse au-dessous de lui toute la surface relevée du terrain dans les limites des points à craindre. Il arrive quelquefois qu'une foule de plans peuvent satisfaire à cette condition, et ils sont alors limités par les plans qui touchent le terrain en deux points sans le couper nulle part.

Ces plans s'obtiennent par une des méthodes que nous avons exposées. Ainsi, après avoir déterminé le conoïde tangent à la surface relevée et en avoir fait la section par un plan horizontal, on cherchera parmi les droites tangentes à la courbe d'intersection celle qui donne le moindre relief, ou la direction la plus convenable aux horizontales du plan de défilement, en les plaçant parallélement aux courbes du sol; ou bien on prendra deux plans, tous deux tangents en deux points et formant arête au-dessus de l'ouvrage, tandis que, dans d'autres occasions, l'un ou l'autre ou tous les deux ne seront tangents qu'en un point ou même ne seront aucunement tangents, mais détermineront des plans supérieurs à la surface relevée. On ne choisira que ceux qui répondent le mieux à l'objet qu'on a en vue; en général, lorsque le terrain laissera beaucoup d'indétermination pour le choix du plan de défilement, on ne manquera pas de conditions ultérieures pour fixer ce plan : on en trouvera même ordinairement plus qu'on n'en pourra remplir, mais alors on négligera les moins importantes.

Si l'on ne peut laisser au-dessous d'un seul plan tout le terrain relevé, ni employer deux plans formant arête, on vérifiera si la hauteur dominante ne se trouve pas dans l'angle des faces prolongées; on défilerait en ce cas par le terre-plein, comme nous l'avons dit plus haut. Si l'on ne peut user de cette ressource, on aura recours aux traverses, en évitant d'en placer aucune dans l'angle saillant; dès lors on défilera chaque partie de l'ouvrage du terrain en avant, sans s'inquiéter des vues de revers, qui seront interceptées par les traverses.

Nous n'insisterons pas davantage sur les particularités que présente le défilement lorsque l'un des points du plan est donné, parce que tout ce que nous pourrions ajouter appartiendrait aussi bien au cas que nous allons examiner maintenant, où le tracé seulement d'un ouvrage est donné, sans qu'aucun point de son relief ou de son plan de défilement soit connu. Ce dernier cas est le plus fréquent, parce qu'il n'arrive pas ordinairement qu'on se soit donné sur les crêtes intérieures des points tellement fixes qu'on ne puisse les faire varier entre certaines limites.

Si l'ouvrage a des vues à craindre dans plus de deux directions différentes, on essayera de faire passer un seul plan par-dessus tout le terrain relevé compris dans la limite des coups dangereux, comme nous l'avons dit dans la dernière leçon; mais il donnera souvent des reliefs tout à fait inadmissibles, et alors il faudra y renoncer.

Si les vues de l'ennemi n'étaient à craindre que dans deux directions, on pourrait appuyer un plan sur les deux sommités dangereuses, et le faire ainsi monter et descendre, en tournant sur une surface développable, tangente au terrain relevé, jusqu'à ce qu'il donnât pour l'ouvrage un relief convenable. On pourrait encore, dans ce cas, fixer le relief d'un des points de l'ouvrage, ce qui achèverait de déterminer le plan.

Il arrive aussi quelquefois, bien qu'il n'y ait que deux hauteurs dont on craigne les vues, qu'aucun des plans qui les touchent toutes deux ne donne des reliefs convenables, ou des horizontales bien dirigées. On essayera alors de prendre pour charnière de la position des plans une des droites, qui, passant par un des points dangereux, laissent sous elles toute la surface du terrain relevé, ou bien on unira un point de l'ouvrage, auquel on donnera une cote convenable, avec un des points de tangence extérieurs, et ce sera autour de ces droites qu'on cherchera la position d'un plan de défilement satisfaisant aux diverses exigences, méthode identique à celle que nous avons suivie quand un des points de l'ouvrage était donné ; seulement on aura ici plus de latitude, parce qu'on pourra faire varier entre certaines limites la position de la droite, si la première ne donnait pas des résultats satisfaisants. On l'appliquerait également s'il n'y avait qu'un point dangereux dans les limites du terrain extérieur, mais alors l'emploi de deux plans formant arête au-dessus de l'ouvrage, en se coupant, suivant la droite prise pour charnière, donnera d'ordinaire des résultats plus avantageux, en ce qu'on sera maître de rapprocher la direction des horizontales de la position la plus convenable au terrain sur lequel on s'établit.

Il est à observer néanmoins que lorsqu'on veut faire varier la position de la droite qui relie le point extérieur au point intérieur, le point de tangence aussi ne reste pas identiquement le même ; mais il faudrait des ondulations à courbures bien fortement prononcées, pour que ce déplacement pût exercer quelque influence sur l'inclinaison du plan de défilement. En tout cas, si l'on veut opérer rigoureusement, il suffira de fixer la cote de deux points de l'ouvrage, convenablement situés, dans le plan de défilement tangent au point primitivement considéré comme le plus dangereux, puis de faire mouvoir autour de cette droite un plan, jusqu'à ce qu'il devienne tangent à la surface du terrain extérieur relevée. On déterminera alors la cote des autres points dans ce nouveau plan, qui différera ordinairement très-peu du premier, pas assez du moins pour altérer les propriétés données aux différentes lignes du tracé.

Quelquefois, enfin, soit qu'on ait à craindre les coups de l'ennemi dans deux directions ou dans une seulement, il peut être avantageux, pour le relief, de faire passer le plan de défilement beaucoup au-dessus du terrain. Ce cas se présente évidemment, d'abord, quand l'ouvrage à défiler est sur une élévation et que les points dangereux sont dans la plaine au-dessous; il peut encore avoir lieu lorsque, l'ouvrage étant situé sur un plan incliné, ce plan prolongé passe au-dessus des points les plus dominants de la campagne. En général, les plans tangents à la surface relevée du terrain ne peuvent être considérés que comme des limites au-dessous desquelles le plan de défilement ne peut descendre, mais au-dessus desquelles il peut s'élever autant qu'on voudra, tant qu'il s'agit seulement de la protection que les remparts donnent à l'enceinte renfermée; car, sous ce rapport, on regarde le relief des ouvrages comme d'autant meilleur, que le plan des crêtes et surtout le prolongement des faces s'élèvent plus au-dessus de la campagne, parce que, indépendamment d'autres avantages, le défilement est alors mieux assuré. C'est par cette raison que, même en terrain horizontal, on donne toujours une pente de deux à trois décimètres de l'angle flanqué à l'angle d'épaule, et de l'angle d'épaule à l'angle de courtine; et la considération géométrique que, prolongées à l'infini, deux parallèles viennent toujours à se rencontrer, fournit un motif suffisant à cet usage.

Lorsqu'on ne pourra faire passer par-dessus tout le terrain un plan qui donne un relief convenable, on essayera du moins de défiler par le terre-plein, en négligeant la hauteur comprise dans l'angle des faces prolongées. Si ce moyen est insuffisant, on aura recours aux traverses, pour diviser l'ouvrage en parties, dont chacune se défile dès lors avec plus de facilité. Cependant ce remède n'est lui-même pas toujours praticable, et il est d'ailleurs entaché d'inconvénients graves, comme nous le verrons dans la leçon suivante.

4me LEÇON.

SUITE DU DÉFILEMENT DU TERRE-PLEIN ET DÉFILEMENT DES MAÇONNERIES.

SOMMAIRE.

Emplacement et hauteur des traverses contre l'enfilade et les revers ; traverses en glacis de contrescarpe. — Défilement des maçonneries, limites directes et latérales du terrain dangereux ; choix du plan : premier cas, la hauteur de la maçonnerie étant donnée et la crête couvrante indéterminée ; deuxième cas, la crête de l'ouvrage couvrant étant donnée et la hauteur du sommet de la maçonnerie indéterminée ; troisième cas, les positions des deux lignes étant également variables. — Rapports entre la position de la crête du parapet et celle de la crête du revêtement.

Lorsque les hauteurs dont on cherche à se défiler sont situées en arrière du prolongement des faces, et qu'on ne peut pas placer les crêtes dans un même plan dont les horizontales passent au-dessus de ces hauteurs de la quantité nécessaire, nous avons dit que l'emploi de traverses était inévitable, afin d'intercepter les coups de revers. Les traverses ont la propriété de permettre la réduction du relief des ouvrages et elles couvrent mieux que les crêtes mêmes. Leur application n'est pourtant pas sans influence sur les propriétés défensives des ouvrages, et même il n'est pas toujours possible de leur trouver un emplacement convenable ; alors le problème devient insoluble avec les conditions posées, et il faut en changer quelques-unes, soit du tracé, soit du relief, pour atteindre au but proposé.

Sur les lignes de l'enceinte, les traverses ont le moins d'inconvénients; cependant elles y absorbent une partie de la ligne de feu et elles entravent les communications; dans les dehors, à ces désavantages elles joignent celui de rendre plus difficile et plus incomplète l'action mutuelle des ouvrages, leur défense intérieure par les feux du corps de place, et les retours offensifs ; elles fournissent des abris à l'ennemi ; enfin elles nuisent à la surveillance que les officiers doivent exercer sur leurs soldats, et détruisent la simplicité des formes, qui rend l'idée de l'effet à produire par chaque ouvrage plus compréhensible aux esprits lents

et peu développés, considération plus importante qu'il ne le semblerait au premier abord, et qui le devient toujours plus à mesure que les défenseurs sont moins intelligents et moins aguerris. Sous tous ces rapports, l'emploi des traverses est donc un mal, et s'il est inévitable, au moins faut-il tâcher de l'atténuer, en en construisant aussi peu que possible et en leur donnant la disposition la moins pernicieuse. Ainsi, quant à l'enceinte, on évitera de les appuyer contre le parapet, d'en placer aux saillants et sur les parties destinées plus spécialement au flanquement des fossés ; quant aux dehors, on doit, en outre, avoir soin de ne pas leur donner une direction qui intercepte les feux de l'ouvrage en arrière ; mais il s'en faut de beaucoup qu'on soit toujours le maître de satisfaire à toutes ces exigences, surtout sur les dehors, où le peu de largeur du terre-plein resserre les limites entre lesquelles on peut faire varier leur emplacement. Il serait, par exemple, impossible de ne pas appuyer les traverses contre le parapet lorsque la direction des feux ennemis se rapproche du prolongement des crêtes, et de se garantir, sur une demi-lune ou une contre-garde, des feux de revers par des traverses perpendiculaires à la ligne de feu de l'ouvrage en arrière, pour peu que la position des crêtes des deux ouvrages successifs se rapproche du parallélisme, en même temps que le point dangereux se rapproche de la gorge. Examinons de plus près quelques-uns de ces cas.

Nous disons qu'il faut éviter de placer des traverses dans les angles saillants, pour ne pas obstruer l'emplacement des pièces qui voient le mieux la campagne et prennent les revers les plus efficaces ; mais en les reculant à droite ou à gauche de la capitale, si les coups de revers dont on veut se couvrir approchent beaucoup de l'enfilade, on est pris d'écharpe par-dessus la portion du parapet comprise entre le saillant et la traverse (*pl. I, fig. 14*), quoiqu'on ait pu prolonger cette traverse jusqu'au talus extérieur du parapet. Si la partie vue de l'ennemi ne s'étend qu'à quelques mètres du saillant, ou qu'on puisse la réduire à peu de chose en faisant un pan coupé, on la néglige ordinairement, comme nous l'avons dit dans une leçon précédente ; mais si les vues de l'ennemi peuvent s'étendre sensiblement le long de la face, il faut avoir recours à un expédient pour s'y soustraire. On sacrifie la portion de crête intérieure, comprise entre le saillant et la traverse, la tenant assez élevée pour qu'elle couvre toute la face adjacente ; il en résulte que la banquette parallèle à cette portion de crête est prise elle-même d'enfilade ou de revers ; mais cet inconvénient peut être regardé comme nul ou très-léger, à cause du peu

de longueur de cette banquette, et parce que, d'ailleurs, le terre-plein reste toujours parfaitement couvert.

Lorsque la direction des feux de revers forme un angle assez considérable avec le prolongement de la face vers la campagne, la position de la traverse perpendiculaire à la direction des feux, qui donnerait la moindre longueur à sa crête, absorberait en revanche une partie notable de la ligne de feu et du terre-plein, et formerait un masque contre les feux de l'ouvrage en arrière. On est obligé, en ce cas, de partager la traverse en plusieurs parties, dont chacune intercepte les revers adressés à une fraction de la face, et on brise celle qui s'appuie contre le parapet, afin que l'intersection ait moins de longueur (*Pl. I, fig.* 13); on combine alors les longueurs des traverses, de manière à ce que les coups qui cesseraient d'être interceptés par la première le soient par la seconde, mais on sent que sur des ouvrages étroits ces traverses rapprochées et prolongées, absorbant tout le terre-plein, empêchent le service de l'artillerie et entravent les communications. Si les exigences de la défense nécessitent la construction d'un ouvrage pareil dans un emplacement aussi désavantageux, il sera souvent préférable de sacrifier une partie de la seconde face ou même la face entière, en l'élevant jusqu'au plan dans lequel la crête des traverses doit se trouver placée pour intercepter les feux de revers, sans lui donner une banquette, puisque celle-ci serait nécessairement battue d'enfilade par-dessus le parapet de la face adjacente qu'on ne pouvait exhausser.

Dans le cas où une traverse doit servir pour deux faces adjacentes, on ne pourrait pas l'éloigner du saillant sans exposer une partie de chaque face, et sans être obligé à en employer deux au moins, si les vues de revers se rapprochaient de l'enfilade. Quand, avec cela, la proximité de la gorge empêche de prolonger ces traverses suffisamment, même en les soutenant verticalement en arrière par des murs appuyés sur le revêtement de cette gorge et, par suite, oblige à les multiplier sur tout le terre-plein, les communications et la défense intérieure deviennent d'une extrême difficulté, et le sacrifice d'une des faces semble indispensable pour pouvoir améliorer la défense de l'autre.

Il peut encore arriver qu'on soit obligé d'employer plusieurs traverses successives, parce qu'une seule exigerait un remblai excessif. On pourrait, en ce cas, diviser la largeur du terre-plein en deux parties, l'une haute, destinée à l'artillerie et convenablement traversée;

l'autre assez basse pour être défilée, servant aux communications et liée par de petites rampes aux intervalles des traverses de la partie haute. Si l'on ne veut adopter ce dispositif, on devra s'arranger de manière à ce que chacune des traverses couvre toute la largeur du terre-plein, et dès lors il devient indispensable de les percer de passages de dimensions proportionnées à celles des objets qu'on doit transporter par là; ces passages eux-mêmes doivent être dérobés par un objet couvrant aux vues directes de la campagne, et il faudra, par cela même, que leur débouché, sur chaque plan du terre-plein, se trouve à la profondeur nécessaire au-dessous du plan qui contient la crête de la traverse précédente, pour couvrir les objets les plus volumineux qui doivent circuler sur les remparts, et même, si les passages sont voûtés, les maçonneries par lesquelles ces passages sont recouverts. Cette considération nous amène à examiner le relief que les traverses doivent avoir.

Il se présente ici deux cas : 1° la traverse devant servir simplement à garantir une partie de l'ouvrage des vues d'enfilade et de revers; 2° la traverse étant utilisée en même temps pour la défense successive des diverses parties de l'ouvrage. Dans le premier, rien n'oblige à tenir la crête de la traverse dans le plan de revers déterminé rigoureusement par la position des faces, et il est, au contraire, avantageux, pour mieux couvrir les défenseurs et les machines de guerre, qu'elle s'élève de quelques décimètres au-dessus, comme nous l'avons fait dans la fortification passagère. Alors la traverse couvre encore en flanc et à revers les soldats placés sur la banquette, et on rend cette protection plus efficace en la prolongeant jusqu'à la rencontre du talus extérieur du parapet, quand ce prolongement ne restreint pas trop l'étendue du champ de tir. Si la traverse devait servir en même temps pour deux faces, on déterminerait la position limite par l'intersection de deux plans tangents à la surface relevée du terrain, prenant les charnières à soixante centimètres au-dessus des crêtes à couvrir. Lorsqu'en tenant les traverses au-dessus du plan de revers ou en les élevant jusqu'à ces plans seulement, il en résulte des remblais trop considérables, on cherchera s'il n'est pas possible de diminuer ces remblais sur une partie de la longueur. En effet, tous les points ne sont pas également dangereux, et il arrive souvent qu'on est vu de revers par une sommité à droite et à gauche de laquelle le terrain s'abaisse plus ou moins sensiblement. Si on joint alors les deux extrémités de la face qu'on considère avec le point culminant, il en résulte

un plan jusqu'auquel doivent nécessairement s'élever les traverses ou la traverse unique dans tout l'espace compris entre les deux droites de jonction, mais de chaque côté formé par l'angle de ces droites, la traverse peut s'abaisser en s'arrêtant à la surface conique, engendrée par une droite qui passe par l'extrémité de la face, et qui s'appuie sur la pente de la hauteur, d'où les vues sont à craindre. En général, pour trouver la position limite de la crête de la traverse, il faudrait mener de plusieurs points rapprochés, pris sur la face à couvrir, mais à soixante centimètres au-dessus, des cônes tangents à la surface relevée du terrain, chercher leur intersection avec le plan vertical passant par le milieu de la traverse, et prendre pour ligne de crête la courbe qui envelopperait toutes ces intersections; mais comme un excédant de relief n'est pas nuisible pour le but qu'on a principalement en vue, on ne se livrera à cette recherche que lorsque le remblai exigé par la forme prismatique sera excessif.

Il est essentiel encore d'observer que, pour un seul ouvrage, il peut se faire que le point dangereux ne soit pas le même dans toutes les parties, à cause de certains obstacles qui couvrent une portion de l'ouvrage, comme lorsque des cavaliers ou des réduits interceptent les vues à revers pour une partie des faces ou des flancs. Cette circonstance sert à limiter la longueur des traverses et surtout à en diminuer le relief; elle peut faire aussi qu'un terre-plein, après avoir été tenu dans un plan, se relève subitement sans être vu. La ligne suivant laquelle le terre-plein pourra se relever ainsi se trouvera par la même méthode qui a servi à déterminer la limite latérale du terrain dangereux.

Lorsqu'on place derrière les traverses des banquettes ou des plates-formes pour l'artillerie et que, par cela même, elles sont destinées à concourir à la défense des ouvrages, extérieurement ou intérieurement, il ne peut plus être question de les élever au-dessus du plan des parapets, puisqu'on paralyserait l'action qu'on prétend en tirer. Au contraire, elles doivent être aussi soigneusement défilées que le reste de l'ouvrage, dont elles font dès lors partie intégrante. C'est le cas des traverses du chemin couvert, qui n'ont à la vérité que leur nom et leur position de commun avec les traverses que la nécessité de se soustraire aux vues de l'ennemi contraint d'élever, ainsi que de celles par lesquelles on partage un ouvrage, suivant sa longueur, lorsque la pente du terrain se trouvant opposée à celle des plans de défilement, on doit se placer sur des plans différents pour se rapprocher de la surface du

sol, opération à laquelle on donne le nom de *défilement par ressauts ou par plans successifs*. Quand on n'est point gêné pour la position des traverses, rien n'est plus facile que ce genre de défilement. On subdivise l'ouvrage en autant de parties qu'on le juge nécessaire pour obtenir un relief convenable, tant sous le rapport des vues à porter sur la campagne que sous celui des hauteurs d'escarpe des remblais et des commandements successifs, et l'on défile chaque partie séparément; seulement, il faut prendre garde de ne pas choisir, pour l'emplacement des crochets, celui des batteries essentielles, telles que les parties flanquantes au droit des fossés des ouvrages extérieurs, parce que la masse du parapet des traverses et leurs talus absorberaient un espace précieux, et d'assurer la liberté des communications, veillant à ce que les rampes, dans leur mouvement ascendant, ne se découvrent nulle part. Le relief des traverses est donné d'ailleurs par les plans de défilement, et si ceux-ci sont très-roides, on sera souvent obligé de multiplier les crochets ou de soutenir leur talus extérieur en partie par un revêtement, ce qui n'est jamais sans danger, à cause des éclats.

Nous avons fait observer que lorsque la position des traverses qui couvrent des vues de revers s'éloigne sensiblement de la direction perpendiculaire à la ligne de feu de l'ouvrage en arrière, elles deviennent un obstacle à la défense intérieure. On a cherché à détruire ce désavantage en donnant à leur talus vers le parapet qu'elles doivent couvrir une inclinaison assez faible pour que ce talus aille passer au-dessous de la crête de l'ouvrage en arrière; en un mot, on les a transformées en glacis intérieurs, analogues à ceux que nous avons employés pour la défense des chemins couverts autour des demi-lunes appuyées à la contrescarpe. Si cette construction est applicable, rien ne s'oppose à ce que le parados soit continu, et en le combinant avec une traverse en capitale, tout ouvrage, composé de deux faces seulement, peut ainsi être garanti des vues des points dangereux situés tout autour, sauf de l'enfilade à revers, mais il est aisé de juger qu'il n'en est pas souvent ainsi. Il faut d'abord que le terre-plein puisse acquérir une grande largeur, car celle du fossé en arrière et l'épaisseur du parapet de l'ouvrage en seconde ligne éloignent assez la ligne de feu de celui-ci pour exiger un glacis fort allongé, si l'on veut que son plan prolongé passe au-dessous de cette ligne. Pour satisfaire à cette même condition, il faut encore que l'ouvrage en arrière ait un commandement notable sur son enveloppe, bien au delà de celui donné habituellement aux réduits. Quelques calculs fort simples en fourniront la démonstration. Admet-

tons que, pour faciliter la construction du parados en glacis, on ait élevé la contrescarpe jusqu'à un mètre au-dessous de sa crête, que le talus intérieur soit sous 45°, le glacis au $^1/_{10}$, et que le parados ne soit pas plus élevé que la ligne de feu du parapet à couvrir, circonstance évidemment très-favorable, mais qui peut se présenter, lorsque l'ouvrage est sur la déclivité d'un coteau, et que les vues à revers partent de la plaine au-dessous. Encore le glacis occupera-t-il 26 mètres de largeur, ce qui suppose un ouvrage de 42 mètres d'épaisseur, au moins, entre les cordons. Que serait-ce si les points dangereux latéraux se trouvaient à des niveaux supérieurs au site de la fortification? En même temps l'ouvrage en arrière devra avoir un commandement de 2 mètres sur la crête du parados, pour placer sa ligne de feu dans le prolongement du glacis intérieur, en ne calculant que sur un fossé de 12 mètres entre les deux ouvrages; cependant ce commandement pourrait être réduit à $1^m,20$, si l'on se contentait de faire passer la trajectoire à 1 mètre au-dessus du terre-plein au pied du glacis intérieur, pour aller ficher, comme d'habitude, dans le talus de la banquette. Par cet exemple, pris dans les conditions les plus favorables, on voit que ces glacis intérieurs ne sont pas d'une application générale comme parados, qu'ils pourront rarement être employés sur les demi-lunes et contre-gardes, mais assez fréquemment dans le défilement des chemins couverts, mieux dans les saillants que devant les faces, et autour des bastions qu'autour des demi-lunes. Il serait imprudent de raccourcir leurs talus, en se reposant, pour la défense intérieure, sur l'action d'un ouvrage flanquant suivant la longueur des faces, parce qu'il deviendrait facile à l'ennemi, parvenu sur l'ouvrage, d'intercepter ces vues par un épaulement de peu de longueur, en sacs à terre, et que dès lors la partie retranchée serait à l'abri de tous les feux de la place; néanmoins une pareille disposition serait préférable à un terre-plein exposé à des vues de revers ou coupé par des traverses très-rapprochées et perpendiculaires, à cause des entraves que ces traverses multipliées apportent aux communications et au flanquement. Comme en pareil cas, le parados devient très-facile à écrêter, il conviendra de lui donner au sommet une épaisseur proportionnée à la pénétration des projectiles auxquels il sera en butte, suivant la distance des points dangereux. Nous vous avons d'ailleurs fait connaître les avantages que la défense peut tirer de ces glacis, en obligeant l'ennemi à un nouvel établissement de batteries de brèche, plus exposées à l'enfilade et aux revers que les premières, etc., et ces avantages doivent être pris en considération

dans le choix des moyens pour défiler un ouvrage des vues de revers.

Une condition de haute importance est, comme nous l'avons dit, de soustraire toutes les maçonneries des ouvrages de fortification au moins aux vues de l'ennemi, les coups tirés sur les objets vus étant les plus sûrs et les plus efficaces. Il sera même très-utile d'en abaisser le sommet autant que possible sous le plan de défilement, afin de les garantir contre le feu plongeant. Ceci devient plus impérieux, quand on a affaire à l'artillerie rayée et aux gros calibres et que les maçonneries sont minces et non terrassées. S'il s'agit, par exemple, de murs de ronde, d'escarpes détachées, de masques de casemates ou de galeries crénelées, etc. Cependant il ne faut jamais sacrifier les conditions de sécurité à cette considération, sous peine de créer un mal pire que celui qu'on veut éviter. La limite du terrain dangereux n'est pas cependant pour cette espèce de défilement aussi reculée que lorsqu'il s'agit de couvrir les terre-pleins, car au delà de 800 mètres, les boulets de l'artillerie ordinaire conservent peu d'action sur de bonnes maçonneries. Non que nous conseillerions jamais de découvrir les revêtements de l'enceinte jusqu'à leur pied, même à la distance de 1,000 mètres, car l'assiégeant parviendrait toujours à former une brèche praticable, en compensant par la multiplicité des projectiles le manque de justesse du tir et le peu d'efficacité de chaque coup; mais lorsqu'on ne découvre que 3 à 4 mètres de hauteur, l'exiguïté du but rend, d'un côté, la chance de toucher beaucoup plus petite; de l'autre, le pied du mur restant intact et accessible à couvert sur une hauteur notable, l'assiégé est maître d'enlever les décombres, au fur et à mesure qu'il en tombe, ou pendant la nuit au moins, et la brèche ne devient jamais praticable. Dans la limite de 800 mètres, le tir acquiert assez de précision pour que l'assiégeant puisse se flatter de couper toutes les maçonneries vues et de faire ainsi ébouler les parapets qu'ils soutiennent, comme les alliés le firent à Menin en 1706, et il devient urgent de lui ravir cette chance. Nous fixerons donc la limite du terrain dangereux, pour le défilement des maçonneries, à 800 mètres, avec d'autant plus de raison qu'en adoptant les formes que nous avons prescrites, les glacis de contrescarpe au droit des fossés du dehors, etc., aucune partie d'un front de fortification ne peut avoir son revêtement entièrement découvert à une distance moindre de 1,000 mètres, lorsque le défilement est bien établi à 800 mètres des saillants; mais nous reculerions cette même limite à 1,000 ou préférablement à 1,200 mètres s'il s'agissait de couvrir les maçonneries de l'enceinte d'une place bâtie suivant d'autres idées. Elle

pourrait même être étendue à 1,500 et à 2,000 mètres, pour se préserver des effets de l'artillerie rayée de gros calibre. Les limites latérales du terrain dangereux s'établissent aussi d'une autre manière, car à moins que les points dangereux ne soient très-près du pied des glacis, on n'aura rien à craindre des boulets tirés très-obliquement, puisqu'ils ricocheront sans causer de dommage notable. C'est ce qu'on a vu au dernier siége d'Anvers. Les travaux dépassant l'alignement de la gorge de la lunette Saint-Laurent, on dirigea le feu d'une batterie contre le mur de gorge de cette lunette, afin de l'ouvrir ou de le dégrader, de façon à en faciliter l'escalade. Nous avons examiné ce mur, qui a seulement 0m,50 d'épaisseur, et quarante-huit heures de feu n'y avaient occasionné que des dommages tout à fait insignifiants. On arrête habituellement le terrain dangereux aux droites menées des points extrêmes de la ligne à couvrir et dont la direction forme des angles de 45° avec celle du revêtement. D'après les expériences de Bapaume (1847) il faut réduire ces angles à 30°.

Enfin, le terrain extérieur ne doit être relevé que de la quantité *minimum* donnée par la position de l'artillerie au-dessus du sol naturel, ou de 1m,50. Il est facile de juger que le rehaussement des emplacements ne la conduira jamais qu'à voir une partie très-minime des revêtements, à cause de la différence entre les distances de la ligne couvrante à la ligne à couvrir et à l'emplacement des batteries ennemies au delà des glacis. Quand même les points dangereux seraient au pied des glacis, 2 mètres de relèvement découvriraient à peine 1 mètre de maçonnerie, et combien ne devrait-on pas s'exhausser pour pouvoir en abattre une hauteur assez considérable et former une brèche dangereuse!

Ce genre de défilement offre donc, en théorie, bien moins de difficultés que le précédent, puisqu'on n'a, pour chaque face, qu'une ligne et non plus une surface à couvrir, et qu'on ne doit s'occuper que des vues à peu près directes; mais dans la pratique, en conservant partout une hauteur d'escarpe suffisante, il rencontre de grands obstacles, parce que les glacis exigent tout de suite des remblais inexécutables, lorsqu'on veut exhausser sensiblement la crête du chemin couvert, et en même temps tenir le glacis soumis aux feux d'artillerie et de mousqueterie de l'ouvrage en arrière, difficulté qui va en croissant, lorsqu'on désire tenir les fossés secs dans un terrain peu profond.

Le tracé étant connu, on peut avoir à couvrir les maçonneries dans trois circonstances différentes :

1° La hauteur de la maçonnerie étant fixée et la crête seulement de l'ouvrage couvrant restant indéterminée ;

2° La crête de l'ouvrage couvrant étant donnée, et la hauteur du revêtement qu'on veut couvrir à déterminer.

3° Enfin, la maçonnerie et la crête couvrante étant l'une et l'autre indéterminées.

Dans le premier cas, on fera passer par le sommet de la maçonnerie un plan tangent au terrain relevé, dans les limites convenables, et la crête de l'ouvrage ne devra pas être au-dessous de ce plan. Cette condition fera partie de celles qui servent à déterminer la position des crêtes intérieures des ouvrages.

On remarquera cependant qu'il n'est pas toujours indispensable que toute la crête couvrante soit au-dessus du plan que nous venons d'indiquer, lequel peut, en effet, n'être tangent qu'en un point. Si l'on joint alors le point de tangence sur le terrain relevé avec les deux extrémités du mur, ce sera seulement dans la partie comprise entre ces lignes de jonction qu'il sera nécessaire que la crête couvrante s'élève jusqu'au plan. A droite et à gauche il suffira que cette crête ne soit pas inférieure aux arêtes du cône tangent au terrain relevé, dont le sommet se trouve à l'extrémité de la ligne de maçonnerie qui doit être couverte. Il n'est pas nécessaire non plus que ce soit une même crête qui couvre une face de maçonnerie, car ici cette crête fait fonction de traverse, et tous les raisonnements que nous avons faits sur la disposition des traverses et leur relief sont également d'application ici.

On n'est pas dans l'usage de tracer sur le dessin les échelles de pente des plans suivant lesquels les maçonneries sont couvertes, afin de ne pas surcharger le papier, et parce que la plupart du temps aussi les plans de défilement des ouvrages couvrants suffisent pour faire reconnaître immédiatement si les maçonneries sont en effet dérobées aux vues du dehors. Dans certains cas, cependant, surtout lorsque quelques parties d'un mur restent découvertes, il est bon de marquer ces échelles, afin de faire connaître quelle hauteur de maçonnerie l'ennemi peut abattre.

Lorsque la crête qui doit couvrir est fixée, et que la hauteur de la maçonnerie ne l'est point, c'est par la crête qu'on fait passer un plan tangent au terrain relevé, et l'intersection de ce plan avec celui du revêtement donne le *maximum* d'élévation de la maçonnerie. Ce cas peut conduire à faire des observations tout à fait analogues à celles que nous venons d'émettre sur la solution du cas précédent.

Quand, enfin, la crête couvrante et la hauteur du mur sont à la fois indéterminées, la même condition doit toujours être satisfaite;

seulement on a plus de latitude pour combiner les hauteurs, de manière a satisfaire à la fois aux conditions d'un bon relief pour l'ouvrage couvrant et d'une hauteur suffisante pour le mur. Il arrive quelquefois que, d'après les données de la question, on est sûr d'avance que la maçonnerie sera couverte et au delà. On n'a plus, dans ce cas, qu'à s'occuper de régler l'élévation du revêtement et le relief par des considérations tout à fait indépendantes du défilement des maçonneries.

Dans d'autres cas, on ne pourrait parvenir au défilement des maçonneries qu'en sacrifiant quelque condition plus importante encore, comme d'avoir une hauteur de mur ou un relief suffisant. Il vaudrait mieux alors négliger ce défilement, mais il faudrait au moins tâcher de ne laisser à découvert qu'une partie du revêtement, assez petite pour que l'ennemi ne pût pas y faire de loin une brèche praticable, et retirer le parapet assez en arrière pour que la destruction du mur n'entraînât pas la chute du parapet; car, comme nous l'avons déjà fait observer, le défilement n'est pas une condition d'existence des fortifications, mais un moyen de remédier, autant que possible, aux défauts que la configuration du sol occasionne, ou de tirer la plus grande défense des ouvrages élevés, but principal de toutes les combinaisons de l'art de l'ingénieur.

Habituellement les ouvrages revêtus sont tracés par la magistrale, c'est-à-dire que la première ligne du tracé est l'arête supérieure du revêtement. Lorsqu'on s'y est pris de cette façon, il se présente à résoudre le problème de trouver la position de la crête intérieure d'après celle de la magistrale. Quelques ingénieurs tracent les ouvrages permanents comme les ouvrages passagers, prenant pour magistrale la crête intérieure du parapet, et alors il faut déterminer la position de l'arête extérieure et du pied du talus ou la tablette du revêtement. L'une et l'autre manière sont bonnes, et l'on peut même avoir à tracer un ouvrage suivant la position de sa gorge ou de sa contrescarpe d'après les conditions auxquelles l'ouvrage doit satisfaire. Il faut donc savoir comment s'y prendre dans tous ces cas divers, et déduire la position des unes de celles déjà connues de l'autre. Commençons par la détermination de la crête intérieure, comme le cas qui se présente le plus fréquemment, et supposons que le plan de défilement qui doit le contenir soit connu par son échelle de pente.

Si l'ouvrage est tracé par sa crête intérieure même, il ne restera plus qu'à fixer sa position dans le plan vertical qui la contient; or, puisqu'on

connaît le plan de défilement dans lequel elle doit se trouver aussi, elle sera à l'intersection de ces deux plans, et on la cotera immédiatement aux points de rencontre de sa projection avec les horizontales données par l'échelle de pente du plan de défilement.

Supposons maintenant qu'on connaisse, outre le plan de défilement, le sommet du revêtement, et cherchons à déterminer la projection et les cotes de la crête intérieure, opération un peu plus compliquée.

Admettons un moment que le parapet soit construit, que son épaisseur entre les deux crêtes soit de 6 mètres, sa plongée au sixième, et que son talus extérieur, suivant la pente naturelle des terres, parte d'une ligne parallèle à la magistrale. Si par la crête intérieure on conçoit un plan parallèle au talus extérieur; que, par un point quelconque de celui-ci, on fasse passer un plan vertical perpendiculaire au tracé de la crête; que dans ce plan, enfin, on imagine une droite inclinée au sixième, la partie de la projection de la droite comprise entre les deux plans parallèles aura 6 mètres de longueur, et, par conséquent, le point de rencontre de cette même droite avec le plan passant par la crête intérieure sera plus élevé d'un mètre que son point de rencontre avec le talus extérieur. Cela posé (*pl. II, fig. 1*), menons parallélement à la magistrale une ligne qui fixe le pied du talus extérieur, et par cette droite faisons passer un plan dont l'inclinaison avec l'horizon soit égale à l'inclinaison naturelle des terres. Ce plan sera le talus extérieur du parapet et l'on tracera ses horizontales ou du moins quelques-unes d'entre elles. L'intersection de ce plan avec le plan de défilement sera parallèle à la crête intérieure cherchée; on élèvera une perpendiculaire à la projection de cette parallèle, et l'on portera sur la perpendiculaire, vers l'intérieur de l'ouvrage, une distance égale à 6 mètres. L'extrémité de cette longueur, dont la cote sera plus grande d'une unité que celle du point à partir duquel on a mesuré les 6 mètres, appartiendra au plan parallèle au talus extérieur passant par la crête cherchée, et l'intersection de ce plan avec le plan de défilement donné sera la crête intérieure de l'ouvrage. Cette solution est fort simple, et l'emploi des lignes horizontales s'y plie parfaitement, quand la direction des horizontales du plan de défilement coupe assez obliquement les horizontales du talus extérieur. Cependant elle n'est guère usitée, à cause des erreurs qu'on pourrait commettre sur la position précise de l'intersection des horizontales, en dessinant à l'échelle ordinaire du plan d'ensemble, et l'on préfère s'aider

d'un rabattement sur le plan vertical, ou l'on se contente d'un simple tâtonnement.

Le principe sur lequel repose la solution serait toujours le même si l'épaisseur du parapet n'était pas de 6 mètres, ou l'inclinaison de la plongée moindre que le sixième. Dans ce cas, après avoir porté sur la perpendiculaire à la direction de la crête une distance égale à l'épaisseur du parapet, la cote du point extrême ne différerait plus d'un mètre de celle de l'horizontale du point de départ, mais de la fraction de mètre seulement, dont la crête intérieure doit s'élever au-dessus de la crête extérieure dans la direction du plan vertical perpendiculaire aux projections des crêtes. Si l'épaisseur du parapet doit varier sur la face dont on s'occupe, la construction que nous venons d'indiquer ne sera applicable qu'aux points où l'épaisseur du parapet est déterminée par les données du problème.

Quelquefois, au lieu du plan de défilement, on aura tout autre plan dans lequel devra se trouver la crête; la solution alors sera évidemment la même. D'autres fois, on connaîtra la hauteur d'un point de la crête sur une certaine direction, déterminée par la nécessité de battre un débouché, par le commandement à prendre, etc., en même temps qu'un plan parallèle au plan de défilement, ou la hauteur de la crête sur deux directions. Dans le premier cas, on déterminera, comme nous venons de le dire, une ligne parallèle à la crête intérieure, ce qui fera connaître la direction de la perpendiculaire à cette ligne. La hauteur d'un des points de la crête intérieure étant donnée, on en conclura celle du point de la crête extérieure qui se trouve avec ce point sur un profil perpendiculaire à la face, et l'on pourra, sur le talus extérieur, tracer une horizontale à la même hauteur. Cela fait, à partir de cette horizontale, on portera sur une perpendiculaire à la crête une longueur de 6 mètres; par l'extrémité de cette longueur, on mènera une parallèle à l'horizontale, et son intersection avec la direction primitivement donnée sera la projection du point de la crête dont on connaît la hauteur; la crête même se trouvera ainsi déterminée, puisqu'on aura déjà une droite à laquelle elle est parallèle.

Dans le second cas, si les deux directions étaient parallèles, le problème serait fort simple, car on pourrait les regarder comme les projections de deux horizontales appartenant à un plan sur lequel devrait se trouver la crête, et l'intersection de ce plan avec le plan donné du talus extérieur déterminerait la position d'une parallèle à la crête intérieure cherchée; mais lorsque ces directions forment entre elles un

angle, le problème présente plus de difficultés. On peut les résoudre, par tâtonnement, de la manière suivante : supposons, par exemple, que la crête doive être cotée 20 sur la première direction et 21 sur la seconde. Tirez les deux horizontales du talus extérieur, qui sont cotées 20 - 1 ou 19 et 21 - 1 ou 20. Avec une ouverture de compas de 6 mètres, prenez un point x sur la première direction et un point y sur l'horizontale 19; par x menez sur la droite de 6 mètres xy une perpendiculaire que vous prolongerez jusqu'en z où elle coupe la deuxième direction. Sur xz et xy construisez un parallélogramme, et nommez t le sommet de l'angle opposé au point x. Si t tombait sur l'horizontale 20, xz serait la crête cherchée; s'il n'y tombe pas, une nouvelle construction semblable donnera un point t', et la réunion des points t, t', t'', etc., une courbe dont l'intersection avec l'horizontale 20 résoudra le problème.

La position de la crête intérieure étant déterminée, on en déduira celle des autres arêtes du parapet, ainsi que celle des arêtes du terre-plein, d'après l'inclinaison de la plongée et du terre-plein sous le plan de défilement, inclinaison elle-même variable, suivant la position de la ligne de feu par rapport aux points dangereux. Car non-seulement le plan du terre-plein est d'ordinaire parallèle au plan de défilement, ce qui fait varier la quantité dont l'arête extérieure est abaissée sous la crête du parapet, mais la plongée doit être placée de manière à ce que son prolongement rencontre le terrain naturel plus près du rempart que les objets à battre, en même temps que le parapet conserve la plus grande force possible relativement à la direction des projectiles, problème beaucoup plus compliqué qu'il ne le paraît au premier aperçu et que nous examinerons de plus près dans la leçon suivante.

5me LEÇON.

DÉFILEMENT DU TERRAIN EXTÉRIEUR.

SOMMAIRE.

Limites éloignées et rapprochées du terrain extérieur; limites latérales. — Détermination du terrain vu par une crête donnée. — Détermination du relief d'une face d'ouvrage, pour battre une suite de pentes : 1° le tracé étant donné; 2° le tracé étant variable. — Limites de la position des crêtes. — Manière de déterminer la position des divers plans du parapet et du rempart, d'après la position des crêtes et l'inclinaison du plan de défilement. — Limites de l'inclinaison de ces plans, déduites des dimensions des armes.

Le but du défilement, avons-nous dit, est non-seulement de donner aux terre-pleins et à l'intérieur des enceintes la même protection en terrain varié qu'en terrain horizontal, mais aussi de battre d'autant de feux et de feux aussi efficaces le terrain soumis à l'action des armes. Après avoir examiné les méthodes par lesquelles on détermine la position des crêtes suivant celle des points dangereux, il nous reste donc à voir comment on la fixe par rapport aux courbures du terrain extérieur, afin que de l'emplacement des défenseurs derrière le parapet on puisse atteindre les assiégeants dès qu'ils se trouvent en dedans de la portée des armes. Cette recherche, trop souvent négligée, est au moins aussi importante que l'autre. En effet, si le premier défilement a été mal exécuté, sur une partie du terre-plein, on sera vu et exposé à des feux d'enfilade ou de revers, soit de la tête aux pieds, soit sur quelques décimètres de hauteur, et on ne pourra parer à cet inconvénient qu'en multipliant les traverses, morcelant la défense et entravant la communication. Mais c'est à cela que s'arrête le préjudice causé par les vues non interceptées; encore est-il beaucoup atténué par la nécessité d'établir des traverses, en tout cas, pour se garantir des ricochets et limiter l'action des feux verticaux, en sorte qu'il se réduit presque à avoir quelques traverses de plus, ou à les faire plus hautes et plus longues. Quand, au contraire, on a négligé d'éclairer le terrain extérieur, l'ennemi peut approcher sans obstacle de la forte-

resse, former à petite portée ses dépôts et ses magasins, parfaitement abrités derrière les ondulations du terrain, et construire ses premières batteries à une proximité telle que l'entière destruction de l'artillerie de la place, même par des feux directs, est une conséquence inévitable de leur supériorité. Si ce défaut est porté à un haut degré, il pourra même, dès l'ouverture de la tranchée, se servir de tirailleurs pour paralyser le service des pièces sur les remparts, et ces fonds couverts seront des lieux de rassemblement, où ses colonnes se réuniront en sûreté pour tenter et renouveler des coups de main, si les dimensions des ouvrages et la vigilance de la garnison ne mettent un obstacle insurmontable à de pareilles entreprises. Enfin, ces mêmes postes lui serviront pour observer la place de très-près et pour limiter son action, dans la défense de la frontière, à la possession du terrain sur lequel les ouvrages sont établis. Ces désavantages sont bien autrement importants. Aussi Bousmard observe-t-il, avec raison, que les bas-fonds, dont personne ne parle, sont souvent beaucoup plus dangereux pour les fortifications que les hauteurs qui frappent les yeux de tout le monde et dont chacun redoute l'effet, quoiqu'il soit bien plus aisé de s'en garantir.

Quant à la relation qui doit exister entre la position des lignes de feu et la surface du terrain extérieur pour que celle-ci soit complétement battue, on peut avoir trois cas différents à résoudre : 1° la crête d'un ouvrage étant donnée, trouver la limite du terrain qui est vu par la mousqueterie ou l'artillerie de cet ouvrage ; 2° le tracé seulement d'une face d'ouvrage étant connu, déterminer quel doit être le relief de cette face pour que sa crête intérieure voie certaines parties données du terrain ; 3° enfin, avoir à disposer le tracé et le relief d'un ouvrage de la manière la plus avantageuse pour battre les pentes d'un terrain donné.

On remarquera, relativement à la première question, que le terrain susceptible d'être battu a deux limites, l'une rapprochée, et l'autre éloignée. La limite rapprochée est celle de l'espace mort dépendant du relief et se trouve par l'intersection du plan de plongée, ou, plus généralement, du plan suivant lequel on peut tirer les coups les plus inclinés, avec le terrain relevé de 1 mètre ou $1^m,50$ au plus. Lorsque la fortification est bien établie, cette intersection doit avoir lieu sur le bord des contrescarpes ou sur le fond des fossés, à l'extrémité des branches d'ouvrages qui doivent être flanquées.

La limite éloignée peut être de deux natures différentes. Si le ter-

rain est plan, ou que du moins les inflexions de sa surface ne donnent nulle part de couvert à l'ennemi, cette limite sera celle de la portée des armes. Ce cas, qui est le plus avantageux pour la défense, ne se rencontre que rarement. Le plus souvent, la surface du sol présente, par la variété de ses formes, des pentes qui, prolongées indéfiniment dans tous les sens, passent au-dessus des lignes de feu de la fortification ou les coupent trop obliquement pour pouvoir en être battues. Il existe alors, en deçà de ces pentes, une limite au delà de laquelle les ouvrages ne voient pas le terrain; plus loin, ils peuvent recommencer à le battre, cesser plus loin encore, et ainsi de suite jusqu'à la limite de la portée des armes. Il est intéressant de connaître ces limites du terrain battu, soit pour chercher à voir, par quelque dehors ou ouvrage détaché, les parties qui ne sont pas directement vues, soit pour occuper ces parties mêmes par de nouveaux ouvrages, soit enfin pour déblayer les parties couvrantes, lorsqu'elles ne sont pas trop élevées, et faire en sorte de découvrir tout le terrain.

D'après ce que nous venons de dire, on conçoit qu'on aura la limite du terrain battu, en cherchant sur une surface parallèle à celle du sol et à 1 mètre ou $1^{m},50$ au-dessus la suite des points tels que si, en chacun d'eux, on imagine un plan tangent supérieur au terrain, ce plan vienne rencontrer la ligne de feu de l'ouvrage, qui doit battre. Or on remarquera que si cette dernière ligne se réduisait à un point, il faudrait que tous les plans tangents passassent par ce point, c'est-à-dire qu'ils formassent par leur réunion un cône tangent au terrain relevé, dont le sommet fut le point unique de l'ouvrage; mais si, au lieu d'un point unique, on a une suite de points formant une ligne droite ou courbe, la limite du terrain battu sera la ligne qui enveloppera les bases de tous les cônes tangents et supérieurs à la surface relevée, qui ont leurs sommets sur la crête d'où partent les coups.

Il faudra donc, sur la crête de l'ouvrage donné, prendre une suite de points peu distants les uns des autres; par chacun d'eux, concevoir un cône tangent à la surface relevée du terrain et qui laisse cette surface au-dessous de lui; tracer les lignes de tangence de ces cônes sur une partie seulement de leur étendue, et la courbe qui les enveloppera tous sera la courbe cherchée. La courbe ainsi trouvée ne devra être prolongée latéralement, à droite et à gauche de la face d'ouvrage que l'on considère, que jusqu'aux intersections des droites partant des extrémités de cette face et tracées dans les directions qui servent de limite à l'obliquité du tir. D'ordinaire les directrices les plus obliques

forment avec la ligne de feu du parapet un angle de 75°, ce qui pour un champ de tir de 30°, réduit à 60° l'angle entre la même ligne et le pied de la joue de l'embrasure. Mais, en construisant les batteries à redans, comme le propose Cormontaigne pour la courtine, l'angle entre la directrice de l'embrasure et le parapet, peut descendre à 32° et même à 28°. Au dernier cas, la longueur de la grande joue de l'embrasure est de deux fois et demie l'épaisseur du parapet, soit 15 mètres si le parapet en a 6 d'épaisseur. Quant à l'espacement des pièces le long du parapet, il est de deux fois son épaisseur environ.

Si l'on prolonge les génératrices des cônes tangents au delà de la courbe limite jusqu'à ce qu'elles rencontrent de nouveau le terrain relevé, on aura une seconde ligne enveloppe, qui servira de limite au terrain couvert, et au delà de laquelle, par conséquent, si elle ne dépasse pas la distance de la portée des armes, le terrain sera battu de nouveau. Plus loin, il pourra se trouver, comme nous l'avons dit, une seconde ondulation, à laquelle on mènera encore des cônes tangents, qui donneront la limite d'un nouvel espace couvert, etc. Ces opérations peuvent être longues, si l'on veut surtout les faire avec quelque rigueur, mais elles ne présentent aucune difficulté.

Lorsqu'on voudra seulement reconnaître si une pente donnée sur le terrain est vue d'un ouvrage, on concevra sur cette pente un plan tangent, et l'on vérifiera s'il rencontre le terrain entre le point de tangence et la face destinée à battre la pente donnée. Supposons d'abord qu'il laisse le terrain entièrement au-dessous de lui; on prolongera le plan tangent jusqu'au plan vertical passant par la crête de l'ouvrage; on prendra son intersection avec ce plan vertical et on relèvera cette intersection d'un mètre. Si cette ligne ainsi relevée se trouve au-dessous de la crête intérieure, cette dernière toute entière peut battre la pente avec la mousqueterie et l'artillerie. Si, au contraire, elle se trouve au-dessus, aucun des points de l'ouvrage ne peut battre la pente avec l'artillerie tirant à 1 mètre au-dessous de la crête; mais la mousqueterie la bat encore si la crête est plus haute que l'intersection non relevée. Enfin, une partie seulement de l'ouvrage peut voir la pente, lorsque la crête et l'intersection relevée se coupent.

Il est presque inutile de remarquer que la quantité de 1 mètre n'est prise ici que pour fixer les idées, et qu'il faut relever l'intersection de la quantité dont la genouillère de l'embrasure est descendue sous la crête du parapet, mesure variable suivant l'affûtage de l'artil-

lerie, l'espèce de bouches à feu et la direction du tir, ainsi que nous le disions tout à l'heure; mais nous conserverons la stipulation de 1 mètre dans les raisonnements suivants, parce que ce nombre rond représente plus facilement à l'esprit la position relative des plans. Vous pourrez, au surplus, avoir égard à l'observation dans les applications que vous serez appelés à faire.

Dans le cas où le plan tangent en un point de la pente donnée couperait le terrain compris entre l'ouvrage et cette pente, on ferait passer un nouveau plan par le point de tangence et la crête donnée, abaissée d'un mètre. Si ce plan était inférieur au premier sur toute la longueur de la face, la pente ne pourrait être battue, et s'il était supérieur dans une partie et inférieur dans une autre, cette partie ne pourrait voir la pente; mais la portion de la face qui appartient au plan supérieur, ou même la face entière, si le second plan passait tout à fait au-dessus du premier, pourrait, dans certains cas, battre la pente donnée, comme nous allons le montrer. Supposons que le plan passant par la crête abaissée d'un mètre ne rencontre pas le terrain jusqu'à la pente donnée; cette pente est vue par l'artillerie et par l'infanterie; s'il la rencontre en quelque endroit, on mènera par le point de tangence du premier plan deux tangentes à la courbe d'intersection, comprenant entre elles tout le terrain coupé. Dès lors, si la face d'ouvrage se trouve entièrement dans l'angle formé par ces tangentes, les coups seront interceptés et la pente ne pourra être battue; mais lorsqu'une partie de la face sera en dehors de cet angle, cette partie verra le terrain donné, pourvu qu'elle soit supérieure au plan tangent mené d'abord.

Un exemple vous rendra ce raisonnement fort aisé à comprendre. Supposons dans un chemin couvert de demi-lune et au milieu de la face un réduit casemate qui dépasse la crête du glacis. Si le plan de ce glacis est convenablement soumis au parapet de la demi-lune, le réduit interceptera bien les feux d'artillerie et de mousqueterie de la partie directement derrière lui, mais tout le glacis n'en sera pas moins battu des feux partant de l'épaule et du saillant, si les droites menées du point du crochet du chemin couvert correspondant à l'axe du réduit tangentiellement à ses arêtes postérieures, rencontrent la crête intérieure du parapet de la demi-lune, et ne font point avec cette crête des angles dépassant la limite de l'obliquité du tir.

Passons maintenant à la seconde question, qui se présente plus fréquemment dans la rédaction des projets, la détermination du relief

d'une face d'ouvrage, pour qu'une suite de pentes données soit battue.

Supposons le terrain qui doit être battu limité par une courbe donnée, dont tous les points soient moins faciles à voir que ceux qui sont situés entre eux et la face d'ouvrage dont on a le tracé : on concevra par chacun des points de cette courbe un plan tangent à la surface relevée du sol ; la suite de ces plans déterminera une surface développable, et la crête intérieure, dont tous les points battront le terrain donné, devra s'élever au-dessus des plans qui composeront cette surface développable. Pour trouver une ligne de feu qui satisfasse à cette condition, on cherchera sur chacune des deux verticales passant par les extrémités de la projection de la crête quel est le point le plus élevé des intersections de cette verticale avec tous les plans tangents à la surface développable : la droite qui joindra les deux points ainsi trouvés sera évidemment la ligne cherchée.

L'opération que nous venons d'indiquer peut s'exécuter de la manière suivante. On prendra l'intersection de la surface développable tangente au terrain avec un plan horizontal quelconque, ou, pour mieux dire, on tracera les droites d'intersection de ce plan horizontal avec une suite de plans tangents à la surface relevée du terrain. On considérera une de ces droites en même temps que l'horizontale du point de tangence, appartenant au même plan, et l'on portera entre ces deux horizontales (*pl. II, fig.* 2) une droite égale à un certain nombre de millimètres, pris arbitrairement pour unité, multiplié par la différence des cotes du plan horizontal et du point de tangence. Enfin, par les projections des extrémités de la crête, on mènera deux parallèles à cette droite, et les rapports à l'unité arbitraire des longueurs de ces parallèles, mesurées entre leur point de départ et la droite qu'on aura considérée sur le plan horizontal, donneront la différence des cotes du plan horizontal et des points de rencontre des verticales, passant par les extrémités de la crête avec un premier plan tangent au terrain. Cette différence de cote devra être ajoutée à la cote du plan horizontal ou bien retranchée, au contraire, suivant que la projection du point auquel elle appartiendra se trouvera en dehors de l'espace compris entre les deux horizontales, ou sera en dedans de cet espace. Mais on observera que pour la solution que nous cherchons, il est inutile de calculer ces différences de cote et qu'il suffit d'avoir les longueurs qui les représentent. Après avoir obtenu le résultat que nous venons d'énoncer, on prendra une nouvelle droite d'intersection

sur le plan horizontal, et l'on agira sur elle comme on a fait sur la première; on continuera de même en considérant successivement toutes les droites d'intersection, tracées sur le plan horizontal, et l'on aura pour chaque extrémité de la crête autant de longueurs proportionnelles aux distances du plan horizontal aux intersections de la verticale, passant par cette extrémité, avec tous les plans tangents. On comparera ces longueurs entre elles, et la plus grande de celles qui devront être ajoutées, ou la plus petite de celles qui devront être retranchées (s'il n'y en a aucune qui doive être ajoutée), fera connaître la cote du point d'intersection le plus élevé, puisque plus les plans seront roides, plus l'intersection avec le plan horizontal se rapprochera de l'horizontale du point de tangence et s'éloignera des projections des verticales. On pourrait aussi substituer aux droites arbitraires les échelles de pente des plans divers, et chercher sur ces échelles les cotes de chaque extrémité de la droite, au moyen des parallèles menées par ces points aux horizontales des plans. Cette construction ne serait pas beaucoup plus longue que celle que nous venons de décrire, parce que la détermination de l'intersection des plans tangents avec le plan horizontal exige également la fixation de la distance entre les horizontales des plans tangents ou l'établissement d'une échelle pour chaque plan, et l'on obtiendrait directement la cote de l'intersection la plus élevée des plans divers sur chaque verticale.

La crête intérieure ayant été déterminée à l'aide d'une des opérations que nous venons d'expliquer, on pourra la relever, en satisfaisant toujours à la condition donnée, jusqu'à ce que quelqu'un des plans passant par cette ligne et par les points de la limite du terrain à battre, devienne plus incliné que la plongée.

Mais il arrivera souvent que la ligne que l'on aura déterminée sera trop élevée et ne pourra pas être prise pour la crête intérieure de l'ouvrage. On devra remarquer alors qu'il n'est pas indispensable, pour que le terrain soit complétement battu, que chacun de ses points soit vu de tous les points de la crête, et qu'il suffit, à la rigueur, qu'un point déterminé de la limite du terrain soit vu d'une partie seulement de la crête; on pourra, d'après cette considération, tenir la crête beaucoup plus au-dessous de la position que nous lui avons d'abord assignée, et l'on déterminera, comme il suit, la droite au-dessous de laquelle elle ne saurait être située.

On prendra les intersections de chacune des verticales, passant par

les extrémités de la face, non plus avec tous les plans tangents, mais seulement avec ceux de ces plans qui les coupent en un point moins élevé que celui où ils rencontrent la seconde verticale ; les plus élevés de ces points d'intersection donneront toujours les extrémités de la crête. On observera que le plan tangent au terrain, dont l'horizontale est parallèle à la projection de la crête, sépare les plans, dont on devra prendre l'intersection avec une des verticales de ceux dont on devra prendre l'intersection avec l'autre.

Dans certains cas, enfin, on ne pourra pas tenir la crête assez élevée pour que tous ces points découvrent quelque partie du terrain jusqu'à la limite : il faudra du moins alors lui donner le *maximum* de la hauteur à laquelle on peut l'élever, pour découvrir le plus loin possible ; on tâchera même de tenir une de ses extrémités assez haute pour que tout le terrain puisse être battu, en laissant beaucoup plus basse l'autre extrémité où l'on ne saurait rien voir. On peut en agir ainsi lorsque la pente est très-roide et que les plans tangents coupent les deux verticales à des hauteurs fort différentes l'une de l'autre ; mais ces dispositions, de même que les précédentes, sont des palliatifs à un mal plus grand et non une solution complète du problème, car la fortification défilée ne jouira pas des mêmes avantages que la fortification en plaine, si l'on ne peut pas concentrer tous les feux de l'ouvrage sur tous les points du terrain environnant. Évidemment les batteries ennemies qui protègent les approches auront moins à faire lorsqu'elles n'auront à s'occuper que d'une partie des pièces, au lieu d'avoir à démonter l'ouvrage entier.

Lorsqu'on veut déterminer le relief d'un ouvrage, de manière qu'une partie désignée du terrain soit battue, on ne se donne pas toujours directement la limite jusqu'à laquelle on doit voir, mais il n'est pas difficile de trouver cette limite, de manière que les pentes soient battues le plus loin possible. Il suffit, en effet, de déterminer sur diverses directions, passant par l'ouvrage tracé, les tangentes au terrain relevé qui laissent toutes les autres au-dessous d'elles : le point de contact de chaque tangente appartiendra à la courbe limite. Or le point de contact sur chaque direction et pour une ondulation déterminée sera évidemment à l'endroit où les courbes horizontales seront les plus resserrées, ce qui le fera reconnaître immédiatement. Lorsqu'il se trouvera plusieurs points de tangence sur une même direction, on ne prendra que celui qui appartient à la tangente dont l'intersection avec le plan vertical passant par la crête de l'ouvrage est la plus élevée. La courbe ainsi

trouvée, on agira comme nous venons de le dire, à moins qu'on ne veuille se contenter d'un simple tâtonnement, qui sera, en général, moins long que l'opération régulière.

Nous venons de dire que, la limite inférieure étant trouvée, on peut élever la crête jusqu'à ce que le plan tangent prolongé se confonde avec la plongée. Ceci cependant ne pourrait avoir lieu que lorsque le plan tangent reste parallèle au terrain naturel, à 1 mètre au plus au-dessus; car il ne faut pas perdre de vue que le prolongement de la plongée et son intersection avec le terrain naturel forment la limite rapprochée du terrain battu. Si donc cette intersection se confond avec la limite éloignée, bien évidemment le parapet ne battra qu'une ligne et non une surface; et à moins que cette ligne ne soit la section du plan du terrain ou d'un plan parallèle à peu de distance au-dessus, tout ce qui se trouvera entre l'intersection et le parapet sera à l'abri de ses feux.

Il nous reste encore à examiner le dernier cas, celui où le relief et le tracé sont à la fois indéterminés, et où il s'agit de les fixer de manière à voir une pente donnée. Lorsque nous parlons d'un relief et d'un tracé indéterminés, on ne doit pas entendre une indétermination absolue; le relief, en effet, doit toujours être compris entre des limites connues, et, pour le tracé, on suppose qu'on a fixé d'avance la partie du terrain que doivent occuper les ouvrages, en sorte que ce n'est que dans cette partie seulement que la face destinée à battre la pente peut varier de position.

Le problème dont nous devons nous occuper ici est évidemment indéterminé, et nous pouvons dès lors, pour diminuer l'indétermination, supposer que l'on connaisse quelques-unes des conditions auxquelles la crête de l'ouvrage cherché doit être assujettie. Soit donné, par exemple, le plan de défilement sur lequel doit se trouver la crête, ou du moins un plan qui diffère peu de celui-ci : on concevra, comme dans le cas précédent, une surface développable tangente extérieurement à la surface relevée du terrain qui doit être battu, et l'on cherchera la projection de son intersection avec le plan donné. La crête intérieure devra être telle que sa projection rencontre à la fois toutes les tangentes à cette courbe, et si une des tangentes lui est parallèle, la crête devra se trouver au-dessus du plan auquel appartient cette tangente.

La question deviendra presque déterminée lorsque, avec les conditions précédentes, on se donnera encore le relief de la face d'ouvrage; car en supposant la surface du sol relevée d'une quantité égale à ce relief, et en prenant son intersection avec le plan de défilement, on

obtiendrait une courbe sur laquelle devrait s'appuyer la crête ; et en marquant les points de rencontre extrêmes de cette courbe avec toutes les tangentes, dont il a été question tout à l'heure, la crête devra s'étendre, pour le moins, de l'un à l'autre de ces points.

En faisant varier les conditions que nous avons ajoutées à l'énoncé général, la solution varierait en même temps. Ainsi, quand on connaîtra les droites sur lesquelles devront se trouver les extrémités de la face, on cherchera, par une des méthodes que nous avons exposées plus haut, sur une suite de verticales passant par ces droites, les points les plus élevés de la rencontre avec les plans tangents au terrain : ces points détermineront deux courbes sur lesquelles devront s'appuyer les extrémités de la crête, et de nouvelles conditions pourront achever de fixer leur position.

Avant de passer de ces méthodes générales à leur application, pour déterminer les formes des divers ouvrages de fortification suivant le terrain, examinons encore, en général, la position des plans qui limitent les remparts par rapport au plan des crêtes, et commençons par la plongée.

Dans la solution, à la fin de la leçon précédente, nous avons admis une inclinaison constante de la plongée, pour déterminer la position de la crête extérieure du parapet, tout en prévenant que cette inclinaison devait varier suivant la position du plan de défilement. En effet, rarement les plans de défilement des ouvrages successifs sont parallèles, en sorte que si, les épaisseurs des parapets, la largeur de la base des talus extérieurs, celles du terre-plein de l'ouvrage en avant et du fossé restent les mêmes, la relation entre la position de la crête du parapet de l'ouvrage en arrière et de l'arête supérieure de la contrescarpe change, et si l'on veut que le terre-plein soit également défendu, la surface de la plongée cessera d'être un plan. Ce n'est pas tout : l'inclinaison de la plongée, fixée par Vauban au dixième et au douzième, a été portée au sixième dans les profils du front moderne, supposés élevés au-dessus d'un terrain horizontal, afin de faciliter la défense du terre-plein des ouvrages avancés, tout en réduisant la largeur des fossés ; mais on ne saurait l'augmenter sans danger, puisqu'un boulet de gros calibre pénètre jusqu'à 4 mètres dans des terres rassises, en sorte que le parapet n'est déjà plus à l'épreuve, sur 50 à 60 centimètres de hauteur, contre les projectiles arrivant suivant une direction horizontale ou presque horizontale, comme la libre circulation sur les terre-pleins, supposés placés à $2^{m},50$ sous le plan des crêtes, n'est garantie que jusqu'à

2 mètres de hauteur. Lorsque la position de l'artillerie assiégeante s'élève et que ses feux deviennent plus plongeants, la protection tirée du parapet contre les coups qui tendent à l'écrêter deviendra plus faible, parce que la chance de toucher la plongée devient plus grande et la direction des projectiles, après avoir traversé les terres, plus menaçante pour les machines et les hommes que le parapet couvre. Il est facile de se convaincre, par un calcul très-simple, que la plongée sera d'un quart relativement au plan dans lequel se meuvent les projectiles, quand le plan de défilement aura $^1/_{12}$ de pente. Or, cette inclinaison n'est pas rare dans les terrains accidentés; nous avons plusieurs fois été forcés d'aller jusque-là; mais alors le parapet, à la hauteur de la banquette, n'a, parallélement à la direction du tir, que 5 mètres environ d'épaisseur, et les coups qui frapperont la plongée pénétreront facilement jusqu'aux canons placés sur le terre-plein, en traversant le parapet. Remarquons que cet inconvénient devient d'autant plus sensible, à mesure que la direction de la ligne de feu se rapproche de la perpendiculaire à la ligne de tir, en sorte que pour les deux faces d'un même ouvrage, ayant des parapets de dimensions égales, mais placés différemment par rapport aux hauteurs environnantes, la sûreté des communications sur le terre-plein peut devenir très-différente. D'un autre côté, lorsque le terrain extérieur s'abaisse sous l'horizon, la limite rapprochée qui détermine la surface du terrain battu recule rapidement et passe même à l'infini, si la pente des génératrices du cône tangent au terrain égale l'inclinaison de la plongée. En ce cas, il faut donc accroître la dernière et la pousser aussi loin que la nature de nos armes le permet, pour exercer quelque action sur le terrain environnant. Il semblerait, au premier abord, que cette difficulté serait facilement tranchée, en prescrivant de placer la plongée et le fond des embrasures sous le plan de défilement de la même quantité que sous un plan de niveau passant par la crête en terrain horizontal, et, véritablement, c'est ce qui paraîtrait le plus rationnel, si le terrain sur lequel on bâtit et le terrain environnant constituaient un seul plan, au-dessus duquel la fortification s'élèverait en conservant les mêmes relations, par rapport à ce plan, que les ouvrages en plaine ont avec l'horizon; cependant, alors même leur action ne serait pas encore égale, à cause de l'effet inégal des armes, pointées de bas en haut ou de haut en bas. Par exemple, nous savons que la plus forte dépression que l'on puisse obtenir de l'artillerie sur affût de siége ou de place et de côte, est de 9° 27′, à peu près le sixième du rayon, tandis que la dépression du

canon de bataille est d'un quart, et celle de la mousqueterie illimitée ; mais sous cette grande inclinaison les feux sont moins sûrs, le service de l'artillerie est plus pénible et l'affûtage promptement fatigué. Aller au delà, en forçant les dimensions du profil, serait donc illusoire, car on remplacerait les lignes de feu par des masses inertes, et on obtiendrait des résultats analogues, si l'on recherchait les effets des feux dirigés de bas en haut dans des plans fort roides contre des tranchées coupées dans le terrain. Le boulet qui frapperait le parapet au tiers de sa hauteur aurait beau le percer, il ne pénétrerait plus dans la tranchée ; et tiré sous un grand angle d'élévation, il ne ricocherait plus. Vous voyez donc que le défilement seul ne pare pas aux désavantages résultant de la courbure du sol, parce qu'il n'agit pas sur les armes à feu, et que ce sont celles-ci qui agissent à distance. Ce n'est pourtant pas là encore que gît la plus grave difficulté, mais il arrive rarement ou jamais que le terrain extérieur conserve une même pente sous toute l'étendue de la portée des armes ; souvent la plaine horizontale ou faiblement inclinée, sur laquelle les ouvrages s'élèvent, se relève brusquement à quelque distance, et forme, soit des mamelons, soit des hauteurs continues. Il faut alors de toute nécessité, puisque la défense rapprochée est la plus efficace, que la plongée de l'enceinte soit dirigée vers la contrescarpe des ouvrages avancés, comme le prolongement du fond des embrasures vers le pied du glacis, malgré la roideur des plans de défilement dans lesquels les crêtes sont placées, et les batteries ennemies érigées sur les hauteurs exerceront une action destructive sur ces parapets, relativement amincis. A plus forte raison, cet effet serait-il produit si l'on s'établissait sur une colline séparée d'une hauteur voisine par un vallon un peu prononcé. Nous ne connaissons aucun moyen de remédier entièrement à ce grave inconvénient, et nous devons nous borner au conseil de ne pas perdre cette difficulté de vue dans la rédaction des projets, mais de rapprocher autant que possible la position de la plongée sous le plan de défilement de sa position normale, en plaine, prenant le sixième de l'épaisseur comme un *maximum*, et aussi de ne jamais dépasser la limite de la dépression, parce qu'il vaut infiniment mieux connaître précisément la limite du terrain qui ne peut être battu de feux efficaces du haut des remparts, que de baser la défense sur une disposition d'ouvrages dont la garnison ne pourrait tirer parti au moment du danger ; croire en imposer à l'ennemi, et le tenir éloigné par la menace de feux qu'on ne peut exécuter, serait une illusion dangereuse et puérile. Nous l'avons déjà dit : jamais, à la guerre, on ne

doit compter sur l'ignorance ou les fautes de son adversaire, de crainte d'être détrompé lorsqu'il sera trop tard.

La position du terre-plein n'est pas moins importante, puisqu'elle détermine l'emplacement des machines de guerre et des défenseurs; mais avant de passer à l'examen de sa relation avec le plan des crêtes, il est nécessaire de rappeler quelques dimensions des attirails d'artillerie et des batteries pour les bouches à feu de divers calibres, afin de fixer nos idées.

L'artillerie place son canon sur des barbettes pendant l'investissement et jusqu'à l'ouverture des batteries de la première parallèle. Ces barbettes sont établies de niveau, à 1 mètre au-dessous de la crête des parapets, l'affût de siége élevant l'axe de sa pièce à $1^m,30$ au-dessus de sa plate-forme, hauteur dont il faut déduire le demi-diamètre de la pièce et la quantité dont elle s'abaisse sous la ligne de niveau, en tirant sous la dépression d'un sixième, ensemble $0^m,30$ à $0^m,33$.

Les pièces destinées au flanquement des fossés du dehors et des ouvrages extérieurs tirent à embrasures. Leur plate-forme a une inclinaison de $0^m,16$ de l'arrière à l'avant, pour diminuer le recul et faciliter la mise en batterie. Le canonnier étant estimé avoir $1^m,95$ de hauteur, il faut que la crête du parapet soit à $2^m,11$ au-dessus du heurtoir, pour que le service des pièces puisse se faire à couvert.

D'après cette considération et celle qui précède, la profondeur de l'embrasure d'une pièce sur affût de siége, tirant sous l'inclinaison d'un sixième, sera de $1^m,14$, afin que la genouillère soit à $0^m,97$ au-dessus du heurtoir.

La pièce sur affût de place ou de place et de côte a son axe, dans la position horizontale, à $1^m,78$ au-dessus de la plate-forme, et son embrasure, dans la même position, est entaillée à $0^m,50$ de profondeur, où sa genouillère reste à $1^m,61$ au-dessus du heurtoir. Mais quand elle doit tirer sous l'inclinaison d'un sixième, il faut creuser l'embrasure de $0^m,15$, et la porter à $0^m,65$ au-dessous de la crête, alors la genouillère conserve $1^m,46$ au-dessus du heurtoir.

Enfin, la longueur de la plate-forme et du recul fait compter 5 mètres pour la largeur du terre-plein, sur laquelle des canonniers se trouvent constamment.

Il résulte de là que lorsque les plans de défilement deviennent fort roides, l'artillerie, qui ne peut changer l'inclinaison de ses barbettes et de ses plates-formes, ne trouve plus sur les remparts la même protection; que les talus de ses plates-formes sur le terre-plein s'allongent et

diminuent l'espace réservé aux transports; enfin, que les terres provenant du recoupement des talus intérieurs ne suffisent plus pour remblayer l'emplacement sur lequel les canons doivent être placés. Il s'en faut donc de beaucoup que la prescription générale, de tenir le terre-plein parallèle au plan de défilement, à $2^m,50$ au-dessous, soit suffisante, ou qu'on puisse remédier à l'inconvénient d'un terre-plein trop roide, en l'abaissant simplement vers la crête, car avec une pareille disposition, on serait sûr, d'un côté, de manquer de terres pour l'emplacement des plates-formes; de l'autre, de voir le terre-plein rétréci sensiblement par les talus. Si l'on croyait parer à ces désavantages en entaillant plus profondément les embrasures, on changerait la relation entre les ouvrages successifs et leur commandement relatif, que, dans des vues d'économie, on a déjà abaissé autant que possible, et peut-être rendrait-on les feux simultanés impossibles. Il faut donc chercher d'autres moyens, en consultant les besoins des défenseurs, puisqu'enfin nous ne travaillons que pour fournir des positions avantageuses aux soldats et aux machines de guerre.

Or, l'artillerie occupant 5 mètres en profondeur, et le sommet de la tête du canonnier étant supposé monter au même niveau que la crête du parapet, nous atteindrons évidemment le but, pour les ouvrages faisant face aux hauteurs, si nous prenons une ligne à 5 mètres en arrière de la ligne de feu pour base de notre défilement, tant pour en conclure la position de la crête couvrante, d'après la position des points dominants, que celle de la crête flanquante, réglée d'après la découverte à prendre sur le terrain et les ouvrages plus avancés; ce qui, généralement, exigera une augmentation de commandement et par suite de relief, pour conserver les mêmes relations avec les dehors qu'en terrain horizontal; en même temps, on élargira les terre-pleins d'une quantité égale à celle absorbée par l'allongement du talus, afin de ne pas entraver la circulation sur les remparts. Ce moyen n'est évidemment pas applicable aux ouvrages défilés par le terre-plein; et pour remédier, en ce cas, au désavantage qui en résulte, il conviendrait de voir de combien le plan de défilement descend sur la largeur de 5 mètres, suivant la direction de l'échelle de ce plan relativement à celle de la crête couvrante, pour baisser d'autant la position du terre-plein et de la genouillère, si le bon flanquement des ouvrages plus avancés le permet.

Il est à remarquer que la quantité de $2^m,50$, prise habituellement pour la distance entre le plan des crêtes et celui du terre-plein, n'est

nullement invariable ; que d'ordinaire même elle n'existe qu'au pied du talus de banquette, et que de là, le terre-plein a une pente en travers de $0^m,32$ à $0^m,50$, pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales. Cette pente peut être parfaitement utilisée pour augmenter la quantité dont le parapet couvre le terre-plein, et ce dernier pourra se trouver à $2^m,80$ ou 3 mètres sous le plan des crêtes, pourvu que l'emplacement de l'artillerie soit préparé à la hauteur convenable et que le terre-plein ne soit pas trop rétréci par l'allongement des talus. C'est sans doute cette considération qui a fait limiter au trentième la pente habituelle des plans de défilement par les ingénieurs français, une pente aussi faible n'exigeant pas d'altération dans les profils ordinaires pour couvrir l'arête d'un terre-plein de 10 mètres sur $2^m,50$ de hauteur, mais il est fort rare qu'on puisse s'y astreindre.

Une pièce, le long du parapet, occupant 6 mètres de longueur, une plate-forme continue et de niveau le long d'une crête en pente relèverait la position des canonniers au-dessus du plan de défilement d'une quantité égale à celle dont le plan de défilement descend sur 3 mètres de longueur de crête, et il faudrait baisser d'autant la genouillère de l'embrasure et la position du plan du terre-plein, pour que les hommes fussent couverts comme en plaine.

En résumé, nous dirons donc que, dans la construction des ouvrages en terrain varié, il faut modifier les profils suivant l'inclinaison des plans de défilement, et admettre que la genouillère des embrasures descendra au-dessous des crêtes d'une quantité égale à la somme de la profondeur de l'embrasure, suivant l'espèce d'affût et la direction du tir, et du nombre de centimètres dont le plan de défilement descend sur la largeur de 5 mètres, quand la direction de la crête couvrante est perpendiculaire à l'échelle, ou sur la largeur de 3 mètres, quand elle lui est parallèle, et que c'est sur cette quantité qu'il faudra se baser lorsqu'on fixera la position des crêtes d'après celle de la genouillère, ou le terrain battu par l'artillerie d'après la position des crêtes ; que la largeur des terre-pleins, surtout pour les ouvrages resserrés entre deux revêtements, doit aussi être modifiée suivant l'excès de base qu'acquièrent les talus de banquette et ceux de plate-forme, et qu'il convient enfin de baisser la position des terre-pleins sous les crêtes d'une quantité proportionnée à la pente du plan de défilement sur leur largeur, quantité qu'on trouvera en abaissant des perpendiculaires sur l'échelle de pente de la projection des deux points extrêmes du terre-plein, pris sur une section perpendiculaire à la ligne de feu.

Nous avons dit que les ingénieurs français répugnaient à donner une pente plus forte qu'un trentième aux plans de défilement. Il s'en faut de beaucoup cependant que ce soit une limite dans laquelle on puisse se renfermer, et la seule qu'on doive admettre se déduira de la possibilité d'employer toutes les armes et d'exécuter toutes les manœuvres sur les terre-pleins inclinés. En considérant la question sous ce point de vue, nous remarquerons qu'avec la pente d'un douzième un terre-plein se convertit en rampe ; que le talus de banquette s'allonge de $0^m,48$, en admettant le terre-plein parallèle à $2^m,50$ sous le plan des crêtes ; que la genouillère devrait être descendue de $0^m,43$, et que l'arête d'un terre-plein de 10 mètres se trouvera à $3^m,33$ au-dessous de la crête du parapet, sans que les transports soient couverts sur plus de $2^m,50$ de hauteur ; enfin, que la plongée passerait à l'inclinaison du quart sous le plan de défilement, s'il fallait la maintenir au sixième sous le plan horizontal, pour défendre le terre-plein des ouvrages avancés. Ainsi, d'un côté, le parapet deviendrait très-faible, et, de l'autre, l'artillerie, même placée sur le terre-plein, sans exhaussement aucun, ne serait pas aussi couverte qu'en plaine. Nous croyons, par cela même, que cette inclinaison du douzième est une limite qu'on ne saurait dépasser sans de notables préjudices, et jusqu'à laquelle on doit éviter autant que possible d'aller ; si les localités ne permettaient pas de s'y arrêter, il faudrait recourir à des ressauts, dont le premier servirait de traverse pour les autres, ou bien couvrir l'artillerie, contre les feux plongeants, par des voûtes ou des blindages ; mais le meilleur sera toujours de ne pas s'établir sur les terrains où des plans de défilement aussi roides seraient inévitables.

Si l'on voulait tenir compte de la courbure des trajectoires, dans le défilement ordinaire, c'est-à-dire se défiler des coups autres que ceux tirés sur les objets vus, les voûtes et les blindages seraient nécessaires partout. En effet, quand le dernier élément d'une trajectoire est incliné seulement d'un sixième, les terre-pleins un peu larges, comme ceux des places d'armes du chemin couvert ou des bastions pleins, devraient s'abaisser souvent à 10 ou 12 mètres en contre-bas des crêtes couvrantes, pour qu'on y fût convenablement défilé ; encore ne le serait-on pas si la direction du tir ennemi approchait de l'enfilade. Au fond, cette proposition revient à demander qu'on se défile des feux courbes en général, y compris ceux des mortiers.

6me LEÇON.

TRACÉ ET PROFILEMENT DE L'ENCEINTE.

SOMMAIRE.

Défilement horizontal par la direction des lignes du tracé; conditions à remplir par les diverses lignes. — Flanquement des fossés, variables suivant leur pente. — Choix de la charnière du plan de site. — Défilement par bastion, par demi-bastion; défilement de la courtine, par le terre-plein, par ressauts. — Détermination du fond du fossé capital. — Raccordement d'un front à fossés secs avec un front à fossés pleins d'eau. — Manière de disposer les communications à travers le fossé, dans le cas d'une porte, dans le cas d'une poterne.

Voyons maintenant comment on établit le tracé et le relief des diverses parties d'un front bastionné en terrain varié, d'après les préceptes que nous avons établis et les méthodes que nous avons décrites, en commençant par l'enceinte, comme la base fondamentale de toute fortification.

Deux buts principaux, avons-nous dit, sont à atteindre : éviter les vues de l'ennemi sur le terrain intérieur, et battre de feux tous les points du terrain environnant. C'est au dernier qu'on s'attache d'abord dans le tracé des fronts, portant les saillants des bastions aux points où l'on peut le mieux diriger des feux vers la campagne. En consultant la théorie du défilement, nous voyons que la position des faces satisfera d'autant mieux à la condition imposée, qu'elle interceptera une plus grande partie des tangentes menées aux courbes du terrain, lorsque la ligne de pente des plans tangents à la surface forme de grands angles avec le plan horizontal. Si les plans tangents sont peu inclinés, la position parallèle aux tangentes des courbes pourra devenir préférable, puisque les pentes peu inclinées sous l'horizon favorisent l'action des feux, pourvu que les plans prolongés ne s'élèvent pas au-dessus du terrain sur lequel on veut bâtir, d'une quantité supérieure au relief ordinaire. Nous avons prévu ce cas et nous avons indiqué le moyen de vérifier s'il existe. D'un autre côté, les feux les plus dangereux pour la défense sont les feux d'enfilade et de revers. Il faudra, par cela même,

tâcher de diriger le prolongement des faces dans la campagne vers des endroits où l'ennemi ne saurait établir des batteries, comme un terrain inondé ou une surface d'eau quelconque, un marais, un fond prononcé, etc., afin d'éviter les ricochets et, bien plus, l'enfilade. C'est ce qu'on appelle *défiler horizontalement*, et l'habileté de l'ingénieur dans la manière dont il saisit le terrain ou dispose généralement ses ouvrages, se reconnaît d'ordinaire dans la facilité plus ou moins grande qu'il trouve à assurer cet avantage aux diverses parties de son tracé, après que leur ensemble a été arrêté. Enfin, on examine si la position des lignes de feu, correspondante au tracé des plans verticaux et supérieure aux plans tangents, telle qu'elle est exigée pour le défilement et pour le flanquement, ne se rapproche ou ne s'éloigne pas plus du sol que les limites d'un relief convenable ne le permettent. Ce n'est pas tout encore : quand toutes ces conditions sont satisfaites par rapport à un front ou à un accès, il convient d'étudier leur corrélation avec les ouvrages des fronts ou des accès attenants. Nous disons front ou accès, parce que souvent, dans l'appréciation des avantages ou des inconvénients que le terrain présente à la défense, on partage le terrain en sections, limitées par des obstacles qui les isolent, comme un cours d'eau, un marais, un escarpement, et l'on considère à part les ouvrages compris entre ces limites, dont l'étendue peut renfermer plusieurs fronts de fortification. Le raccordement des ouvrages sur les accès divers est plus important qu'on ne serait tenté de le croire d'abord, d'après la théorie que nous avons émise sur le défilement par parties, parce que les ouvrages les premiers construits deviennent des conditions pour l'établissement des autres, soit pour les couvrir à revers, soit pour les flanquer, et que ces conditions peuvent être onéreuses, si le rapport entre les fronts divers a été négligé ou mal établi. Aussi, à moins de circonstances tout exceptionnelles, ne conseillerions-nous jamais de procéder à l'exécution d'un projet d'enceinte dont tous les détails n'auraient pas été travaillés à l'avance, dans toutes les parties, parce que nous avons vu et éprouvé les difficultés résultant d'une approximation trop large. Ce n'est donc qu'après avoir pris en mûre considération tous les objets sur lesquels nous venons d'appeler votre attention, qu'on arrêtera la position des saillants et la direction des faces et leur relief approximatif.

La courtine servant à clore l'espace entre deux bastions et à assurer leur communication, ne sera astreinte à d'autre condition qu'à une hauteur d'escarpe et à un commandement convenables, pour ne pou-

voir être ni escaladée ni plongée, et porter ses feux sur les dehors ou sur la campagne, suivant l'extension et la disposition des ouvrages. On aura donc une grande latitude dans le choix de son tracé et de son relief.

La position des flancs, au contraire, ainsi que le relief, sont étroitement liés à la direction et aux dimensions des faces, puisque leur but principal est de défendre le passage du fossé et la contrescarpe au delà, et qu'ils l'atteindront d'autant mieux, que leurs feux battront plus complétement chaque point de la surface et seront plus directs. Leur relief dépendra, en conséquence, de la distance et de la cote des points à battre; leur tracé, de celui des faces et de la courtine; cependant, quant à cette dernière, comme c'est la partie du front qui concourt le moins à l'effet produit par les ouvrages, il conviendra presque toujours de modifier sa position d'après celle des flancs, plutôt que celle des flancs d'après la courtine.

Observons à cet égard, que la pente en longueur du fond du fossé influe d'une manière très-sensible sur le flanquement, celui-ci devenant moins complet, toute autre circonstance égale d'ailleurs, à mesure que l'inclinaison devient plus forte. La diminution de la surface vue est même assez rapide.

Soient : H la hauteur de la ligne de feu au-dessus du fond du fossé ; $\frac{1}{m}$, la pente de la plongée ; $\frac{1}{n}$, la pente du fond du fossé ; x, la distance horizontale de la ligne de feu à l'intersection du fond du fossé avec la plongée prolongée.

On a $x = \frac{mnh}{n-m}$, ou, si les pentes $\frac{1}{m}$ et $\frac{1}{n}$ sont opposées l'une à l'autre, $x = \frac{mnh}{m+n}$. Dans l'hypothèse de $h = 15^m$, $\frac{1}{m} = \frac{1}{6}$, $\frac{1}{n} = \frac{1}{10}$ il vient : $x = \frac{6 \times 10 \times 15}{10 - 6} = \frac{900}{4} = 225^m$;

ou bien : $x = 56^m,25$, si les pentes sont en sens opposés. Graphiquement il est facile de se convaincre (*pl. I, fig.* 15), qu'en terrain horizontal, lorsque les flancs ont 15 mètres de relief au-dessus du fond du fossé, il faut un intervalle de 168 mètres entre les angles de courtine, pris sur la ligne de feu, pour que les prolongements des plongées se recroisent à 1 mètre au-dessus du fond du fossé, sur la capitale du front, et les prolongements des genouillères, au même

point, sur le fond même, ce qui donne 148 mètres de longueur à l'escarpe de la courtine, vu la déviation de la direction des flancs ; mais, que si la crête d'un des flancs se trouvait à 10 mètres au-dessous du niveau de l'autre, ou si le fond du fossé était descendu de 10 mètres à un des angles de courtine, le coup de feu suivant la plongée partant du flanc supérieur ne rencontrerait plus le fond du fossé qu'à 10 mètres environ du revêtement de l'autre flanc, et le prolongement de la genouillère le couperait à 23 mètres de la même escarpe, tandis que les feux du flanc inférieur ne battraient le fond du fossé, ceux de mousqueterie, qu'à 89 mètres, ceux de l'artillerie, qu'à 54 mètres environ du pied de l'escarpe, en sorte qu'il resterait un intervalle de près de 30 mètres entre les intersections des genouillères, sur lequel il n'y aurait pas de vue, et 18 mètres environ sur lesquels un objet de 2 mètres de hauteur n'aurait rien à craindre des feux du rempart.

Cet exemple, en vous démontrant la forte influence de l'inclinaison du fond du fossé sur le flanquement, prouve en même temps combien il serait difficile de satisfaire en terrain varié à la prescription de faire flanquer chaque point du pied de l'escarpe par les feux du rempart, prétention contre laquelle nous nous sommes déjà élevés en terrain horizontal. Dans la supposition que nous venons de faire, l'escarpe de la courtine devrait avoir plus de 200 mètres pour que la règle fut observée, et, avec un polygone extérieur de 300 mètres de côté, à peine si les bastions auraient 40 mètres de face. Dès lors la courtine ne pourrait être couverte par une demi-lune, ni la demi-lune être flanquée par les faces des bastions, et nous croyons ces derniers désavantages bien autrement préjudiciables que la nécessité de recourir à des feux casematés pour la défense du pied de l'escarpe. Cependant, comme la nécessité du flanquement est incontestable, aussi bien que l'utilité de faire défendre chaque ligne de l'enceinte par une autre ligne de la même enceinte, il est indispensable de vérifier la position des intersections des prolongements des plongées et des genouillères avec les fonds des fossés, afin de suppléer par d'autres dispositions au flanquement que le rempart ne peut fournir. Nous emploierons, à cet effet, les flancs retirés de l'enceinte et les casemates de la tenaille, qui peuvent être considérés comme des flancs bas, lorsque leur communication avec le corps de place ne peut pas être interceptée, et nous n'oublierons pas le parti qu'on peut tirer des parapets reculés en arrière des escarpes, lorsque la hauteur du terrassement au-dessus des revêtements est considérable, ni l'utilité des profils avec chemins de ronde

et des murs détachés, lorsqu'ils ne sont pas exposés aux projectiles de l'artillerie.

Quelquefois, les fossés tombant dans de fortes dépressions du terrain, on est conduit à en remblayer le fond même pour en rendre le flanquement possible. Mais ces combinaisons sont très-onéreuses sous le rapport de la dépense; puisqu'elles font enterrer une hauteur plus ou moins grande de maçonnerie qui reste sans utilité défensive.

Ces divers moyens combinés suffiront probablement pour assurer la défense des fossés, mais il n'en sera pas de même du terrain extérieur, bien plus étendu et dont on ne peut modifier la forme sans d'immenses travaux. La roideur de ses pentes, la brusquerie de ses contours, rendra les points de contact avec les plans quelconques fort rares, et en dérobera toujours ainsi une grande partie aux vues de l'enceinte. Il faut alors projeter d'autres ouvrages, assez loin pour que leurs parapets interceptent les tangentes aux courbes que ceux de l'enceinte ne peuvent rencontrer, et les placer à des niveaux tels que leur relief ne rende pas le flanquement illusoire. Les fortifications en terrain varié ont donc besoin, plus que d'autres, de dehors et d'ouvrages extérieurs, nécessité d'autant plus sensible que les formes du terrain se prononcent davantage. Mais comme ils partagent et morcellent les forces défensives, le but de l'ingénieur doit être de les restreindre autant que possible, s'il ne peut s'en passer tout à fait.

En réfléchissant à la supposition que nous venons de faire et aux conséquences que nous avons déduites de la position des crêtes de deux parties symétriques à des niveaux différents, on voit quelle forte influence exerce l'application du défilement sur l'action mutuelle des ouvrages; une identité parfaite de tracé ne leur suffit pas à beaucoup près pour produire les mêmes effets dans la défense : leur relation sur le plan horizontal a beau être égale, leur commandement par rapport au plan de site être coordonné de même, si ce plan s'incline beaucoup sous l'horizon ou s'il se relève rapidement, les terre-pleins des dehors et le fond des fossés ne seront aucunement battus des mêmes feux ni de la même manière. C'est donc avec raison qu'on a renoncé à la prétention de choisir un seul plan de site pour tout un front ou même pour chaque demi-front, alors que d'ordinaire son application exigeait des mouvements de terre et des constructions en maçonnerie très-coûteuses, sans remédier aux désavantages qu'on espérait éviter; en effet, ce plan de site était déterminé par deux points intérieurs et un point extérieur, quand les deux points intérieurs arrêtaient la position de la charnière

et le point extérieur l'inclinaison du plan, ou par un point intérieur et deux points extérieurs. La première méthode était le plus généralement suivie, parce que de cette manière on avait au moins deux directions sur lesquelles la cote du terrain réglait le relief. La difficulté gisait à bien choisir ces points. Pour éviter de relever la crête du glacis ou le terre-plein du chemin couvert, à cause des remblais considérables que le moindre exhaussement de leur vaste surface occasionne, c'était d'ordinaire dans le chemin couvert qu'on les cherchait. On prenait deux points symétriques, comme l'intersection des contrescarpes à la gorge des places d'armes rentrantes, ou les gorges des places d'armes saillantes sur les capitales des bastions, et donnant à ces points la cote du terrain naturel, on déterminait la position d'une ligne qui devenait la charnière du plan mobile qu'on rendait tangent au terrain extérieur. Dans ce plan on fixait la cote de l'angle flanqué du bastion, et cette cote devenait une donnée pour l'établissement du plan de site du front collatéral. Mais si la surface sur laquelle on devait bâtir recoupait le plan de site sous un grand angle, il était presque impossible de régler convenablement, d'après ce procédé, le relief du bastion. Si, par exemple, le plan pendait vers la place, tandis que le terrain était presque de niveau, le relief au saillant du bastion devenait excessif et son revêtement ne pouvait plus être couvert par le glacis, ou la courtine s'enfonçait sous le sol et n'obtenait pas une hauteur d'escarpe convenable; quand le plan de site descendait, pour découvrir un terrain en pente, la courtine s'exhaussait outre mesure, ou c'était l'angle flanqué dont le relief devenait insuffisant. Si, comme le voulaient les ingénieurs qui défilaient par demi-front, les points de la charnière étaient choisis sur le revêtement de la courtine, afin d'obtenir dans tous les cas un relief suffisant pour l'enceinte, celui du dehors devenait presque toujours excessif, pour satisfaire aux autres conditions d'une bonne fortification. L'établissement du plan de site par un point intérieur et deux points extérieurs offrait la même difficulté sans donner encore les mêmes garanties, et malgré les grands mouvements de terre qu'on employait, on se voyait forcé de multiplier les hautes traverses et parados, sans obvier encore aux défauts les plus choquants, tels que des surfaces mal éclairées et des communications compromises. Enfin, comme nous l'avons prouvé tout à l'heure, le but principal qu'on se proposait, l'égalité d'action mutuelle des ouvrages, n'était pas atteint, puisque les flanquements et la défense successive étaient notablement altérés. On a donc avec juste raison renoncé à cette méthode et préféré défiler

séparément chaque partie de la fortification, en étudiant à part leur action sur le terrain et leur action réciproque.

Les bastions étant les parties les plus exposées et aussi celles où se placent les batteries les plus efficaces, c'est habituellement par eux qu'on commence. Nous observerons à cet égard, que chaque bastion forme comme un ouvrage séparé, qui doit tirer de ses parapets la protection pour sa surface intérieure, car il est extrêmement rare que les courtines attenantes puissent le couvrir. Il convient donc d'essayer d'abord de faire passer une droite par les angles de courtine, en donnant une cote telle à ces deux points que les prolongements à droite et à gauche laissent au-dessous d'eux le terrain relevé de la quantité convenable. Si une telle droite peut exister, on s'en servira comme de charnière, pour mener par là un plan tangent au terrain extérieur. La position de ce plan conduira alors à examiner les cas divers dont nous avons fait mention en parlant du défilement par deux points fixes, soit lorsque le plan donne un relief convenable, mais surabondant dans les parties des faces en dehors des droites de jonction entre le point de tangence et les angles de courtine, soit que ce plan devienne trop roide et qu'on soit forcé de rechercher si les points dominants se trouvent compris entre les prolongements des faces ou sont en arrière de ces prolongements, et s'il conviendrait d'adopter un plan séparé pour les faces et pour chaque flanc, ou bien s'il est préférable de prendre un plan pour chaque demi-bastion à droite ou à gauche de la capitale, en coupant l'intérieur par une traverse, de la longueur et de la hauteur nécessaires. En effet, si la sûreté du service exige que tous les terre-pleins soient également couverts, rien n'indique que ces terre-pleins doivent former un seul plan, tant que les plans de raccordement sont convenablement soustraits aux vues du dehors. Ainsi rien ne s'oppose à ce que les faces des bastions soient défilées par leur terre-plein et chaque face séparément, suivant la position par rapport aux points dangereux, pourvu que leur parapet couvre les flancs d'enfilade et de revers. Il est même à observer que souvent la position des faces aura besoin d'être exhaussée, pour obtenir une découverte convenable sur le terrain environnant, que leurs feux doivent battre, tandis qu'il sera avantageux de baisser le relief des flancs et de le réduire au *minimum*, afin d'améliorer le flanquement des bastions collatéraux, rapprocher les intersections avec le fond des fossés et diminuer l'inclinaison des lignes de tir. Lorsque les crêtes des faces ne pourront défiler les angles de courtine, en laissant à ces points une hauteur de relief suffisante, à

cause de la roideur du plan de défilement, tangent à une hauteur comprise entre les prolongements des faces, on pourrait employer des traverses, placées au point où le relief deviendrait excessif, et alors il est naturel de chercher à les utiliser en convertissant ces traverses en retranchement, les faisant continues ou, mieux, en les reliant par une ligne brisée, à l'instar du retranchement bastionné du front de la place idéale. Quelquefois il deviendra préférable de construire un cavalier, surtout lorsqu'à quelque distance devant le bastion il se trouvera un fond que les faces ne pourraient voir sans recevoir un très-grand relief, qui en découvrirait les maçonneries ou absorberait tout l'espace intérieur, par la large base de ses talus, tandis que le grand commandement donné sur le chemin couvert, lequel ne peut être exhaussé dans la même proportion sans remblais énormes, ravirait toute protection au glacis et au terre-plein du chemin couvert. N'oublions pas cependant qu'un cavalier rend la construction d'un retranchement fort difficile, sinon impossible, et qu'il en remplit les fonctions très-imparfaitement, en sorte que cet expédient ne doit être employé qu'en cas d'absolue nécessité.

Vous voyez que, dans la détermination de la position des crêtes, nous ne perdons jamais de vue l'action des ouvrages sur le terrain extérieur ni leur action mutuelle, et, effectivement, le défilement ne doit être définitivement arrêté que lorsque toutes les conditions de la défense sont remplies. Si l'on ne peut y parvenir en se servant de la charnière que nous avons indiquée, il faudra essayer l'emploi d'un ou de plusieurs plans, déterminés par un point intérieur et deux points extérieurs. A cet effet, on choisira un point vers la gorge du bastion, d'ordinaire sur la capitale, et on lui donnera une cote en rapport avec le relief moyen de l'enceinte ; par ce point on fera passer une droite, tangente ou supérieure au terrain relevé, et cette droite deviendra la charnière pour les plans qu'on abaissera à droite et à gauche, afin de fixer la position des crêtes de chaque demi-bastion séparément. Habituellement la droite suit la capitale du bastion, mais cette convenance n'est aucunement une nécessité, surtout si les deux plans formant arête au-dessus du bastion, le défilement peut avoir lieu sans traverses, puisque peu importe alors, le terre-plein étant suffisamment couvert, que le saillant du bastion soit le point le plus élevé par rapport au plan de niveau. On sent même que cela ne peut pas être lorsque tout le bastion se trouve dans un seul plan pendant d'un ou d'autre côté.

Si les plans forment gouttière, l'emploi d'une traverse est inévitable,

et on limitera sa longueur et sa hauteur, de manière à couvrir l'extrémité du terre-plein à l'angle de courtine. On évitera de lui donner des dimensions plus fortes que celles indispensables à l'obtention de ce but, parce qu'une traverse haute et épaisse offre un vaste emplacement aux sapes ennemies et peut devenir aussi préjudiciable pour le retranchement qu'un cavalier lui-même. On atténue ce défaut par un revêtement en maçonnerie à la base de la traverse ; mais alors les éclats peuvent devenir nuisibles à la défense, même quand on a eu soin de défiler cette maçonnerie des coups de plein fouet. La nécessité d'une traverse étant d'ailleurs admise, on défilera chaque demi-bastion comme nous l'avons dit en parlant du bastion entier, mettant la face et le flanc dans un même plan ou dans des plans séparés, employant le défilement par le terre-plein, les ressauts, etc.

Quant au défilement par le terre-plein, nous devons cependant répéter une observation que nous avons déjà faite, c'est qu'en employant cette méthode pour l'enceinte, on expose la surface inscrite aux vues du dehors, à moins que l'inclinaison de cette surface, dans le sens de l'échelle de pente, ne soit aussi ou plus grande que celle du plan passant par les crêtes, ce qui peut n'être pas sans inconvénient pour les communications, les bâtiments militaires et les autres édifices que la place renferme.

Lorsque les deux bastions ont été défilés de cette manière, on les relie par une courtine, dont le défilement offrira généralement peu de difficulté et aura lieu par le terre-plein, à moins que la nécessité de couvrir un bâtiment militaire ou quelque autre partie de la surface intérieure n'oblige à exhausser la position de la crête, ce qui l'exposerait à des coups d'enfilade, d'écharpe ou de revers par-dessus les bastions attenants. Il arrive aussi souvent, que les deux bastions se trouvent à des niveaux tellement différents, que la courtine qui les relie soit vue en partie par-dessus le bastion le plus bas, mais ce n'est pas par la position de son parapet qu'on peut parer à ce défaut, et il devient alors indispensable de couper la courtine par des traverses, assez longues et assez hautes pour intercepter toutes les vues d'écharpe et de revers. Mais la plupart du temps la longueur sera trop limitée, par l'escarpe et par la rue du rempart, pour qu'une seule traverse puisse suffire. L'escarpe surtout apporte au prolongement un obstacle absolu, et si le terrain dangereux s'étend au delà de la droite qui passe par l'extrémité du terre-plein, à l'angle de courtine, et par l'intersection du sommet de la traverse avec le talus extérieur du

parapet, le terre-plein en ce point sera vu. Il faut donc multiplier les traverses ou placer la partie du parapet entre l'angle de la courtine et la traverse unique dans un même plan, c'est-à-dire défiler par ressauts; ce procédé sera souvent moins sujet à inconvénient, sous le double rapport de l'économie et de la défense, que la multiplication des traverses, celles-ci entravant les communications et absorbant une grande partie de la ligne de feu sans rien ajouter à l'action des ouvrages; chaque ressaut offre d'ailleurs une extension de parapet, dans une direction favorable pour battre de feux redoublés les positions les plus avantageuses à l'érection des batteries ennemies, pourvu que le commandement des ressauts successifs soit réglé de manière à pouvoir agir simultanément sur le même terrain, chose facile à obtenir lorsqu'une pente très-forte rend plusieurs ressauts nécessaires. Le cas le plus simple est quand on partage la courtine en trois parties, ayant une traverse au milieu et une à chaque angle de courtine, ces dernières formant prolongation du flanc; mais on sent que les circonstances locales doivent seules déterminer leur emplacement et leur nombre. C'est ici l'occasion de rappeler la prescription d'assurer la communication entre les plans différents, en plaçant le débouché du passage voûté, ménagé sous les traverses, au-dessous du plan des crêtes du ressaut inférieur, en sorte que même la maçonnerie qui le couvre soit soustraite aux projectiles de plein fouet, afin d'éviter les éclats, si dangereux pour les hommes et les attelages.

Dans ce que nous avons dit jusqu'ici du défilement de l'enceinte et de la position des crêtes, nous n'avons fait mention des précautions à prendre contre les revers, qu'à l'occasion de la courtine. Le motif en est très-simple : c'est que l'action des parapets du bastion, pour intercepter cette espèce de feux, s'arrête à la ligne qui passe par les angles de courtine; s'ils étaient à craindre de points plus en arrière, leur direction influerait peu sur la position des crêtes, impuissantes à les intercepter. Il faudrait recourir à des traverses et à des parados, et les indications que nous avons données à cet égard dans les leçons précédentes sont suffisantes pour vous guider dans la détermination de leur emplacement et de leur dimension. Nous rappellerons seulement l'observation relative à la possibilité d'intercepter les vues de revers à grande distance, par un rideau d'arbres ou de murs minces, pour motiver la prescription de limiter l'espace, d'où l'on doit se défiler à revers, par des arcs de cercle menés avec des rayons de 300 mètres des saillants les plus avancés des ouvrages de l'autre côté de

la place, sauf à indiquer les précautions à prendre contre les points dangereux plus éloignés, précautions proportionnées à l'importance de ces vues. Il est quelquefois utile d'augmenter les reliefs d'un bastion pour faciliter le défilement à revers des bastions adjacents.

La position de l'enceinte sur le front entier et les demi-fronts attenants ayant été discutée de cette manière, on passera à la détermination de celle des dehors, dont le premier est le fossé, s'il est permis de donner la dénomination de *dehors* à une simple excavation. Sa profondeur est obligée ou arbitraire, suivant qu'on est astreint soit à rester au-dessus du niveau des sources, soit à descendre d'une quantité déterminée au-dessous, ou que la couche de terre meuble est assez épaisse pour permettre de descendre ou de rehausser le fond à volonté. Le dernier cas est naturellement le plus facile, puisque dès lors la profondeur se réglera sur les déblais qu'on veut produire, en observant toutefois les règles du flanquement, et qu'on obtient ainsi plus de latitude dans la fixation de la largeur, circonstance d'une grande importance, parce que des fossés étroits rendent le défilement (des maçonneries spécialement) beaucoup plus facile, en rapprochant la masse couvrante de l'objet à couvrir. Si la compensation des déblais et des remblais exigeait une masse de terre plus considérable que celle produite par un creusement égal sous un même plan, on ne s'astreindrait aucunement à cette régularité, c'est-à-dire à une hauteur d'escarpe ou de contrescarpe constante, pourvu que nulle part on ne descendit sous la limite *minimum* et que le fond restât toujours convenablement battu. Si cette dernière condition est satisfaite, l'augmentation de la hauteur d'escarpe ne sera un inconvénient que sous le rapport de l'économie; mais en revanche l'escalade deviendra plus difficile, ainsi que le comblement du fossé, si l'assiégeant voulait recourir à ce moyen, et la descente souterraine sera en même temps plus longue et moins protégée. Si donc un front se trouve bâti sur la déclivité du terrain, le fossé du demi-bastion le plus élevé pourra, sans autre désavantage que celui de la dépense, être approfondi de 4, 6 et même 8 ou 10 mètres, suivant les circonstances, pourvu qu'il reste soumis de la quantité nécessaire aux feux du flanc et de la tenaille. En cas de besoin, une partie pourrait être battue par ce dernier ouvrage, une partie par le flanc, le plus souvent les exigences du flanquement rendront le fossé relativement plus profond au saillant qu'à l'épaule, ce qui n'est pas un mal, puisque la hauteur d'escarpe augmente en même temps que diminue l'énergie des feux flanquants. Plus le défilement est roide,

plus l'escarpe est difficile à couvrir, surtout d'écharpe, et voilà pourquoi, dans l'hypothèse donnée, le fossé du demi-bastion le plus enfoncé aura fréquemment besoin d'être plus étroit que celui du demi-bastion collatéral. Quand la position du fond est obligée, on se trouvera, par conséquent, souvent dans l'alternative ou d'avoir des remblais insuffisants, ou de découvrir une partie de l'escarpe. Si ce fossé était rempli d'eau, on diminuerait la grandeur de l'obstacle qu'il oppose dans la même proportion qu'on le rétrécirait, tandis qu'on découvrirait le revêtement d'escarpe à mesure qu'on éloignerait la contrescarpe, nouvelle preuve de la difficulté d'adapter un même tracé et un même système de fortification à des terrains à fossés secs et à fossés pleins d'eau.

Lorsqu'il s'agit de raccorder un terrain de la première espèce avec un terrain de la seconde, nous estimons que ce raccordement peut s'opérer avec le moins d'inconvénient en capitale d'un front, en plaçant un des bastions entièrement sur le terrain élevé et en entourant entièrement l'autre de fossés pleins d'eau. Ce dernier sera alors précédé d'une contre-garde en terrassement, qu'on tâchera de combiner avec la tenaille, de manière à former enveloppe autour des escarpes revêtues, conservant sec le fossé entre le bastion et la contre-garde et entre la courtine et la tenaille, afin de faciliter les communications; mais on n'est pas toujours maître de régler ses dispositions comme on le trouve le plus avantageux, et souvent on doit se contenter de sacrifier le moins possible des propriétés défensives des ouvrages, puisqu'on ne peut les conserver toutes. Ainsi une communication de plain-pied, favorable à l'approvisionnement des batteries et aux retours offensifs, n'est pas cependant indispensable pour faire une bonne défense, seulement il faut que la communication soit libre et sûre, en sorte que l'assiégé puisse communiquer en tout temps avec le dehors, sans donner à l'assiégeant la chance de s'introduire de vive force par le même chemin. Les dispositions qui rempliront ces deux objets seront bonnes et, avec elles, il est indifférent que la communication ait lieu par eau ou par terre.

Il se présente souvent aussi des questions d'une solution embarsante, lorsqu'il s'agit d'assurer les communications à travers un fossé, tenu sec ou rempli d'eau à volonté. Dans le premier cas, les poternes doivent aboutir au fond ou peu au-dessus; dans le second, leur seuil doit être placé à peu près au niveau de la surface de l'eau; de même la communication avec la demi-lune, assurée par une galerie souterraine ou une double caponnière, lorsque le fossé est à sec, sera interrompue

lorsqu'on aura déversé une masse d'eau considérable entre l'enceinte et le dehors; cependant les poternes ne peuvent pas remplir les deux conditions à la fois, ni la caponnière s'élever et s'abaisser suivant les circonstances, quoiqu'il puisse devenir fort utile à la défense de restreindre les accès vers l'enceinte à l'époque de l'investissement, sans abandonner la communication avec la campagne, et de la rétablir sur les fronts collatéraux lorsque l'attaque est déclarée et qu'on connaît les saillants auxquels elle s'adresse, de même, la défense peut retirer souvent un grand avantage de la submersion des fossés d'un demi-front, tandis que l'autre est tenu sec; or, on se demande comment on atteindra ces buts divers sans nuire aux propriétés diverses des ouvrages. Nous n'avons nullement la prétention de formuler des règles immuables pour l'infinie variété de cas qui peuvent se présenter. La fortification n'est pas une science exacte, dans laquelle toute opération s'appuie sur une démonstration rigoureuse, mais un art d'imagination, surtout dans son application au terrain, où chaque problème est susceptible de plusieurs solutions, sans qu'il soit possible d'en indiquer une absolument la meilleure dans toutes les suppositions. Cependant il y a des principes qui doivent guider dans le choix et amener à se décider sur la valeur relative des expédients proposés. Ainsi, quant aux communications, il faut distinguer celles qui servent seulement à faciliter le passage en masse de la place aux dehors, de celles qu'il faut conserver à tout prix jusqu'aux derniers périodes du siége, parce que la défense du dehors, dont on compte rester maître jusqu'alors, en dépend. Par exemple, les débouchés entre la tenaille et les flancs sont d'une très-grande utilité pour faire passer des colonnes de l'enceinte dans le chemin couvert et la campagne; mais ces débouchés deviennent sans objet lorsque l'ennemi s'est établi à demeure sur la contrescarpe et que, les revêtements pouvant être mis en brèche, on a versé de l'eau dans les fossés pour empêcher l'ennemi d'y pénétrer. La communication avec le réduit de demi-lune, au contraire, doit être conservée jusqu'à ce que cet ouvrage ait été lui-même détaillé par l'attaque, car il serait encore utile pour battre à revers les logements de l'assiégeant sur le bastion, s'il osait négliger ce réduit et faire néanmoins son passage de fossé. Les premiers ne doivent donc être conservés que jusqu'à ce que les manœuvres d'eau deviennent nécessaires, l'autre, dans tous les cas; et, d'après ce principe, lorsque le fossé serait susceptible d'être tenu sec ou rempli d'eau à volonté, nous placerions la poterne sous la courtine à la hauteur nécessaire pour être au-dessus des eaux

les plus abondantes, en adossant, à la tenaille, des rampes séparées par un palier de la largeur convenable. On passerait de la poterne sur le palier au moyen d'un pont sur palées, moitié dormant, moitié levis, et les rampes conduiraient sur le fond du fossé, disposition également avantageuse contre des surprises, puisqu'en supprimant le pont sur les fronts non attaqués, on rendrait d'une grande difficulté l'attaque de vive force de leur poterne. Un escalier-rampe descendrait du même palier au fond d'une galerie souterraine conduisant dans le réduit de la demi-lune, en sorte que ce passage resterait libre, lors même que le fossé serait plein d'eau. Si l'on tenait en même temps les passages entre la demi-lune et les réduits des places d'armes au niveau nécessaire pour ne pouvoir être inondés, on conserverait également un passage assuré vers la campagne, et en ménageant dans la galerie une entrée à l'eau, au moyen d'une vanne manœuvrée dans la tenaille, on serait sûr d'interrompre la communication, du moment qu'elle deviendrait inutile ou dangereuse. S'il faut partager le fossé de plusieurs fronts successifs en bassins de niveaux différents, les batardeaux seront le mieux placés aux saillants des bastions, comme aux points où des projectiles de plein fouet peuvent le moins atteindre; de cette manière on sera sûr de produire l'effet voulu, jusqu'à ce que l'ennemi ait pu couronner la contrescarpe et détruire le réduit de place d'armes saillante; mais lorsque l'élévation de la dépense ne l'interdit pas, nous placerons le conduit et les machines au moyen desquelles les manœuvres devront s'exécuter, à la gorge des bastions, entre les angles de courtine, parce que, dans cette position, nous les tiendrons hors de la portée de l'ennemi, sans percer la masse des remparts par des vides toujours dangereux. Dans le cas où ces manœuvres pourraient avoir lieu par demi-front, nous placerions, par le même motif, les retenues entre la tenaille et le corps de place, en faisant servir la galerie souterraine de batardeau entre la tenaille et la gorge de la demi-lune et en plaçant un batardeau au saillant de celle-ci. On pourrait aussi, en pareil cas, placer des retenues sous les glacis de contrescarpe au droit des fossés de demi-lune, et sous l'abri du parapet du passage, ce qui rendrait la manœuvre du fossé de cet ouvrage indépendante, pour ainsi dire, de celle du fossé capital; mais on cherchera toujours à tenir sec, pendant ce temps, le fossé du réduit, afin de faciliter les retours offensifs contre le logement de l'assiégeant au saillant du dehors le plus important. Des dispositions analogues pourront être appliquées si les fossés des deux demi-fronts sont à des

niveaux différents. En général, on doit éviter de placer les manœuvres d'écluse dans les batardeaux mêmes, pour ne pas en affaiblir les maçonneries et n'être pas obligé à construire sous le rempart des poternes pour y arriver, ces passages favorisant les surprises comme nous l'avons déjà fait observer. Le général Noizet (*Principes de fortification*) indique un rentrant à la gorge des réduits de demi-lune comme le meilleur emplacement des écluses destinées aux manœuvres d'eau dans le fossé capital (tome II, page 320). Nous avons peine à nous ranger à cet avis, à moins qu'il ne s'agisse d'un front où le réduit de demi-lune soit à peu près inattaquable.

Quand une porte de ville devra être placée sur un front, il n'y aura pas grand changement à faire aux dispositions que nous venons de prescrire. De la porte placée au niveau du terrain naturel ou peu au-dessous, on arrivera sur la tenaille; un pont en charpente conduira à la gorge de la demi-lune, où l'on placera une gare d'évitement. Le passage derrière le glacis de contrescarpe et le long du réduit de la place d'armes, pavé à la largeur nécessaire, amènera les voitures jusque dans la place d'armes rentrante, formant une deuxième gare d'évitement, enfin la sortie, convenablement élargie, livrera passage dans la campagne, sans que les propriétés défensives des différents ouvrages soient aucunement affectées de l'élargissement de la communication; la mise en état de défense, en cas de siége, réclamerait seule quelques changements, tels que la suppression des ponts et la fermeture du passage dans la tenaille; encore ces changements ne seraient pas indispensables.

7me LEÇON.

TRACÉ ET PROFILEMENT DES DEHORS ET OUVRAGES EXTÉRIEURS.

SOMMAIRE.

Conditions du tracé et du relief des tenailles, courtines, flancs et casemates. — Défilement de la demi-lune, discussion du tracé et du relief; choix des charnières; observation relative aux vues de revers; défilement par ressauts; cas dans lequel une demi-lune ne peut être appliquée. — Discussion du tracé et du relief du réduit. — Observations sur le chemin couvert.

Les conditions auxquelles la tenaille doit satisfaire, pour remplir en terrain varié les mêmes objets qu'en terrain horizontal, sont de garantir le revêtement des flancs et de la courtine contre les feux ennemis, même partant de la contrescarpe, de couvrir la communication entre l'enceinte et son fossé, et, quand des casemates sont placées sous ses flancs, de ne laisser aucun point du fossé capital, depuis l'intersection des lignes de défense jusqu'autour des angles flanqués des bastions, dérobé à l'action de l'artillerie et de la mousqueterie.

Le tracé de la tenaille, telle que nous l'avons dessinée sur les fronts de la place idéale, donne beaucoup de facilités pour satisfaire à la plupart de ces exigences. Les crêtes du revêtement de la courtine et des flancs de l'enceinte ayant été déterminées d'après les considérations indiquées dans la leçon précédente, on les prendra pour charnières des plans tangents au terrain relevé, dans lesquels on placera la crête du parapet de la tenaille. Ce revêtement ne pouvant être battu efficacement que de plein fouet, on limitera le terrain dangereux par des parallèles tirées à 800 mètres de son parement extérieur et par des droites appuyées aux masques latéraux ou, à défaut de ceux-ci, formant avec la direction, à ses extrémités, des angles de 30°; la quantité dont il faut relever le terrain sera de $1^m,50$. Cependant si les plans tangents touchaient les crêtes du glacis avant de rencontrer le terrain relevé, ces crêtes détermineraient la position de la crête de la tenaille, et il en serait de même des crêtes d'une contre-garde ou d'un dehors quelconque

devant le bastion, si des vues de revers ou d'autres circonstances en motivaient la construction, parce qu'alors l'assiégeant établirait ses batteries de contre-flanc sur le terre-plein de ce dehors. Le peu de distance entre l'enceinte et la tenaille et la suppression du terre-plein des flancs de celle-ci rendent ces diverses opérations faciles à exécuter. Si les bastions se trouvaient à des niveaux très-différents, la courtine de la tenaille pourrait être tenue beaucoup plus haute que les flancs, ou bien les flancs pourraient former un ressaut considérable au-dessus de la courtine, sans qu'il en résultât d'inconvénient, l'action de ces parties étant entièrement indépendante. Le défilement de la double banquette de la courtine se fera ensuite par le terre-plein, et il n'est pas à prévoir que la roideur du plan puisse être telle qu'elle exigeât quelque précaution particulière. En tout cas, on remplacerait au besoin les talus de banquette par des marches, qui ne laisseraient aucun embarras à cet égard. De cette manière, les revêtements de l'enceinte seront parfaitement couverts, et une des conditions de la disposition de la tenaille sera remplie. La hauteur de crête ainsi obtenue est un *minimum*, le *maximum* sera donné par le prolongement de la plongée du flanc, au-dessus duquel la tenaille ne peut s'élever, sans nuire à la défense du fossé par l'enceinte.

Observons que, l'épaisseur du flanc de la tenaille casematée étant beaucoup plus grande qu'il n'est réclamé par la pénétration des projectiles du plus gros calibre, si la profondeur du fossé donnait à cet ouvrage un relief très-élevé, il serait possible de faire une économie sur le remblai et sur le revêtement qui doit le soutenir; à cet effet, on donnerait 6 mètres d'épaisseur seulement à la partie couvrante, avec un talus supporté par la partie antérieure.

Quant à la condition de couvrir le débouché de la poterne sous l'enceinte, il est visible que lorsque la communication est établie au niveau du fond du fossé ou peu au-dessus, le relief de la tenaille donné par la condition précédente sera toujours plus que suffisant pour la seconde, d'autant qu'une poterne n'atteindra jamais à la même hauteur que le revêtement dans lequel elle est percée. Mais si le fond du fossé est incliné, ce ne sera plus en capitale du front que la poterne devra se trouver. Pour que la protection à recevoir des flancs soit aussi énergique que possible, son axe correspondra à l'intersection des plongées, laquelle s'éloignera de la capitale, suivant que la différence du niveau entre les angles de courtine deviendra plus grande. Si d'autres considérations, par exemple, la direction d'une rue principale ou la lon-

gueur des rampes adossées au rempart, engageaient à maintenir en capitale du front la poterne sous la courtine, on n'en déplacerait pas moins celle sous la tenaille, afin que ses issues soient battues de tous les feux qu'on peut y porter. Le seul motif pour faire correspondre directement les deux passages est qu'ainsi le chemin entre l'enceinte et la gorge de la demi-lune devient aussi court que possible, et il est bien faible en comparaison de tous ceux qui dérivent de la nécessité d'assurer par tous les moyens la possession d'un débouché aussi important. La nouvelle enceinte qu'on construit actuellement à Lille, présentera plusieurs applications de ces idées.

Si, sur le front désigné, existe une porte de ville, les dispositions précédentes doivent subir de légères modifications; car, quoique les portes ne soient pas destinées à former l'unique communication entre l'enceinte et le dehors, sur un front attaqué, à toutes les époques du siége, et que d'ordinaire on les accompagne, à cet effet, de poternes qui les remplacent lorsque les approches gagnent le pied des glacis, les facilités qu'elles procurent aux sorties rendent très-désirable la faculté de s'en servir. En pareil cas, il sera donc utile de régler le relief de la tenaille de manière à défiler au moins l'intrados de la voûte, si l'on ne peut couvrir toute la maçonnerie, comme il serait préférable. Une partie seulement de la courtine de la tenaille, limitée par les droites qui, des montants de la porte, seront menées aux angles d'épaule des bastions ou des demi-lunes, aura besoin d'être tenue à cette hauteur. Assez généralement les tenailles sont coupées au droit de la porte, jusqu'au niveau du terrain naturel, afin de passer de plain-pied, au moyen d'un pont, de l'enceinte à la contrescarpe; quand la communication est établie ainsi, il ne faut pas négliger de pratiquer, dans les murs de profil du passage sur la tenaille, des rainures profondes, propres à recevoir le bout des poutrelles formant coffrages, par lesquelles on fermera cette trouée et on complétera le masque de la courtine, lorsque des communications aussi directes avec les dehors et la campagne deviendraient inutiles ou dangereuses.

Les casemates sous les flancs de la tenaille doivent être combinées de manière que les prolongements des plans du glacis en dos d'âne au milieu du fossé passent à $0^{m},50$ au-dessous des genouillères ou, au plus, se confondent avec elles. Quand les fossés sont pleins d'eau, il est souvent difficile de remplir cette condition : on pourra alors employer une *caponnière en canal* couverte par deux parapets avec banquettes à fleur d'eau et destinée à porter bateau pour communiquer au réduit de

la demi-lune, si le fond du fossé est incliné ou même si, avec un fond de fossé horizontal, la poterne ne se trouve pas en capitale du front, les casemates doivent se trouver à des hauteurs différentes, limitées par la considération que leur recouvrement ne doit pas intercepter les feux dirigés des flancs de l'enceinte vers le fossé. La dimension verticale des embrasures des casemates, avec leur voûte extradossée en dos d'âne et le recouvrement d'un mètre de terrassement, ne peut guère aller au-dessous de $3^m,00$. Cette dimension au-dessous de l'intersection de la plongée des embrasures du flanc de l'enceinte avec le plan du parement intérieur des casemates, sera donc une donnée pour leur établissement et pour l'inclinaison des glacis en dos d'âne. Lorsque les casemates sont précédées d'un masque, on réglera la position de ce masque par la hauteur de la contrescarpe autour de l'angle flanqué et par la direction du coup de feu dirigé dans le plan du glacis intérieur, en inclinant l'axe des voûtes de manière à rester au-dessus de la ligne de tir la plus élevée des coups destinés à la défense du fossé, et en haussant le parapet sous le masque jusqu'au prolongement du plan du glacis intérieur. La position des casemates ne sera donc réglée définitivement que lorsque la profondeur du fossé capital et l'inclinaison de ses pentes auront été fixées.

Un ouvrage dont le défilement offre bien d'autres difficultés est la demi-lune; ses longues branches se projetant au loin dans la campagne sont, par cela même, très-exposées aux vues d'enfilade et de revers, quand le terrain extérieur présente des points dominants sur plusieurs directions. Les conditions principales des dispositions à prendre sont, que le plan de défilement de la demi-lune restera soumis aux plans de défilement des bastions de la quantité dont l'enceinte commande ce dehors en plaine; que la crête de ses parapets sera à la hauteur convenable au-dessus du terrain, pour découvrir tout l'espace compris entre l'ouvrage et la demi-lune collatérale; que le revêtement de son réduit doit être soustrait aux vues du dehors, et que ses communications doivent avoir lieu librement à toutes les époques du siége. Or tous les terrains ne se prêtent pas, à beaucoup près, à ce qu'on puisse lui donner ces diverses propriétés, en satisfaisant d'ailleurs aux règles fondamentales de la bonne fortification, d'autant que la demi-lune n'est qu'un ouvrage subordonné, dont la position dépend de celle de l'enceinte. Ainsi, quand deux fronts attenants s'appuient à un bastion placé sur une arête du terrain, circonstance favorable au défilement du bastion et conforme aux principes généraux que nous avons posés sur la forme

à donner au périmètre de l'enceinte, on sera souvent forcé de donner un relief excessif aux demi-lunes ou de les rapprocher sensiblement de la capitale du bastion, pour que les parapets puissent découvrir convenablement la demi-lune collatérale, malgré l'arête interposée; et la disposition de leurs faces, coupant obliquement les courbes du terrain, découvrira ses faces à l'enfilade et aux revers, pour peu que la surface forme des ondulations ou se relève dans la limite de la portée des armes. Il sera également presque impossible de soumettre le plan de défilement de la demi-lune à celui des bastions, quand l'enceinte se trouve au pied d'un rideau et le dehors sur sa pente, occupant une arête, ou lorsque les bastions sont défilés par le terre-plein, et qu'on ne peut pas employer ce même procédé pour la demi-lune, dont les faces vont rencontrer la hauteur. Ce sont principalement ces difficultés (et nous en citerons encore tout à l'heure d'autres) qui engagent quelques ingénieurs à renoncer à la demi-lune en terrain varié, et à chercher à suppléer à la défense qu'elle procure par le redoublement des lignes de l'enceinte, quoique, suivant nous, rien ne puisse remplacer ce dehors essentiel.

Dans la discussion de son tracé, on s'attachera à reconnaître (les crêtes de l'enceinte étant déjà fixées) si une demi-lune des dimensions habituelles sera convenablement flanquée par la mousqueterie et par le canon du corps de place, tout en donnant à ses fossés la profondeur et à l'escarpe la hauteur nécessaires; si, à son tour, son feu, avec un relief moyen, passera par-dessus la capitale du bastion et atteindra le pied présumé du glacis des demi-lunes collatérales, ou bien si, pour remplir ces conditions, il faut porter son saillant en avant ou en arrière, à droite ou à gauche de la capitale du front, et de quelle quantité. L'interposition d'un glacis, avec ou sans chemin couvert, entre le fossé capital et les épaules de la demi-lune, tels que les fronts de la place idéale les présentent, et le principe admis, que les parapets peuvent ne pas suivre partout l'alignement des escarpes, donneront de la latitude dans les tâtonnements : car les glacis couvrent les angles d'épaule et la courtine du corps de place, en même temps que la principale communication entre la demi-lune et l'enceinte, quelle que soit la position du dehors par rapport à la capitale du front, tandis que le déplacement des crêtes, les véritables lignes flanquantes, permet de donner à la position relative des magistrales une obliquité plus grande que les règles de la fortification régulière ne le tolèrent. Cependant il ne faut pas s'exagérer cette latitude : comme nous en avons souvent fait l'observation, il est bien

rare qu'on puisse s'assurer un avantage, par une dérogation aux principes admis par les anciens ingénieurs, sans encourir quelque inconvénient, souvent plus grave que celui auquel on veut remédier.

Lorsque le tracé est à peu près arrêté, on procède au défilement, pour lequel on aura déjà quelques données, puisqu'on connaîtra une position des crêtes dans l'espace qui satisfait à la condition de découvrir le terrain à battre, ainsi que les échelles de pente des plans des bastions. On choisira des cotes pour les angles d'épaule d'après ces conditions, et on vérifiera si la droite qui passe par les points adoptés peut servir de charnière, c'est-à-dire si, prolongée, elle reste au-dessus de la surface relevée du terrain dans les limites fixées. Quand cette circonstance se rencontre, on essayera de faire passer par la droite divers plans qui donnent un relief convenable à l'ouvrage, et on s'arrêtera à celui qui, tout en offrant un commandement suffisant sur le terrain environnant, reste soumis aux plans des crêtes des bastions et passe au-dessus du terrain relevé ou lui est tangent, ayant toujours égard à la position des crêtes donnée par le terrain à battre, en sorte que la surface ne se dérobe pas sous le plan des plongées, ou n'intercepte pas les vues par sa courbure, deux défauts également dangereux. Au besoin, on ferait varier la position d'un des deux points ou de tous les deux, dans les limites convenables, afin de trouver une bonne charnière ; mais si aucune droite passant par les épaules ne satisfaisait aux conditions voulues, une demi-lune simple ne pourrait être défilée sans traverse. Cependant l'addition d'un réduit remplacera parfois cette masse inerte, en limitant les revers à la partie auprès de l'angle flanqué, où, par le rapprochement des parapets, ces feux deviennent moins à craindre.

On appliquera, au surplus, au défilement de la demi-lune toutes les prescriptions que nous avons données pour le défilement d'un ouvrage composé de deux branches ou faces, lorsque la hauteur dangereuse se trouve comprise entre le prolongement des faces, en arrière d'un de ces prolongements ou de tous les deux, défilant par deux points intérieurs et un point extérieur, ou par un point intérieur et deux points extérieurs, suivant que la forme du terrain rend plus avantageux l'emploi d'un ou de deux plans ; enfin, par le terre-plein, quand cela est possible et qu'on ne compromet pas la sûreté des communications ou l'intégrité du revêtement du réduit. C'est la répétition de ce que nous avons fait pour le bastion, avec cette différence que le fossé du réduit limitant étroitement l'emplacement des traverses, et le peu de largeur

du terre-plein rendant les communications très-difficiles lorsqu'il est coupé de traverses répétées, il est d'un grand intérêt de comprendre la hauteur dangereuse entre le prolongement des faces, à quoi l'on pourra parvenir parfois, en augmentant la largeur du talus extérieur du parapet sur une des faces ou sur toutes les deux à la fois, sans changer le tracé du revêtement; mais il ne faut pas perdre de vue que la direction des feux dépend de la position de la crête et non de la magistrale, en sorte que le relief et le tracé du chemin couvert, ainsi que l'inclinaison du glacis, ont une corrélation étroite avec ceux du parapet de la demi-lune.

Lorsque les prolongements des faces vont rencontrer le terrain relevé, il faut bien placer le saillant à la hauteur nécessaire pour intercepter les vues d'enfilade et de revers, sinon partager en plusieurs parties la longueur des faces et défiler chaque partie séparément. Si la demi-lune est double, le réduit pourra servir de parados à une grande partie de chaque face, et, dans ce cas, comme lorsque la hauteur ne dépasse pas de beaucoup les intersections des prolongements, quelques ingénieurs placent la partie autour du saillant dans le plan qui passe au-dessus du terrain relevé, en ne donnant au restant de la longueur que le relief exigé pour la défense des glacis; en un mot, ils forment une *bonnette*, moyen proposé également par d'autres pour rendre le tir à ricochet impossible ou au moins fort difficile. Le restant des faces peut alors être défilé par le terre-plein, en ne considérant du terrain relevé que les parties au delà des droites menées par les crêtes du parapet aux angles d'épaule et les points couvrants des talus extérieurs de la bonnette (*pl. II, fig.* 3). Si la bonnette forme parados avec le réduit, elle doit, sous le rapport du défilement, s'étendre jusqu'à la droite qui, de l'angle d'épaule, passe par le point couvrant du réduit. Lorsqu'on l'emploie pour une demi-lune simple, sa longueur, sous le même rapport, sera donnée par la génératrice du conoïde tangent au terrain relevé, dont le sommet est à l'extrémité de la face opposée et qui touche la crête de la face basse, et les génératrices du même conoïde limiteront son relief. Cependant il y a contre cette méthode de défiler plusieurs objections très-fondées, bien souvent même il serait impossible de l'appliquer avec avantage. D'abord les grands talus extérieurs du parapet de la bonnette rétrécissent considérablement un terre-plein fort étroit déjà, ou bien on est forcé d'élever le revêtement de l'escarpe, au point qu'il devient impossible de le couvrir par le glacis à une hauteur suffisante. Ensuite les rampes, au moyen desquelles on passe du terre-plein

des faces sur le terre-plein de la bonnette, doivent être prises sur la longueur de celle-ci, afin d'être convenablement couvertes, et la partie correspondante des parapets est peu propre à fournir des feux d'artillerie, à cause du peu de largeur du terre-plein, rogné par l'espace qu'occupent le talus extérieur et la rampe. De plus, la bonnette doit être prolongée jusqu'à ce que ses extrémités se trouvent sur une même droite avec deux points couvrants extérieurs, sinon elle reste exposée elle-même à des vues de revers, avec ses rampes de communication, en sorte que sur les polygones d'un petit nombre de côtés, toute la demi-lune doit se trouver dans le plan de la bonnette ; sans cette précaution, celle-ci se transforme en masse inerte ou du moins se convertit en simple traverse, dès que les cheminements dépassent l'alignement de ses extrémités. Pour produire un résultat, il faut aussi que la différence de niveau entre les crêtes de la bonnette et celles de la demi-lune soit considérable, comme de trois à quatre mètres, sans quoi tant d'inconvénients ne seraient rachetés que par un faible avantage ; mais on ne sait plus alors comment régler les reliefs du glacis et du chemin couvert, qui ne peuvent avoir des ressauts pareils. Si on les établit d'après le commandement de la partie basse de la face, tout le terre-plein de la place d'armes saillante se trouvera sous la plongée de la bonnette et sans aucune défense, tandis que si on se règle sur la bonnette, les plans du glacis ne recevront ni feux d'artillerie ni feux de mousqueterie du restant de l'ouvrage ; enfin, le logement de l'ennemi au saillant de la demi-lune plongera le chemin couvert du bastion et les places d'armes rentrantes, de manière à forcer à les abandonner, malgré les traverses et les réduits. On peut encore ajouter que l'exhaussement de la demi-lune entraîne l'exhaussement du réduit, dont l'espace intérieur décroît d'autant, et dont le relief ne peut dépasser la limite donnée par le plan de défilement des bastions. Toutes ces graves difficultés doivent rendre très-retenu dans l'emploi des bonnettes.

Si les plans de défilement ayant un point fixe aux angles d'épaule et comprenant le saillant donnaient des reliefs excessifs, on essayerait d'un défilement par ressauts, formant un plan particulier pour chaque coupure et pour le saillant. Ce dernier pourrait même être encore subdivisé, en plaçant dans un plan séparé la traverse voûtée et les faces entre elle et les coupures, puis reprenant un nouveau plan pour l'angle flanqué ; mais il ne faut pas oublier que ces ressauts seront autant d'abris contre les feux de l'enceinte, lorsque l'attaque sera parvenue à proximité.

Il est encore une observation que nous devons répéter expressément : c'est qu'il ne faut pas trop s'effrayer des vues d'enfilade et de revers qui passent par-dessus un parapet, lorsque celui-ci est peu éloigné de la face à couvrir et l'inclinaison du plan de revers proportionnellement faible, en sorte que ce plan prolongé coupe le parapet à revers, à vingt ou même trente centimètres seulement au-dessous de la crête. Si le commandement de l'ouvrage sur celui qui le précède n'est pas un *minimum*, on neutralisera l'effet dangereux qui résulterait du revers pour les feux d'artillerie, en ajoutant à la profondeur des embrasures et à celle du terre-plein au-dessous des crêtes une même quantité : quant au fusilier placé sur la banquette, il expose toujours, aux feux d'enfilade comme de front, la partie du corps qui dépasse la ligne de feu, et ce danger ne sera pas sensiblement augmenté par la découverte que l'inclinaison du plan de revers procure. D'ailleurs on peut chercher à diminuer le péril autant que possible, mais on sait bien qu'on ne fait pas la guerre sans danger, et il faut alors considérer si les désavantages qui résulteraient pour la défense d'une autre disposition d'ouvrages ne l'emporteraient pas sur celui de diminuer la hauteur du parapet, relativement à celle des défenseurs.

Mais même avec cette restriction, tous les moyens de défilement que nous avons indiqués ne suffisent souvent pas pour soustraire la demi-lune aux inconvénients résultant de sa position subordonnée ; car si la disposition de l'enceinte est conforme aux règles générales que nous avons déduites de la théorie du défilement, celle des demi-lunes ira diamétralement contre, puisqu'elle est perpendiculaire, à bien peu près, aux lignes de l'enceinte, et les effets pernicieux de cette dérogation se manifestent avec force pour peu que le terrain soit ondulé. Supposons, par exemple, un front de fortification établi en plaine, à 500 ou 600 mètres d'un rideau qui le commande de 25 à 30 mètres, cas qui se représente souvent dans les places établies sur un cours d'eau navigable, à dix ou douze lieues de son embouchure, c'est-à-dire au point où la vallée qui le contient s'ouvre et s'élargit. L'enceinte devra se développer, avons-nous dit, sur une ligne parallèle à la hauteur, pour que son relief soit aussi égal que possible ; ainsi la capitale de la demi-lune sera perpendiculaire au rideau. Si nous construisons une grande demi-lune du front moderne, de 170 mètres de capitale, et que nous réduisions le relief des épaules au *minimum* de $5^{m},00$, la différence de niveau entre la crête du parapet et le terrain relevé sera de 25 à 30 mètres sur 600 mètres de longueur, donc l'inclinaison du plan de défilement

au 20mo ; et le saillant de la demi-lune devrait avoir 13^{m},50 de commandement sur le terrain environnant pour couvrir le terre-plein à l'extrémité des faces, alors que le relief des bastions au-dessus du même terrain serait de 10 mètres au plus. Une telle disposition n'est donc pas admissible, tant à cause du commandement que la demi-lune prendrait sur l'enceinte et son chemin couvert, que par l'impossibilité de couvrir le revêtement de l'escarpe ou de donner une largeur de terre-plein convenable, puisqu'on ne peut pas remblayer un glacis de 9 mètres de hauteur ni retrancher, sur les 20 mètres d'épaisseur de la demi-lune, 8 mètres pour le talus extérieur et conserver un terre-plein capable de recevoir de l'artillerie. Notez encore que le fossé, conservant le même profil, ne fournira pas les terres exigées par l'augmentation du remblai. Il faudrait donc, en pareil cas, défiler par plans successifs ou ressauts, multiplier les traverses et les parados, etc., pour obtenir un relief exécutable, et se consoler de tous les inconvénients que ce mode de défilement entraîne. Cependant, il en est un qu'on ne peut tolérer, c'est que le chemin couvert ne défile plus le fossé de la demi-lune comme la demi-lune ne défile plus le fossé du réduit, en sorte que la sûreté des communications est gravement compromise, aussi bien entre l'ouvrage et son enveloppe qu'entre l'ouvrage et son réduit. Cette difficulté a semblé sans doute insurmontable aux anciens ingénieurs, car on trouve très-souvent, dans les places bâties il y a deux siècles (d'ailleurs judicieusement pliées au terrain et défilées aussi bien que les méthodes alors connues le permettaient), des revêtements vus jusqu'au pied, au droit des fossés des dehors. Depuis les perfectionnements de l'artillerie, ces forteresses sont susceptibles d'être mises en brèche dès l'ouverture de la tranchée et enlevées d'assaut au bout de peu de jours au cas de fossés secs, si l'assiégeant est hardi et la garnison faible. Il deviendra aussi extrêmement difficile de garantir le revêtement de la demi-lune des vues directes et d'écharpe, comme de couvrir son chemin couvert des vues d'enfilade et surtout de revers. Les glacis de contrescarpe fournissent un moyen de parer, en partie, au premier défaut signalé, mais contre les autres on ne trouve que des palliatifs, et ils restent très-préjudiciables à une bonne défense. Or si un terrain uni présente d'aussi graves difficultés, que serait-ce d'un terrain ondulé, où l'enceinte est placée sur le haut d'un coteau, et pousse ses demi-lunes sur la déclivité, en contre-pente avec le terrain, en face d'une hauteur dominante ? Nous avons déjà annoncé que plusieurs ingénieurs ne voient qu'un remède radical à ces inconvénients, qui est de sup-

primer la demi-lune et de chercher à obtenir une prolongation équivalente de résistance du redoublement de l'enceinte. Nous ne voudrions avoir recours à un pareil expédient qu'à la dernière extrémité et lorsque l'impossibilité de projeter un ouvrage saillant sur l'enceinte, et susceptible d'une bonne défense, serait absolument démontrée, parce que, d'un côté, la dépense d'un redoublement d'enceinte est beaucoup plus considérable que celle d'une demi-lune, même toute casematée, et que, de l'autre, rien ne remplace l'action de celle-ci sur les secteurs sans feu des bastions, action d'autant plus importante en terrain varié, qu'il devient plus difficile de découvrir et de battre toute la surface par les feux de l'enceinte et, surtout, par des feux efficaces. De même on se prive des facilités qu'elle procure pour la défense extérieure, si énergique et si propre à aguerrir les milices et les recrues, dont les garnisons sont composées d'ordinaire, dans le temps qui s'écoule entre la mise en état de siége et l'attaque formelle. Il s'agit, par cela même, de rechercher par quels moyens on peut neutraliser les désavantages de sa position. Nous ne parlerons pas d'un changement dans la disposition de l'enceinte, lorsque celle-ci rend une addition de dehors impossible, car nous avons prévenu que nos règles générales n'étaient que des indications à appliquer suivant les circonstances, et ce sera, par conséquent, la première chose à laquelle on aura pensé, mais nous appellerons votre attention sur les modifications à apporter aux formes des dehors mêmes.

On observera, à cet effet, que les plus grandes difficultés pour le défilement proviennent de la longueur des lignes, en sorte que, pour obtenir un relief admissible, il suffit de raccourcir convenablement la distance entre les épaules et le saillant. Nous avons fait ailleurs la remarque, que les avantages produits par la demi-lune dépendent principalement de sa position avancée. Tant que les communications restent assurées et le terrain intermédiaire battu d'assez de feux pour rendre l'interposition de l'ennemi entre la demi-lune et l'enceinte impossible, on ne voit pas ce qui empêcherait de recouper les branches à la longueur indiquée par les exigences du défilement. Il en restera toujours assez pour recevoir l'artillerie qu'on croirait devoir placer sur le dehors, et en lui donnant des flancs retirés couverts par des orillons, ou reliés par des faces formant réduit, on se procurera un excellent emplacement pour des batteries à revers, dont l'effet sur l'approche des bastions forcera l'ennemi à s'emparer de la demi-lune avant d'attaquer l'enceinte, et alors le dehors aura produit tout l'effet qu'on

pouvait en attendre. Lorsque les plans de défilement sont très-roides et que le réduit pourrait être battu par-dessus la demi-lune, nous préférerons aussi diminuer les dimensions de l'ouvrage intérieur plutôt que de l'abandonner ou de le supprimer, et il est aisé de s'assurer qu'il est possible de réduire la gorge à 20 mètres, les flancs à 12 mètres et les faces également à 20 mètres, sans perdre les feux de revers casematés sous les flancs et la défense intérieure du terre-plein de la demi-lune, qui font toute l'importance de cet ouvrage. On aurait recours à cet expédient, si les points dominants étaient placés autour des saillants et que d'autres hauteurs obligeassent de défiler la demi-lune à revers, afin de trouver, sur son terre-plein élargi, l'espace nécessaire aux traverses ou à un glacis de contrescarpe, soumis aux feux du réduit. Le réduit lui-même sera facilement défilé des mêmes revers, à cause de son peu de surface, et fournira toujours un corps de garde à l'épreuve et des magasins sûrs à la demi-lune, lors même qu'on ne prolongerait pas les flancs pour augmenter les feux de revers portés sur le saillant du bastion. D'autres fois, on convertira le réduit en demi-lune et la demi-lune en lunette, tirant de la première les feux d'artillerie les plus énergiques pour la défense du terrain devant la capitale du bastion et plaçant l'autre au delà d'un glacis de contrescarpe, afin d'augmenter la saillie et de rendre les ricochets contre l'ouvrage flanquant plus difficiles. En tout cas, une communication assurée est indispensable. On la fera de préférence souterraine, parce qu'ainsi toutes les difficultés du défilement sont éludées; mais quand la présence de l'eau enlève cette ressource, il conviendra de garantir la communication par l'interposition de larges fossés, en brisant la magistrale si fréquemment que l'enfilade soit rendue impuissante, et on cherchera les moyens de remplir la caponnière d'eau, et de la transformer en canal après la chute de l'ouvrage, parce que sans cela l'intervalle entre deux parapets favoriserait l'approche des assiégeants.

Les divers expédients que nous recommandons d'employer témoignent du haut prix que nous attachons à la construction d'ouvrages pareils, et de peur qu'on ne nous accuse d'oublier ou de taire, dans notre préoccupation, les défauts dont ils sont entachés, dans une position semblable, nous devons vous faire observer que le terrain entre la demi-lune et le chemin couvert de l'enceinte restera exposé à tous les feux de l'attaque, et qu'il ne faut plus compter, par cela même, sur l'effet des grandes sorties, qui, en terrain horizontal, rendraient précaire l'établissement de l'assiégeant sur le glacis du dehors, non plus

que sur la surface offerte au campement des troupes, l'ennemi, de sa position élevée battant tout ce terrain et rendant fort meurtrier le rassemblement des sorties au pied du glacis, ainsi que leur marche vers ses tranchées. L'assiégeant aura donc de grandes chances de plus d'enlever le dehors par un coup de main ou d'engager une garnison faible et timorée à l'abandonner avant le temps. Cette considération doit engager à augmenter en cas pareil les dispositions contre les attaques de vive force, par l'élévation des escarpes et la multiplication des flanquements sur les débouchés; mais on ne conclura à l'abandon de la position que si toute défense devenait impossible ou trop meurtrière, ou si les pentes abruptes et les brusques variations de niveau empêchaient l'ouvrage de rendre les services qu'on en attend, c'est-à-dire d'empêcher l'approche ou du moins le couronnement du glacis de l'enceinte, tant qu'il reste aux mains de l'assiégé.

Nous avons peu de chose à dire du réduit de la demi-lune, les discussions précédentes nous ayant conduit à le mentionner souvent et à assigner son rôle dans les diverses positions. L'addition d'un réduit sera d'autant plus utile que la demi-lune recevra moins de protection de l'enceinte. Lorsque des feux couverts sont établis sous ses flancs, la position de leurs embrasures sera une condition principale du relief, et ces feux ouverts seront d'autant plus importants qu'on pourra compter moins sur ceux du rempart, à cause des enfilades et des revers qui les menacent. Au surplus, le saillant de la demi-lune rehaussé d'un mètre sera habituellement le point le plus dangereux pour les défenseurs du réduit, et il conviendra, par cela même, que le plan des crêtes du réduit passe à un mètre au-dessus du plan des crêtes de la demi-lune, ce qui aura souvent lieu, lors même que leurs cotes au-dessus d'un même plan de niveau seront égales, la distance entre les épaules et le saillant étant sensiblement moindre dans l'ouvrage intérieur, donc la pente du plan sur une même longueur sera beaucoup plus forte.

La partie du front dont le défilement est le plus difficile est, sans contredit, le chemin couvert. Car, s'il est vrai que ce dehors n'est point destiné à porter artillerie, ni même, dans les premières périodes d'un siége, à être occupé et que, par suite, ayant peu à y craindre les coups partant des points éloignés du terrain extérieur, on puisse, sans grands inconvénients, se contenter de le défiler du terrain plus rapproché où sont les tranchées de l'ennemi, les embarras restent toujours fort grands, à cause de l'influence que le moindre changement de hauteur de crête a sur la balance des déblais et remblais et de la grandeur du rapport

entre son élévation ordinaire et un surhaussement de quelques décimètres. S'il est possible de relever une face de bastion de plusieurs mètres, en soutenant, au besoin, les terres par des murs, on sent qu'une pareille augmentation du relief de la crête du glacis est impraticable, puisqu'elle quadruplerait le profil, donc le remblai exigé. C'est sans doute cette considération qui faisait choisir le terre-plein du chemin couvert pour donnée principale du plan de site, lorsqu'on rapportait la position de tous les ouvrages d'un front ou d'un demi-front à un seul plan. Il est aisé de s'imaginer à combien d'expédients on est forcé d'avoir recours, quand on s'établit sur plusieurs plans, pour éviter les vues d'enfilade et de revers à un ouvrage d'un si faible relief, tout en satisfaisant aux deux conditions de dérober les revêtements et les communications aux feux de la campagne, but principal de la construction du glacis, et de soumettre sa surface aux feux de mousqueterie et d'artillerie des parapets en arrière. Quant à la première, on cherchera à la remplir, en prenant la crête du revêtement pour charnière d'un plan tangent à la surface relevée, et plaçant la crête du glacis dans ce plan ou au-dessus. Le second but serait atteint en faisant passer par la droite choisie un autre plan dont le prolongement couperait le talus extérieur du parapet au-dessous du fond des embrasures. Ce seront donc les premières positions qu'on essayera, ne perdant pas de vue néanmoins la sûreté des passages et le commandement du chemin couvert de l'enceinte sur celui du dehors. Si elles ne sont pas acceptables, à cause des remblais ou des revers, il faudra abandonner quelques-uns des avantages qu'on recherchait pour conserver les autres, s'attachant de préférence aux plus importants. Ainsi il sera moins nuisible de découvrir les revêtements sur quelques décimètres de hauteur que d'exposer aux enfilades un ouvrage d'une défense déjà très-faible. Ainsi encore on coupera le chemin couvert de traverses ou on le défilera par ressauts, afin d'en conserver une partie, quand on ne pourra garantir le tout. En employant ces moyens extrêmes, on aura soin néanmoins qu'aucune partie ne soit dérobée aux feux des ouvrages en arrière ; car mieux vaudrait renoncer à un ouvrage d'une aussi mauvaise défense que d'en faire une approche toute préparée pour l'ennemi.

Prenons un exemple où les difficultés se présentent à un haut degré. Supposons un front construit sur un terrain en pente, en sorte que la différence de niveau aux deux angles flanqués soit de 9 à 10 mètres, et le terrain extérieur, à la cote du point le plus bas, ou se relevant dans la limite de la portée des armes, ainsi qu'il arrive lorsqu'on

construit sur une des berges en travers d'un vallon de 700 à 800 mètres de largeur. Le défilement de l'enceinte, partagée en trois parties, les deux demi-bastions et la courtine, n'exigera que quelques traverses, un parados ou un cavalier dans le demi-bastion inférieur. La demi-lune, placée à mi-côte, n'offrira pas plus de difficulté; mais comment le chemin couvert autour de l'angle flanqué pourra-t-il soustraire le revêtement du flanc et la communication dans le fossé aux vues de l'autre berge du vallon? Il faudrait pour cela élever sa crête à 10 ou 12 mètres au-dessus du terrain naturel, alors l'aire de son profil serait de 16 à 20 fois celui d'un glacis ordinaire, et sa base égalerait en longueur la portée des petites armes : supposition tellement inadmissible que nous nous abstenons de signaler les autres défauts, presque aussi saillants, de cette disposition. Le seul remède, en pareil cas, est évidemment l'addition d'un ouvrage intermédiaire, dont le parapet ait sa crête à la hauteur convenable et ses talus sous 45° soutenus par des revêtements jusqu'à la cote où un glacis peut atteindre, en un mot, il faut construire une contre-garde servant de masque. Cet expédient n'est pas sans grands désavantages : il augmente sensiblement la dépense, sans accroître la résistance; parfois même il affaiblit celle-ci, en disséminant les forces et en diminuant la saillie des demi-lunes. Pour atténuer le premier défaut, il convient de soumettre le chemin couvert, alors plus avancé vers la campagne, et le plan du glacis aux feux de l'enceinte, afin de rendre l'occupation de la contre-garde purement facultative, ce qui n'est pas lorsque la défense du chemin couvert repose sur les feux de ses parapets. Mais la nécessité d'élever un grand dehors qui ne contribue en rien à la force de la place vous prouve combien peu le chemin couvert remédie par ses propres moyens aux défauts nés des circonstances locales. Nous examinerons plus amplement, dans la leçon suivante, ce qu'on peut faire pour y suppléer.

8me LEÇON.

SUITE DES DEHORS ET OUVRAGES EXTÉRIEURS.

SOMMAIRE.

Discussion du chemin couvert, son utilité dans les différents sites. — Défilement par un ou par deux points, défilement par plans partiels. — Défilement des communications; observations à cet égard. — Précautions à prendre pour les communications souterraines. — Glacis coupés, leurs inconvénients; disposition à leur donner. — Conditions des ouvrages extérieurs; application aux ouvrages à cornes et à couronne, aux contregardes, aux lunettes avec ou sans chemin couvert.

A la fin de la leçon précédente, nous avons indiqué sommairement quelques difficultés de l'application du chemin couvert en terrain varié. Voyons par quels moyens on peut tâcher d'en triompher.

Si le chemin couvert n'avait à craindre que les feux dominants d'une hauteur comprise entre les prolongements de ses faces, le défilement pourrait avoir lieu par le terre-plein, en élevant les crêtes assez haut pour couvrir le revêtement de l'ouvrage en arrière contre les feux directs. On aurait également égard à la sûreté des communications, lorsque des rampes conduisent du fossé dans la place d'armes saillante et on s'assurerait que le débouché de la demi-caponnière dans le fossé de la demi-lune est suffisamment couvert. Ce cas ne présente, au surplus, aucune difficulté pour l'emplacement et le défilement des traverses, lesquelles seront dans le plan passant par la crête du glacis, et il sera, par cela même, très-rationnel d'adopter un tracé de chemin couvert qui rende ce défilement praticable, en ouvrant l'angle au sommet, pourvu que les plans du glacis restent convenablement soumis au feu de l'ouvrage qu'ils enveloppent; et quand la position des points dangereux ou d'autres circonstances empêchent d'en faire usage pour les branches entières, au moins tâchera-t-on de l'appliquer aux places d'armes saillantes, en se servant de l'expédient proposé ou en arrondissant le tracé en arc de cercle.

Lorsque les faces prolongées vont rencontrer la hauteur, ce moyen n'est pas praticable, et il faut avoir recours à un défilement par res-

sauts. La même chose aura lieu quand un seul plan, ayant un point fixe à la place d'armes rentrante, donnera des reliefs trop considérables, ou bien lorsqu'on voudra rendre la défense de chaque crochet indépendante. Il s'établira facilement, tant qu'on n'aura pas à craindre les coups de revers de la campagne, et, suivant les cas qui se présenteront, on tiendra tous les plans de défilement partiels parallèles entre eux, en appuyant le plan le plus bas sur le terrain extérieur, relevé de $2^m,50$ (méthode applicable lorsque le terrain s'incline beaucoup sous le plan de défilement), ou, quand une disposition pareille donnera des reliefs trop forts pour les parties comprises entre les dernières traverses, relevant tous ces plans du côté de la campagne, de façon qu'on puisse les abaisser du côté de la place. D'autres fois, lorsque les plans ainsi choisis deviendraient trop roides, on les fera concourir vers le même point du terrain relevé; quelquefois, enfin, ils pourront diverger au contraire, lorsqu'ils seront assujettis à passer chacun par un point connu en arrière et qu'ils donneraient des reliefs peu convenables en les tenant parallèles au plan qui défile la place d'armes saillante.

Pour nous diriger dans les opérations, considérons quelle est l'action de chaque partie du chemin couvert, dans chaque espèce de terrain.

Lorsque les fossés sont secs et qu'on peut établir une communication séparée entre le terre-plein des crochets successifs et le fond du fossé, celle qui a lieu entre les places d'armes rentrantes et saillantes par le chemin couvert aura moins d'importance; pourvu que ces places d'armes soient assez spacieuses pour contenir toutes les troupes destinées à déboucher simultanément dans les grandes sorties et bien défilées, le chemin couvert produira à peu près toute la défense active dont il est susceptible, le feu sur les approches et les retours offensifs; car l'action des branches se borne à celle du feu que quelques hommes, blottis dans les saillants des crochets, dirigent sur les têtes de sape, et ces hommes peuvent toujours parvenir à leur poste par des pas de souris. Nous n'hésiterions donc pas, en pareille circonstance, à sacrifier les branches aux places d'armes, en défilant séparément ces dernières, sans nous arrêter à la considération de leur communication mutuelle par le chemin couvert, puisqu'elles sont déjà reliées par le fossé. Dès lors le parapet des branches n'aura à satisfaire qu'à la condition de couvrir le revêtement en arrière, comme leur terre-plein à celle d'être battu, dans le sens de la longueur, par le feu des ouvrages flanquants.

Il n'en est pas de même lorsque les fossés sont pleins d'eau; car la défense de la place d'armes saillante serait fort compromise, si l'on ne pouvait y parvenir en sûreté que par des bacs, et le défilement complet du terre-plein des branches sera une condition première de la position des places d'armes; c'est donc spécialement en ce cas qu'on emploiera tous les expédients que nous avons indiqués il y a un moment. Comme c'est la place d'armes rentrante qui couvre la communication entre le corps de place, le chemin couvert et la campagne, c'est d'abord à elle qu'on s'attachera, soit en faisant passer une droite par l'extrémité des deux traverses qui la ferment, défilant par deux points intérieurs et un extérieur; soit en prenant une droite en capitale, sur laquelle on prend un point intérieur et qu'on rend tangente au terrain extérieur relevé, défilant ainsi par un point intérieur et deux extérieurs, à droite et à gauche de la capitale; soit, enfin, qu'on prenne un point à l'intersection des contrescarpes, et qu'on forme, en ce point, un cône tangent au terrain extérieur relevé, pour placer les crêtes dans un seul plan. Le rentrant dans lequel la place d'armes est placée fournira des facilités à ces divers défilements, en resserrant les limites latérales du terrain dangereux. Pour le défilement des crochets successifs, on prend ensuite un point fixe sur le bord de la contrescarpe, au pied de la traverse, et on lui donne la cote convenable pour que le terre-plein, à $2^m,50$ au-dessous, puisse être battu des feux de l'ouvrage en arrière. Un cône tangent au terrain relevé, mené de ce point et limité par les directions de la contrescarpe et de la traverse, fera connaître ensuite la position de la crête du crochet, dont on placera le saillant de manière à rester soumis de 60 centimètres au moins, et autant que possible de 90 centimètres, à l'horizontale correspondante du plan de défilement de la place d'armes; on continuera ainsi de crochet en crochet jusqu'à la place d'armes saillante, qu'on cherchera à défiler par le terre-plein, comme nous l'avons déjà dit. Si les circonstances ne le permettent pas, on formera pour cette place d'armes un ou deux plans de défilement particuliers, en s'astreignant à la condition de les soumettre à ceux des crochets, comme ceux des crochets le sont à celui de la place d'armes rentrante, afin de favoriser la défense pied à pied.

En procédant de cette manière, les traverses et le crochet autour du passage ou défilé de traverse doivent se trouver dans le plan de défilement supérieur, mais le débouché de ce passage sous le plan inférieur, ce qui oblige à établir en rampe le fond du passage. Le pied de la rampe correspondra à la droite, à laquelle le plan supérieur s'arrête

(*pl. II, fig. 4*), et l'on rachètera par un talus au $^1/_{10}^e$ la différence de niveau entre deux ressauts successifs, à l'endroit où les glacis se raccordent.

Rien n'empêche, sans doute, de procéder de la même manière sur les fronts à fossés secs, mais il est bien plus difficile d'y soumettre les terre-pleins au feu de l'ouvrage en arrière, à cause de la moindre largeur des fossés; il faudra même alors multiplier les traverses casematées, si on ne veut préparer des abris à l'ennemi qui s'est jeté dans le chemin couvert; dépense à laquelle on ne se résoudra qu'à regret, vu l'utilité plus restreinte de la libre communication le long des branches. C'est la raison pour laquelle on préférerait défiler la place d'armes saillante après la place d'armes rentrante et leur subordonner la position des branches, au lieu de procéder de proche en proche.

Mais les mesures proposées ne suffiront plus, lorsque, outre les vues d'enfilade, on a des vues de revers à craindre entre le saillant et l'ouvrage en arrière. Dans ce cas, on doit employer un glacis de contrescarpe, ou placer la crête des glacis de la place d'armes à la hauteur nécessaire pour couvrir le terre-plein de la partie de la branche opposée, en arrière de la première traverse; opération qui présente de nombreuses difficultés, souvent même insurmontables. Il faut, en effet, que la crête de la place d'armes saillante couvre la branche opposée à revers, et que, de plus, cette même branche soit défilée de la place d'armes saillante, sur une certaine longueur à droite et à gauche de la capitale. Cette double condition exige: 1° que le plan tangent au terrain relevé, passant par la crête de la partie avancée du chemin couvert, laisse au-dessous de lui la branche du chemin couvert qui pourrait être vue à revers entre la première traverse et le saillant de l'ouvrage en arrière; 2° que le plan de défilement de la place d'armes saillante coupe le plan de défilement de la branche en arrière, suivant une droite laissant en avant d'elle la plus grande partie de cette place d'armes, ou, en d'autres termes, que ces deux plans forment arête au-dessus de la traverse ou plus près du saillant.

Supposons que la crête de la place d'armes saillante et la position de la première traverse soient fixées, on pourra s'y prendre de la manière suivante pour résoudre le problème : on concevra un plan vertical passant par le point couvrant du saillant de l'ouvrage en arrière et par l'extrémité de la traverse, et l'on prendra son intersection avec le plan tangent au terrain relevé, passant par la crête de la branche

couvrante de la place d'armes. Par cette droite d'intersection, on fera passer un plan qui laisse au-dessous de lui, à une hauteur suffisante, le sommet de la place d'armes et tout le terrain en avant, et ce sera le plan de défilement cherché. Si ce plan n'était pas convenable, sous le rapport du relief ou pour toute autre cause, et qu'on ne pût pas, sans inconvénient, le roidir, en le laissant toujours passer par la même droite, on ferait varier la position de cette droite d'intersection, en faisant tourner le plan vertical qui la contient, soit autour du saillant de l'ouvrage, soit autour de l'extrémité de la traverse.

Le tâtonnement deviendra plus long et plus difficile lorsque le plan de défilement de la place d'armes sera indéterminé, en même temps que celui de la partie du chemin couvert, immédiatement en arrière, car il faudra recommencer les essais que nous venons d'indiquer pour chaque hypothèse différente qu'on pourra faire sur le plan de défilement de la place d'armes, jusqu'à ce qu'on parvienne à deux plans qui satisfassent le mieux possible à toutes les conditions qu'on s'est imposées.

Nous avons cité cette solution, empruntée au colonel Noizet, plutôt pour vous donner un exemple de la manière dont de pareilles questions doivent être traitées, que comme un moyen toujours efficace de surmonter les difficultés indiquées; car il serait souvent aussi impossible d'élever la crête du glacis à la hauteur nécessaire pour intercepter les revers, en se réglant sur la cote du terre-plein des branches, que de descendre le terre-plein suffisamment au-dessous du prolongement du plan passant par la crête de la place d'armes, tout en conservant une hauteur de contrescarpe convenable et en couvrant bien les revêtements. La solution est également inadmissible dans l'hypothèse où les deux branches prolongées rencontrent la hauteur, c'est-à-dire où des revers sont à craindre pour les deux branches à la fois. Nous ne pouvons d'ailleurs avoir la prétention de vous indiquer la meilleure manière de résoudre toutes les difficultés que l'application présente, car elles varient à l'infini avec les formes du terrain et la position relative des fortifications. Nous devons nous borner aux préceptes généraux et à quelques exemples. Ce sera à vous à discerner, dans l'occasion, comment on doit les interpréter, et quelles conditions doivent prévaloir dans la disposition des ouvrages, pour que la défense éprouve le moins de préjudice des altérations à la forme normale des fortifications.

Dans l'espèce, nous attirerons votre attention sur l'utilité des réduits casematés de place d'armes saillante, dont le recouvrement peut servir

parfaitement de traverse en capitale, pour une partie notable des branches. La divergence entre la contrescarpe et la crête du glacis donnera souvent moyen d'interposer aussi des parties de glacis de contrescarpe, jusqu'à la première traverse casematée, dont le recouvrement peut être utilisé de nouveau, en sacrifiant les feux de sa banquette. L'obliquité des revers augmentant à mesure qu'on recule vers la place d'armes rentrante, il sera parfois possible de conserver un terre-plein de largeur suffisante, en changeant la direction de la crête du glacis du second crochet et la rendant parallèle à la droite passant par les points couvrants de la traverse casematée et du saillant de l'ouvrage en arrière, à l'instar du tracé du chemin couvert de Chasseloup ; dès que les vues d'enfilade et de revers sont interceptées, on défile le chemin couvert par le terre-plein, en ayant soin de ne pas découvrir les maçonneries de l'ouvrage en arrière ou les communications.

Le défilement de ces dernières donne encore lieu à quelques observations spéciales, que nous ne devons pas passer sous silence.

Si des rampes se dirigent dans le même sens que l'échelle de pente des plans de défilement, elles se défileront elles-mêmes dans la partie inférieure, et il n'y aura que le palier avec la partie avoisinante, jusqu'à $2^m,50$ ou au moins $2^m,20$ au-dessous, qui devront être couverts par une traverse ou un parapet quelconque. Si elles se présentent obliquement, elles seront encore parfois défilées sur une partie de leur largeur, par l'arête extérieure, toujours nécessairement plus haute dans la direction vers la campagne, en sorte que des hommes pourraient y passer sans danger, en serrant le mur. Nous disons des hommes, car des attelages ont une largeur telle, qu'il deviendrait fort difficile de ne pas les exposer, à moins que les rampes elles-mêmes n'eussent une dimension inusitée. Il suffirait, au surplus, d'un mur de peu d'épaisseur pour les garantir du boulet, à cause de l'obliquité supposée des vues, et contre des coups de fusil, une cloison en madriers ferait, par la même raison, le même effet.

Ne perdons pas de vue que l'inclinaison du terre-plein change la longueur des rampes, l'intersection des plans s'éloignant ou se rapprochant, suivant la différence entre les cotes de niveau des points de départ et d'arrivée, tandis que l'inclinaison des rampes est déterminée par les conditions de la locomotion, qu'on ne peut faire varier.

Quand une rampe se présente à peu près perpendiculairement à la direction de l'échelle de pente d'un plan de défilement et se trouve couverte à son sommet par le parapet de l'ouvrage au niveau de son

palier supérieur, tandis que son pied est couvert par le parapet inférieur, rien ne prouve que tous les points de son parcours soient également dérobés aux vues; il arrive même souvent, lorsque ces rampes sont adossées à un mur de profil, qu'elles se découvrent vers le milieu de leur longueur. Pour éviter ce grave défaut, on prendra une ligne parallèle à l'arête extérieure de la rampe et à $2^m,50$ au-dessus; par cette ligne on fera passer un plan tangent au terrain extérieur relevé, et on cherchera l'intersection du plan vertical contenant la crête couvrante avec ce plan. Si cette intersection se trouvait plus élevée que la crête, évidemment la rampe ne serait pas garantie sur toute la hauteur voulue, et faisant alors passer des droites par le point de tangence et divers points de la crête couvrante, on reconnaîtrait à quelle hauteur la rampe est couverte sur ces directions. Il faudrait changer, d'après ces indications, ou la position de la rampe ou la hauteur du parapet, pour que la communication puisse avoir lieu avec sécurité.

L'établissement des communications souterraines emporte aussi l'obligation de quelques précautions, afin d'empêcher qu'elles ne servent d'approche à l'ennemi, après que l'ouvrage auquel elles conduisent est tombé entre ses mains. La plus simple et la plus usitée est de les faire déboucher dans un corps de garde, dont les feux les battent suivant leur longueur, afin d'opposer un feu supérieur à celui de l'ennemi qui tenterait de forcer le passage, et l'on doit s'y borner, lorsqu'on prévoit pouvoir tirer encore quelque utilité de ces galeries, dans des retours offensifs; en ce cas, on fera bien de fermer entièrement le passage direct par une clôture crénelée, que l'on contournera à droite ou à gauche pour entrer dans le corps de garde; mais quand on n'a pas cet espoir, il est préférable de détruire tout l'accès, au moyen de fougasses pratiquées dans les pieds-droits de la voûte, et dont les amorces se trouvent dans la contrescarpe de l'ouvrage en arrière. Si les localités le permettent (et elles le permettront souvent), un autre moyen plus efficace est de remplir la communication d'eau, ce qui en ôte l'usage à l'assaillant et laisse à l'assiégé la faculté de la rétablir quand elle peut lui devenir utile. Les manœuvres hydrauliques exigent la construction de machines, que les rapides travaux d'un siége ne laissent pas le temps d'exécuter, mais que le possesseur de la forteresse a tout le loisir d'établir pendant la paix; leur emploi est donc tout entier en faveur de la défense, aussi ne doit-on négliger aucune occasion de les appliquer, tant souterrainement qu'à la surface du sol : par exemple, pour s'assurer de la même manière la jouissance exclusive

des passages resserrés entre deux demi-caponnières, dans les sites où l'eau se rencontre à des niveaux très-différents.

Nous avons expliqué, dans les leçons précédentes, l'avantage que les rampes ont sur les escaliers, pour la facilité des communications; mais il est bon d'observer que nos raisonnements portaient sur des rampes dont l'inclinaison était renfermée dans les limites prescrites, et ne seraient plus d'application si, par routine ou esprit d'imitation, on construisait des rampes là où l'espace manque pour leur donner une base convenable. Un escalier commode sera d'un meilleur service qu'une rampe trop roide, et en l'y substituant, on ne sera pas exposé, en même temps, à induire en erreur des chefs qui pouvant difficilement s'identifier avec tous les détails d'un ouvrage, croiraient trouver des communications faciles pour l'artillerie là où, en effet, le secours des machines serait indispensable. Il faut que les dispositions satisfassent toujours réellement au but proposé et non se borner à contenter les yeux, comme il arrive trop souvent. Cette remarque trouvera encore son application, en fait de communications, dans les sorties dévoyées, coupées dans les demi-caponnières et les glacis. Il ne suffit pas, pour couvrir le passage, de diriger la droite ou la courbe qui le limite extérieurement vers un point couvrant, mais il faut s'assurer si tous les points de la ligne couvrante sont à une hauteur telle qu'ils garantissent la liberté de la circulation dans l'intérieur de la caponnière, choses extrêmement différentes.

La nécessité de l'interposition de masses de terre, pour dérober les revêtements aux feux destructifs de l'artillerie, comme l'impossibilité d'élever souvent les glacis à cette hauteur, et même d'intercepter par des parapets avec glacis les vues sur le fond du fossé, ont conduit plusieurs ingénieurs à donner au chemin couvert un parapet d'une épaisseur seulement suffisante contre la pénétration des projectiles avec un talus extérieur sous 45°, en un mot, à convertir les glacis en glacis coupés. Forcés de choisir entre deux maux, nous n'hésiterions certainement pas à subir les inconvénients qui en résultent (l'angle mort d'une étendue proportionnée au relief et le rétrécissement du débouché vers la campagne), plutôt que les désavantages inhérents aux escarpes découvertes et aux communications compromises; cependant, cet inconvénient nous paraît considérable, lorsqu'on ne peut pas faire plonger dans l'eau le pied du talus extérieur et couvrir également d'eau l'espace où la hauteur du relief empêche de porter des feux; et même, dans ce cas, on s'interdit la communication avec la campagne, si l'on rend plus

difficile l'approche des ouvrages, d'autant qu'on n'a recours à cet expédient que lorsque la crête s'élève beaucoup au-dessus du terrain naturel, c'est-à-dire quand l'espace mort devient capable de contenir des corps nombreux. Lorsque le glacis coupé borde un cours d'eau ou est précédé d'un fossé, le meilleur sera de lui donner la forme bastionnée ou tenaillée, afin de diminuer autant que possible l'étendue de l'abri offert à l'assaillant. Si le pied du talus s'appuie sur la campagne, en donnant au chemin couvert la forme tenaillée, on s'efforcera de tenir les rentrants assez bas pour que les saillants soient efficacement flanqués et que les rentrants puissent avoir un glacis ordinaire; disposition qui n'est pas exempte de défauts, en ce qu'elle diminue la protection dont les saillants sont redevables aux rentrants, quand ceux-ci ont un certain commandement sur les premiers, mais qui atténue au moins le plus choquant, en ne laissant aucun point du terrain extérieur soustrait aux feux des ouvrages.

Il arrive souvent qu'on ne peut pas renfermer dans l'enceinte du corps de place tous les points du terrain qu'il est indispensable d'occuper, soit pour étendre son action, comme lorsqu'il s'agit d'assurer le passage sur un grand cours d'eau, afin de manœuvrer sur les deux rives, et, en général, le débouché au delà d'un défilé quelconque, soit parce que l'établissement de l'ennemi sur ce terrain rendrait la défense de quelques parties du rempart trop difficile, ainsi que cela arriverait s'il pouvait comprendre dans ses attaques une hauteur dominante, placée à portée des petites armes des parapets. Dans la 12^{me} leçon de la 3^{e} partie, nous vous avons indiqué les formes qu'on donne habituellement aux ouvrages extérieurs par lesquels on occupe des points pareils, et nous avons indiqué sommairement leur valeur militaire, en terrain horizontal. Il nous faut encore examiner quand et comment on peut les utiliser en terrain varié, en nous bornant toujours aux prescriptions générales, partout applicables.

1° Un ouvrage qui doit assurer un débouché au delà d'un défilé, rivière, ravin ou escarpement, doit contenir un espace intérieur, suffisant au rassemblement des troupes qu'on veut pouvoir y réunir. 2° Les flancs étant la partie faible de toute disposition, les branches par lesquelles on couvrira la communication entre l'enceinte et l'ouvrage extérieur devront être aussi courtes que possible; le peu d'utilité que la défense retire de ces branches, en comparaison de la dépense qu'elles occasionnent, est encore un puissant argument en faveur de cette prescription 3° Autant que possible, la prise de l'ouvrage extérieur ne

doit pas influer sur la durée de la résistance dont la place aurait été capable, si l'addition n'avait pas eu lieu. 4° L'attaque emprunte sa plus grande force de sa position environnante, et plus un front de fortification devient facile à embrasser, plus énergique deviendra l'action des batteries de l'assiégeant. Il faut donc chercher à combiner les ouvrages extérieurs avec l'enceinte, de manière à ce qu'on ne puisse embrasser les premiers sans être vu à revers de la dernière et réciproquement. 5° Tout ouvrage éloigné de la place au delà de la portée des petites armes doit avoir un réduit, dans lequel sa garnison puisse se retirer et attendre des secours, si elle est forcée d'abandonner momentanément l'ouvrage principal. 6° Enfin, à moins de donner une défense tout à fait séparée et des moyens d'action complets et indépendants à l'ouvrage extérieur, il faut que la communication entre lui et la place ne puisse être interrompue par l'assiégeant, ni directement par des tranchées conduites entre deux, ni indirectement par des feux à bonne portée.

Voyons comment on applique ces préceptes aux divers ouvrages mentionnés.

Un ouvrage à cornes ne sera bien placé que si les branches sont hors d'attaque et que sa tête ne puisse être embrassée, les prolongements des faces tombant dans des surfaces d'eau ou dans des dépressions du terrain. Son front devra avoir une longueur suffisante pour que le flanquement des fossés soit exact et complet. La distance de la tête ne doit pas dépasser 400 mètres (avec les anciennes armes elle n'était que de 250 mètres), pour que tout l'intérieur soit vu et efficacement battu par la mousqueterie du chemin couvert de la place. Ce chemin couvert doit commander de $0^m,90$ celui de l'ouvrage à cornes et être défilé du terre-plein de l'ouvrage même. A cet effet, il faudra arrêter les branches au pied du glacis de la place et, en général, au point où les ouvrages collatéraux intercepteront les vues de revers dirigées vers l'intérieur de la corne. Si ces vues ne pouvaient être interceptées que par les branches mêmes, on en sacrifierait une partie, les transformant en simples traverses, afin de ne pas donner à l'ennemi un emplacement suffisant pour la construction des batteries sur le terre-plein, et de ne pas intercepter inutilement les feux dirigés par les ouvrages collatéraux sur le terrain entre la gorge de la corne et le pied des glacis de la place, lorsque l'ennemi voudrait continuer par là ses approches. On soumet le plan du terre-plein du dehors de $1^m,50$, si on le peut, au plan des crêtes du chemin couvert de l'enceinte, afin que les batteries érigées sur le terre-plein ne prennent pas de commandement sur ce chemin couvert, et on néglige,

s'il le faut, les feux des têtes de sape entaillées dans le parapet des branches; autre raison pour rendre ces branches aussi courtes que possible, et diminuer le rapport entre leur relief et leur distance, en éloignant la gorge de l'ouvrage.

Si la tête de l'ouvrage à cornes devait être portée au delà de 400 mètres de la crête du chemin ouvert, il faudrait soutenir l'ouvrage par un réduit, de forme convenable, pour que ses fossés pussent être énergiquement flanqués de parapets en arrière. Le réduit devrait être casemate et son escarpe à l'abri d'insulte. En même temps on garantira par tous les moyens la sûreté de son entrée, afin que, pendant une attaque nocturne exécutée par un ennemi nombreux, la garde ait un refuge inexpugnable, dans lequel elle puisse attendre des secours; ce réduit assurera ainsi la réussite du retour offensif par lequel la garnison reprendrait l'ouvrage extérieur, aussitôt que le retour de la clarté donnerait aux feux du rempart l'efficacité voulue. Afin de rendre les coups de main et les attaques de vive force plus difficiles, on escarpe la gorge de l'ouvrage sur une hauteur suffisante pour ne pouvoir être gravie sans échelles, en prolongeant, à cet effet, les glacis de la place au-dessous du terrain naturel. Si la localité ne se prête pas à une pareille disposition, on ferme la gorge de l'ouvrage par un mur crénelé mince, que l'artillerie de la place renverserait promptement lorsqu'il s'opposerait aux retours offensifs de la garnison.

Par ces diverses exigences, il est facile de juger qu'un ouvrage à cornes est rarement d'une bonne application. Comme les places anciennes en présentent beaucoup, on s'est efforcé de trouver des corrections qui en neutralisent les défauts, en recoupant les branches, et en prolongeant jusqu'au fond des fossés les glacis d'un chemin couvert autour de la contrescarpe de l'enceinte. Il a fallu encore suppléer, le plus souvent, par des feux casematés, à l'insuffisance du flanquement des fossés, insuffisance qui résultait de la disproportion entre la hauteur de l'escarpe et la longueur du côté du polygone, puis augmenter, par l'addition d'une lunette en capitale, la saillie de la petite demi-lune, afin d'empêcher le couronnement simultané des trois saillants. Peut-être aurait-il été plus économique et plus rationnel de démolir l'ouvrage et d'en employer les matériaux à la construction de fortifications plus judicieusement disposées; ce qui est presque toujours le cas, lorsqu'on veut approprier d'anciens édifices à une destination nouvelle.

Les couronnés simples, doubles et triples (*voir*, le plan de Cologne, fig. 5, pl. VIII, de la 3^{me} partie), sont spécialement employés comme

têtes de pont, pour couvrir la communication entre les deux rives d'un grand cours d'eau, leur développement éloignant les travaux de l'attaque du pont au moyen duquel la communication doit avoir lieu et dont la conservation est souvent du plus haut intérêt, aussi bien pour la défense du dehors que pour le rôle à jouer par la forteresse dans les diverses opérations de la guerre. En même temps, ils couvrent aussi quelquefois la tête du barrage qui sert à élever le niveau des eaux et à former des inondations. La conditions de leur tracé seront donc les mêmes que celles des ouvrages à cornes, mais bien plus faciles à remplir, la tête formant une ligne brisée, dont les extrémités peuvent être ramenées vers la place, afin de raccourcir les branches et de rendre une attaque enveloppante plus difficile, sinon impossible. Si la place déborde le dehors assez pour prendre des revers énergiques sur l'attaque des demi-bastions extrêmes, l'ennemi devra s'adresser à un bastion et à deux demi-lunes, au lieu d'attaquer deux demi-bastions et la demi-lune intermédiaire, et nous savons combien ceci facilite la défense, tant par les revers que les demi-lunes prennent sur l'approche du bastion, que parce qu'on n'a qu'un bastion à retrancher au lieu de deux. La possession du pont assurant seule la sûreté de la retraite, et toute troupe dont la retraite est compromise, tandis qu'elle lutte de front contre un ennemi supérieur, étant toujours tentée d'abandonner le combat avant d'être abordée, c'est la conservation de cette communication qui prédomine toutes les autres dispositions. On aura, par cela même, grand soin de la soustraire aux vues et bien plus aux feux directs ou obliques de l'assiégeant, et cette condition sera plus facilement remplie en la reportant vers l'amont et en allongeant la tête de pont vers l'aval. La construction d'ouvrages sur l'autre rive ne dispense pas, au surplus, de l'obligation de dérober les escarpes de la place, le long du cours d'eau, aux feux d'artillerie; car, par le motif allégué tantôt, la défense des fronts qui s'appuient à la rive serait compromise si la possibilité existait d'ouvrir l'enceinte en arrière, à travers les fossés de l'ouvrage extérieur. Les rivières tendent à déposer sur leurs bords le limon qu'elles entraînent dans les crues et les fortes pluies, en sorte que, par la suite du temps, il se forme presque toujours des atterrissements, lesquels, rehaussés par les débris d'une brèche, suffisent pour en faciliter l'accès, comme on l'a vu aux siéges de Namur, de 1695 et 1746; à celui de Tortose, en 1811, et à celui de Saint-Sébastien, en 1813. Si le couronné couvre un barrage, sa défense empruntera presque toujours des ressources puissantes à l'inondation qu'il assure, celle-ci

rendant inaccessible une de ses branches, et interceptant les prolongements d'une partie des lignes du tracé. Parfois même elle enveloppera tout le couronné, lorsque le barrage force les eaux à se répandre sur les terres et à faire le tour du glacis avant de retomber dans leur lit ; mais il est à observer qu'une pareille inondation prive quelquefois la garnison des accès dans la campagne qu'elle aurait sur cette rive. Enfin, si la différence de niveau est considérable (ce qui pourtant ne peut guère arriver lorsque le cours d'eau est grand, à cause de la difficulté de soutenir une telle masse, à une forte élévation, par des barrages), on profiterait de cette circonstance pour tenir les fossés secs ou pleins d'eau à volonté, et l'attaque aurait un obstacle considérable de plus à franchir, la prise du couronné ne dispensant pas d'ailleurs du siége de la place sur l'autre rive, puisque la rivière interposée rend une nouvelle approche indispensable, et que les revers à prendre sur les fronts appuyés à la rivière seraient les seuls avantages procurés à l'assaillant par sa première conquête. Il faudra que les ouvrages de la place sur les fronts opposés soient bien formidables pour que l'attaque par le couronné devienne la plus facile et la plus prompte.

Afin de prévenir les surprises, si la rivière est guéable ou navigable, il conviendra de fermer la gorge du couronné par un mur crénelé, de 5 à 6 mètres de hauteur, tracé en crémaillère ou bastionné. On empêchera ainsi les coups de main et les attaques par bateau. Observons à cette occasion, qu'une rivière non guéable le devient souvent, en aval d'un barrage, dans les premiers jours qui suivent sa fermeture, et qu'il en résulte le danger d'être enlevé de vive force, dans les places sises à cheval sur un cours d'eau, si des précautions ne sont prises pour l'écarter.

Dans la supposition d'un couronné simple ou double, formant tête de pont, il arrivera souvent que le saillant de ses bastions ou de ses demi-lunes atteindra la berge élevée du vallon, tandis que les branches, placées d'ailleurs dans des rentrants, seront protégées par des inondations ou des fossés pleins d'eau. On peut alors égaliser la résistance dont chaque front est susceptible, en contre-minant la partie projetée au-dessus du niveau des eaux.

Quand la vallée est large, il faut pour la barrer ajouter une digue sur le prolongement du pont. En ce cas, la digue peut être au dehors ou en dedans de la tête de pont. La première combinaison exige un nouvel ouvrage pour couvrir la digue, et c'est pourquoi la seconde est préférable. On réalise celle ci en détachant la tête de pont de la rive du cours d'eau, si la chose est possible.

Lorsque le couronné a uniquement pour but l'occupation d'une position dangereuse, il faut lui appliquer les prescriptions données pour les ouvrages à cornes ; mais son relief devra être encore plus respectable et ses défenses intérieures plus multipliées, car la perte d'un dehors de cette importance démoraliserait la garnison, et entraînerait probablement une reddition. Il ne faut néanmoins pas négliger de défiler l'enceinte et le chemin couvert du corps de place du couronné, autant qu'il est possible, en faisant passer les plans de défilement à $1^m,50$ au-dessus du terre-plein du dehors, ni de soumettre son intérieur aux feux de la place, pour rendre les approches, après sa prise, plus difficiles. Ces prescriptions étant les mêmes pour tous les ouvrages extérieurs, nous ne répéterons plus ce que nous avons dit à cet égard, à l'occasion des ouvrages à cornes.

Les contre-gardes sont fréquemment employées pour atteindre le but désigné à la fin de la leçon précédente, celui de couvrir le revêtement d'un ouvrage, quand on ne peut remblayer un glacis jusqu'à la hauteur nécessaire ; c'est seulement sous ce rapport que le terrain peut influer sur leur construction. Quand l'objet qu'on se propose est d'augmenter le nombre d'ouvrages sur un front plus spécialement menacé, on suivra les indications de la 12^{me} leçon de la 3^{me} partie, combinant les contre-gardes avec les demi-lunes doubles, afin d'empêcher les brèches au corps de place à travers leur fossé et tâchant d'intercepter les vues sur le réduit de demi-lune par le fossé de la contre-garde, au moyen d'un glacis de contrescarpe, séparé de la contre-garde et de la demi-lune par des crochets à coupures casematées, à l'instar de celui que nous avons construit derrière le réduit de place d'armes, dans le front de la place idéale. Nous ne nous appesantirons pas sur ce sujet, la position d'une contre-garde autour d'un bastion ayant d'ailleurs la plus grande analogie avec celle d'une grande demi-lune autour de son réduit.

De tous les ouvrages destinés à s'assurer la possession de quelques points importants, le plus usité est la lunette, parce qu'elle s'adapte à presque tous les terrains, par suite de l'extension que ses dimensions sont susceptibles de prendre, de la simplicité de son tracé, de la facilité de son flanquement, et du peu de parti que l'ennemi en tire après sa prise, l'intérieur restant découvert à tous les feux des ouvrages en arrière. Aussi s'en sert-on de préférence, pour accroître un saillant, en la plaçant sur la capitale, pour prolonger un front et empêcher l'ennemi d'en embrasser une partie ; pour former une chaîne de points for-

tifiés en première ligne, et même pour occuper des points isolés. Ce dernier usage est celui auquel elle paraît le moins propre, par suite du défaut de flanquement inhérent à son tracé, quand elle n'est pas soutenue par d'autres ouvrages, défaut que les galeries d'escarpe et de contrescarpe et l'eau dont les fossés sont remplis corrigent très-imparfaitement; en sorte que, dans ce cas même, il convient de combiner son tracé de manière que les fossés puissent être flanqués des ouvrages en arrière. Si les lunettes sont entourées d'un chemin couvert, leur relief ne peut être moindre de $4^m,50$ à 5 mètres, et nous ne voudrions jamais leur donner moins, afin de ne pas trop les exposer au ricochet. Il en résulte que lorsqu'elles sont rapprochées du chemin couvert du corps de place, leur terre-plein étant au niveau de la crête, ce chemin couvert se trouve commandé, contrairement à la règle que nous avons formulée. On parera à ce défaut en relevant les saillants du chemin couvert du corps de place, de manière à faire passer le plan des crêtes prolongées à $1^m,50$ au-dessus du terre-plein à la gorge de la lunette, et en tenant le plan de défilement de celle-ci parallèle ou plus bas.

De pareils ouvrages doivent toujours contenir un corps de garde casematé, servant, en même temps, de magasin à poudre et de magasin d'artillerie, afin d'abriter le matériel et la garde, tant que leur présence sur le rempart est inutile. Le peu de relief de l'ouvrage fait qu'on établit souvent ce bâtiment sous une traverse en capitale, laquelle sert de parados aux deux faces à la fois, ou qu'on l'utilise pour la défense de la gorge, toujours revêtue sur une petite hauteur. On donne au réduit la forme parallélogrammatique, partageant l'espace sous la voûte en deux, par un plancher, quand la nature du fond permet de s'enterrer, ou séparant une partie du cylindre, par un mur de refend. Dans le premier cas, l'étage inférieur sert de magasin, le supérieur au logement des troupes; tandis que, dans le second, celles-ci occupent la partie antérieure. Si on voulait tirer quelque défense d'un pareil bâtiment, elle serait nécessairement très-faible, le le feu fait à travers des créneaux percés dans des murs épais ayant un champ de tir fort limité. Lorsque les ouvrages sont à 300 ou 400 mètres du chemin couvert, il convient de leur donner des réduits plus consistants, ayant eux-mêmes la forme d'une lunette, et afin de faciliter le flanquement, on peut alors convertir la lunette enveloppe en redan, en sorte que rien n'intercepte les feux dirigés entre l'ouvrage et son réduit, et si plusieurs lunettes se soutiennent mutuellement, on peut remplacer les flancs par des crémaillères, entaillées au bout

des faces, dont le parapet aura un surcroît d'épaisseur en cet endroit. Cette disposition a encore l'avantage de pouvoir battre de feux casematés, tirés des flancs des réduits, le terrain entre les lunettes, et elle est sans danger, si on peut mettre de l'eau dans les fossés ou donner aux réduits une hauteur d'escarpe suffisante pour être à l'abri d'un coup de main.

Nous avons expliqué, au surplus, dans la leçon citée, comment ces lunettes reçoivent un grand surcroît de force d'un chemin couvert qui les relie, et la manière dont il convient d'établir les communications. Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet, ce que nous avons dit déjà des autres ouvrages extérieurs, et les règles que nous avons posées, suffisant pour vous diriger dans les applications que vous seriez dans le cas de faire.

Terminons nos leçons sur le défilement par une remarque qui ne manque pas d'importance. On a dit que cet art n'en a pas beaucoup et que les ouvrages défilés, selon les méthodes habituelles, ne valent guère mieux que ceux où l'on n'a point mis tant de façon. Il est vrai que la fortification laborieusement défilée sur les sites accidentés ne surpasse pas, en valeur défensive, celle qu'une plaine horizontale a permis de construire plus simplement. Mais là n'est point la question. Le grand but à atteindre, c'est d'éviter que, faute de défilement, la valeur des ouvrages ne s'évanouisse en découvrant partout les terre-pleins et les maçonneries et en n'éclairant pas les pentes du terrain extérieur.

Bien souvent déjà, les aperçus superficiels du sujet ou le défaut de perspicacité ont donné lieu, en cette matière, à des critiques aussi oiseuses que stériles, quelquefois même à de monstrueuses hérésies.

9me LEÇON.

INFLUENCE DU SITE SUR LES FORMES GÉNÉRALES DE LA FORTIFICATION.

SOMMAIRE.

Classification des sites en sites simples et composés; sites simples : plaines, marais ou hauteurs; sites composés : plaines et marais, plaines et hauteurs, marais et hauteurs, hauteurs à des niveaux différents. — Places maritimes. — Places symétriques dans les plaines sans eau; leurs inconvénients. — Plaines coupées d'eau, parti à tirer de cette défense naturelle; inondations, manœuvres d'eau. — Application de la vapeur. — Une inondation ne dispense pas de l'addition d'un chemin couvert. — Sites simples sur les hauteurs, leurs avantages, leurs défauts : difficulté d'éclairer les pentes et d'agir sur les terrains à distance. — Sites de marais inaccessibles, mais sans action extérieure. — Disposition générale des fortifications pour des places pareilles.

Après avoir examiné l'influence de la forme du terrain sur les dimensions de chaque ouvrage en particulier, jetons un coup d'œil sur la disposition générale d'une place suivant le site sur lequel elle est construite. La matière étant vague, on pourrait s'étendre indéfiniment sur ce sujet, en multipliant les cas particuliers et les exemples; mais c'est aussi par suite de cette faculté que les exemples sont si peu concluants et laissent si peu de chose dans l'esprit. Le problème de la fortification d'une position est indéterminé, tant qu'on ne connaît pas toutes les données sur lesquelles il est basé et toutes les conditions auxquelles la solution doit satisfaire. Or, parmi ces données et ces conditions, il y en a beaucoup qui sont indépendantes des circonstances locales. Vouloir *à priori* déterminer d'après le site seul la forme que les fortifications devront avoir, serait donc conclure du cas particulier au général, une des manières les plus sûres de faire un raisonnement faux. Nous nous bornerons par cela même à quelques aperçus, laissant à votre intelligence à appliquer judicieusement les principes que nous avons posés, si jamais vous êtes assez heureux pour être appelés à faire le projet d'une place entièrement neuve, chance qui se présente trop

rarement dans la vie d'un ingénieur, pour admettre qu'elle puisse être dévolue à chacun de vous.

D'ordinaire les sites sont classés en simples et composés : simples sont ceux dans lesquels toute l'étendue sur laquelle on doit bâtir et agir présente une même espèce de terrain. On les subdivise en sites de plaine, de marais et de hauteurs. Les composés comprennent dans leur surface au moins deux des éléments simples. Ainsi on distingue les sites de plaine et marais, plaine et hauteurs, hauteurs et marécages, plaine, hauteurs et marécages, ce qui se complique encore par les places bâties sur des hauteurs à différents niveaux, nouvel élément se combinant par combinaison binaire et ternaire avec les autres ; enfin, on fait une classe séparée des places maritimes. Parcourons rapidement ce qu'on trouve prescrit pour chacun de ces sites, en ne perdant pas de vue, néanmoins, qu'aucune prescription pareille ne peut être admise sans réserve, mais qu'elles sont applicables ou à rejeter, suivant les conditions de l'établissement de la place.

Si la forteresse est en plaine, c'est-à-dire au milieu de prairies et de champs labourés, peu élevés au-dessus du niveau des eaux de source, cette plaine peut être coupée d'un ou de plusieurs cours d'eau, fleuves, rivières ou gros ruisseaux, ou ne pas en présenter.

Dans le dernier cas, les localités ne fourniront aucune raison pour disposer les ouvrages sur un front différemment que sur les autres, et la place deviendra tout à fait régulière. Il sera avantageux toutefois, quand il s'agit d'une grande place, de tracer plusieurs fronts successifs sur le même alignement, sauf la précaution de redoubler les obstacles aux points de rupture; ainsi, par exemple, on tracera une enceinte de 16 fronts sur un grand carré dont chaque côté en comprendra 4. Dans une place régulière et symétrique, les dimensions des lignes diverses se régleront uniquement suivant les exigences d'un bon flanquement et d'une ouverture convenable des angles. Ce site semble d'abord le plus avantageux de tous, mais sous bien des rapports il est le plus défavorable : 1° sous le rapport de l'économie : la nature n'offrant aucune ressource à la défense, il faut créer partout des obstacles artificiels, en sorte que pour un périmètre et une surface inscrite donnés, la dépense sera un *maximum;* 2° il en sera de même de la garnison et du matériel de guerre dont elle devra être pourvue, la place étant abordable sur tous les points et l'ennemi pouvant donner une extension indéfinie à ses attaques; 3° ses approches seront fort favorisées par la facilité d'exécuter toutes les tranchées au louchet;

4° tous les fronts étant également attaquables, on restera incertain sur le véritable front d'attaque, jusqu'au moment où l'assiégeant l'aura lui-même nettement accusé par ses travaux, et par suite, l'armement de défense ne pourra se faire que tardivement, et même il pourra être rendu impraticable si l'attaque déploie dès l'abord un grand feu de mortiers et d'obusiers. Ces défauts sont très-grands, spécialement les deux premiers. Nous avons trop insisté sur les défauts des petites places en général pour que vous ne saisissiez pas de suite la portée de l'inconvénient qui résulte de ceux-là, tant en ce qui regarde la défense du point fortifié même, que par rapport à celle de la frontière dont il fait partie. D'un côté, la surface étant un *minimum* en comparaison du nombre d'hommes renfermés dans l'enceinte, il y a plus de chance pour l'ennemi d'atteindre par les feux verticaux la garnison et les établissements militaires; de l'autre, l'affaiblissement de l'armée active sera plus considérable par rapport à l'importance dont l'occupation de la position est pour la facilité des manœuvres. Ajoutons, en outre, que l'eau pour les différents services devra se tirer de puits et de citernes; que les dernières sont d'une construction très-coûteuse et les premiers sujets à tarir, surtout si l'ennemi trouve moyen de saigner ou de détourner les sources qui les alimentent.

Lorsque la plaine est coupée par un ou plusieurs cours d'eau qui traversent le terrain à fortifier, on tâche de disposer le polygone de manière que les entrées et les sorties des rivières se trouvent dans des rentrants, pour que ces passages, par lesquels l'ennemi pourrait essayer de s'introduire, soient efficacement flanqués et couverts. Cependant, il peut être préférable de présenter un saillant en ce point, s'il est inattaquable. Quand il s'agit d'un cours d'eau très-considérable, il faudra plusieurs passages voûtés pour le recevoir. Quand on ne peut le couper en travers ni le couvrir par les fortifications, la sécurité exigera qu'on en borde l'entrée et la sortie de quais très-hauts, reliés par des ponts solides, dont on barrera les arches à l'aide d'estacades en bois ou en fer. Le pont Royal en aval et le moyen pont en amont sur la Moselle à Metz sont des exemples de ce dispositif. Il est avantageux si le terrain s'y prête, de faire déborder les fortifications d'une rive sur celles de l'autre rive. Les passages moins larges de rivières ordinaires sont fermés de différentes manières, suivant que le cours d'eau est navigable ou non. Dans ce dernier cas, une voûte sous toute la largeur du rempart, fermée à demeure par une forte grille en fer, scellée dans les maçonneries, ouvrira une entrée ou une issue à l'eau, tout en em-

pêchant l'introduction des hommes. Des passages pareils seront pratiqués sous les chemins couverts et les glacis, mais presque toujours accompagnés d'un barrage à vannes ou à poutrelles, pour arrêter l'eau et inonder le pli du terrain dans lequel elle serpente. De cette manière les parapets sont continus et donnent des feux sur tous les points. Le tracé de la place ne sera alors plus astreint à la même régularité que dans le cas précédent, l'inondation formée devant quelques fronts les rendant inaccessibles et leur donnant ainsi un degré de force très-supérieur à celui des fronts que l'attaque peut embrasser sur toute leur étendue. Aussi, bien souvent Vauban s'est-il dispensé de placer des demi-lunes sur les fronts perpendiculaires au vallon inondé et défendus par les eaux. On a blâmé cependant cette économie et non sans raison, car la demi-lune produit presque autant d'effet pour la défense des fronts collatéraux que pour celle du front sur lequel elle est placée, et l'inondation couvrant le flanc de l'attaque dirigée contre les fronts attenants, on n'aura augmenté la force d'une partie qu'aux dépens de l'autre. Si l'inondation s'étendait au loin, sans doute on suppléerait avantageusement à l'action flanquante de la demi-lune par la construction d'une *pièce noyée* (c'est ainsi qu'on appelle les ouvrages avancés, entourés d'inondations de tous les côtés), moyennant l'emploi des précautions que nous avons indiquées dans la 3^{me} partie de ce Cours, pour assurer les communications et abriter les hommes et les munitions; mais on ne peut guère attendre une inondation fort étendue d'un cours d'eau trop faible pour être navigable ou flottable, d'autant que le peu d'élévation de la plaine faciliterait à l'ennemi les travaux nécessaires pour la saigner ou pour détourner l'eau qui l'alimente. Il pourrait même s'en servir, en la barrant plus haut, pour couvrir son propre camp, comme Frédéric-Henri devant Bois-le-Duc, en 1632. Le plus souvent des cours d'eau aussi faibles ne formeront que des flaques de 60 à 100 mètres de largeur, et la pièce placée au milieu de cette étendue pourrait être contre-battue de trop près pour compter beaucoup sur l'efficacité de ses feux, lors même que l'assiégeant ne parviendrait pas à se frayer un chemin au travers d'une si petite surface d'eau. L'économie serait donc plus judicieusement appliquée aux revêtements de ces fronts qu'à leur tracé, qu'on modifiera d'ailleurs de manière à accroître leur action collatérale, en agrandissant les flancs aux dépens des faces, en augmentant la saillie de la demi-lune jusqu'à réduire son angle flanqué au *minimum* d'ouverture, etc.

Si la rivière était navigable, il faudrait conserver le moyen de livrer

passage aux bateaux du commerce ou d'une flottille de défense, en ouvrant dans les remparts des portes d'eau d'une dimension proportionnée à celle des embarcations en usage dans le pays et au profil de la rivière; c'est d'ailleurs un moyen de ne pas submerger en pleine paix le pays en amont, en altérant le régime du cours d'eau. On joint donc au passage pour les bateaux d'autres passages latéraux, fermés comme nous l'avons dit plus haut, tandis que celui par lequel la navigation a lieu est clos à l'aide d'une grille en fer, à double battant, appendue à des gonds en fer, scellés dans les maçonneries, et dont les barreaux descendent au-dessous de la surface de l'eau, à la jauge d'été, en sorte qu'il faut plonger pour passer au-dessous. On y joint encore, en amont de la porte, des arbres flottants, semblables à ceux que nous avons décrits dans la fortification passagère, comme propres à empêcher la navigation dans les chenaux des inondations. Ces portes et passages sont d'ailleurs accompagnés de corps de garde, afin d'assurer la surveillance, et placés dans les courtines, pour être plus facilement dérobés aux vues de la campagne par les dehors et ouvrages extérieurs, précaution indispensable si l'on ne veut s'exposer à voir toutes les fermetures brisées par quelques boulets. Comme le relief du glacis dans un terrain pareil s'élève rarement beaucoup au-dessus du terrain naturel, les passages qu'on y laisse pour la navigation sont le plus souvent à ciel ouvert; mais on soutient les profils par des murs, et on fait précéder les terrassements d'une estacade, afin d'empêcher qu'on ne puisse arriver en bateau au pied du talus extérieur; le même moyen s'emploie aussi autour des dehors non revêtus, laissant entre l'estacade et la berme une largeur d'eau infranchissable d'un saut, comme 6 à 8 mètres. Si le fond est solide, des pilots isolés, appointés par le haut et coiffés encore d'une pointe de fer, peuvent suffire; s'il est vaseux, il conviendra d'augmenter leur résistance, en les reliant par une ventrière. L'entrée du passage est défendue par un arbre flottant, comme nous venons de le dire, et de plus on ménage dans les murs du profil des rainures propres à recevoir des poutrelles, qui formeront les revêtements du coffrage par lequel on complétera le parapet en temps de siége, disposition qu'il est également utile de prendre dans les pieds-droits de la porte-d'eau, quand elle n'est pas nécessaire à la communication avec les dehors, pour clore cette ouverture, diminuer la surveillance exigée et les chances d'une surprise.

Une masse d'eau si considérable donnant toujours les moyens de

tendre une inondation et de rendre inaccessible une partie du périmètre, on ne manquera pas de se mettre en mesure de profiter d'un aussi précieux avantage, en construisant à cet effet des écluses de retenue. Autant qu'il est possible, on ne les placera pas immédiatement sous les remparts, et même on dévoiera le canal qui y conduit de la direction du passage laissé dans la courtine, afin d'ôter toute chance à l'ennemi de les atteindre par des coups de plein fouet; car on doit s'attendre à ce qu'il ne néglige rien pour les détruire et se débarrasser d'un des obstacles les plus difficiles à surmonter. Si les écluses servent simplement à retenir les eaux, à former un barrage, la construction la moins coûteuse sera la meilleure et on se bornera à des poutrelles ou à des vannes; mais quelque fermeture qu'on adopte, on ne se contentera pas d'un barrage unique, qu'une bombe adressée au hasard pourrait détruire, et on multipliera les rainures, afin d'avoir une double ou triple rangée de poutrelles, ou l'on joindra des poutrelles aux vannes; souvent même pendant le siége on recomble l'intervalle entre deux rangées, avec du fumier et de la terre, afin d'être plus sûrement à l'abri d'accident. Lorsqu'on veut se conserver la faculté de naviguer ou de laisser écouler les eaux surabondantes, des écluses à sas ou des écluses de chasse doivent occuper une partie de la largeur du barrage. Les écluses de chasse seront à portes tournantes, accompagnées de portes busquées. On n'emploiera les écluses à double effet, en éventail ou parallélogrammatiques, que pour les places ou la pression de l'eau peut agir successivement sur les deux faces des portes. Si l'on voulait produire une inondation en aval, au moyen de chasses trop abondantes pour s'écouler par le lit habituel de la rivière (expédient rarement employé, et qui, par cela même, pourrait avoir plus de succès, comme moins prévu), les écluses de chasse devraient se trouver en aval de la place et être séparées des écluses de retenue, afin de déverser les eaux avec plus de rapidité. Cette position des écluses peut encore servir à faire monter les eaux dans les fossés des fronts en aval, à la cote de l'inondation et à la faire suinter de là, par divers canaux, dans la plaine inférieure, qu'elles rendront marécageuse au point d'empêcher la conduite des approches et le creusement des tranchées. Dans tous les cas, l'observation que nous avons faite plus haut sur l'importance de ces manœuvres doit engager à mettre les écluses à l'abri de la bombe, par des voûtes ou des blindages, et nous donnons la préférence au premier moyen, comme plus sûr sous tous les rapports.

On barre en certains cas la rivière à quelque distance en amont de la place pour étendre plus au loin l'inondation supérieure; on en agit de même à l'égard des cours d'eau qui passent à proximité de la place sans la traverser. Dans tous ces cas, il faut protéger les barrages par des pièces détachées.

Pour peu que la rivière ait de pente, on ne négligera pas de se procurer l'immense avantage des manœuvres d'eau, en séparant les fossés du lit de la rivière par des batardeaux. Si la pente est faible, les fossés de toute la partie sur une même rive formeront parfois un seul bassin, qu'il suffira de clore par un batardeau en amont et un batardeau en aval; mais l'économie qui en résulte est plus que compensée par le désavantage de devoir mettre tous les fossés à sec ou de les tenir tous pleins d'eau en même temps. En effet, plus le bassin est étendu et la différence de niveau faible, plus la manœuvre sera lente et moins le choc des eaux contre une digue formée en travers aura d'impétuosité. Il peut d'ailleurs être fort important de conserver la libre communication par les fossés des fronts collatéraux, tout en interdisant l'approche des escarpes sur le front attaqué, et, sous ces divers aspects, une grande différence de niveau sera très-favorable à la défense. En tout cas, pour qu'une manœuvre d'eau ait lieu, il faut qu'on puisse tenir le fond du fossé dans le bief supérieur au-dessus du niveau des eaux dans le bief inférieur, sans quoi leur écoulement complet serait impossible. Si la pente de la rivière est assez forte, on pourra former de chaque front un bassin, séparé par des batardeaux en capitale des bastions, ce qui procurera l'avantage de déverser les eaux avec rapidité dans les fossés du front attaqué, après les avoir accumulées dans ceux du front au-dessus, de les faire écouler de même dans les fossés du front suivant, tenus secs jusqu'alors, et de renouveler plusieurs fois la même manœuvre sans épuiser l'inondation qui la fournit. La disposition la plus favorable, à cet égard, est quand on peut faire suivre à l'intérieur un canal partagé en autant de biefs que les fossés, et mettre ce canal en communication avec les fossés, au moyen d'aqueducs passant sous les courtines. Il en résulte que toutes les manœuvres se font derrière les remparts, et que les machines par lesquelles on les exécute sont facilement soustraites au feu de l'ennemi, ce qui n'est malheureusement pas le cas lorsqu'elles doivent être placées dans les batardeaux mêmes qui constituent les retenues, comme cela a lieu ordinairement. Outre cet inconvénient, la dernière disposition a encore celui d'affaiblir ces retenues par des vides nombreux, ou de ne déverser les eaux que par de

petites ouvertures, donc de ralentir la manœuvre. A défaut du canal mentionné, le meilleur parti sera de placer les vannes ou écluses derrière le massif des maçonneries d'escarpe à l'angle flanqué, laissant le corps des batardeaux intact. L'épaisseur que présente ce massif formera un masque suffisant pour les machines, abritées d'ailleurs par des voûtes, et l'accès aura lieu par des galeries derrière l'escarpe, de préférence à des poternes partant de l'intérieur de la place, parce qu'on ne saurait se garder trop soigneusement du danger des surprises.

Il peut être avantageux de placer une première écluse d'inondation dans la contrescarpe, afin de conserver la liberté de tenir tous les fossés sous le niveau du bassin supérieur ; l'eau de celui-ci est quelquefois conduite en aval par des aqueducs souterrains construits derrière la contrescarpe ou sous les glacis.

L'attaque et la défense ayant lieu par demi-front, lorsque la saillie des demi-lunes empêche de couronner en même temps les places d'armes saillantes du chemin couvert devant ces dehors et devant le bastion, il peut être préférable de placer les retenues en capitale du front plutôt qu'à l'angle flanqué des bastions, puisqu'on s'assure ainsi le moyen de rendre la manœuvre d'eau dans le fossé des demi-lunes indépendante de celle du fossé capital; mais un batardeau entre la tenaille et la demi-lune serait beaucoup plus exposé à la destruction qu'en capitale du bastion, où la contrescarpe le soustrait à tout feu direct, et il est indispensable, dans la première position, de le couvrir par une épaisseur de terre suffisante, en glacis ou glacis coupé, pour n'avoir rien à craindre des batteries élevées autour des angles flanqués. Les manœuvres dans les fossés des demi-lunes doivent être également abritées par les glacis de contrescarpe au droit de ces fossés, et la manœuvre dans le fossé capital pourrait alors se faire par des écluses placées entre la tenaille et le corps de place, s'il n'y a pas moyen de la faire derrière la courtine.

Lorsque la pente de la rivière est faible, il est présumable que celle de la plaine qui la borde l'est également; dès lors il devient impraticable d'élever les eaux, par des barrages, à une hauteur considérable, à cause de la grande surface qu'occuperaient les eaux en s'élevant et de la longueur correspondante des digues et barrages. Dans le même cas, les fossés ne pourraient être creusés à une profondeur suffisante pour donner des escarpes à l'abri d'escalade et néanmoins rester secs. On devra donc renoncer aux manœuvres que nous venons de décrire, et cette circonstance diminue sans doute les avantages du site. Cepen-

dant elle est loin de les détruire entièrement; car, outre que le passage d'un large fossé, plein d'une eau profonde, reste toujours l'opération la plus difficile et la plus dangereuse d'une guerre de siége, l'inondation s'étendra alors sur une plus vaste surface, en limitant à un moindre développement la partie attaquable du périmètre. Cette situation permettra de négliger la portion inaccessible et d'accumuler toutes les ressources de la fortification sur la portion attaquable, disposition qui réunit à l'économie la capacité pour la résistance. C'est ainsi que Vauban donna 500, 600 et jusqu'à 700 mètres de côté de polygone extérieur aux fronts couverts par une rivière et forma l'enceinte, dans la partie inaccessible, de longues lignes droites, flanquées de petits bastions ou même de tours bastionnées, ayant deux pièces casematées sous chaque flanc, alors que les fronts attaquables étaient renforcés de contre-gardes sur les bastions et de demi-lunes doubles, et avaient des retranchements permanents à la gorge des bastions. Si la forme de l'enceinte n'est pas impérieusement prescrite par les conditions de l'établissement de la place, on donnera au périmètre une forme elliptique, plaçant le grand axe suivant le cours de la rivière et engageant ses prolongements dans les inondations, afin que l'ennemi ne puisse embrasser les fonds qui s'appuient à la surface inondée, puisque, suivant la remarque que nous avons déjà faite, ce sont ceux auxquels l'attaque s'adressera de préférence.

Quand la place n'atteint pas les collines latérales, on peut l'y relier par des digues afin d'élever le niveau des eaux, ces digues étant soutenues de bons ouvrages comme pour les inondations inférieures. La circonstance la plus favorable à l'emploi de celles-ci, c'est quand elles forment en même temps l'inondation supérieure d'une autre place en aval. Telle était jadis l'inondation inférieure de Mons par rapport à la place de Saint-Ghislain située plus bas sur la Haine. Quelquefois, comme en pays de polders, le niveau du fond du bassin inondable est au-dessous du niveau moyen des eaux ou de celui des marées.

Si le cours d'eau navigable sur lequel la place est établie coupe la frontière, il faudra soigner principalement les fronts attenants à la rivière du côté du pays ennemi, l'immense avantage de pouvoir faire arriver le matériel de siége par eau jusqu'à la queue des tranchées devant prévaloir sur toute autre considération pour faire entreprendre l'attaque de cette partie de l'enceinte. Suivant l'avis de militaires très-expérimentés dans la poliorcétique, un siége est aux trois quarts fait lorsqu'on a amené l'artillerie et tous les approvisionnements qu'une

pareille entreprise exige ; et s'ils comptent relativement pour si peu la résistance d'une vaillante garnison, retranchée derrière des remparts formidables et abondamment munie, l'obstacle qu'oppose la difficulté de réunir les approvisionnements nécessaires doit être bien grand. D'après cela, vous pouvez juger de quelle importance la facilité des communications est pour un siége et l'influence qu'elle doit exercer sur le choix d'un front d'attaque.

Si plusieurs cours d'eau coupent le terrain qu'on veut enceindre, on reconnaîtra quel est le principal dans lequel les autres versent leurs eaux. Le grand courant est ordinairement celui qui a le moins de pente ou le moins de rapidité. Il devient alors facile de créer ou des manœuvres d'eau ou des inondations, suivant que les vallons sont plus ou moins creusés, en barrant les affluents et formant de leurs vallées des bassins dans lesquels l'eau s'accumule indéfiniment jusqu'à ce qu'elle atteigne à la hauteur du déversoir. C'est ainsi qu'à Metz, située au confluent de la Moselle et de la Seille, Vauban a barré cette dernière rivière, qui coule dans un pli profond du terrain, se donnant par là, la faculté de la déverser tout entière à travers les fossés de la place, dans la Moselle, en amont ou en aval, suivant que l'attaque s'adresse aux ouvrages sur la rive droite ou sur la rive gauche de la Seille. Les fossés sont partagés en différents biefs, creusés plus profondément à mesure qu'ils se rapprochent de la Moselle, en sorte que la hauteur d'eau qu'ils peuvent recevoir, ou la force de la manœuvre, augmente à mesure qu'on s'éloigne du point d'introduction dans les fossés de la place. La Moselle elle-même, barrée par des ponts éclusés, situés entre les îles qu'elle forme, couverts en tête par un grand couronné sur la rive gauche, est forcée de déborder et inonde au loin la plaine en amont et autour de ce couronné, dont elle rend les approches fort difficiles. Plusieurs autres places présentent des dispositions analogues, mais dans peu elles ont été aussi favorisées par les localités.

Dans de pareilles positions, on utilise souvent le cours d'eau le plus faible et le plus élevé, pour mouvoir les moulins de la manutention militaire. Vous trouverez dans les planches de l'ouvrage de Duvignau, intitulé : *Exercice complet sur le tracé, la construction, l'attaque et la défense des fortifications,* de très-beaux détails à cet égard ; mais l'introduction des moulins à vapeur, plus puissants, jamais entravés, et faciles à préserver des projectiles, en a diminué de beaucoup l'importance.

L'eau étant, en plaine, la seule défense naturelle dont on puisse tirer

parti, il importe d'autant plus de ne négliger aucun des avantages qu'elle procure. Or, la vapeur a mis entre nos mains de puissants moyens pour cela. En effet, il n'est plus indispensable à présent d'élever un immense barrage jusqu'à la hauteur où l'on veut porter l'eau dans les fossés : quelques pompes aspirantes et foulantes, mues par la vapeur, en fourniront une quantité suffisante pour les remplir en peu d'heures sur un front entier, même à 10 ou 12 mètres (quantité assez considérable en plaine) au-dessus du bassin de retenue. Une force de 60 chevaux peut enlever autant d'eau que plusieurs de nos petites rivières en produisent, et par son action continue, on tendrait une inondation ou du moins on produirait un blanc d'eau devant un front quelconque, si le terrain en avant était plat ou faiblement incliné. Une machine de 15 chevaux élèverait environ 10,000 mètres cubes d'eau à 10 mètres de hauteur en un jour de vingt-quatre heures de travail, c'est-à-dire qu'elle couvrirait un hectare sur 1 mètre de profondeur, bien entendu en ne tenant pas compte des pertes dues à l'évaporation et aux infiltrations. Ainsi, il n'est plus indispensable qu'un pli du terrain présente un ruisseau ou autre cours d'eau pour être inondé ; il suffit de le mettre en communication avec le coursier de la machine et d'empêcher l'eau accumulée de s'écouler, considération que vous ne perdrez pas de vue dans les dispositions à prendre sur les fronts de la place idéale. De même, si le fond du fossé se trouve à des niveaux différents sur les demi-fronts successifs, il deviendra aisé de convertir un de ces fossés en bassin de retenue, dans lequel on accumulera l'eau nécessaire à la manœuvre des fronts voisins, tandis qu'à l'aide de la même force, on épuisera rapidement l'eau, lorsqu'on voudra remettre le fossé à sec. Quand on réfléchit que ces machines, loin d'être onéreuses à l'État pendant la paix, comme les armes offensives, deviendront productives, en les faisant servir aux besoins de l'agriculture et de l'industrie, et que l'addition d'une défense des plus énergiques n'occasionnera d'autre dépense que l'établissement de quelques aqueducs, on ne peut trop engager les officiers du génie à rechercher l'occasion de faire des applications heureuses des nouvelles forces mises à leur disposition. En France, où l'utilité qu'on pourrait en tirer a été reconnue par beaucoup de bons esprits, un officier du génie a proposé une machine à vapeur militaire, qui n'est autre chose qu'une locomotive, mettant en mouvement les pistons de deux corps de pompe, et il a même fait essayer une machine construite d'après ses idées. Les essais, quoique imparfaits, ont démontré la possibilité d'obtenir de machines semblables tous les

effets que nous avons attribués aux machines fixes et, en outre, celle de réaliser l'idée de M. de la Joumarière, dont nous vous avons entretenus dans une leçon précédente, en lançant sur les têtes de sape, à la distance de près de 50 mètres, une quantité d'eau telle que la terre, convertie en boue liquide, s'écoule hors des gabions et laisse les sapeurs exposés à tous les feux de la place. Quand les eaux sont abondantes, on noiera ainsi les approches, à partir de la 3e parallèle et, en imbibant les terres, on empêchera l'ennemi de s'en couvrir. On emploiera également ces moyens avec efficacité contre les attaques par la mine ; par exemple, en dirigeant un jet d'eau continu sur l'entonnoir ouvert par une explosion, on empêchera le mineur ennemi d'en fouiller le fond. De même, si on éventait un rameau du mineur ennemi, ce ne serait plus le canon d'une arme à feu qu'on introduirait dans le trou de sonde, mais l'ajutage d'une pompe foulante et bientôt le rameau rempli rendrait impossible l'accès au fourneau, dont les poudres seraient noyées, même malgré le bourrage interposé, l'eau sachant bien se frayer un passage dans les interstices. Les faits sur lesquels ce raisonnement par analogie est fondé, sont trop évidents pour qu'il puisse exister un doute à cet égard. Dans une défense conduite avec intelligence et industrie, on pourrait tirer encore d'autres avantages d'une force aussi considérable, en l'employant à la projection continue de corps pesants, à l'aide de machines analogues à celles des anciens auxquelles on appliquerait le ressort prodigieux de la vapeur. Comme cette idée n'est pas encore suffisamment mûrie, et que les expériences que sa mise en œuvre nécessiterait n'ont pas été faites, nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet, et pour rentrer dans celui qui nous occupe spécialement en ce moment, nous observerons que les réduits casematés dans les chemins couverts et dans les retranchements de tous les ouvrages de la place idéale ont également pour but d'abriter les machines à employer pour ce genre de défense, et qu'une force de 20 à 25 chevaux serait amplement suffisante pour le mettre en action, ce qui nous permettrait d'appliquer désormais à la défense de nos places fortes, spécialement aux fronts en plaine et le long des rivières, et à la conservation de nos richesses, les mêmes engins qui servent à les acquérir et qui font la force de notre industrie, considération d'une haute importance pour les pays petits, riches et manufacturiers.

Quand la rivière ne produit pas habituellement, surtout dans la saison sèche, une quantité d'eau suffisante pour les divers usages

auxquels on voudrait la faire servir, il faudra joindre à l'emploi de la vapeur la construction d'un barrage, afin de recueillir et d'amasser toute l'eau que produit le bassin hydrographique pendant un temps plus ou moins long. Dès lors, l'accès du barrage sur lequel la défense repose devra être interdit par la construction d'ouvrages permanents ou l'addition de grands dehors, quand les fortifications de l'enceinte ne constitueront pas elles-mêmes la retenue. Ces dehors devront avoir d'autant plus de force et de développement que la largeur du bassin sera plus grande, puisqu'il s'agit d'intercepter les feux obliques, aussi bien que les feux directs. Il ne faut pas se fier sur ce que la masse des eaux couvrira en amont les retenues, car les boulets pénètrent facilement dans l'eau, et celle-ci tendra incessamment à élargir les brèches dès qu'une issue lui sera ouverte. Nous avons d'ailleurs déjà dit quels sont les ouvrages habituellement employés à couvrir les barrages et comment on les dispose.

Observons seulement encore, en général, que l'abri de l'inondation ne doit jamais engager à ne donner qu'une enceinte à la place, mais qu'une enveloppe conserve son utilité dans toutes les localités, pour empêcher les surprises. Une inondation alimentée par une rivière sera presque toujours navigable en amont de la place, soit en lit de rivière, soit dans les criques ou enfoncements que le terrain le plus uni en apparence présente toujours, et si les bateaux peuvent arriver immédiatement contre l'enceinte, la moindre ouverture négligée ou pratiquée expose la place à une surprise, sans compter ce que la hardiesse peut tenter ou la trahison opérer, pour surmonter la hauteur des murs par une escalade. L'histoire militaire est pleine d'exemples de pareilles tentatives, souvent couronnées de succès, par suite de la conviction qu'on avait de leur impossibilité (exemple : le château de Fécamp). En aval de la place, l'inondation ne peut guère être qu'un blanc d'eau, coupé de quelques criques, et un assaillant bien au fait des circonstances locales trouvera facilement moyen de se frayer un passage à travers, à l'aide de fascines, de planches ou d'autres corps légers. Un seul fossé plein d'eau ne sera même pas un obstacle insurmontable pour des gens résolus, puisqu'on a vu traverser un large fossé semblable, au moyen de radeaux de roseaux apportés à dos d'homme (surprise de Coevorden, en 1672). Tout se réunit donc pour prescrire la construction d'un chemin couvert, avec glacis ou glacis coupé et avant-fossé, comme on vient de faire à Anvers. Il arrêtera les bateaux, doublera la difficulté matérielle du passage du fossé et centuplera la difficulté

morale en facilitant la surveillance ; enfin, s'il y a des escarpes revêtues, il les abritera contre l'action du canon, ce dont nous avons déjà démontré l'urgence.

Les sites simples sur une hauteur sont beaucoup plus rares, puisqu'on ne rencontre presque jamais des plateaux culminants assez étendus pour recevoir une place forte ; aussi en connaissons-nous fort peu d'exemples. Il y a d'ailleurs une raison bien puissante pour ne pas fortifier des positions pareilles, c'est qu'à moins de circonstances locales tout exceptionnelles, l'action de ces places est bornée à celle de leurs canons qui est même souvent très-restreinte, les talus par lesquels la hauteur se rattache à la plaine offrant le moyen de contourner les fortifications. Nous n'avons rien de particulier à prescrire pour la disposition des ouvrages qui les constituent, si ce n'est que la position des crêtes devra être donnée par les prolongements des pentes, la grande difficulté à vaincre étant d'éclairer convenablement ces pentes pour empêcher les approches. Il en résulte que souvent il faudra rétrécir les fossés jusqu'à leur *minimum*, afin d'éviter des remblais exagérés, le commandement absolu de l'enceinte augmentant rapidement si on veut conserver la même découverte sur le terrain extérieur, malgré les dehors interposés. En revanche, les revêtements pourront être plus élevés sans se découvrir, les feux de bas en haut perdront beaucoup de leur justesse, et même le ricochet deviendra souvent impraticable contre des remparts trop élevés au-dessus du niveau des batteries, surtout quand celles-ci seront rapprochées de la place. Sous ce rapport, ce site est le plus avantageux de tous, seulement l'avantage est presque toujours plus que compensé par la facilité donnée à l'assiégeant de s'approcher à couvert, facilité qui augmente à mesure que la distance diminue, puisque les feux fichants ont très-peu d'efficacité. L'inconvénient deviendrait fort sensible si le plateau avait trop d'étendue pour être entièrement renfermé par les fortifications, en sorte qu'il restât devant quelques fronts un espace libre à la queue des glacis. Alors le haut du talus serait le point où l'ennemi ouvrirait ses premières tranchées, ce qui abrégerait ses travaux d'autant. Quand le désir d'augmenter la surface inscrite fait placer les ouvrages de l'enceinte sur le sommet des pentes et les dehors sur leur talus, le flanquement devient fort incomplet, surtout pour les fossés qui se dérobent sous les lignes de tir en s'éloignant des parties flanquantes, et à moins que les pentes ne soient fort douces et très-régulières, il est impossible d'étendre la protection de l'enceinte aux glacis, sans rehausser ceux-ci par des

remblais excessifs. Les ouvrages extérieurs, par lesquels on chercherait à corriger ce défaut, seraient eux-mêmes fort mal défendus. Lorsque la hauteur, formée de couches dures, a des pentes plus roides d'un côté que de l'autre, on peut employer parfois avec succès un moyen très-simple et très-efficace : c'est d'escarper entièrement, sur 12 ou 15 mètres de hauteur, une partie du périmètre, faisant servir cet escarpement de revêtement, en lui donnant un tracé dont les diverses lignes se flanquent. Les déblais, portés sur le plateau, serviront à masser des remparts d'un tracé aussi simple que possible et d'une excellente défense, car dans ce premier revêtement on ne peut ouvrir de brèche accessible, ni par le canon ni par la mine, les boulets rebondissant sur les tranches du rocher, et les entonnoirs des fourneaux de mines conservant du côté de la place des rebords trop escarpés pour pouvoir être gravis. Cette construction sera en même temps économique, puisqu'en tout cas il aurait fallu ouvrir des fossés dans le rocher, et qu'en l'escarpant on attaque les lits par la tranche, ce qui est le plus facile de beaucoup. La difficulté de faire arriver du canon au haut de l'escarpement, et même d'y maintenir un logement, privé de communications, de soutien et de flanquement, permet de se reposer, pour la clôture en seconde ligne, sur des murs isolés profilés en bahut, crénelés ou machicoulisés ; seulement, il est à remarquer que l'obstacle qu'on oppose aux approches existe aussi pour la communication de la place avec la plaine en dessous, et que, par cela même, à moins de créer un chemin couvert au pied de la hauteur ou sur quelque étage en saillie à peu de distance du pied pour obtenir des feux rasants, dispositifs qui accroissent les frais, la défense devient entièrement passive, en sorte que cette disposition ne doit être appliquée qu'avec discernement, de peur de détruire l'effet qu'on comptait produire par la construction de la place.

Cet inconvénient est inhérent aux places situées dans des marais et qui n'agissent sur les terrains environnants que par l'intermédiaire de forts ou têtes de ponts, placés aux bouts des chaussées qui traversent les marais. Sans doute, des fondrières impraticables, des vases sans fond, empêcheront l'ennemi de nuire efficacement à la garnison ; les approches, bornées aux chaussées, présenteront d'immenses difficultés, et il faudra une très-grande énergie à l'assiégeant pour se loger sur les dehors, puisqu'il ne pourra soutenir ce logement ni par des parallèles, ni par des batteries rapprochées, mais aussi, s'il parvient seulement à s'emparer des forts qui défendent la tête des chaussées et dont la com-

munication avec le corps de place sera toujours très-difficile, il lui suffira de quelques faibles détachements pour tenir la garnison bloquée, l'empêcher de prendre part aux mouvements des armées et la forcer enfin, réduite par la famine, à remettre la place intacte aux mains de l'assiégeant (Mantoue, 1796-1797; 20,000 hommes, dont un tiers à l'hôpital, posent les armes. — Le maréchal Wurmser, avec son état-major et quelques centaines d'hommes, sort de la place, le 2 février 1797).

D'après ces considérations, il est évident que d'une place à construire dans un site pareil, on peut traiter l'enceinte avec la plus grande simplicité, employant de longues lignes droites, flanquées de petits bastions, ou de grands bastions très-plats et à petits flancs (Lille), mais toujours précédées d'un chemin couvert avec glacis ou glacis coupé, pour les motifs que nous avons déduits en traitant des places entourées d'inondations. En effet, les deux sites sont identiques sous plusieurs rapports, la différence gisant en ce que, pour les places entourées de marais, la nature fournit l'obstacle que l'art crée chez les autres. Il est néanmoins à observer que si le marais est traversé par un cours d'eau qui passe dans la place, les rives de cette rivière devront être l'objet d'une attention spéciale, parce que ces rives sont d'ordinaire plus consistantes que le reste du marais, comme aussi elles tendent incessamment à s'exhausser, et qu'on peut souvent conduire une approche par ces points, car on ne doit pas s'imaginer qu'un marais soit un obstacle entièrement insurmontable à la conduite des attaques; s'il n'est pas très-profond, on peut y cheminer, au moyen de comblements en terre et en fascinages (Bois-le-Duc, 1631-1632; Mantoue, 1800), quoiqu'il soit facile de s'imaginer quels immenses moyens de pareils travaux exigent, et à quelles chances de destruction ils sont exposés. Les ressources de la fortification doivent donc être plus particulièrement concentrées sur les têtes de ponts, dont dépend, en grande partie, l'importance de la place. Éloignées de l'enceinte, leur tracé doit offrir les moyens d'un flanquement indépendant, en sorte qu'elles consisteront souvent en une couronne, dont les demi-bastions extrêmes sont engagés dans le marais et soutenus sur les ailes par des pièces noyées. Quand la tête de pont est débordée par l'enceinte des deux côtés et assez rapprochée pour en être efficacement défendue, on peut lui donner la forme d'une demi-lune extérieure, avec réduit, chemin couvert et réduits de places d'armes. Souvent aussi il conviendra de former une espèce d'ouvrage à cornes, composé de deux demi-bastions en avant d'un redan ou courtine brisée détachée, ce qui constitue un front com-

plet, dont chaque partie est susceptible d'une défense indépendante; mais il faudra que les branches des demi-bastions soient flanquées par des pièces noyées. Quand la chaussée est longue, souvent on la flanque encore par d'autres pièces, élevées vers le milieu de la longueur, et dans plusieurs places on a construit des traverses sur la chaussée même, pour rendre la défense plus directe; mais on observe, avec raison, que cette disposition est vicieuse, en ce que la traverse fournit un excellent emplacement à une batterie destinée à soutenir les attaques ultérieures et à empêcher les retours offensifs lorsque l'assiégeant est parvenu jusque-là (Ypres, 1744; Hulst, 1794). Nous nous arrêtons, car involontairement nous nous laisserions entraîner à des prescriptions pour des cas particuliers, malgré les raisons que nous avons données pour nous en abstenir. Bornons-nous à la remarque, que les murs isolés seront d'une excellente application dans les places préservées par de vastes surfaces d'eau des effets de l'artillerie, afin de prévenir les surprises, et que lorsqu'une chaussée passe entre deux marais profonds et constitue le seul accès vers la place, il est important de réduire cette chaussée à sa moindre largeur. Comme deux voitures doivent pouvoir s'y croiser, et que la longueur des essieux est de $2^{m},50$, pour les plus grands, le *minimum* ne sera pas au-dessus de $5^{m},50$ à 6 mètres; mais si les talus sont remplacés par des revêtements, dans cet espace une sape tournante obtiendrait difficilement un parapet à l'épreuve, et il n'y aurait pas de place pour une sape double. Quel est le militaire qui supporterait l'idée d'abandonner ses remparts devant une telle approche, ou de reculer devant des assaillants arrivant par un semblable défilé? Il est presque superflu d'ajouter que les écluses par lesquelles se manœuvrent les eaux qui alimentent les marais, doivent être soustraites aux entreprises de l'assiégeant par des ouvrages d'un profil respectable, et qu'il faut les rapprocher autant que possible du corps de place, lorsqu'on ne peut les renfermer dans l'enceinte même. La fig. 8, de la pl. VI, 3e partie, offre l'exemple d'une petite place en pays de marais. On en voit une autre fig. 11, pl. III, 5e partie.

10me LEÇON.

SUITE DE L'INFLUENCE DU SITE.

SOMMAIRE.

Sites composés de marais et de plaines, la place s'engageant dans le marais ou le traversant; disposition des ouvrages dans les deux hypothèses. — Sites composés de plaines et de hauteurs, ou de hauteurs à différents niveaux; difficulté du raccordement des ouvrages sur les divers plateaux. — Sites de marais et de hauteurs, ou de marais, plaines et hauteurs; les dispositions à prendre sont des corollaires des prescriptions pour les sites simples. — Places maritimes en terrain plat, parti à tirer du flux et du reflux; importance des écluses; défense des rades; disposition contre les attaques par mer. — Places maritimes en terrain montueux, assimilées aux places le long d'un fleuve. — Places barrant l'isthme d'une presqu'île. — Coup d'œil sur les principales places de la Belgique, considérées sous le rapport du site.

Les sites composés, présentant les mêmes accidents que les sites simples, doivent être fortifiés d'après les mêmes principes, et nous n'aurons plus qu'à indiquer rapidement comment on les combine.

Quand un site est composé de plaines et de marais, deux cas peuvent se présenter : la place engagée dans le marais offrira un seul accès sur la plaine, ou bien elle traversera le marais et touchera à la plaine des deux côtés. Dans la première hypothèse, la partie engagée dans le marais devenant inaccessible, son tracé peut être aussi simple que possible, tandis que l'économie faite sur cette partie du développement de la place doit servir à augmenter les défenses des fronts susceptibles d'attaque; et l'action des ouvrages collatéraux étant d'autant plus énergique que l'angle du polygone sera plus ouvert, on développera les fronts en plaine sur un polygone d'un grand nombre de côtés, sauf à diminuer le périmètre de la place en resserrant la partie engagée dans le marais. Cette disposition a même l'avantage, qu'ainsi les fronts en plaine deviennent le parados et la traverse contre les vues que l'ennemi pourrait prendre sur les ouvrages situés au-dessous de leur niveau. Enfin, ce sera dans le marais qu'on placera les magasins les plus essentiels, ainsi que l'hôpital de siége, pour les soustraire à l'action des batteries assiégeantes. Quelques pièces noyées, jetées sur

les prolongements des derniers fronts de la plaine, prendront des revers sur les approches ennemies et suppléeront avantageusement au manque de soutien collatéral, dont le dernier demi-front pourrait souffrir; enfin, accumulant, à l'aide de la vapeur, l'eau dans les fossés du front le plus élevé, on se procurera la possibilité de la déverser dans ceux des fronts situés sur les pentes, d'y produire des chasses et des manœuvres d'eau. Ce site sera donc favorable sous plusieurs rapports, surtout si le marais est assez large pour que de la rive opposée toute attaque soit impossible et les feux à revers peu à craindre. S'il en était autrement, il serait presque indispensable d'occuper par un fort ou tête de pont les points les plus dangereux, puisque des batteries à revers exerceraient l'influence la plus désastreuse sur la défense des fronts, dont le plan de site pend vers le marais, leur feu ne pouvant être neutralisé qu'à force de parados et de traverses, qui gênent le service sur les remparts, absorbent un espace précieux et entravent les communications.

Lorsque le marais a si peu de largeur que la place le traverse et présente des têtes dans la plaine sur les deux rives, ces têtes doivent avoir un grand développement, pour que les attaques ne puissent les embrasser avec facilité, et aussi pour préserver les lignes de la partie basse des feux d'enfilade et les ouvrages sur l'autre rive des feux de revers, car les plans de site naturels des fronts en plaine pendront des deux côtés vers le marais, en se présentant d'eux-mêmes aux vues de revers. Cette position est donc très-difficile, et il faudra beaucoup d'art pour en tirer parti. Observons cependant que lorsqu'on fortifie un lieu habité, comme c'est presque toujours le cas, les maisons interceptent une grande partie des vues de revers, auxquelles les ouvrages les plus rapprochés de la vallée restent seuls exposés, et que, de plus, la différence de niveau étant ordinairement peu considérable, il n'est pas difficile d'élever des traverses en parados jusqu'à l'intersection des deux plans, en choisissant leur emplacement avec quelque adresse.

Si, sur l'une des rives, les ouvrages en plaine ne pouvaient obtenir qu'un front étroit, ce front serait nécessairement faible, par les motifs plusieurs fois déduits, et en vain accumulerait-on devant cette partie les dehors et les ouvrages extérieurs, car l'efficacité des feux concentriques serait aussi grande pour ces additions que pour l'enceinte. On tirerait meilleur parti de la défense en fermant à la gorge les bastions sur l'autre rive, c'est-à-dire en formant une citadelle de la partie la

plus forte du périmètre. De cette manière, l'ennemi aurait deux siéges au lieu d'un à faire en s'adressant à l'endroit faible, ce qui rétablirait au moins l'équilibre entre la résistance dont les deux côtés sont capables, la conduite d'une attaque à travers tous les obstacles qu'opposent les habitations, les clos, etc., n'étant rien moins que chose aisée. D'ailleurs le vainqueur compromettrait par là la conquête qu'il vient de faire, et ces motifs réunis font que les exemples de citadelles attaquées du côté de la ville sont extrêmement rares. Observons encore que l'unique défense naturelle de sites pareils étant l'eau, c'est aussi de l'eau qu'il faut chercher à tirer parti, par la formation d'inondations et la construction de pièces à revers, déjà indiquées à différentes reprises.

Dans les sites composés de plaines et de hauteurs, ou de hauteurs à différents niveaux, la principale difficulté consiste à coordonner convenablement la défense des ouvrages échelonnés, le relief des inférieurs devant souvent être excessif, pour procurer aux autres le même flanquement qu'ils reçoivent des lignes analogues en plaine, comme le flanquement des inférieurs devient illusoire, par la trop forte dépression des lignes de tir partant des parapets supérieurs. C'est bien ici le cas d'appliquer les préceptes tirés de la théorie du défilement, mais la rapidité des pentes, les brusques ressauts des plateaux, forceraient à dépasser les limites posées par la nature de nos armes, si les crêtes étaient dans un même plan ou dans plusieurs plans ayant des lignes communes. On sera donc forcé de recourir à des ressauts et d'établir les fortifications par étages. Comme la perte du plus élevé entraîne l'abandon ou la reddition des autres, c'est celui-là qu'il faudra, spécialement, rendre susceptible d'une forte résistance, en entaillant les fossés dans le rocher, en doublant les enceintes et, si le sol le permet, en entourant les ouvrages d'une ceinture de contre-mines. Habituellement, sur des sites pareils, le plateau culminant est occupé par un château ou citadelle, dont les fronts accessibles sont fortifiés de cette manière, tandis que ceux vers l'intérieur de la place sont d'un tracé simple, sans extension de dehors. Cette citadelle constitue dès lors une immense traverse, qui couvre les fronts attenants contre les coups d'enfilade et de revers, en même temps qu'elle rend leur approche très-difficile par ses feux plongeants. De même, les traverses, par lesquelles on sera forcé de couper les ouvrages sur les pentes, pour intercepter les vues d'enfilade et de revers de la plaine, pourront servir de cavaliers aux fronts inférieurs et redoubler les lignes de feu contre

les approches dans cette direction. Mais là s'arrête l'énumération des avantages qu'un tel site procure. La nécessité de soigner presque également tout le périmètre, de se garder de l'escalade par des revêtements élevés, de se garantir des enfilades et des revers par de fortes traverses, presque toujours en partie revêtues, de suppléer, la plupart du temps, par des casemates quelquefois taillées dans le roc, au flanquement qu'on ne peut obtenir du tracé seul, enfin de multiplier les abris voûtés pour l'artillerie, les munitions et les hommes sur un terrain dont une grande partie reste exposée aux vues du dehors, et où les défenseurs sont même menacés par la chute de quartiers de rocher que l'assiégeant pourra rouler sur eux quand les fossés supérieurs et le terrain en avant n'ont pas été disposés de façon à l'en empêcher; ces diverses exigences, disons-nous, rendent cette fortification la plus chère de toutes; encore, souvent l'effet des ouvrages ne répond-il pas à la dépense, puisqu'il est très-difficile de donner aux remparts défilés les mêmes propriétés qu'aux ouvrages en plaine, comme nos observations sur les plongées, les barbettes et les terre-pleins l'ont amplement prouvé.

Si le site se composait d'une vallée entre deux hauteurs assez rapprochées pour être occupées l'une et l'autre par la forteresse, celle-ci devrait présenter une forme oblongue dont les grands côtés seraient sur les hauteurs et les petits côtés transversaux couperaient le fond de la vallée suivant une ligne légèrement concave ou brisée en rentrant.

Lorsqu'une hauteur, au lieu de se perdre dans la plaine, touche à un marais ou à un terrain susceptible d'être inondé, on a la ressource de pouvoir se créer un espace inabordable et de négliger, par conséquent, cette partie du périmètre, pour en reporter le coût sur la partie accessible. En pareil cas, la place peut devenir extrêmement forte, l'assaillant se trouvant dans l'alternative d'attaquer des fronts fortifiés avec le plus grand soin, ou de pousser ses approches à travers une inondation, avec la perspective, après la réussite d'une entreprise aussi difficile, de devoir recommencer un siége contre les ouvrages sur la hauteur. S'il prend le premier parti, la partie inférieure de la place, protégée par son château, offrira un excellent refuge et un lieu de repos assuré à la garnison. Seulement dans ce cas, comme dans le précédent, il est très-malaisé de donner une bonne disposition défensive aux ouvrages qui relient le marais à la hauteur et d'empêcher l'ennemi de profiter pour ses approches des pentes, souvent dérobées à toutes les vues par leur courbure et leurs inflexions. C'est donc à

prévenir ce défaut qu'il faut s'attacher surtout, et, autant que possible, à placer les points de jonction entre la citadelle et le restant de la place dans un rentrant dont, sans témérité, l'assiégeant ne puisse approcher.

Enfin, si le site est composé de hauteurs à des niveaux différents, de plaines et de marais (ce qui ne peut guère exister que pour des places d'un développement considérable), on cherchera à tirer parti des avantages inhérents à chaque site simple, couvrant la partie dans le marais par des inondations, afin de la rendre inaccessible, donnant à la partie en plaine toute la défense par les eaux, que la nature et l'art peuvent lui procurer, et la protégeant contre les plongées et les enfilades par les ouvrages érigés sur les hauteurs. Quant à ceux-ci, on cherchera à en limiter l'accès en escarpant les pentes qui en sont susceptibles, à rendre les brèches presque impossibles en substituant les escarpements naturels, les tranches du rocher dans lequel les fossés seront ouverts, au moins jusqu'à une certaine hauteur, aux revêtements en maçonnerie; on dénudera ce même rocher jusqu'à une grande distance du pied des glacis, afin de forcer l'ennemi à amener de loin en arrière les matériaux dont il compose les parapets de ses approches, ou, si la nature du sol ne se prête pas à ce genre de défense, un système de mines défensives, habilement disposé, empêchera l'assiégeant d'avancer ses sapes avant de s'être assuré, par le succès de la guerre souterraine, la possession de la surface, sur laquelle les attaques doivent marcher. D'ordinaire, des obstacles naturels empêchent de lier les attaques contre les diverses parties du périmètre, et l'on divise également les dispositions de la défense en divers accès, donnant aux ouvrages plus ou moins de consistance, suivant que le terrain extérieur est plus ou moins favorable aux travaux de siége. Le vague de ces prescriptions a grand besoin d'être élucidé par quelques exemples, et nous vous en donnerons plusieurs, tirés de nos places fortes; mais auparavant nous jeterons un coup d'œil sur les fortifications des places maritimes.

Ces fortifications ont pour objet principal de protéger les ports et les rades. Un port est un espace d'eau sujet ou non aux dénivellations des marées et où les navires s'abritent contre l'ennemi et contre la tempête pour y être chargés, déchargés ou réparés. On appelle *port d'échouage* celui qui ne conserve pas naturellement assez d'eau à marée basse pour le mouillage des navires. Un port est tantôt sur la côte, comme à Ostende, tantôt à l'embouchure d'un fleuve comme au Havre ou au bord

d'un fleuve, dans l'intérieur des terres, comme à Anvers. Enfin, il y en a qui se trouvent au fond d'un petit golfe, comme à Toulon, et, dans ce cas, le golfe sert de rade intérieure. Une rade est un espace de mer ordinairement en avant d'un port et où les navires doivent trouver en tout temps une profondeur d'eau suffisante pour mouiller et un fond convenable pour l'ancrage, même dans les mauvais temps. Une rade exposée aux vents régnants s'appelle *rade foraine* (Ostende) pour la distinguer des rades intérieures, golfes ou fleuves (Anvers) qui n'ont pas cet inconvénient. On distingue sous le nom de *rade de relâche* ou de *stationnement,* celle qui, isolée, n'a point de port en arrière d'elle. Les ports et les rades se distinguent en ports et rades de *commerce,* ports et rades *militaires,* selon leur destination principale et bien que souvent la destination soit double pour les uns comme pour les autres. Les mouillages simples ne sont autre chose que de petites rades de relâche.

Un port de mer peut être en même temps une place forte de la frontière de terre, et, dans ce cas, son importance devient très-grande, vu la faculté qu'elle donne d'amener, par charge de vaisseau à la fois, les munitions et les renforts dont une armée a incessamment besoin (Toulon, Dunkerke, Bayonne). Quant au site, il peut être plat ou montueux; dans la première hypothèse, la place sera sans doute assise à l'embouchure d'un fleuve, immédiatement sur le bord ou à quelque distance de la mer, et les avantages naturels de cette disposition consisteront dans la défense que les eaux douces et salées procurent. Ils ne sont pas identiques avec ceux qu'on tire des rivières, en ce que le niveau des eaux varie chaque jour et à toutes les heures, circonstance favorable, puisqu'elle donne le moyen de multiplier, de varier, et de réitérer indéfiniment les manœuvres, pourvu que les eaux intérieures soient séparées de celles de la mer par des écluses à double effet. On est alors maître de laisser pénétrer l'eau dans les fossés ou de lui en interdire l'entrée, et, à chaque marée, de tendre l'inondation devant les fronts qui en sont susceptibles, en sorte qu'on conserve la communication avec les environs aussi longtemps qu'on le juge utile; l'ennemi ne peut nous enlever les moyens de l'interrompre, ni d'isoler une partie des ouvrages; dès que cela paraît plus avantageux, on a la faculté de la rétablir en temps opportun; et, sans bassin pour accumuler les eaux, sans machines pour les élever, on dispose d'une masse considérable, dont le niveau s'élève à plusieurs mètres, qu'on peut déverser dans les fossés, laisser écouler ou renouveler en quelques heures de temps. Tous ces avantages sont assurés à l'assiégé, pourvu

que les écluses au moyen desquelles les manœuvres s'opèrent soient hors d'atteinte des attaques de l'ennemi. La disposition des fortifications aura donc principalement pour but la protection à accorder à ces écluses et aux batardeaux éclusés, par lesquels la distribution du fluide dans les fossés aura lieu. Ces constructions hydrauliques sont fort chères, surtout à cause des fondations artificielles dont elles peuvent rarement se passer; mais leur dépense sera bien compensée par l'économie à faire sur les revêtements, les fossés pleins d'eau mettant à l'abri d'escalade, et le mouvement des marées de la crainte de voir leur surface durcie par la gelée.

Une propriété non moins importante de ces places est la faculté de recevoir des secours par mer et de pouvoir relever fréquemment par cette voie les troupes de la garnison. Nous avons trop souvent insisté sur les effets de la fatigue, pour avoir besoin de développer les ressources que la résistance tirera du remplacement des hommes accablés de travaux, exténués de privations, épuisés de veilles, par des soldats reposés et bien nourris. Aussi la remarque a-t-elle été faite, que les seules défenses prolongées à citer depuis les perfectionnements de l'artillerie ont eu lieu dans des places qui conservaient une communication libre, par eau, avec l'armée défensive. C'est certainement la cause de la longue résistance d'Ostende, de 1601 à 1604, et de Candie, de 1667 à 1669. Le cardinal de Richelieu, en 1627 et 1628, ne parvint à dompter la défense désespérée des Rochellois qu'en fermant leur port par une digue. Et pour citer des faits plus récents, l'attaque au siége de Dantzig, en 1807, ne devint supérieure à la défense que lorsque la prise de l'île de Holm eut rompu la communication entre la place et la mer, à Weichselmünde. Il est notoire que la prise du Hagelsberg eût été seulement le premier acte de cette sanglante lutte, si la poudre n'eût manqué aux assiégés. Cadix, en 1810, 1811 et 1812, ne put être entamée par l'armée du maréchal Soult, à cause de la protection qu'elle recevait de la flotte anglaise, tandis que sa résistance fut nulle en 1823 lorsque l'escadre française était maîtresse de la mer; et il serait facile de trouver d'autres exemples, si ceux-ci ne prouvaient surabondamment notre thèse. Il suit de là qu'après avoir assuré la défense des remparts par le secours de l'eau, l'ingénieur doit tourner ses vues vers les dispositions à prendre pour couvrir l'entrée du port, faciliter l'approche des bâtiments amis et éloigner ceux de l'adversaire. Les localités seules décideront s'il pourra atteindre ce but par le tracé de l'enceinte même, ou s'il devra recourir à la construction d'ouvrages

extérieurs ou forts détachés. Le premier cas sera sans doute plus rare et, s'il se présente, il ne faudra pas oublier combien le feu plongeant des hunes est dangereux pour les batteries de terre, déjà exposées à une lutte difficile contre la formidable artillerie que portent les vaisseaux de guerre. On sera donc obligé d'exhausser l'emplacement des batteries qui défendent l'entrée du port, en construisant des cavaliers, comme à Flessingue, Breskens et ailleurs, ou de placer les pièces sous des voûtes, comme à Cherbourg, à Alger, à Cronstadt, à Sébastopol, à Portsmouth. Il est à observer que les vaisseaux doivent écraser les batteries de terre par la supériorité de leur artillerie et à l'aide d'une mousqueterie bien dirigée, pour avoir la moindre chance de succès, puisque le danger auquel ils s'exposent est infiniment plus grand que celui qu'ils font courir. Les boulets rouges, les bombes, les obus et boulets creux, remplis de matières incendiaires, et surtout aujourd'hui les projectiles percutants et explosifs des gros canons rayés auront, en peu de coups, raison du navire le plus formidable, si la multitude de projectiles que celui-ci peut lancer ne parvient à empêcher le service et surtout le bon pointage des bouches à feu des batteries de terre. Les casemates seront donc ici parfaitement applicables, ainsi que Cormontaigne lui-même l'a reconnu, malgré sa répugnance contre les feux couverts. Elles le paraîtront plus encore si on songe que leurs étages redoublés permettent d'accumuler aux mêmes points des bouches à feu très-nombreuses. Observons encore que les grands vaisseaux portent des équipages nombreux, composés d'hommes disposés par leur genre de vie aux entreprises les plus aventureuses, en sorte qu'il faut se précautionner contre des coups de main, plus que si on ne prévoyait pas une attaque de gens aussi entreprenants. C'est à quoi un chemin couvert, avec glacis ou glacis coupé, servira parfaitement, et il ôtera, en même temps, à l'assaillant, la chance d'ouvrir dans le revêtement une brèche à force de projectiles, ce que sa nombreuse artillerie pourrait l'engager à tenter. Un demi-revêtement donné à l'enceinte, jusqu'à 4 ou 5 mètres au-dessus du niveau des plus hautes eaux, sera aussi une précaution fort utile, si le peu d'espace entre la mer et les habitations ne permet pas de faire une enceinte revêtue ou au moins un mur isolé, derrière une enceinte en terrassement, comme nous l'avons prescrit dans des sites analogues.

La retraite des eaux, à marée basse, laisse parfois à sec le rivage et même le port, surtout aux syzygies, et si l'on n'a pris des précautions pour empêcher l'ennemi d'en profiter, cela peut donner lieu à une

surprise, comme à Berg-op-Zoom, en 1814. La meilleure défense qu'on puisse opposer à ce genre d'attaque est une chasse d'eau, fournie par celle qu'on aura laissée entrer pendant le flux et retenue jusqu'au moment de la basse mer. Alors la moindre surveillance suffira pour noyer les audacieux qui risqueraient une entreprise devenue d'une témérité folle.

Dans les contrées montueuses et sur les côtes un peu accidentées, il est rare que la place même constitue le port, ou que celui-ci soit l'objet presque unique à considérer, comme au cas rare d'une rade foraine ouverte à l'ennemi. Plus habituellement, il y a une rade intérieure, formée par des promontoires, des îlots, une presqu'île embrassant un vaste bassin, au fond duquel se trouve l'établissement maritime qu'on veut entourer de fortifications. Alors la rade agit comme un large fleuve, et toutes les prescriptions que nous avons données pour les sites composés de hauteurs et de plaines ou de hauteurs et de marais, deviendront applicables à celui-ci, suivant le niveau relatif de la côte, sauf les défenses à préparer contre les attaques maritimes et dont nous venons de parler. Nous n'avons donc rien de spécial à ajouter. Observons seulement que la sûreté du port et de la communication maritime dépendra moins de la possession de la place que de celle des promontoires qui constituent l'entrée de la rade, en sorte que la fortification de ces promontoires est aussi essentielle que celle de la place même. Brest, Toulon, Sébastopol, Cronstadt, Portsmouth (Spithead) sont de beaux exemples à suivre. Cherbourg offre celui d'une rade foraine entièrement fortifiée par l'art et unique en ce genre.

Quelques places maritimes sont plus favorisées encore, quant à l'attaque du côté de terre, étant placées sur une presqu'île, sans autre liaison avec la terre ferme que par un isthme étroit, baigné et parfois couvert des eaux de la mer, à marée haute. La défense devient alors de la plus grande facilité, puisque l'assiégé a, par position, le front le plus étendu. Les attaques, loin de l'embrasser, sont enveloppées à mesure qu'on les pousse vers la place, et si l'assiégeant n'est pas maître de la mer, la garde de tranchée est extrêmement compromise, l'assiégé pouvant lui couper la retraite par un débarquement, en même temps qu'il la charge vigoureusement en tête. Enfin, quelque solidité que l'assaillant donne à ses approches, un coup de vent, une marée extraordinaire suffisent pour les effacer entièrement et l'obliger à recommencer à nouveaux frais. C'est ainsi que Gibraltar a pu braver, pendant plusieurs années, les forces réunies de l'Espagne et de la France et rendre stériles

les efforts et les combinaisons des plus savants ingénieurs. Mais ces sites sont tellement exceptionnels, qu'il est inutile de formuler des prescriptions pour la disposition d'ouvrages qui leur convient le mieux. Peniscola, Gaëte, Quiberon, quoique très-simples, constituent des types également intéressants à étudier. Valette dans l'île de Malte en est un troisième, qui n'offre pas moins d'intérêt. Cadix est plus remarquable encore. Cette place est située sur un rocher en mer, à une lieue à l'ouest de la côte. Pour y arriver, on passe d'abord le pont de Zuaro, jeté sur le bras de mer de Saint-Pierre, large de 200 à 300 mètres et qui sépare l'île de Léon du continent. On traverse l'île sur une lieue et demie environ de l'est à l'ouest; puis, tournant au nord on se dirige en droite ligne vers la ville de Cadix, suivant une langue de sable étroite et longue d'une lieue et demie. La rade est entre la côte, l'île de Léon et cette langue de terre sablonneuse.

Il nous resterait à examiner la forme à donner aux forts qui protégent les rades, les passes, et qui sont destinés à garantir les établissements maritimes du bombardement; la pl. VI, fig. 7, 3me partie, fournit le plan général d'un établissement de ce genre. Mais nous aurons à revenir sur ce sujet, lorsque nous traiterons de la fortification irrégulière, et nous le passerons aujourd'hui sous silence, pour examiner comment les diverses idées que nous venons de vous exposer ont été appliquées à quelques-unes de nos places fortes.

En suivant notre frontière, etc.

§ II.

MINES.

11^me LEÇON.

PRÉCIS HISTORIQUE ET THÉORIE.

SOMMAIRE.

Mines offensives et défensives chez les anciens. — Application de la poudre à la guerre souterraine. — Invention des globes de compression. — Suppression du bourrage et attaques par puits. — Contre-puits. — Nomenclature des fourneaux. — Charges des fourneaux ordinaires, forme du solide enlevé, formules diverses. — Table des charges suivant la longueur des lignes de moindre résistance; modifications à y apporter suivant la nature du terrain. — Fourneaux surchargés; charges suivant les formules de Belidor, Mouzé, Marescot, d'Obenheim, Gumpertz et Lebrun. — Fourneaux sous-chargés. — Camouflets. — Rayons de rupture incertaine et certaine.

Dans la partie de ce cours relative à la fortification passagère nous avons donné quelques notions sur les mines militaires, pour expliquer l'usage des fougasses employées dans la défense des ouvrages de campagne, et rendre compte du peu d'utilité qu'on en retire. Maintenant, nous nous proposons de compléter ces notions et d'enseigner comment l'art du mineur concourt à l'attaque et à la défense des places.

Nous avons dit que, dans le principe, les mines furent entièrement agressives, l'assiégeant s'en servant pour faire crouler les murs, en retirant la terre de dessous les fondations, ou pour se frayer un chemin jusque dans l'intérieur des villes, mais que bientôt les assiégés tirèrent à leur tour un grand parti des travaux souterrains et construisirent des mines défensives ou contre-mines, au moyen desquelles ils empêchaient l'approche des lourdes tours bélières, soit en les faisant tomber dans des creux, d'où on ne pouvait les retirer, soit en formant au-dessous des amas de combustibles, pour les incendier. On combattait dans les galeries avec le bouclier, l'épée et le coutelas recourbé. Cette pra-

tique eût lieu encore au moyen âge : au siége de Melun (1420) les Anglais creusèrent une mine et les assiégés une contremine. On s'y livra à une sorte de tournoi, où le roi d'Angleterre, Henri V, et le duc de Bourgogne prirent part. (Barante). Les anciens se servaient aussi de la mine pour s'opposer au comblement du fossé et à la construction des terrasses, en retirant par en bas ce qu'on ajoutait à la surface. Quant aux fourneaux à poudre, l'histoire de la poliorcétique moderne rapporte un premier essai fait en 1487, sans succès, par un ingénieur gênois, à Sérézanella, fort ou citadelle attenante à Sérézano (Toscane). Mais on ne connaît pas d'exemple heureux de l'emploi de la poudre dans les mines avant le siége du château de l'OEuf, à Naples, en 1503. Pierre de Navarre, capitaine espagnol, qui avait été témoin de l'épreuve de Sérézanella, et qui ensuite l'avait répétée en 1500, avec plus de bonheur dans l'île de Céphalonie, voyant ses compatriotes rebutés par la longueur d'un siége qui durait depuis trois ans, imagina de pratiquer, dans le rocher sur lequel le fort de l'OEuf était établi, une vaste cavité, qu'il remplit d'une grande quantité de poudre. Il y mit le feu au moyen d'une mèche à combustion lente. L'effet dépassa son attente, le rocher se fendit avec un effroyable fracas, une partie tomba dans la mer avec les fortifications qu'elle soutenait, tandis que le reste, dénué de défense, devint la proie des assaillants, accourus pour profiter de la brèche que la mine avait ouverte. Un succès aussi éclatant éveilla l'attention, et l'expérience ayant constaté à peu d'exceptions près (Bologne 1512), la constance des effets de semblables tentatives, dans l'état d'imperfection où se trouvait l'artillerie, la mine devint le moyen généralement usité pour ouvrir les escarpes revêtues jusqu'en 1677, que Vauban, à Cambrai, y substitua la méthode, encore aujourd'hui en usage, de faire brèche par le canon établi sur la contrescarpe du fossé. L'efficacité de la mine était tellement reconnue, que parfois l'assiégeant se contentait, après l'avoir creusée, de faire prévenir l'assiégé et de l'inviter à faire constater son existence, pour éviter l'effusion du sang et les suites d'une prise d'assaut. (Château de Milan, en 1515.)

L'introduction de ce nouveau mode d'attaque amena naturellement l'emploi de moyens de défense analogues à ceux usités dans l'antiquité. Ainsi le premier remède auquel on eut recours fut la construction de galeries de contre-mines, soit derrière, soit autour des fondations. Par ces dernières, on coupait le passage au mineur assiégeant, on l'attendait au débouché de son chemin souterrain et on tâchait de le tuer dans ses propres travaux ; par les autres, on cherchait à s'approcher du four-

neau à une distance moindre que celle entre le fourneau et le mur, afin d'attirer l'action de la poudre vers la galerie, et de la détourner du rempart : c'est ce qu'on appelait *éventer la mine*. Quelquefois enfin, on pénétrait jusqu'au fourneau, pendant que le mineur assiégeant s'occupait à bourrer le rameau qui l'y avait conduit ; on coupait la communication avec ses travaux, pour empêcher la conflagration, et on enlevait diligemment les poudres qu'il avait déposées. Bientôt on ne se contenta pas de cette défense purement passive, et on tourna contre l'assiégeant l'arme dont il se servait avec tant de bonheur. L'assiégé environna ses remparts de galeries souterraines, précédées de rameaux armés de fourneaux, disposés à des profondeurs différentes, et détruisit par des explosions successives les travaux de l'assiégeant, à mesure de ses progrès. Disposées sous le glacis, les contre-mines en empêchaient la traversée, l'établissement des batteries de brèche et des contre-batteries; placées sous le fond des fossés, elles servirent à ruiner les galeries de passage, à enlever les débris entassés au pied des brèches, et à escarper de nouveau celles-ci ; creusées dans l'épaisseur des remparts, aux points où l'ennemi était présumé devoir les ouvrir, elles rendaient l'assaut impossible, en menaçant de lancer en l'air les colonnes assaillantes. L'utilité de ces applications fut si bien sentie que dans tous les pays de l'Europe on forma des corps de mineurs militaires, et même les Provinces-Unies, que la nature de leur sol et le genre d'industrie de leurs habitants semblaient rendre plus étrangères à ce mode de défense, eurent, dès 1599, un corps permanent de mineurs, principalement composé de Liégeois et spécialement destiné aux travaux des siéges, tant défensifs qu'offensifs. (*Voyez*, à la fin des leçons sur les mines, le tableau historique de la guerre souterraine.)

Si jamais on a pu espérer de voir la défense supérieure à l'attaque, c'est lorsque, par des essais répétés, on fut parvenu à connaître parfaitement l'effet de la poudre au sein de la terre et à déterminer d'avance les résultats qu'une certaine quantité, déposée à une profondeur connue, devait produire à la surface. Les chemins souterrains de l'assiégé, construits de longue main et avec solidité, lui assuraient la faculté de se porter sous tous les points du terrain où l'ennemi établissait ses batteries rapprochées, et, par la construction d'un fourneau, de frapper ses soldats de mort et ses ouvrages de destruction, sans s'exposer à ses coups. Si l'assaillant tentait de le combattre par les mêmes moyens, il perdait également les avantages du nombre et de la position, car le creusement de ces chemins étroits ne pouvait occuper à

la fois beaucoup de bras, et il marchait en aveugle au-devant d'un ennemi invisible, contre lequel ses coups étaient dirigés au hasard; alors que celui-ci, tapi dans ses cachettes, possédait divers moyens de reconnaître sa marche et l'attendait pour le frapper avec certitude dès qu'il venait à sa portée. Constamment menacé en tête, en queue, sur les flancs, par-dessus et par-dessous, pour avancer avec quelque sécurité, il était obligé de garnir tout son front de fourneaux, sur un même alignement, non plus destinés à ouvrir les remparts ni même les ouvrages avancés, mais à détruire les travaux souterrains de l'assiégé et à assurer le cheminement des siens. Dès qu'il devait adopter cette marche, ses progrès devenaient d'une lenteur désespérante, car alors même que l'assiégé n'y apportait aucun obstacle, il n'avançait que de 5 à 6 mètres par 24 heures, au lieu des 50 que la sape pleine peut franchir à la surface dans un laps de temps égal, et cependant l'assiégé avait toutes les chances en sa faveur, pour enfoncer ses galeries, tuer ses mineurs et recombler en quelques secondes ces chemins si péniblement ouverts, puisque le bruit de son travail n'accusait sa présence que lorsque déjà il chargeait ou bourrait ses fourneaux, qu'il connaissait beaucoup mieux que l'assiégeant le niveau auquel il se trouvait, la ténacité des terres et l'effet produit par la poudre suivant la nature du sol. Aussi, désespérant de triompher dans ce combat inégal, l'assiégeant cherchait-il d'ordinaire à s'emparer de vive force des ouvertures des galeries, afin d'y enfermer le mineur assiégé et de le forcer à se rendre, en coupant ses communications avec la place. S'il ne pouvait pas se maintenir dans l'ouvrage ainsi enlevé, il tâchait d'empoisonner les galeries, en y jetant des artifices suffocants, ou d'en faire crouler les entrées, à l'aide de quelques barils de poudre placés contre leurs pieds-droits. Mais si ces moyens précaires et sanglants ne lui réussissaient pas, sa seule ressource était de braver tous les dangers d'une lutte inégale, jusqu'à ce que l'assiégé, par ses propres mines, eût détruit l'ensemble de ses communications souterraines, comme il devait toujours arriver, quoique au bout d'un temps considérable, la construction de chaque fourneau exigeant le sacrifice d'une portion de rameau. Cependant les travaux à la surface étaient astreints à suivre les lents progrès de la guerre souterraine, et les assiégeants arrêtés au pied du glacis, longtemps exposés aux effets meurtriers des feux rapprochés, voyaient leurs pertes croître dans une progression rapide, en sorte qu'une place suffisamment pourvue de poudre, de bois de charpente et de mineurs habiles, pouvait tellement prolonger sa résistance et la rendre si meur-

trière, qu'en comparaison de la durée moyenne des siéges des forteresses dépourvues de ce moyen de défense, elle devait être réputée imprenable.

Pendant que quelques ingénieurs s'appliquaient à tirer le plus grand parti de cette arme puissante, en combinant des systèmes de contre-mines à lignes redoublées et à divers étages, qui assureraient à l'assiégé la faculté de tenir longtemps le dessous du terrain, de faire sauter jusqu'à trois fois la même surface, et de recombler par un fourneau l'entonnoir ouvert par le fourneau précédent, d'autres cherchaient le moyen de la paralyser et de donner à l'attaque souterraine une prépondérance égale à celle que l'attaque avait acquise à la surface du sol. Belidor fut le premier dans cette voie. Il jugea sagement que le dégagement du fluide ayant lieu de tous les côtés en même temps et proportionnellement aux charges, l'effet des mines ne se bornait pas à l'entonnoir qu'elles creusaient, mais qu'elles devaient comprimer les terres et leur imprimer une forte commotion dans tous les sens, en sorte qu'en enterrant une grande quantité de poudre à une profondeur quelconque, l'explosion détruirait à une longue distance, tout à l'entour du foyer, les galeries et autres préparatifs de la défense, en même temps que le rapport entre la ligne de moindre résistance et le rayon de l'entonnoir croîtrait sensiblement, si on dépassait la charge indiquée pour obtenir un fourneau ordinaire, ce qui conduisait à détruire aussi, par cette explosion, les fortifications à la surface. L'expérience confirma la justesse du raisonnement, tout en démontrant que les effets ne suivaient pas la même progression que les charges. La raison en était facile à trouver : quelle que soit la rapidité de la combustion, l'inflammation d'une quantité considérable de poudre ne peut pas être instantanée, et lorsque la tension de la partie de gaz développé suffit pour soulever la masse de terre et vaincre la pression de l'atmosphère qui s'oppose à son expansion, le gaz qui se dégage après, n'éprouvant plus qu'une légère résistance, réagit aussi plus faiblement contre les parois et le fond de l'entonnoir. Il résulte de là que, pour une même ligne de moindre résistance, dans une même espèce de terre, il est un *maximum* d'effet utile, qu'on ne peut dépasser, quelle que soit l'augmentation de la charge. Ce *maximum* sera atteint, toujours d'après l'expérience, lorsque le rayon de l'entonnoir devient le triple de la ligne de M. R. (1); alors la commotion horizontale s'étend jusqu'aux

(1) La ligne de *moindre résistance* est indiquée dans la suite du texte par les lettres M. R.

limites d'un cercle dont le rayon est quadruple de cette même ligne. Des charges plus fortes auront pour tout résultat ultérieur sensible de lancer plus haut et de disperser plus au loin les terres qui s'opposaient à l'expansion du gaz.

Cette découverte était entièrement en faveur de l'assiégeant ; dès lors celui-ci pouvait atteindre les galeries de l'assiégé et détruire ses défenses avant d'entrer dans la sphère d'action de ses fourneaux, tandis que le dernier était empêché d'employer des charges de force égale, par la crainte de nuire aux maçonneries dont la hauteur le mettait à l'abri d'escalade. Aussi l'attaque s'empressa-t-elle d'en profiter, et déjà en 1762, au siége de Schweidnitz, le grand Frédéric l'utilisa pour abréger une guerre souterraine savamment conduite. Depuis lors les Russes et les Autrichiens en ont fait encore d'autres applications, s'en servant pour ouvrir les contrescarpes, combler les fossés et rendre du même coup praticables des brèches ouvertes de la campagne dans de hautes escarpes dont le pied restait inaccessible. On conçoit, en effet, que lorsque l'assiégé ne s'y oppose pas, il peut être préférable de s'épargner ainsi la construction des batteries de brèche sur la contrescarpe, la descente souterraine et l'épaulement à travers le fossé, tous travaux qui, exécutés très-près de l'enceinte, absorbent beaucoup de temps et coûtent beaucoup de sang.

Cependant la nécessité de s'enfoncer profondément pour accroître la ligne de M. R., et, par suite, les dimensions de l'entonnoir, entraînait avec elle celle d'un long rameau, afin d'avoir la place exigée pour le bourrage, dont la longueur est proportionnée à cette ligne et dans un rapport souvent double. Or, le temps employé à ces travaux donnait à un assiégé actif et intelligent celui de les rendre vains, en poussant près d'eux un rameau et pratiquant une fougasse, au moyen de laquelle il enfonçait la galerie et tuait les mineurs avant qu'ils ne fussent parvenus à la distance requise. Mouzé, chef de bataillon de mineurs, parvint à lui ravir encore cette chance, en prouvant qu'on pouvait obtenir les mêmes effets, sans bourrer la mine, pourvu qu'on augmentât convenablement la charge, la combustion étant trop rapide pour que tout le gaz dégagé pût s'échapper par le faible profil d'un rameau. Des expériences provoquées par cet habile officier semblaient constater que l'augmentation d'un quart dans la charge compensait la diminution d'un tiers du bourrage, l'augmentation de moitié, la suppression des deux tiers, et qu'enfin une charge double, dans un fourneau non bourré, donnait des résultats égaux à ceux d'une charge simple, bourrée complétement.

D'après cela, en nommant la charge C et la longueur du bourrage B :

$$C + \frac{C}{4} \text{ répondrait à } B - \frac{B}{3} = \frac{2B}{3}.$$

$$C + \frac{2C}{4} \quad » \quad B - \frac{2B}{3} = \frac{B}{3}.$$

$$C + \frac{4C}{4} \quad » \quad B - \frac{3B}{3} = 0.$$

Ces expériences sont sans doute loin d'être concluantes, et quoiqu'elles aient été reproduites avec succès en d'autres pays, certains faits démentent les règles qu'on a cru pouvoir baser dessus, au moins en ce qui regarde l'égalité d'effet dans tous les sens, si on veut les appliquer à des quantités quelconques et faire abstraction des circonstances relatives à la disposition de la charge; ainsi, lors de l'explosion d'un bateau chargé de 20,000 kilog. de poudre, à Leyde, en 1807, la commotion s'arrêta d'un côté à environ 60 mètres du foyer, alors qu'elle se fit sentir à plus de 400 mètres dans l'autre sens; ainsi, encore, dans l'explosion du magasin à poudre d'Ostende, en 1826, qui contenait près de 100,000 kilog., la commotion, toute dirigée dans une seule direction, fut infiniment moindre que ce qu'on aurait dû attendre de cette effroyable quantité de poudre, enfermée par d'épaisses maçonneries; enfin, tout récemment, à Gand, l'explosion de 10,000 kilog. de poudre placés sous des voûtes en berceau fermées aux deux extrémités par de faibles murs de masque, n'a produit d'effet remarquable que dans le sens de l'axe des voûtes. De ces exemples on semble pouvoir conclure la possibilité d'éventer des mines non bourrées et de leur donner une direction inoffensive; mais dans l'étendue des limites posées par Mouzé à leur application, il est incontestable qu'elles donnent de nouvelles et de grandes facilités à l'assiégeant, pour annuler l'effet des mines défensives. Cet officier proposa de diriger les sapes directement au-dessus des galeries maçonnées, de creuser en peu d'heures un puits, au fond duquel on déposerait quelques centaines de kilogrammes de poudre, suivant la profondeur à laquelle les galeries se trouvent, et d'enfoncer celles-ci par la commotion que l'expansion du gaz communique aux terres. S'emparant par des attaques de vive force du terrain sur lequel il veut établir ses puits, au moins pendant le temps nécessaire à leur confection, il détruit ainsi successivement tout l'appareil de la défense avant que l'assiégé ait pu le mettre en jeu, et la marche des sapes à la surface ne se trouve aucunement retardée.

L'efficacité de ce mode d'attaque présuppose néanmoins différents faits qui peuvent fort bien ne pas exister, comme la connaissance chez l'assiégeant de l'emplacement précis des galeries de contre-mine, et la possibilité de s'emparer du glacis et même du chemin couvert par des attaques de vive force. Les dispositions indiquées pour la défense intérieure du chemin couvert rendent cette dernière supposition peu admissible, et quand la première serait fondée, le général Fleury a imaginé contre le creusement des puits au-dessus des galeries une défense aussi énergique qu'ingénieuse; c'est la construction, au-dessus du ciel des galeries, d'une série de fougasses, de 2 mètres environ de ligne de M. R. Ces fougasses, appelées *contre-puits* (*pl. II, fig.* 5, 6 et 7), se chargent et se bourrent par l'intérieur des galeries, en moins de temps qu'il n'en faut à l'assiégeant pour fouiller à la profondeur où elles sont placées. Ainsi, dès que le bruit des coups annoncera au mineur assiégé que son adversaire travaille à s'enfoncer, il chargera les fougasses les plus voisines du puits commencé, et leur explosion engloutira les mineurs assiégeants avant qu'ils aient pu creuser au point de rendre les commotions souterraines des poudres déposées dangereuses pour les galeries. Des expériences faites à l'école régimentaire d'Arras ont prouvé l'efficacité de cet expédient, quoiqu'il reste encore quelque chose à faire pour pouvoir le généraliser, comme nous le verrons plus tard, et ce perfectionnement semble indispensable, si l'on veut rendre à la défense par les mines son ancienne énergie.

Après ce rapide précis de l'importance dont l'art du mineur a été à diverses époques, dans l'attaque et la défense des places, nous allons examiner sur quelle théorie il se fonde, et à quel point cette théorie est d'accord avec l'expérience.

On nomme *entonnoir*, avons-nous dit, l'excavation produite par le jeu d'un fourneau. On appelle *rayon d'entonnoir* le rayon de la base supérieure de cet entonnoir, base ordinairement circulaire, et *rayon d'explosion* la ligne menée du centre des poudres à un point quelconque du bord de l'entonnoir (*pl. II, fig.* 8).

Relativement à l'effet souterrain, on appelle *rayon de rupture* la distance jusqu'à laquelle la commotion reste assez forte pour enfoncer et recombler une galerie de mine. Lorsque la direction de ce rayon est inclinée par rapport à l'horizon, le rayon de rupture prend le nom de *rayon sous-horizontal.*

La première théorie des mines supposait que l'action du gaz avait lieu exclusivement de bas en haut, et que, le poids des terres dont la

mine était chargée formant le seul obstacle à vaincre, il suffisait de connaître exactement le volume de l'entonnoir et le poids spécifique des terres pour en conclure la charge exigée pour leur soulèvement. Suivant l'expérience, les charges sont proportionnelles aux solides des entonnoirs, tant que leur forme reste à peu près identique, et on en déduisit l'ancienne loi des mineurs : les charges doivent être entre elles comme les cubes des lignes de M. R., ou de toute autre ligne symétriquement placée dans les deux figures, lorsque les terres sont de la même espèce. On se bornait à multiplier la charge ainsi obtenue par un coefficient numérique dépendant du poids spécifique et de la ténacité des terres, quand on voulait savoir la charge exigée pour un entonnoir semblable, d'une ligne de M. R. donnée, dans une espèce de terre connue.

Tant qu'on se borna à des fourneaux dont le rayon d'entonnoir était égal à la ligne de M. R. (et ce sont encore ceux qu'on emploie le plus habituellement dans les mines défensives, d'où le nom de *fourneaux ordinaires*, que ce genre de fourneaux a conservé), cette formule suffit à tous les besoins. Il est probable que la prédilection pour cette espèce de fourneaux provenait de ce que leurs entonnoirs sont les plus grands qu'une même quantité de poudre puisse produire, en même temps que l'inclinaison de leurs parois étant la même que le talus naturel des terres, on ne courait pas le risque de les voir s'ébouler, considération importante pour l'assiégeant comme pour l'assiégé, le premier établissant ses logements sur le bord, le dernier limitant l'effet du fourneau, à la surface du sol, aux terres enlevées par l'explosion. Par suite de nombreuses épreuves, on parvint à déterminer avec une précision vraiment étonnante l'effet que chaque charge devait produire, ainsi que la charge requise pour chaque ligne de M. R. Pourtant, on était loin d'être d'accord sur la forme du solide enlevé. Vauban le calculait comme un cône droit, dont le sommet était au centre des poudres, en sorte qu'en nommant h la ligne de M. R., le solide était exprimé par $1{,}05\ h^3$. Mesgrigny adopta le cône tronqué à bases parallèles, dont la petite base passait par le fourneau et avait pour diamètre la ligne de M. R.; le solide devenait donc $1{,}83\ h^3 = \frac{11}{6}\ h^3$, formule généralement usitée, à cause de sa simplicité. Le général Vallière le calcula comme un paraboloïde, ayant pour foyer le centre des poudres; il en résultait un cube de $1^m{,}90\ h^3$. John Muller, professeur à l'école de Woolwich, y substitua le paraboloïde tronqué par un plan horizontal passant par le foyer et trouva $1^m{,}84\ h^3$. Ce qui est remarquable, c'est que ces hypo-

thèses étaient toutes également admissibles, parce qu'elles donnaient le même résultat dans l'application. En effet, quelle que soit la quantité de terre enlevée par un kilogramme de poudre, dès qu'on voudra produire un entonnoir de forme semblable, la proportionnalité entre la charge du fourneau d'épreuve et le cube de la ligne de M. R. étant admise, peu importe que le coefficient numérique soit grand ou petit, puisque, étant basé sur l'expérience, il faudra bien en adopter un semblable pour le calcul de la charge du fourneau projeté. Soit, par exemple, une charge de 150 kilogrammes, qui ait produit un fourneau ordinaire, avec une ligne de M. R. de 4 mètres. Si je veux en conclure la charge d'un fourneau semblable, mais ayant une ligne de M. R. de 6 mètres, je devrai toujours établir la proportion $4^3 : 6^3 = 150 : x$, la charge cherchée, et peu importe alors le coefficient avec lequel 4^3 et 6^3 devraient être tous les deux multipliés pour donner le cube de leurs entonnoirs respectifs. Aussi se sert-on encore avec succès des tables que le général Vallière a fait calculer pour chaque pied de longueur de ligne de M. R., et qu'on a complétées en mesures métriques, de 10 en 10 centimètres de longueur. (*Voyez* la table n° 1 à la fin des leçons sur les mines.)

Quand la charge proportionnelle au cube de la ligne de moindre résistance ou au volume de l'entonnoir est connue pour une espèce donnée de terres, il faut encore la modifier suivant la nature diverse de celles dans lesquelles doivent agir les fourneaux que l'on considère. En adoptant l'expression $\frac{11}{6} h^3$ pour le volume de l'entonnoir ordinaire, et en désignant par M la charge en kilogrammes nécessaire pour enlever 1 mètre cube du milieu, on aura, en général :

$$C = \frac{11}{6} h^3 M. \ldots\ldots (1).$$

Pour la terre ordinaire des mineurs, grosse terre mêlée de sable et de gravier, la valeur du coefficient $M = 0^k,793$. Cette valeur admise depuis longtemps par les mineurs français, a été vérifiée plus récemment à Metz, et l'on a trouvé qu'avec la poudre de mine de bonne qualité et pour des terres communes pesant 2,000 kilog. le mètre cube, on aurait seulement $M = 0^k,57$. La différence doit sans doute autant être attribuée à une plus grande force de la poudre employée qu'à la moindre résistance du terrain. Elle montre d'ailleurs la nécessité, quand on a des travaux de mine considérables à exécuter, de ne pas se contenter de ces approximations et de déterminer M par des

expériences directes. A cet effet, on charge un fourneau d'épreuve de la charge qu'indiquent les tables, suivant l'espèce de terre dans laquelle on croit devoir la ranger. Si elle donne un rayon d'entonnoir plus grand que la ligne de M. R., on considère le fourneau comme surchargé, et, substituant dans la formule relative à ce genre de fourneaux les données fournies par l'expérience, on en déduit une valeur de M. On charge ensuite un second fourneau de même ligne de moindre résistance, mais suivant la proportion que la première valeur de M indique. Si, dans la seconde épreuve, la ligne de M. R. est plus grande que le rayon d'entonnoir, le fourneau était sous-chargé, et en introduisant les résultats de l'expérience dans la formule pour les fourneaux sous-chargés, on en déduit une seconde valeur de M, plus rapprochée que la première, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le résultat de l'épreuve réponde à peu près exactement au calcul. Ce sont des expériences directes qui ont fait connaître le rapport qui doit exister entre les charges, suivant qu'on travaille dans des terres plus ou moins pesantes, plus ou moins tenaces, et les résultats en ont été enregistrés dans une seconde table. (*Voyez* la table n° 2, à la fin des leçons sur les mines.)

Bélidor essaya de calculer plus exactement les charges des fourneaux ordinaires, en distinguant celle nécessaire pour vaincre la cohésion des terres et qu'il supposa proportionnelle à h^2 (à la surface de la base supérieure de l'entonnoir) de celle qui est exigée pour projeter les terres et qui est proportionnelle à h^3. Il partit ensuite de la donnée que, pour un entonnoir de 8 pieds de ligne de M. R. formé par 70 livres de poudre, il y en a 50 pour désagréger le terrain et 20 pour le projeter. Mais la table, calculée sur ces bases, indique des charges trop faibles. Or, des résultats plus approchés peuvent seuls justifier une complication dans la méthode de calcul qu'on adopte.

La formule (1) concerne les seuls fourneaux ordinaires : cependant il vient d'être question d'autres formules relatives aux fourneaux surchargés et aux fourneaux sous-chargés et qui ont beaucoup exercé la sagacité des mineurs. Nous allons tâcher maintenant de vous donner une idée de leurs principales recherches. Bélidor, lorsqu'il proposa l'emploi des mines surchargées, dites *globes de compression*, avait admis que les charges de deux fourneaux quelconques devaient être entre elles comme les cubes des rayons d'explosion, ou, en désignant par C' la charge cherchée d'un fourneau, par H sa ligne de M. R., par T son rayon d'entonnoir, et par R son rayon d'explosion, par C ou par C'' la

charge du fourneau d'épreuve, suivant que c'est un fourneau ordinaire ou non, par h, t, r la ligne de M. R., le rayon d'entonnoir et le rayon d'explosion de ce fourneau, enfin par n le rapport du rayon de l'entonnoir à la ligne de M. R. du fourneau proposé, et par p ce même rapport dans le fourneau d'épreuve, il supposa que $C' = C'' \frac{R^3}{r^3}$, ou bien, en substituant par R sa valeur en fonction de H et de $T = nH$ et pour r sa valeur en fonction de h et de $t = ph$, $C' = C'' \frac{H^3}{h^3} \left(\frac{1+n^2}{1+p^2}\right)^{\frac{3}{2}}$.

Si le fourneau d'épreuve était un fourneau ordinaire, de même ligne de M. R. que le fourneau proposé, on aurait $p = 1$, $C'' = C$, $H = h$, en sorte que la formule deviendrait $C' = C \left(\frac{1+n^2}{2}\right)^{\frac{3}{2}}$.

L'expérience a démenti ce calcul, en prouvant que les charges doivent croître dans un rapport plus rapide que les cubes des rayons d'explosion, lorsque la ligne de M. R. reste la même; il s'ensuit que la formule de Bélidor donne des charges toujours plus faibles que celles nécessaires, à mesure qu'on veut obtenir un entonnoir plus évasé.

Mouzé donna pour règle, que les charges sont entre elles comme les carrés des rayons des entonnoirs lorsque les lignes de M. R. sont les mêmes, ou comme les carrés des rayons d'entonnoir multipliés par les lignes de M. R., lorsqu'elles diffèrent. En adoptant la même notation que tantôt, elle donne $C' = C'' \frac{T^2H}{t^2h} = C'' \frac{n^2H^3}{p^2h^3}$.

La formule donne des charges plus faibles que celle de Bélidor et qui s'éloignent encore davantage de l'expérience.

Le général Marescot supposa les charges proportionnelles aux produits des carrés des rayons d'entonnoir par les rayons d'explosion $\frac{C'}{C''} = \frac{T^2R}{t^2r}$ et voulut introduire dans la formule l'effet de la ténacité des terres et de leur élasticité, aussi bien que de leur inertie; mais obligé de recourir à des expériences très-délicates et peu concluantes pour fixer la valeur de chaque coefficient, il supprima celui de l'élasticité et fondit en un seul ceux de l'inertie et de la ténacité. Sa formule est $C' = C''. \frac{R^3}{r^3}. \frac{q}{q'}. \frac{n^2}{p^2}. \left(\frac{1+p^2}{1+n^2}\right)$, où q et q' sont les coefficients de la ténacité des milieux, tant du fourneau d'épreuve que du fourneau proposé. Sa formule peut encore être exprimée par

$$C' = C''. \frac{H^3}{h^3}. \frac{q}{q'}. \frac{n^2}{p^2}. \left(\frac{1+n^2}{1+p^2}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Elle donne des résultats plus forts, donc plus rapprochés de la vérité que les deux précédentes.

Par une suite de raisonnements assez compliqués, d'Obenheim trouva : $C' = C\left(\frac{1+n^2}{4}\right)^2$, C étant la charge du fourneau ordinaire. L'auteur admet pour arriver à cette formule que les charges, sous les mêmes lignes de M. R., sont entre elles comme les quatrièmes puissances des rayons d'explosion $\frac{C'}{C''} = \frac{R^4}{r^4}$.

Mais comme c'est l'expérience qu'il faut consulter avant tout, parce qu'elle seule donne des résultats pratiques, sans nous arrêter aux autres formules des savants, nous passerons tout de suite à celles de MM. Gumpertz et Lebrun, officiers de mineurs, qui, quoique partant d'une donnée probablement fausse, ont trouvé une règle aujourd'hui généralement adoptée, comme donnant les résultats les plus satisfaisants. Les coefficients numériques qui y entrent ont été déterminés par une série d'épreuves; méthode, pour le dire en passant, presque la seule applicable dans la solution des questions physico-mathématiques, parce qu'elle tient compte de tous les effets complexes produits par les forces physiques et chimiques, que l'analyse ne saurait convenablement apprécier. Voici leur théorie.

Si dans un certain terrain et sous une même ligne de M. R. t, on fait jouer deux charges de poudre successives, C et C', dont la première donne l'entonnoir du fourneau ordinaire, et l'autre l'entonnoir du fourneau surchargé, la différence des rayons de ces deux entonnoirs aura une certaine valeur dépendante de la différence des deux charges. Si maintenant on fait jouer la charge C' en fourneau ordinaire, d'après la règle connue des mineurs, on obtiendra un second entonnoir de fourneau ordinaire, et la différence de son rayon à celui du premier aura de même une certaine valeur, dépendante aussi de la différence des charges C et C'.

L'hypothèse fondamentale de la méthode proposée est que le rapport des deux différences de rayons dont nous venons de parler, et qui résultent l'une et l'autre d'une même augmentation de la charge C, est une quantité constante pour tous les terrains et pour toutes les lignes de M. R. possibles, en sorte que nommant T le rayon d'entonnoir du fourneau surchargé provenant de la charge C'; t' le rayon d'entonnoir ordinaire provenant de la même charge, et k une constante, on aura $\frac{T-t}{t'-t} = k$; ou bien $\frac{t(n-1)}{t'-t} = k$, en faisant $T = nt$.

Admettant cette équation comme base fondamentale de la méthode, on en tire $\frac{t'}{t} = \frac{1}{k}(n-1)+1$.

Mais par la loi des mineurs, on a $\frac{C'}{C} = \frac{t'^3}{t^3}$.

Mettant dans cette dernière équation la valeur de $\frac{t'}{t}$ tirée de la précédente, il viendra :

$$C' = C\left(\frac{1}{k}(n-1)+1\right)^3$$

$$\frac{1}{k} = \frac{\sqrt[3]{\frac{C'}{C}} - 1}{n-1}.$$

Si maintenant on fait jouer un fourneau surchargé quelconque, dans un terrain aussi quelconque, on aura tout ce qui est nécessaire pour déterminer le cœfficient $\frac{1}{k}$, et par conséquent pour rendre la formule immédiatement applicable au calcul de la charge de tout autre fourneau surchargé, dont le rayon d'entonnoir sera dans tel rapport n qu'on voudra avec la ligne de M. R.

On sait, par exemple, que dans un terrain exigeant 6 kilog. de poudre pour 7 mètres cubes de terre, une charge de 1,830 kilog. a produit un entonnoir d'un rayon de 12 mètres, sous une ligne de M. R. de 4 mètres. On a donc pour ce cas $n=3$, et comme la charge du fourneau ordinaire correspondant à la ligne de M. R. de 4 mètres dans le même terrain est de 88 kilog., il s'ensuit qu'on a

$$\sqrt[3]{\frac{C'}{C}} = \sqrt[3]{\frac{1830}{88}} = 2{,}75, \text{ et } \frac{1}{k} = \frac{2{,}75-1}{2} = 0{,}875.$$

Substituant ces valeurs dans la formule fondamentale, on trouve

$$C' = C.[0{,}875(n-1)+1]^3$$

ou bien $$C' = C.(0{,}875\,n + 0{,}125)^3,$$

formule primitive de Gumpertz et Lebrun.

Des expériences nouvelles ayant fourni des coefficients tantôt supérieurs et tantôt inférieurs à 0,875, ils ont adopté la valeur moyenne 0,91. Leur formule est devenue alors :

$$C' = C(0{,}09 + 0{,}91\,n)^3 \ldots\ldots (2)$$

Elle cadre suffisamment avec l'expérience pour qu'on puisse s'en

servir dans la pratique, probablement parce qu'il s'établit une compensation d'erreurs.

L'ingénieur anglais, Pasley, suppose $\frac{C'}{C''} = \frac{T^3}{t^3}$ d'où $C' = Cn^3$.

Si l'on considère trois séries de fourneaux agissant tous sous la même ligne de M. R. dans le même terrain pour former, ceux de la première série, des entonnoirs ordinaires, ceux de la deuxième série, des entonnoirs dont le rayon soit égal à deux fois la ligne de M. R., ce qui suppose $n=2$, et enfin ceux de la troisième série des entonnoirs où $n=3$, la charge des fourneaux ordinaires étant 1, on trouvera par les formules proposées par les divers auteurs dont nous venons d'examiner les théories :

Auteurs.	Fourneau ord.	$n = 2$	$n = 3$
Bélidor.	1	3,96	11,18
Mouzé.	1	4,00	9,00
Marescot.	1	6,34	20,12
D'Obenheim.	1	6,25	25,00
Lebrun.	1	6,97	22,43
Pasley.	1	8,00	27,00

Ce petit tableau, en montrant les énormes divergences qu'offrent les résultats des formules, fera juger de leur imperfection mieux que ne pourraient le faire les plus longs raisonnements.

La formule $C' = C\ (0{,}09 + 0{,}91\ n)^3$ de Gumpertz et Lebrun est la plus usitée comme s'éloignant le moins de ce que l'expérience indique. Elle donne directement la charge à employer pour obtenir un entonnoir dont le rayon sera dans un rapport n avec le rayon du fourneau d'épreuve, ou, si l'on prend pour fourneau d'épreuve un fourneau ordinaire, avec sa ligne de M. R., on en déduit le rayon d'entonnoir pour une charge donnée en dégageant n de la formule

$$n = \frac{\sqrt[3]{\frac{C'}{C}} - 0{,}09}{0{,}91}.$$

Lorsqu'on veut établir un fourneau surchargé, destiné à produire un entonnoir d'un évasement donné avec une ligne de M. R. connue, on cherchera d'abord dans la première table la valeur de C, ou la charge du fourneau ordinaire de même ligne de M. R.; on modifiera cette valeur, suivant la deuxième table, ou le rapport entre la résistance des

milieux dans lesquels elle doit agir, on aura la valeur de n d'après l'évasement qu'on désire atteindre, et en substituant ces quantités dans la formule avec les coefficients numériques, on trouvera la charge C' exigée pour un pareil fourneau.

Par la même formule et à l'aide des deux tables indiquées, on trouverait la profondeur à laquelle il faut placer une charge donnée C' pour produire un entonnoir d'un évasement voulu. Il n'y a qu'à dégager C et à chercher, au moyen des tables, la ligne de M. R. appartenant à cette dernière charge.

Si l'on désire connaître la ligne de M. R. correspondante à une charge donnée, la table n° 1, modifiée par la table n° 2, fournit les données pour résoudre la question, suivant la formule :

$$h' = h \sqrt[3]{\frac{C'}{C}}.$$

Nous n'avons parlé encore que des fourneaux dont le rayon d'entonnoir était égal ou supérieur à la ligne de M. R., mais on peut fort bien avoir intérêt à en employer de plus petits, et il faut savoir aussi quelle charge doit leur être donnée. Ces fourneaux prennent le nom de *sous-chargés*, tant qu'ils forment un entonnoir visible, et de *camouflet* lorsque le rayon d'explosion n'égale pas la ligne de M. R. Si la théorie des rapports entre les charges et les rayons d'entonnoir était générale, il suffirait d'introduire dans la formule fondamentale $C' = C\,(0{,}09 + 0{,}91)\,n$ pour n un nombre fractionnaire moindre que l'unité; mais comme il faut, avant tout, que les résultats cadrent avec l'expérience, voici comment M. Lebrun a modifié la formule.

En admettant la constance des rapports entre les différences des rayons d'entonnoir, base de toute la théorie, et prenant ces différences en sens inverse, nous aurons, en conservant la même notation,

$$\frac{t - T}{t - t'} = k.$$

Cette équation donne immédiatement cette autre, en mettant $T = nt$ et cherchant la valeur de $\frac{t'}{t}$:

$$C' = C\left(1 - \frac{1}{k}\,.\,(1 - n)\right)^3 \ldots\ldots (a)$$

C' étant la charge du fourneau sous-chargé.

Pour achever de déterminer cette formule, on peut choisir pour four-

neau d'épreuve celui qui n'ouvre pas d'entonnoir au dehors. Or, l'expérience a prouvé qu'en général, si une charge de poudre placée sous une ligne de M. R. t produit l'entonnoir ordinaire, cette charge cessera d'ouvrir un entonnoir lorsque la ligne de M. R. est égale à $^7/_4\, t$; et réciproquement, que si une charge n'ouvre pas d'entonnoir sous la ligne de M. R. t, elle produira l'entonnoir ordinaire sous une ligne de M. R. égale à $\frac{4}{7}\, t$. Si donc, par supposition, la charge C n'ouvre pas d'entonnoir sous la ligne de M. R. t du fourneau sous-chargé, elle ouvrira l'entonnoir ordinaire sous la ligne de M. R. $\frac{4}{7}\, t$. Mais alors on aura :

$$C' : C = \left(\frac{4}{7}\, t\right)^3 : t^3 \text{ ou } C' = C\left(\frac{4}{7}\right)^3.$$

Substituant cette valeur de C' dans l'équation (a) et faisant $n = o$, on en tirera $\frac{1}{k} = \frac{3}{7}$,

et l'on aura par suite $C' = C\left(1 - \frac{3}{7}(1 - n)\right)^3$

ou bien $$C' = C\left(\frac{3n + 4}{7}\right)^3 \ldots\ldots (3)$$

formule des fourneaux sous-chargés, proposée par Lebrun.

Cet auteur pense que, pour obtenir un entonnoir sensible, il ne faut pas donner à n une valeur plus petite que $^3/_4$, ce qui répond à une charge égale aux $\frac{7}{10}$ environ de la charge du fourneau ordinaire. Selon lui, avec des charges plus petites, il ne se fait pas de gerbe, et l'entonnoir produit est recomblé en grande partie par les terres soulevées.

Quant aux camouflets, le *maximum* de leur charge sera

$$C'' = C\left(\frac{4}{7}\right)^3 = \left(\frac{4}{7}\right)^3 \frac{11}{6}\, h^3\, M = \frac{352}{1829}\, h^3\, M \ldots\ldots (4)$$

en représentant comme ci-dessus par $\frac{11}{6}\, h^3$ le volume de l'entonnoir ordinaire et nommant M la quantité de poudre nécessaire au soulèvement d'un mètre cube de la terre dans laquelle les mines sont placées.

D'un autre côté, en désignant par D la distance du point contre lequel on veut agir du centre des poudres, la moindre charge sera donnée par la formule $C'' = \frac{352}{1829}\, M D^3$.

En sorte que si D est plus grand que h on ne pourra donner le camouflet proprement dit. Si D est plus petit que h, on aura deux limites des charges, entre lesquelles on pourra choisir, suivant l'intensité de l'effet qu'on veut produire. En général, la bonne charge du camouflet devra se tirer des formules des rayons de rupture complète, en substituant à la place de h sa valeur tirée de (1)

$$h = \sqrt[3]{\frac{6}{11} \cdot \frac{C}{M}}.$$

Dans l'exposition de ces théories, nous avons supposé que chaque fourneau jouait séparément et produisait un entonnoir distinct, comme il arrive, en effet, presque toujours pour les fourneaux surchargés et sous-chargés, plus spécialement offensifs, et qu'on exécute dans le moins de temps possible, pour n'être pas prévenu par l'adversaire ; mais dans le jeu des mines défensives, on se propose souvent de bouleverser une surface fort étendue, tout en évitant les commotions à une grande profondeur, comme aussi de produire un entonnoir plus étendu dans un sens que dans l'autre, et, dans les deux cas, il devient expédient de répartir la charge en plusieurs fourneaux, dont les entonnoirs se touchent ou se recroisent. Ainsi s'il s'agissait de détruire dans le couronnement du chemin couvert une batterie de plusieurs pièces, qui affectât la forme d'un parallélogramme allongé, en n'employant qu'un seul fourneau, on brûlerait inutilement la poudre employée à produire l'entonnoir dans le sens de la largeur au delà de ce que les pièces en occupent, on entamerait le parapet, qu'on peut avoir intérêt à conserver, et on enfoncerait les galeries défensives à une longue distance, alors qu'on évite tous ces inconvénients, tout en produisant le résultat désiré, si on répartit la charge entre plusieurs fourneaux ordinaires, dont les entonnoirs se recroisent d'une quantité suffisante pour être sûr de ne laisser debout aucune partie de terre capable de fournir l'emplacement nécessaire à une bouche à feu. Mais lorsque les entonnoirs se pénètrent, ils ont évidemment une partie commune, et leur charge doit être diminuée en proportion, puisque le cube à enlever par chacun d'eux devient moindre. Voici comment on établit le calcul.

On admet d'abord (*pl. II, fig.* 9), que les entonnoirs sont des cônes tronqués à bases parallèles, dont la hauteur est égale au rayon de la base supérieure, comme au diamètre de la base inférieure. Dans cette hypothèse, il est évident que lorsque les entonnoirs se pénètrent d'une

quantité moindre que la longueur de la ligne de M. R., le solide commun aura pour section verticale, suivant la droite qui réunit les deux points d'intersection *D* et *F*, une hyperbole, pour base un double segment de cercle, et pour hauteur la double flèche *A'B a'b*. La moitié de ce solide doit être déduite du cube des terres à enlever par chaque fourneau. Pour la déterminer, on soustrait d'une pyramide, ayant pour base un des segments de cercle, *D B F*, et pour hauteur le double de la ligne de M. R., une autre pyramide, dont la base est l'hyperbole et la hauteur la différence entre le rayon et la flèche du segment. Mais afin de simplifier le calcul, on substitue à l'hyperbole une parabole, ou les $^2/_3$ du rectangle circonscrit, substitution fort permise dans un calcul où tout est hypothétique et approximatif.

Si les entonnoirs se pénétraient d'une quantité plus grande que la longueur de la ligne de M. R., ce calcul donnerait en excès la partie *g' h m* du solide qui se trouve au-dessous de la base inférieure du cône tronqué (*pl. II, fig.* 10); on corrige cette erreur en procédant pour la partie à retrancher comme pour le solide entier, et dès lors leur différence donne le cube approximatif à défalquer de celui de l'entonnoir. C'est d'après cette méthode qu'on a établi la table pour les fourneaux accolés. (*Voir* la table n° 3, à la fin des leçons sur les mines.)

Mais outre les entonnoirs ouverts à la surface, la poudre produit encore des effets souterrains, dont nous avons vu que l'action était peut-être plus importante pour l'attaque, et il s'agit de les apprécier. La difficulté, l'impossibilité, dirons-nous, de les calculer ou de les observer avec une exactitude suffisante, a porté à admettre à cet égard des hypothèses peu conciliables avec le reste de la théorie, mais qui facilitent le calcul des charges et des dimensions au sujet desquelles on veut obtenir des indications pratiques. Ainsi on suppose qu'une charge de poudre, placée à une profondeur quelconque, étend ses effets souterrains aux mêmes distances que si elle jouait en fourneau ordinaire, proposition contraire à toutes les idées qu'on s'est faites des lois dynamiques qui régissent le développement des gaz élastiques, puisqu'ici l'action sur les parois reste la même, quoique la résistance à l'expansion décroisse à mesure que le fourneau est plus rapproché de la surface. Ainsi encore, on suppose que la commotion souterraine est limitée par un ellipsoïde de révolution autour du petit axe ou axe vertical, dans lequel le fourneau occupe le centre de figure. Ces hypothèses étant néanmoins admises, faute de mieux, on estime que pour un fourneau ordinaire le demi-axe ou rayon de rupture vertical de l'ellipsoïde de

commotion sera égal au rayon d'explosion, donc $= h\sqrt{2}$; quant au demi-grand axe ou rayon de rupture horizontal, on le prend égal à $^7/_4\ h$, ce qui est d'accord avec l'expérience; r étant le rayon de rupture suivant une direction formant l'angle φ avec la verticale, on a, en général, pour le fourneau ordinaire,

$$r = \frac{7}{4}\,h\sqrt{\frac{1 + \text{tang.}^2\,\varphi}{\frac{49}{32} + \text{tang.}^2\,\varphi}}.$$ (*Manuel du mineur*, p. 59.)

Pour $\varphi = 45°$ on a : $r = \frac{7}{4}\,h\sqrt{\frac{64}{81}} = \frac{7}{4} \times \frac{8}{9}\,h = \frac{6{,}22}{4}\,h = 1.554\ h.$

Si l'on veut ensuite déterminer les mêmes limites pour un fourneau surchargé, on cherche d'abord la profondeur à laquelle la charge donnée devrait être placée pour produire un fourneau ordinaire, suivant la formule

$$h' = h\sqrt[3]{\frac{C'}{C}}.$$

Alors $h'\sqrt{2}$ sera l'expression pour la longueur du rayon vertical de l'ellipsoïde tracé autour du fourneau, dans l'étendue duquel la commotion se fera sentir, et $^7/_4\ h'$ deviendra le rayon du cercle horizontal passant par le centre du fourneau, décrit par le demi-grand axe de l'ellipsoïde de rupture.

Lorsque $n = 3$, c'est-à-dire lorsque l'évasement de l'entonnoir du fourneau surchargé est au *maximum*, ou dans les cas approchant de ce *maximum*, la valeur C' devient environ vingt fois aussi grande que celle de C, et il en résulte que h' est près de trois fois aussi grand que h. Alors $^7/_4\ h'$ deviendrait égal à environ $5\ h$; cependant la plus grande distance à laquelle une galerie ait été rompue jusqu'à présent, par l'explosion d'un fourneau surchargé, n'est que de $4\ h$. Cette observation importante pose une limite qu'il ne faut pas perdre de vue dans l'application des formules relatives aux rayons de rupture des fourneaux surchargés.

Toute galerie engagée dans cet ellipsoïde recevra une commotion destructive au moment de l'inflammation de la charge; cependant sa destruction ne deviendra certaine que lorsqu'elle est assez rapprochée du fourneau pour pénétrer dans un ellipsoïde moindre, dont le demi-axe vertical est égal à la ligne de M. R., et le demi-axe horizontal au

rayon d'explosion, c'est-à-dire, en nous servant toujours de la même notation, pour la charge C, le demi-petit axe sera h, le demi-grand axe $h\sqrt{2}$; pour la charge C', le demi-petit axe sera h', le demi-grand axe $h'\sqrt{2}$. Ces deux ellipsoïdes sont distingués d'habitude par les noms, le premier d'*ellipsoïde de rupture*, le second d'*ellipsoïde de rupture certaine*, et leurs demi-axes prennent aussi les dénominations de *rayon de rupture* et de *rayon de rupture certaine*, en les différenciant par l'adjonction des mots *horizontal* et *vertical*.

Dans le sens sous-horizontal, les rayons limites des commotions destructives sont les demi-diamètres d'un ellipsoïde ayant pour centre le centre des poudres, pour demi-grand axe horizontal le rayon horizontal de commotion destructive extrême, et pour demi-petit axe vertical le rayon de commotion destructive verticale.

Dans le même sens sous-horizontal, les rayons de rupture certaine sont les demi-diamètres d'un autre ellipsoïde, ayant même centre que le premier, et pour demi-grand et demi-petit axe les rayons horizontal et vertical de rupture certaine.

Enfin, pour les objets situés à la surface du terrain, la rupture peut avoir lieu jusqu'à $1\ ^1/_2$ fois la ligne de M. R., mesurée de la verticale correspondant au centre des poudres, ce qui revient, à très-peu près, à la longueur du rayon d'explosion, bien entendu en prenant pour ligne de M. R. celle avec laquelle la charge produirait un fourneau ordinaire.

Les ingénieurs prussiens prennent pour valeurs des rayons de rupture du fourneau ordinaire : dans le sens horizontal $\frac{7}{4}\ h$; dans le sens vertical h ; dans le sens sous-horizontal à 45°, $\frac{5}{4}\ h$. En Autriche on adopte la théorie française. En admettant la vérité de celle-ci, il n'est aucunement difficile de calculer jusqu'où une galerie placée dans le voisinage d'un fourneau doit être certainement détruite et quelle partie sera seulement ébranlée, soit en employant la formule connue pour les demi-diamètres de l'ellipse exprimés par les demi-axes, soit en rapportant la position de la galerie à des plans perpendiculaires entre eux, passant par les axes de l'ellipsoïde ; mais nous devons insister sur la remarque que les règles ainsi posées ont été déduites d'un trop petit nombre d'expériences, la plupart indirectes, et qu'elles ne sont par conséquent rien moins qu'infaillibles, qu'il y a même des faits de guerre en contradiction avec elles. Le seul cas dans lequel on pourrait les appliquer avec quelque confiance, serait si l'on avait à détruire des

galeries en charpente, vides, tandis que la destruction aux distances indiquées des rameaux bourrés et des galeries maçonnées, surtout en anneau, resterait fort douteuse. Quelques expériences faites en 1831, aux écoles régimentaires du génie à Metz et à Arras, avaient conduit à ce résultat : que les galeries de mines en bonne maçonnerie ne sont détruites que si leur distance aux fourneaux est de $^7/_8\ h$ au plus, ou moitié de la distance relative aux galeries en bois de construction ordinaire; il s'est trouvé confirmé par une expérience de Bapaume en 1847. Toutefois, si la galerie exposée à la commotion était, comme les simples rameaux, d'une très-petite section transversale, la distance de rupture ne serait plus que $^3/_8\ h$, à en juger au moins par les expériences faites, en 1837, à l'école régimentaire du génie à Montpellier. Au contraire, le rayon de rupture s'allonge beaucoup si les terres interposées entre le fourneau et les maçonneries sont des remblais; c'est ce que l'on a vu récemment à Mons, où deux galeries de mines ont été rompues à une distance de près de $^7/_4\ h$.

Soient *A B* et *C D* deux galeries parallèles et de niveau (*pl. II, fig.* 90). Pour trouver la position *O* d'un camouflet capable de détruire la galerie *C D* sur une longueur $RR' = 2\ l$ et dont l'effet, tangent à *A B*, laisse celle-ci intacte, posez $OR = OR' = OM$. Désignez *MN* par *d* et *ON* par *X;* vous aurez $X = \frac{d^2 - l^2}{2\ d}$. La charge du camouflet sera celle du fourneau ordinaire ayant pour ligne de M. R. $\frac{4}{7} OM$, c'est-à-dire $\frac{4}{7}\ (d - X)$.

12me LEÇON.

SUITE DE LA THÉORIE.

SOMMAIRE.

Boîtes cubiques capables de contenir les charges des fourneaux. — Observations relatives à la table des dimensions des boîtes cubiques. — Effet du vide autour de la charge des fourneaux, suivant la théorie et d'après l'expérience. — Modifications à apporter aux règles ordinaires lorsque la poudre n'est pas placée dans un terrain homogène et lorsqu'on procède par explosions successives. — Charges et dispositions des fourneaux de brèches dans les siéges. — Bourrage des fourneaux; ses dimensions; possibilité de le supprimer en augmentant la charge; expériences de Mouzé à ce sujet; observations sur ces expériences. — Moyens de mettre le feu aux charges : saucissons et moine; souris de Rugy; fusée porte-feu; saucisson La Rivière ou corde porte-feu; amorces fulminantes; applications de l'électricité. — Compassement des feux

Lorsque la charge des fourneaux de mines est déterminée, on la verse dans une boîte, ordinairement cubique, et de la dimension nécessaire pour en être remplie. Dans le *Manuel du mineur* et dans plusieurs autres ouvrages, vous trouverez une table qui donne la grandeur calculée d'avance du côté des différentes boîtes cubiques, suivant le nombre des kilogrammes de poudre qui composent la charge. Il est bon de vous prévenir que cette table, que nous reproduisons à la fin des leçons sur les mines, sous le n° 4, est établie d'après la supposition qu'un décimètre cube de poudre pèse $0^k,910$, tandis que la poudre belge a une pesanteur spécifique beaucoup plus faible, la poudre d'artillerie ne pesant que $0^k,870$, la poudre d'infanterie $0^k,835$. Il suffit au surplus que vous soyez avertis, car le calcul du côté de la boîte cubique est trop simple, quand on a les données nécessaires, pour que vous ayez besoin de recourir aux tables. Si l'on désigne en effet par C le nombre de kilogrammes de poudre composant la charge, par p le poids d'un décimètre cube de cette poudre, par x le côté en mètres de la boîte cubique que la charge doit remplir, on aura :

$$C = 1000px^3 \quad \text{et} \quad x = \sqrt[3]{\frac{C}{1000p}}.$$

De la combinaison des formules

$$C = \frac{11}{6} h^3 M \text{ et } x = \sqrt[3]{\frac{C}{1000p}},$$

on déduit, en substituant dans la seconde la valeur de C donnée par la première :

$$\frac{11}{90} h \sqrt[3]{\frac{M}{p}} = x = h \sqrt[3]{\frac{11M}{6000p}} = 0{,}1224\, h \sqrt[3]{\frac{M}{p}},$$

équation qui, pour $p = 0^k{,}910$ et $M = 0^k{,}793$, devient :

$$x = h \sqrt[3]{\frac{8{,}72}{5460}} = h \sqrt[3]{\frac{1}{625}} = \frac{h}{8{,}55}.$$

Mais, M variant avec la nature des milieux, si l'on considère successivement les 13 espèces du tableau n° 2, et qu'on mette dans la formule les valeurs correspondantes de M, on trouvera les diviseurs suivants :

1.	Terre commune	8,20
2.	Sable fort	7,90
3.	Terre ordinaire des mineurs	8,55
4.	Sable humide	7,75
5.	Terre mêlée de petites pierres	7,60
6.	Argile mêlée de tuf	7,35
7.	Terre grasse mêlée de cailloux	7,10
8.	Roc	6,50
9.	Nouvelle ou vieille maçonnerie humide	7,80
10.	Maçonnerie médiocre	7,25
11.	Nouvelle maçonnerie très-bonne	6,55
12.	Vieille maçonnerie très-bonne	6,25
13.	Maçonnerie romaine ou excellente	6,00

Ainsi, pour avoir directement le côté de la boîte cubique capable de contenir la charge du fourneau ordinaire dans un terrain donné, il suffira de diviser la ligne de M. R. h par le nombre que la table indique. Que l'on ait à déterminer, par exemple, le côté de la boîte cubique aux poudres pour former, dans le sable humide, un entonnoir ordinaire de $3^m{,}10$ de ligne de M. R., on divisera 3,10 par 7,75, chiffre relatif au sable humide; le quotient 0,40 montrera que la boîte doit avoir 40 centimètres de côté.

S'agit-il d'un fourneau surchargé, après avoir calculé x, comme

pour le fourneau ordinaire, on le multipliera par $(0,09+0,91n)$ pour avoir la valeur de x', côté de la boîte cubique aux poudres du fourneau surchargé :

$$x' = x\,(0,09+0,91n).$$

De même, en désignant par x'', le côté de la boîte cubique aux poudres du fourneau sous-chargé, on aura :

$$x'' = x\left(\frac{4+3n}{7}\right).$$

La boîte cubique est ordinairement mise en place avant de recevoir les poudres, qu'on apporte dans des sacs de cuir. L'usage d'une table indiquant le côté de la boîte cubique capable de contenir les charges suivant le nombre de kilog. dont elles sont composées, pourrait induire à croire qu'il y a de l'avantage à renfermer la poudre dans le plus petit espace possible, et cependant l'expérience, dans les travaux industriels, montre que les effets des petites charges sont considérablement augmentés lorsqu'on laisse entre la poudre et l'enveloppe qu'elle doit faire éclater un vide d'un volume double de celui occupé par la charge, comme lorsqu'on agrandit les interstices entre les grains, en mêlant à la poudre une quantité égale de sciure de bois. On en a inféré qu'il en serait de même dans les mines militaires, et le général Marescot a fait instituer des expériences à cet égard en 1800, à Mayence. Les résultats ont montré que les charges mêlées de sciure produisaient exactement le même effet que la quantité de poudre entrée dans le mélange, employée seule. Quant au vide, au contraire, on avait cru pouvoir conclure que les effets croissaient avec le vide laissé autour de la charge, c'est-à-dire que les rayons d'entonnoir et de rupture allaient sans cesse en augmentant jusqu'à ce que l'espace libre fût à l'espace occupé comme 30 à 1, mais déjà alors la terre était projetée avec bien moins de force. Ainsi le diamètre de l'entonnoir s'était accru de $7^m,50$ à $9^m,40$, tandis que les gerbes de terre, d'abord projetées à 10 mètres de hauteur, ne l'étaient plus qu'à $2^m,50$. Au delà de ce terme, la largeur des entonnoirs alla en décroissant, et ils n'étaient presque plus évidés lorsque le vide devenait 100 fois aussi grand que le volume de la charge. Cependant des expériences analogues ayant été répétées à Metz, en 1803, elles ont offert de si fortes anomalies, que les effets du vide ont été remis complétement en question, et même il a été décidé, en France, qu'on s'abstiendrait d'en faire des applications, tant que des épreuves plus

concluantes n'auraient pas prouvé quels résultats on doit en attendre. J'ignore pourquoi on passe sous silence celles faites par le chef de bataillon du génie italien Rossi, sous la direction du général Chasseloup, dans la démolition des places. Pour se convaincre des effets du vide laissé autour des fourneaux, on en bourra un complétement, laissant autour des autres des vides plus ou moins grands. Les fourneaux étaient destinés à donner des entonnoirs d'un diamètre double de la ligne de M. R. et chargés, chacun, de presque 1,500 kilog. de poudre. Le résultat qui, plus tard, s'est trouvé confirmé par les expériences de Saint-Pétersbourg, montra que l'effet le plus grand avait été produit par le fourneau placé dans un vide décuple du volume de la charge, et que l'action du gaz s'était principalement exercée dans le sens du vide laissé, l'entonnoir formant une demi-ellipse, dont le grand axe suivait la direction de la galerie non bourrée. Observons que les charges avaient été augmentées en raison des rayons d'entonnoirs simples, tandis que la formule de Bélidor, suivant laquelle les charges doivent croître comme le cube des rayons d'explosion, est regardée comme donnant encore des résultats trop faibles. Les effets ayant néanmoins répondu à l'attente, on doit supposer que les hypothèses d'après lesquelles, dans ces démolitions, on a assimilé une certaine quantité de maçonnerie à une quantité de terre, peuvent avoir été erronées, et qu'on ne saurait rien conclure de ces expériences pour l'effet des poudres déposées dans un milieu homogène. En revanche, elles sont très-concluantes pour les démolitions qu'on aurait à faire exécuter, à cause de la grande échelle sur laquelle elles ont été faites, et pour cette raison, nous aurons encore à les citer.

La théorie indique d'ailleurs qu'un espace libre autour de la charge, tant qu'il ne dépasse pas une certaine proportion, à déterminer par l'expérience, dans chaque espèce de terrain, doit augmenter les effets latéraux de l'expansion du gaz, donc la grandeur des rayons d'entonnoir et de rupture, comme aussi qu'il doit, en tout cas, en modifier la direction. Voici comment elle établit ces propositions :

Quelque rapide que soit l'inflammation de la poudre, elle est loin d'être instantanée, et le temps qu'elle exige est en rapport avec la quantité à enflammer, comme avec la distance entre le point où le feu est mis et les limites du solide constitué par la charge. L'inflammation étant progressive, si la poudre est étroitement renfermée et touche de toutes parts à des matières également résistantes, dès les premiers instants le gaz développé agira sur les parois et les comprimera, jus-

qu'à ce que la tension surmonte la ténacité et que l'enveloppe se rompe au point le plus faible. Les développements postérieurs du gaz ne feront dès lors qu'accroître la vitesse de la partie soulevée, laquelle sera à la fin projetée avec une vitesse proportionnée à la tension du fluide élastique, tension qui n'atteindra jamais le plus haut degré, parce que la partie soulevée, cédant à mesure, agrandit l'espace dans lequel le ressort du gaz se détend, au lieu que s'il y a un intervalle entre la charge et l'objet à projeter, la première a le temps de s'enflammer toute ou en grande partie, de donner tout son fluide avant que l'inertie de l'objet à projeter soit entièrement vaincue, et d'agir ainsi avec toute sa force contre les parois de son enveloppe. C'est la raison pour laquelle un tube qui aura résisté à l'inflammation d'une quantité de poudre contenue par un projectile placé immédiatement devant la charge, cède et se brise lorsque, entre cette charge et le projectile, on laisse un intervalle, qui permette à tout le gaz de se développer avant que le projectile soit mis en mouvement.

Peut-être dira-t-on qu'en ce cas l'entonnoir de la mine ne croîtrait pas avec les charges, puisque du moment que l'inflammation d'une certaine quantité de poudre aurait déterminé le soulèvement de la terre qui la couvre, l'inflammation du reste servirait seulement à accroître la vitesse de la masse projetée. Il en serait probablement ainsi, si la terre n'était ni compressible ni tenace, et si la masse projetée pouvait acquérir, dès les premiers moments, une vitesse proportionnée à la rapidité de la combustion et au dégagement du fluide qui s'ensuit; mais, d'un côté, les parois cèdent sous l'effort de la pression qui s'exerce sur elles, proportionnellement à la tension du fluide; de l'autre, la ténacité des terres fait qu'elles se soulèvent latéralement de proche en proche et s'entraînent, d'autant que le fluide s'introduisant dans les interstices, au fur et à mesure, tend à projeter les terres soulevées, en sorte que le poids comprimant s'accroît sans cesse, et avec lui la tension; d'ailleurs, cette masse n'a pas le temps d'acquérir une vitesse égale à celle de la dilatation du gaz; de là les déchirements qui s'opèrent au travers; enfin, l'élasticité de l'air aussi s'oppose au déplacement rapide des terres et à l'expansion du gaz, ce qui reporte l'action de ceux-ci sur les points d'appui, c'est-à-dire sur les parois de l'entonnoir. — On voit ici la raison pour laquelle l'évasement de l'entonnoir ne croît pas proportionnellement aux charges, et, au contraire, se rapproche assez vite d'un *maximum;* c'est que, lorsqu'une fois l'inertie de la masse est surmontée et la ténacité rompue, la résistance

de l'air seule s'oppose à l'expansion du gaz, et cet obstacle ne devient considérable que lorsque déjà le gaz développé peut se détendre, dans tous les sens à la fois, au-dessus des bords de l'entonnoir. Il y a bien alors réaction contre les parois, comme le démontre la destruction des arches d'un pont par l'inflammation à l'air libre des poudres placées dessus, mais cette force, par sa direction, ne tend plus à soulever les terres ni à augmenter l'inclinaison des talus.

Une preuve palpable de la vérité de cette théorie se trouve dans le temps exigé pour produire l'explosion. Aux expériences de Metz, en 1803, on remarqua qu'en laissant un espace vide autour de la charge, il restait un intervalle de temps très-sensible entre l'instant de la combustion de la fusée et celui de l'explosion, au lieu qu'avec une charge complétement bourrée, l'explosion suivait immédiatement le trait de feu. Le chef de bataillon Rossi observa également qu'ayant compassé les feux de deux fourneaux destinés à agir comme fourneaux accolés, mais ayant complétement bourré l'un, tandis que l'autre avait un vide égal à deux fois le volume de la charge, ce dernier ne fit explosion que trois minutes et quelques secondes après le premier. Or, ce temps avait été évidemment employé à comprimer l'air contenu dans le vide, jusqu'à ce que son élasticité fût au niveau de la tension du gaz et celle-ci assez forte pour vaincre la résistance opposée par le poids et la ténacité de l'enveloppe.

Quant à la direction, les lois de l'équilibre des fluides indiquent assez que leur expansion doit avoir lieu d'abord vers le point où ils rencontrent le moins de résistance, que les dégagements successifs produiront aussi des commotions successives, dirigées dans le sens du vide laissé, et que ce sera dès lors dans ce sens que la ténacité sera le plus tôt et le plus loin détruite De là la forme elliptique prise par l'entonnoir produit par le gaz épanché dans une galerie latérale. Nous tâcherons, plus tard, de vous indiquer quelque application de ces théories dans la conduite de la guerre souterraine. Mais il n'est point sans intérêt de dire ici que le chevalier de Ville (1629) donna le premier, comme un moyen assuré pour faire agir les fourneaux de brèche dans la direction convenable, de laisser un vide dans la chambre du côté du fossé; ce qu'il affirme avoir éprouvé plusieurs fois.

Les tables indiquant les charges pour une ligne de M. R. et une espèce de terre connue donnent immédiatement la quantité de poudre à employer, lorsqu'on fait jouer les fourneaux dans un milieu homogène. Ce cas cependant est évidemment exceptionnel; le plus souvent

un entonnoir de grande dimension comprendra des couches de pesanteurs spécifiques et de ténacités fort différentes, et alors la difficulté gît dans l'appréciation exacte de l'influence de ces résistances diverses sur la forme de l'entonnoir. Soit, par exemple, un fourneau de mine enfoncé dans une terre végétale, derrière une contrescarpe qu'il s'agit de renverser. Admettons, pour la commodité du calcul, un fourneau ordinaire, placé à 5 mètres au-dessous de la surface du sol. On demande à quelle distance il faudra le placer de l'aplomb de la contrescarpe, pour que la ligne de M. R. se trouve du côté de la maçonnerie, en sorte que les terres soient projetées dans le fossé? En supposant la maçonnerie vieille et très-bonne et qu'elle résiste en raison de sa qualité, sans égard à sa position verticale, comme le croyaient beaucoup de mineurs avant les expériences de Bapaume, dont nous parlerons tout à l'heure, le rapport entre sa résistance et celle de la terre ordinaire sera, suivant les tables, comme 2,50 : 1, et si tout l'entonnoir était composé de maçonnerie, il faudrait placer le fourneau à 2 mètres, à peu près, du bord de la contrescarpe, pour que la charge démolît du mur la plus grande longueur possible. Mais si, comme d'ordinaire, la maçonnerie avait une épaisseur inégale en haut et en bas, si elle était renforcée de contre-forts, espacés de 5 mètres de milieu en milieu, plus épais à la racine qu'à la queue, reliés par des arceaux en décharge, si le fourneau descendait au niveau ou au-dessous du niveau des fondations, en sorte que la sortie des terres dans le sens horizontal fût gênée par celle du fond du fossé, et l'action du fluide reportée dans une autre direction, le calcul deviendrait bien autrement compliqué, et je crois même qu'il serait quasi-impossible de prévoir exactement à l'avance l'effet qu'un pareil fourneau produirait ou la véritable résultante de tant de forces connues seulement par approximation. Je sais bien qu'à la guerre une grande précision est rarement exigée, que pour s'assurer le résultat désiré on forcerait ou les dimensions ou la charge ; mais j'ai voulu vous indiquer quelques-unes des nombreuses difficultés que l'application de ces formules, en apparence si simples, présente, et vous faire voir que l'art du mineur, si facile en théorie, exige en pratique, sous ce rapport comme sous plusieurs autres, beaucoup de science et d'habileté, quand on veut faire produire le plus grand effet possible aux forces dont on dispose. Ne pensez pas, au surplus, que la consommation d'une plus grande quantité de poudre soit le seul désavantage attaché aux faux calculs. Une erreur dans l'appréciation de la véritable ligne de M. R. peut avoir les suites les plus graves, en dirigeant contre nos propres

ouvrages la force destinée à détruire ceux de l'adversaire (exemple : siége de Braïlow, en 1828), et souvent la prolongation de la défense souterraine dépend de la conservation de quelques décimètres de parapet, précision déjà difficile à atteindre.

Parfois, malgré la différence entre le poids et la résistance des couches diverses, le calcul se simplifie, lorsque ces couches ont une épaisseur partout égale et une stratification perpendiculaire à la direction de la ligne de M. R. Alors les diverses tranches comprises dans l'entonnoir seront des solides de révolution, dont le cube se calcule avec facilité. Leur volume étant connu, on peut évaluer séparément la charge que chaque zone exige et former celle du fourneau de l'addition de toutes ces quantités, ou bien ramener la résistance de chaque terre à celle de la terre ordinaire, en multipliant le nombre de mètres cubes de chaque espèce par le rapport entre les résistances indiqué dans les tables, puis chercher quelle charge exigerait un fourneau de terre ordinaire, d'un cube égal à la somme des cubes modifiés. Pour de pareilles recherches, il serait très-intéressant de connaître exactement la forme de l'entonnoir, pour leur donner quelque précision ; mais l'expérience a prouvé que des approximations sont suffisantes, pourvu qu'on modifie les résultats du calcul, de manière à ne pas se tromper au point de compromettre le succès de l'opération.

Lorsque les couches ont une allure irrégulière et ne se trouvent pas perpendiculaires à la direction de la ligne de M. R., ou bien si la surface du sol est très-accidentée, comme il arrivera toujours quand le jeu de plusieurs fourneaux est dirigé successivement vers le même point, le calcul des différents solides ne pourra avoir lieu que par approximation. Dans le dernier cas indiqué, leur résistance sera aussi sensiblement altérée, par suite de l'ébranlement produit par les premières explosions. Les erreurs qu'on commettrait sous le premier rapport n'auront jamais une très-grande importance, à cause de la faible influence que quelques mètres cubes de plus ou de moins exercent sur la composition de la charge, mais il n'en est pas de même de la diminution de la ténacité. Celle-ci sera d'autant plus à considérer que l'espèce de terre a plus de cohérence. Généralement on admet que cette force entre pour moitié dans la résistance opposée à l'expansion, et on cite à cet égard des expériences dans lesquelles, après avoir formé un entonnoir, par l'explosion d'un fourneau, on l'a recomblé avec les terres sorties, puis on a cherché expérimentalement la charge qui reproduisait le même fourneau dans les terres remblayées : elle a été trouvée

égale à la moitié de la primitive. Cependant, il s'en faut de beaucoup que le sable, lequel est notoirement sans cohérence, puisse être enlevé par la même charge que la terre, dont le poids est supérieur à celui du sable et la ténacité supposée égale au poids, pour la résistance. Il doit donc y avoir là un autre obstacle au mouvement, qui pourrait être *l'incompressibilité*. Cette observation, entièrement oiseuse lorsqu'il s'agit d'un fourneau isolé, puisqu'on doit avant tout se régler sur l'expérience qui englobe toutes les causes de résistance, ne le serait pas du tout s'il fallait faire jouer plusieurs fourneaux successifs; mais je n'ai pu trouver aucune donnée sur la diminution à apporter dans ce dernier cas aux charges, suivant les milieux dans lesquels les fourneaux sont placés, et je suppose qu'on doit en appeler à l'expérience des mineurs ou procéder par tâtonnement.

Si à toutes ces causes d'erreur on joint encore celles résultant d'aberrations dans l'estimation des distances, par les pentes ou la direction des rameaux, loin de s'étonner de trouver l'aveu de fautes nombreuses, chez l'assiégé et chez l'assiégeant, dans les journaux des guerres souterraines, on est forcé d'admirer l'art avec lequel on est parvenu à déterminer, à quelques décimètres près, l'action à la surface, de fourneaux souvent placés à une grande profondeur.

Par des expériences récentes sur les mines, on a essayé de substituer le pyroxyle ou poudre-coton à la poudre ordinaire, et recherché la proportion suivant laquelle il faut charger les fourneaux, pour leur faire produire, avec ce nouvel agent, les mêmes effets qu'avec l'ancien. Quelques premiers essais avaient indiqué le rapport de $0^k,430$ de pyroxyle pour $1^k,000$ de poudre; mais les épreuves les plus concluantes de Bapaume (1847) ont montré que la charge 0,43 est beaucoup trop faible; elles ont donné lieu de penser qu'on ne saurait réaliser les grands effets de la poudre à moins de $0^k,60$ de pyroxyle. Du reste, le mode d'action de celui-ci a paru plus soudain et plus brisant, et l'effort initial des gaz que sa déflagration développe, plus énergique. Dans son état ordinaire et tel que l'artillerie française le livre, le pyroxyle a une densité qui n'est guère que 0,1 de la densité de la poudre de guerre, de manière que $5^k,000$ de pyroxyle remplissent un baril à 50^k de poudre. Mais avant de l'employer dans la mine, le génie avait eu soin, pour les expériences de Bapaume, de le comprimer à $^1/_4$ du volume primitif à l'aide d'une presse, dans des moitiés de barils ordinaires qu'on avait sciés par le milieu. Les charges des fourneaux se composaient d'un certain nombre de ces demi-barils conte-

nant chacun 10, et de quelques poignées complémentaires dont on remplissait les intervalles des barils, afin de communiquer plus sûrement le feu à toute la masse.

Nous allons maintenant examiner quelles doivent être les charges et la disposition des fourneaux destinés à former des brèches praticables dans les remparts d'une place assiégée. En traitant de l'ouverture de ces brèches dans son *Traité des mines*, Vauban prescrit de calculer d'abord les charges comme pour les fourneaux ordinaires en terrain ordinaire, la ligne de M. R. étant la distance du centre des fourneaux au parement extérieur des murs de revêtement. Il veut que l'on augmente ensuite les charges ainsi calculées de $^1/_5$ à $^1/_3$, à cause de l'humidité que les poudres peuvent avoir contractées dans les magasins ou dans la mine même, et afin d'être sûr du résultat à obtenir, et parce qu'*il faut avoir égard à la solidité de la maçonnerie*. Dans les exemples que cet ingénieur invoque à l'appui de ses principes ou pour les éclaircir, il porte l'augmentation de la charge du fourneau ordinaire au *maximum* de $^1/_3$, précisément dans le cas où les murs sont très-épais et composés de bons matériaux.

Les mineurs français du temps de l'empire, Gumpertz et Lebrun entre autres, veulent que l'on tienne compte de la résistance des milieux pour le calcul de la charge des fourneaux de brèches, comme pour d'autres fourneaux, ce qui évidemment s'accorde au fond avec la règle de Vauban.

Cormontaigne, dans son *Mémorial pour l'attaque des places*, rejette toute augmentation de la charge du fourneau ordinaire en terre ordinaire, pour l'ouverture des brèches par la mine dans un siége. Il ne sera pas inutile de reproduire ici l'explication du motif qu'il allègue pour fixer ainsi cette charge. « On ne saurait, dit-il, la diminuer sans renoncer entièrement à l'effet, parce qu'il n'y a que la poudre qu'il faut pour faire écrouler le mur et les terres en rampes, sans déblayer les entonnoirs; mais on ne peut l'augmenter beaucoup sans s'exposer à de grands inconvénients : le premier, c'est que les pierres et les terres, poussées avec violence du côté des attaques, les dérangent et y font périr bien du monde; le second, c'est que les fourneaux évident tellement leurs entonnoirs que les terres du côté des remparts en deviennent escarpées et impraticables, en sorte qu'il y faut travailler avec la pelle et la pioche, manœuvre bien difficile au moment d'un assaut, où l'ennemi préparé occupe le haut de la brèche et peut écraser les travailleurs à volonté. »

Bousmard (*Essai général de fortification*) prétend même que l'on peut sous-charger dans le rapport de 11 à 6 les fourneaux de brèches, comparés aux fourneaux ordinaires en terre ordinaire, de manière à rompre seulement la cohésion des maçonneries et du terrain, dont la poussée doit alors compléter l'opération.

Il résulte de nombreuses expériences faites en grand à Bapaume, en 1847, sur l'ouverture des brèches par la mine, que la charge simple du fourneau ordinaire en terre ordinaire, telle que Cormontaigne la propose, suffit en général, mais aussi qu'elle est nécessaire pour bien remplir cet objet.

Vauban prescrit encore de ne faire la ligne de M. R. des fourneaux de brèches que de $^1/_3$ à $^1/_2$ de la hauteur de l'escarpe à renverser. Cormontaigne veut la proportion $^1/_2$ dans tous les cas. La raison alléguée par Vauban n'est pas seulement la crainte de manquer le but en soulevant les terres du rempart, soulèvement auquel la masse du parapet s'opposerait d'ailleurs le plus souvent, mais aussi de faire jouer la mine du côté de la place dans les cas où le rempart, dont on ne peut presque jamais reconnaître d'avance l'épaisseur, se trouverait en avoir une très-faible. En général, cette épaisseur n'est pas proportionnelle à la hauteur de l'escarpe, elle est plutôt constante et relative à la facilité des manœuvres à faire sur le terre-plein pour la défense.

Dans les remparts très-élevés au-dessus du terrain naturel, avec des escarpes très-hautes, comme, par exemple, de 15 à 20 mètres, il serait possible, même en se réglant sur ces prescriptions pour déterminer le rapport entre la hauteur de l'escarpe et la ligne de moindre résistance des fourneaux, que la mine jouât parfois à contre-sens. Aussi Vauban ne s'est-il pas contenté d'abaisser à $^1/_3$ la limite inférieure des lignes de M. R.; il ajoute que, pour le renversement des escarpes d'une hauteur extraordinaire, l'on ne doit plus suivre le rapport indiqué, mais se tenir à une distance modérée du fossé, sauf à multiplier le nombre des fourneaux, si l'on veut obtenir une brèche dont la largeur soit proportionnée à l'élévation de la rampe que la colonne d'assaut doit gravir. Ce sera, me semble-t-il, dans ce dernier cas surtout, que l'augmentation de charge recommandée par Vauban pourra devenir nécessaire.

En 1709, Delorme plaça sous le château d'Alicante trois fourneaux, chargés le premier de 20,000, le second de 40,000, le troisième de 60,000 livres de poudre, en tout 120,000. C'est la plus grosse mine connue. La ligne de moindre résistance verticale était de 120 pieds. Dans le sens horizontal, la ligne de M. R. moyenne des trois fourneaux

était de 81 pieds, celle d'un fourneau ordinaire de 120,000 livres dans le roc. La brèche se fit, mais impraticable, à cause de la raideur des parois de l'entonnoir.

Tâchons de rendre compte des motifs qui font que, pour renverser un mur terrassé, il suffit de charger, les lignes de moindre résistance étant les mêmes, comme s'il s'agissait simplement de former un entonnoir ordinaire dans un terrain ordinaire et horizontal. Les carriers savent tous que plus la roche à pétarder se trouve dégagée, moins il faut charger le pétard, surtout si les flancs et le dessous des blocs sont libres; car alors la mine n'a qu'à rompre la partie adhérente, sans avoir rien à soulever, et le poids de la masse à détacher vient en aide à son effort. Un fourneau de brèche, à son tour, n'a qu'à rompre la maçonnerie des murs de revêtement, murs qui se trouvent dégagés du côté du fossé; les gaz, produits de la déflagration, les renversent du même côté en s'épandant, soulèvent et divisent le terres, dont la poussée concourt ensuite au même résultat et achève l'œuvre.

Rien de semblable n'aurait lieu s'il fallait former un entonnoir dans le roc ou dans la maçonnerie, engagée latéralement de toutes parts et terminée en haut par un plan horizontal. Les charges devraient alors s'accroître en raison de la plus grande résistance des milieux et de leurs poids spécifiques.

Quand un fourneau de brèche est logé dans la maçonnerie d'un mur terrassé plein, ou mis seulement en contact avec le parement intérieur, la poussée des terres ne viendra presque plus en aide aux efforts de la mine, et bien que celle-ci doive seulement rompre et renverser le mur sans le soulever, on conçoit la nécessité d'y mettre une charge plus forte, à ligne de moindre résistance égale, que dans les cas ordinaires, où une certaine épaisseur de terres se trouve interposée entre la maçonnerie et les poudres. Or, c'est précisément ce que demande Vauban.

En résumé donc, les prescriptions de Vauban embrassent tous les accidents d'une pratique variée; de là résulte qu'elles sont plus vagues, moins compassées que celles de Cormontaigne, qui se rapportent exclusivement à l'hypothèse d'un rempart, de forme, de construction et de dimensions ordinaires.

Si l'on a simplement en vue le renversement des murs terrassés, il n'est pas rigoureusement nécessaire que la hauteur des terres au-dessus des fourneaux soit plus grande que la ligne de M. R. Les récentes expériences de Bapaume prouvent que ce résultat peut être obtenu avec la

charge du fourneau ordinaire en terrain ordinaire, alors même que la hauteur des terres n'est que $^2/_3$ ou $^1/_2$ de la ligne de M. R., donnée à noter pour les contrescarpes qu'on aurait à détruire dans un siége.

Au surplus, il ne faut pas confondre les fourneaux de brèches avec les fourneaux de simple démolition. Les surcharges de ceux-ci ne sauraient en général qu'être avantageuses et favorables à l'objet qu'on se propose. Au contraire, quand un fourneau de brèche sera trop chargé, non-seulement il pourra projeter des décombres et blesser du monde dans les tranchées ; mais plus ces projections seront violentes et abondantes, moins il restera de matériaux sur place, et moins ce qui en reste se trouvera dans un arrangement convenable pour procurer une rampe facile et régulière. Si le fourneau joue par le haut, la brèche sera escarpée comme un talus d'entonnoir ; s'il joue à contre-sens vers la place, l'escarpe demeurera debout, ou, si l'escarpe est abattue du même coup, le feu des ouvrages en arrière verra souvent, à la fois, d'enfilade, la brèche, le passage et la descente du fossé, attendu que l'assiégeant n'aura point cherché à les y soustraire par une disposition convenable, nécessairement en dehors de ses prévisions.

Le dispositif habituel de Vauban, dispositif que la plupart des mineurs ont adopté pour l'ouverture des brèches par la mine, consiste en deux ou un plus grand nombre de fourneaux, placés dans les terres du rempart, sur une seule ligne droite parallèle à l'escarpe. Il est bien vrai que l'on trouve dans son *Traité des mines* des trèfles à trois fourneaux, et même des arrangements plus compliqués à quatre, cinq, six, etc., fourneaux ; mais l'auteur n'insiste pas sur leur emploi plus ou moins avantageux. Cormontaigne a le premier tracé les vrais principes, et indiqué nettement la préférence à donner aux dispositifs tréflés. Je vais achever d'éclaircir ce sujet en vous exposant les détails de la grande expérience faite, en 1847, à Bapaume, suivant sa méthode, pour l'ouverture d'une brèche double au saillant du bastion n° 2. (*Fig.* 7, *pl. III.*)

Double dispositif tréflé, chacun de trois fourneaux cotés 1, 2, 3.

Hauteur des terres au-dessus des 6 fourneaux . . . . . $v = 12^m,00$
Ligne de moindre résistance des fourneaux 1 et 2 de chaque tréflé $h = 5^m,50$
Distance des fourneaux extrêmes 1, 1 :
Égale à la distance des fourneaux 1, 2 du même trèfle, égale à la ligne de moindre résistance des fourneaux 3, 3, égale à deux fois la ligne de moindre résistance des fourneaux 1, 2. . . . $= 11^m,00$
Charge (poudre) de chaque fourneau . . $C = \frac{11}{6} h^3 (0,793) = 242$ kilog.
Charge totale des six fourneaux. . . . . 1,452 kilog.

Au dispositif de droite, l'épaisseur du mur était de $3^m,10$ à l'entrée des rameaux ; on a mis 90′ (minutes) pour les amorcer sur $0^m,80$ de profondeur; 737′ pour achever de percer l'escarpe et 1,440′ pour faire $22^m,50$ de longueur de rameaux dans les terres.

Au dispositif de gauche, l'épaisseur du mur était de $2^m,77$ à l'entrée des rameaux ; on a mis 94′ pour les amorcer sur $0^m,80$ de profondeur, 773′ pour achever de percer l'escarpe et 2,170′ pour faire $22^m,30$ de longueur de rameaux dans les terres. C'est au total plus de 50 heures. Cormontaigne, assure qu'un travail analogue dans un siége peut être fait en deux jours par des mineurs diligents et entendus, qu'il faut un troisième jour pour charger et bourrer et qu'il y aurait de la négligence, si on employait plus de quatre jours en préparatifs pour faire sauter un saillant.

On a pris des précautions particulières *pour compasser les feux*, de manière à ce que les quatre fourneaux 1, 1 et 2, 2 partissent ensemble et les deux fourneaux 3, 3 aussi ensemble, mais un instant (1 à 2 secondes) après les premiers. A cet effet, on a employé des saucissons de choix et on en a mis deux dans chaque auget. Jusqu'aux fourneaux 1, 1 et 2, 2, on a communiqué le feu au moyen de *saucissons* dits *La Rivière* (cordes porte-feu décrites ci-après), dont la combustion est presque instantanée; entre les rameaux 1, 2 et les fourneaux 3, 3, on s'est servi de *saucissons ordinaires* dont la combustion plus lente a permis de satisfaire à la dernière condition du compassement. Afin de pouvoir s'éloigner pendant l'intervalle de la mise du feu et de l'explosion, l'on a lié à l'extrémité libre du saucisson La Rivière un bout de *saucisson anglais*, qui ne brûle qu'à raison de $0^m,75$ par minute. Si ce compassement, des plus compliqués que l'on puisse avoir à faire, a été bien compris, l'on pourra sans difficulté se rendre compte des méthodes à suivre à cet égard dans d'autres expériences, en ayant recours à des expédients et à des combinaisons analogues.

On ne s'est d'ailleurs écarté du dispositif décrit dans le *Mémorial pour l'attaque des places* de Cormontaigne, que relativement à un détail : au lieu d'une seule entrée de rameaux par trèfle, on en a pratiqué deux, à environ trois mètres de distance l'une de l'autre : 1° afin d'éviter les contre-forts à l'une des entrées au moins, 2° afin de faciliter l'aérage et les dernières opérations du travail préparatoire. Les fourneaux 3, 3 servent à rendre la rampe de la brèche plus praticable, et à déblayer un bon *nid de pie,* le long du sommet, où se pose la gabionnade du premier logement; ils assurent aussi le logement contre

les fourneaux que l'ennemi aurait pratiqués lui-même, pour le faire sauter lorsqu'on y serait établi.

La simultanéité de jeu des quatre premiers fourneaux a été complète et convenablement suivie des deux fourneaux 3, 3.

Deux belles brèches d'environ 25 mètres de largeur chacune ont été formées, l'une à droite du saillant, l'autre à gauche. Les rampes ne présentaient aucun escarpement capable d'arrêter une colonne d'assaut, et, sous ce rapport, les prévisions de Cormontaigne sur l'effet des fourneaux 3, 3 se sont réalisées de tous points. Mais Cormontaigne suppose aussi que, par le dispositif qu'il prescrit, les maçonneries de l'angle flanqué de l'ouvrage mis en brèche seront abattues, quelle que soit l'ouverture de cet angle. Or, dans l'expérience de Bapaume, l'angle flanqué du bastion 2 se trouvait être fort obtus, et, bien que cette circonstance soit évidemment favorable au renversement des contre-forts accolés et des autres maçonneries du saillant, elles sont néanmoins restées debout ; et il a fallu, pour les démolir, établir un petit fourneau supplémentaire de 50 kil. de poudre, qui a complété l'œuvre.

D'après ce résultat, il sera bon, dans la pratique d'un siége, de rapprocher les fourneaux extrêmes 1, 1 du côté du saillant, dans chaque trèfle, d'une quantité d'autant plus grande que l'angle à mettre en brèche aura moins d'ouverture ; ou bien de surcharger ces mêmes fourneaux dans une proportion convenable, selon les données du problème, ou bien enfin de laisser un vide entre ces mêmes fourneaux et le saillant, afin d'accroître leur effet de ce côté.

Pour être sûr que la charge d'un fourneau de mine agira effectivement dans la direction de la ligne de M. R. présumée, il faut que les parois de la chambre aux poudres offrent partout une résistance suffisante et ne laissent nulle part une issue au gaz, dont, sans cela, une bonne partie ou la totalité s'écoulerait par l'ouverture qu'on aurait laissée, suivant le rapport entre la surface de l'orifice, le volume du gaz développé et la rapidité de son expansion. C'est la nécessité de satisfaire à cette condition qui impose l'obligation de recombler le chemin souterrain par lequel on est arrivé à l'emplacement du fourneau ou de *bourrer la mine*, nécessité fâcheuse pour la défense, en ce qu'il faut dès lors prévoir plusieurs heures à l'avance le point où l'ennemi se portera, afin de placer le fourneau à l'endroit le plus avantageux, en sorte que si la marche de l'ennemi ne s'accorde pas avec les prévisions, les préparatifs peuvent fort bien être en pure perte. Elle l'est beaucoup moins pour l'assaillant, parce que les objets à détruire sont en grande

partie immuables, en sorte qu'il y aura toujours un effet utile produit, quel que soit le moment où l'explosion ait lieu. — Ce bourrage peut avoir lieu en terre et gazon, en terre ou bois, ou en bois et sacs à terre. On emploie le premier mode de préférence au second, parce qu'il est plus facile de débourrer le rameau après l'explosion, et le troisième de préférence aux deux autres, comme exigeant moins de temps.

Habituellement on donne pour règle, les terres remblayées ne pouvant jamais avoir une densité égale à celle du terrain environnant, que le bourrage doit être fait, en terre et gazon, sur une longueur double de la ligne de M. R., tandis qu'en terre et bois, lorsque les terres sont soutenues par des pièces de bois arc-boutées contre les cadres du boisage, cette longueur peut être réduite à 1 $^1/_2$ fois la ligne de M. R. ou aux $^2/_3$ du bourrage en terre et gazon. La distance est mesurée en droite ligne, entre le fourneau et l'extrémité du bourrage, abstraction faite des coudes et déviations. La ligne de M. R. est celle donnée par la charge, jouant comme fourneau ordinaire, dans la terre végétale; ainsi on proportionne le bourrage au nombre de kilog. de poudre contenu dans la charge et non à la résistance que l'expansion du fluide doit rencontrer. Il est fâcheux que la dépense considérable des expériences ne permette pas d'en faire, pour constater s'il est bien absolument nécessaire de suivre cette proportion dans les mines défensives, alors que l'assiégeant ne s'y astreint pas dans ses mines surchargées, et quelle influence les coudes auraient sur la résistance, puisqu'il est présumable qu'ils doivent offrir au mouvement du gaz provenant de la poudre un obstacle analogue à celui qu'ils opposent à l'écoulement de l'air comprimé, dans les conduits des machines soufflantes, ce qui donnerait la faculté de réduire sensiblement la longueur du bourrage en plusieurs cas.

Je vous ai déjà parlé sommairement des expériences faites par le chef de bataillon Mouzé, sur la possibilité de réduire et même de supprimer le bourrage en augmentant la charge, et des règles qu'il a cru pouvoir en déduire. Il est bon de remarquer que les expériences ayant été faites dans un but spécial, on n'a dirigé les investigations que vers ce but, et qu'il règne une grande incertitude sur le point de savoir si, parce qu'il y a eu similarité d'effet dans un sens, entre les fourneaux bourrés et non bourrés, cette similarité a lieu dans toutes les directions. Je m'explique : le commandant Mouzé a fait construire, dans le terre-plein d'un bastion, de grands puits, à proximité d'autres petits puits, au fond desquels il a placé des charges de poudre, bourrant les uns au tiers,

les autres à moitié, un autre pas du tout, suivant qu'il augmentait les charges. Il a comparé les effets de leurs explosions avec ceux d'un puits placé dans des conditions analogues et bourré entièrement. Les résultats ayant été sensiblement les mêmes, quant à la destruction des grands puits, on a formulé la règle que nous vous avons fait connaître, quoiqu'il ne soit aucunement démontré que ces expériences faites sur des faibles quantités de poudre soient concluantes pour les effets de très-grandes quantités, comme les charges des globes de compression, où la combustion successive doit exercer une influence tout autrement forte, surtout par rapport à la direction du plus grand effort. Or, d'après les expériences de Rossi, le plus grand effet a lieu du côté où le vide a été laissé ; si donc une mine offensive n'était pas bourrée, n'est-il pas présumable que son plus grand effet se dirigerait vers les travaux des assiégeants? Circonstance de grande conséquence dans une attaque par globes de compression successifs. L'expérience des puits ne contredit pas cette supposition, car ici l'effet devant se porter vers la surface, la communication conservée par les grands puits avec l'atmosphère attirait aussi de leur côté l'action du fluide, mais rien n'a prouvé que la commotion sous-horizontale ait été identique, bien moins qu'elle le serait avec de très-fortes charges, ce qu'il serait pourtant très-intéressant de savoir pour le système d'attaque qu'on a basé sur cette donnée.

La question n'exerce pas la même influence sur le jeu des mines défensives, parce que là il s'agit non-seulement d'égaliser la résistance de manière à diriger l'explosion dans le sens voulu, mais encore de préserver la galerie en arrière des suites de la commotion. Des observations faites au siége de Schweidnitz semblent néanmoins prouver que les galeries et les rameaux, lorsqu'ils sont bourrés, résistent à des commotions, même violentes, parce qu'ils transmettent les vibrations. Ainsi un rameau bourré, engagé très-avant dans l'ellipsoïde de rupture d'un globe de compression, ne fut aucunement affecté de l'explosion. M. Mouzé avait proposé une série d'expériences, afin de constater un fait aussi important pour l'art défensif ; mais je pense que la dépense qu'elles exigeaient y a fait renoncer, au moins n'ai-je pas connaissance que les résultats en aient été publiés. Il a été constaté récemment au régiment du génie à Gand qu'un fourneau chargé et bourré résiste à l'explosion d'un fourneau ordinaire placé au même niveau à la distance $\frac{5}{4}h$ ou même égale à h. Le premier fourneau, quoique dérangé, reste susceptible de recevoir le feu au moyen du saucisson ordinaire.

Le raisonnement indiquant, au surplus, que l'ébranlement doit être le moindre lorsque la force agit dans le sens de l'axe du rameau, à cause de la faible surface offerte et de la liaison plus complète du boisage, on en a déduit le précepte que les fourneaux doivent être placés en avant des galeries et les rameaux dirigés de manière à présenter autant que possible des pointes à l'assaillant.

De la nécessité du bourrage dérive celle de donner aux rameaux la dimension *minimum*, que leur usage comporte, afin d'être refermés avec le moins de matériaux possible. Si ce n'était ce motif, il serait bien préférable, pour la facilité des transports et des communications, de construire tous les chemins souterrains en grands rameaux, puisque la fouille et le boisage des uns se font aussi vite que ceux des autres, vu la position gênée que le petit rameau oblige le mineur à prendre. Afin de diminuer l'inconvénient qui en résulte, on fait en demi-galerie les parties destinées spécialement aux communications, en grand rameau les lignes de jonction d'un même système de fourneaux, et en petit rameau seulement la partie qui doit être bourrée.

La détonation de la poudre de guerre produit 10,36 parties (en poids déduits) d'azote, 40,74 de sulfure de potassium et 48,90 d'acide carbonique. La poudre de mine française, composée de 62 parties de nitre, 20 de soufre et 18 de charbon, produit, en déflagrant, 8,9 d'azote, 45,2 de trisulfure de potassium, 28,1 d'acide carbonique et 17,8 d'oxyde de carbone. Quant au pyroxyle, sa combustion produit 12,72 d'azote, 3,78 d'acide carbonique, 56,7 d'oxyde de carbone et 26,8 de vapeur d'eau. On peut demeurer longtemps et impunément plongé dans l'atmosphère de fumée développée par la détonation de la poudre de guerre : c'est ce que prouve, par exemple, l'emploi de l'artillerie dans les casemates. Cependant, il paraît certain que les gaz produits par cette poudre peuvent devenir dangereux à respirer lorsque, employée dans un fourneau de mine, elle les chasse au travers des terres divisées par l'explosion. On a vu des mineurs tomber asphyxiés au moment où ils en commençaient le déblai. Pour expliquer ces phénomènes en apparence contradictoires, on suppose que dans une casemate l'air mêlé à la fumée cède son oxygène au sulfure de potassium pour former du sulfate de potasse, tandis que, dans les fissures privées d'air d'un terrain bouleversé par la mine, l'acide carbonique (CO^2) qu'elle produit agit sur le sulfure de potassium (KS) à la faveur de l'humidité du terrain, et donne d'une part du carbonate de potasse (KO,CO^2) et de l'autre de l'*hydrogène sulfuré* ou *acide sulfhydrique* (HS).

Or, ce gaz empoisonne à faible dose, quand il est pur. Il perd d'ailleurs cette propriété dès qu'il se répand dans l'air atmosphérique, et c'est ce qui fera comprendre comment, dans une même file de travailleurs, ceux de la tête qui attaquent directement les terres ainsi empoisonnées meurent asphyxiés, tandis que les suivants ne ressentent aucun malaise.

L'inhalation du *gaz oxyde de carbone* (*CO*) que produit la déflagration, soit de la poudre de mine, soit surtout du pyroxyle, peut donner lieu directement et très-promptement à l'asphyxie par empoisonnement.

On a remarqué, dans le jeu des fourneaux de mine chargés au pyroxyle, que le gaz oxyde de carbone, qui s'y produit en grande quantité, s'enflamme quelquefois après l'explosion quand il vient en contact avec l'air asmosphérique, dont il prend l'oxygène. On a cherché, par des expériences récentes, à neutraliser les effets délétères de l'oyxde de carbone et à utiliser en même temps la seconde inflammation, en mêlant au pyroxyle des matières renfermant beaucoup d'oxygène, telles que le chlorate de potasse, le nitrate de potasse ou de soude, matières qui puissent transformer l'oxyde en acide, avant l'expansion des gaz à l'extérieur. Mais jusqu'à présent ces tentatives n'ont pas été suivies de succès.

Pour sauver un mineur en asphyxie, on lui passe sous les aisselles une ceinture en cuir, à laquelle est attachée une corde neuve, puis l'ayant couché sur le dos, on le retire promptement, mais avec précaution du fond du rameau, où il est tombé. (Sébastopol.)

Les gaz délétères, oxyde de carbone, hydrogène sulfuré, etc., dont la présence se manifeste après l'explosion de fourneaux de mine, forment un des plus grands obstacles à l'activité de la guerre souterraine, principalement dans la défense. Lorsqu'ils pénètrent dans les galeries, on est obligé d'abandonner celles-ci, jusqu'à ce qu'à l'aide de ventilateurs on soit parvenu à renouveler l'air ; un pareil délai est extrêmement préjudiciable à l'assiégé, en ce que l'assiégeant, aussitôt après l'explosion, s'empare de l'entonnoir, qu'il couronne d'une sape du côté de la place, pendant que ses mineurs en fouillent le fond, pour chercher le bout du rameau demeuré intact, le débourrer, et s'ouvrir ainsi un chemin vers les galeries de l'assiégé, ce que celui-ci doit chercher à prévenir, en poussant, des parties de sa galerie qui n'ont pas souffert, de nouveaux rameaux vers l'entonnoir, afin de le recombler par des explosions latérales, en renversant les travaux de l'assiégeant. Or, ces opérations éprouveront beaucoup d'obstacles si ce dernier, moins gêné

par le gaz et travaillant à l'air libre, a sur lui plusieurs heures d'avance. Voilà pourquoi on attache tant de prix aux manières de porter le feu au fourneau, sans l'intermédiaire du saucisson, car quoique l'explosion chasse une partie des gaz par l'auget, cet effet n'est pas si instantané qu'on ne puisse les intercepter en bouchant l'auget dès que la commotion annonce l'inflammation de la charge. On ne peut le faire plus tôt de crainte d'étouffer le feu, en le privant d'air. C'est donc seulement de la fumée du saucisson qu'il est impossible de se garantir, à moins de le supprimer, en le remplaçant par la *souris* de Rugy, ou la *fusée porte-feu* du capitaine Esnault, dont nous avons parlé sommairement dans la première partie de ce Cours. La première cependant a été reconnue très-défectueuse, en ce que l'amorce s'accrochait souvent en chemin aux aspérités des augets et n'arrivait pas jusqu'au fourneau, et si cela arrivait dans les exercices de l'école, combien plus devrait-on s'y attendre à la guerre! La fusée porte-feu lui est donc de beaucoup préférable, car ayant un mouvement qui lui est propre, elle peut surmonter de petites résistances. Cette fusée contient ordinairement 23 grammes d'une composition formée de $^1/_5$ de pulvérin, $^3/_5$ de salpêtre et $^1/_5$ de poussier de charbon. Sa longueur est de $0^m,16$, son diamètre de $0^m,02$, et son poids total de 46 grammes, quoiqu'on puisse en faire beaucoup plus petites, puisque avec cette charge et cette dimension elle va jusqu'à 100 mètres, dans des augets convenablement dressés. Pour diminuer le frottement, on avait pensé devoir employer des tubes de fer-blanc, emboîtés les uns dans les autres, mais l'expérience a prouvé que les augets en bois sont meilleurs, sans doute parce qu'ils ne se plient ni ne se bossellent pendant le bourrage. Lorsque la fusée a des courbes à parcourir, ou bien lorsqu'on veut mettre le feu à deux fourneaux à la fois, à chaque changement de direction, on fixe à l'entrée du nouvel auget une seconde fusée, dont l'étoupille, pliée en forme d'anneau, passé dans un petit clou, s'oppose à tout dérangement (*pl. II, fig.* 74). La première fusée, arrivant à l'embranchement des deux augets, met le feu aux étoupilles des fusées des retours, et celles-ci vont porter le feu aux fourneaux ou à d'autres fusées. Pour mieux assurer la transmission du feu, on met à l'embranchement des augets un petit amas de poudre, d'un décagramme environ, couvert, par un ressaut ménagé dans la semelle de l'auget, contre le mouvement rapide de la première fusée, qui pourrait le disperser. On se sert aujourd'hui en France du saucisson La Rivière (nom de l'inventeur) ou corde porte-feu, dont l'âme est composée de brins de mèche à étoupilles fortement

serrés par des fils de coton et garantis contre l'humidité par des enveloppes de toile imperméable ou par du caoutchouc. Sa combustion est presque instantanée.

On a aussi proposé différents procédés pour mettre le feu au moyen d'amorces de poudre fulminante, sur lesquelles tombe ou frappe une masse, dont le choc détermine une inflammation; mais la crainte d'accidents qui pourraient si facilement résulter d'un chien mal placé ou bandé, a fait rejeter indistinctement toute invention reposant sur l'emploi de ressorts. D'autres ont imaginé de se servir du frottement, employant des amorces analogues aux *bonbons cosaques*, et des expériences doivent avoir été faites à cet effet, mais le résultat n'en est pas encore connu. Il est évident qu'on pourrait aussi tirer parti de l'électricité, avec toutes sortes d'avantages, comme on l'a déjà fait en Angleterre, pour des explosions sous-marines, ce moyen unissant l'absence de la fumée à la sûreté et à la célérité. Des expériences qui ont eu lieu en Hollande ont déjà prouvé la possibilité de se servir de la pile pour porter le feu à des distances considérables (1,230 mètres), même en faisant passer les conducteurs au travers de grandes masses d'eau. Voici la description de l'appareil dont le lieutenant-colonel du génie Merkes s'est servi à cet effet : Une pile de Wollaston consistant en un seul rang composé de douze couples d'éléments, ayant $0^m,145$ de largeur. Ils sont fixés à la traverse supérieure d'un bâtis de $0^m,66$ de longueur, $0^m,25$ de largeur et $0^m,50$ de hauteur; un treuil horizontal est attaché à la même traverse; le bâtis est muni d'une porte sur l'un des longs côtés; au treuil est suspendu un auget renfermant douze cellules séparées pour les douze couples d'éléments de la pile. A l'aide du treuil, on peut soulever l'auget et immerger la pile dans le liquide excitateur qu'il renferme et qui se compose de $12^k,5$ d'eau, $0^k,5$ d'acide sulfurique, $0^k,25$ d'acide azotique, ou bien de $0^k,75$ acide sulfurique et $0^k,40$ d'acide azotique, quand les conducteurs doivent traverser des fossés pleins d'eau. Ces conducteurs, au nombre de deux, sont rubaniformes et en cuivre rouge de $0^m,0008$ d'épaisseur, et de 0,01 de largeur, formés de bandelettes de $1^m,30$ de longueur soudées bout à bout avec de la soudure jaune et du borax, les bouts amincis se recouvrant de $0^m,01$. Pour les distances de plus de 80 mètres, on peut allonger les conducteurs par des fils de laiton de $0^m,003$ de diamètre. Pour isoler les conducteurs, il suffit de les envelopper de chanvre ciré; chacun d'eux est muni à son pôle de deux ou trois fils d'acier.

Pour armer, on pratique dans un morceau de chêne sec, de $0^m,15$ sur $0^m,04$ d'épaisseur, deux traits de scie de $0^m,002$ de largeur sur $0^m,03$ de profondeur, et à $0^m,02$ l'un de l'autre; dans les traits de scie on passe les extrémités des conducteurs, coupées en crans, pour y attacher les fils d'acier; on les fixe au morceau de chêne en les isolant bien, au moyen d'un mastic. On a soin de tortiller deux ou trois fois sur eux-mêmes les bouts des fils d'acier, qui ne doivent pas avoir plus de $0^m,03$ de longueur.

Les pôles des conducteurs doivent être placés au centre des poudres de la mine, et leurs têtes fixées aux pôles de la pile. Il suffit, après avoir versé le liquide excitateur dans l'auget, de soulever celui-ci au moyen du treuil, pour opérer au même instant l'immersion des éléments de la pile, la fusion des fils d'acier et l'explosion de la mine.

Les *Russes* à *Sébastopol*, employaient la pile de Volta pour donner le feu. Leurs conducteurs électriques formés de trois fils de cuivre enduits de gutta-percha aboutissaient à des boîtes d'amorce où le fil de platine ordinairement employé était remplacé par des morceaux de charbon cylindriques taillés en biseau et dont les deux lames se touchaient par leur tranchant suivant deux plans perpendiculaires. Il y avait deux à trois boîtes d'amorces par fourneau.

On suit partout aujourd'hui des procédés pareils ou analogues pour communiquer le feu, instantanément par l'électricité, à des distances plus ou moins considérables. Mais les mineurs militaires ne les acceptent pas encore avec une pleine confiance, à cause des nombreux ratés que l'expérience accuse. En France, on préfère l'usage du saucisson La Rivière, qui a les mêmes avantages, sans donner lieu aux mêmes inconvénients.

Lorsque plusieurs fourneaux doivent jouer ensemble, il est nécessaire de compasser les feux, c'est-à-dire d'établir les augets de manière que la distance à parcourir par la combustion, depuis l'extrémité du bourrage jusqu'au fourneau, soit égale pour tous. Pour parvenir à ce résultat sans un long tâtonnement, voici ce qu'on peut faire, si l'on emploie les saucissons ordinaires.

S'il n'y a que deux fourneaux (*pl. II, fig.* 67), on place un auget qui aille le plus directement possible de l'un à l'autre, on mesure la longueur de cet auget, on en prend le point milieu, et l'on fait arriver en ce point l'auget principal qui amène le feu.

S'il y a trois fourneaux (*pl. II, fig.* 68), on opère d'abord comme on vient de le dire pour les deux fourneaux qui sont les plus rapprochés

l'un de l'autre. On joint le point milieu donné par ce premier compassement au troisième fourneau, et l'on partage en deux parties égales la longueur totale comprise depuis ce troisième fourneau jusqu'à l'un des deux premiers, puis on fait arriver l'auget principal en ce nouveau point milieu.

S'il y a quatre fourneaux, ce qui doit arriver très-rarement, à moins qu'ils ne soient placés symétriquement, on fait (*pl. II, fig.* 69) un premier compassement pour deux de ces fourneaux, un second pour les deux autres, et l'on réunit ensuite les deux compassements particuliers par un troisième.

Les coudes de l'auget ralentissent la communication du feu. On tient compte de ce ralentissement dans le compassement des augets, regardant chaque coude comme équivalant à une longueur de $0^m,08$. Ainsi l'un des augets, ayant un coude de plus que l'autre, doit être réellement plus court de $0^m,08$, ce qu'on obtient en rapprochant le point d'arrivée de l'auget principal de $0^m,04$ vers ce coude.

On a observé qu'un coude d'équerre ralentissait un peu plus la communication qu'un coude obtus, et dès qu'il a été constaté qu'un changement de direction diminuait la rapidité de la transmission du feu, on a pu rationnellement conclure que cette diminution serait en rapport avec l'ouverture de l'angle formé par les deux directions.

L'expérience a appris aussi que deux saucissons peuvent être placés dans un bourrage à $0^m,50$ de distance l'un de l'autre, et cependant produire des explosions séparées, sans que le feu de l'un se communique à l'autre.

Il est à remarquer que le compassement des feux devient d'autant moins nécessaire que la transmission de la combustion est plus rapide, puisque sa grande utilité est d'empêcher que la communication avec un fourneau ne soit interceptée par l'explosion de l'autre. Ainsi l'emploi de la fusée porte-feu exige moins d'exactitude dans le compassement que celui du saucisson, et tout compassement serait superflu si l'on faisait usage du saucisson La Rivière, de l'électricité ou d'amorces fulminantes. Vous avez vu d'ailleurs comment on peut procéder, s'il s'agit de faire jouer l'un des fourneaux du système, quelques secondes après les autres, par l'exemple que je vous ai cité de la grande brèche ouverte, suivant la méthode de Cormontaigne, au saillant du bastion 2 de la place de Bapaume.

La pl. II, montre : fig. 66, une boîte aux poudres disposée à l'extrémité d'un rameau avec l'auget pour la communication du feu ; les

fig. 70 et 71 sont relatives à des augets qui se rencontrent d'équerre ou obliquement. On les fixe sur le sol à l'aide de petits piquets qu'on y enfonce de distance en distance et sur la tête desquels on cloue les semelles des augets. Ceux-ci doivent pénétrer (*fig.* 66) de $0^m,10$ dans les boîtes aux poudres. La boîte de Boule est représentée en coupe et en plan par les fig. 72 et 73. (*Voir* tome I, page 449.)

13me LEÇON.

DÉTAILS DE CONSTRUCTIONS SOUTERRAINES.

SOMMAIRE.

Terrains propres à l'application des mines défensives. — Construction souterraine : outils de mineur, pour la fouille, le pétardement et la ventilation. — Données sur le temps exigé pour la construction des galeries de toutes les dimensions, en charpente. — Galeries en maçonnerie construites souterrainement, conduite du travail. — Substitution de la forme annulaire à la forme prismatique ; données à cet égard. — Construction à ciel ouvert. — Contre-puits ; leurs dimensions ; manière de les construire, de les charger, de les bourrer et d'y mettre le feu. — Puits d'attaque et rameaux à la hollandaise, dimensions ; construction. — Rameaux de combat, dimensions ; construction ; bourrage. — Bourrage en bois et en terre. — Mode d'exécution.

Nous vous avons indiqué sommairement les difficultés de la guerre souterraine, et vous avez pu en conclure qu'un des meilleurs moyens d'accroître la résistance des places, sans faire de grands sacrifices en hommes et en machines de guerre, était de les munir d'une ceinture de fourneaux, mais il s'en faut de beaucoup qu'il soit d'application dans toutes les localités. Tantôt on rencontre l'eau à une faible profondeur au-dessous de la surface, alors que le plus petit fourneau doit avoir $3^m,25$ au moins de ligne de M. R., sans quoi il serait facile à l'assiégeant de déblayer les galeries, et de s'en servir en guise de boyaux de communication, pour atteindre, à couvert, les ouvrages en arrière ; tantôt on trouve des bancs de rocher, ou des couches de sable, soit très-sec, soit bouillant, et dans ce cas on peut bien, à force d'argent, établir pendant la paix les principales galeries, mais il devient extrê-

ment difficile, sinon impossible, d'en déboucher, par des rameaux et des écoutes, lorsqu'il s'agit, au moment du danger, de se porter au-devant de l'assiégeant, afin de contrarier, par le jeu des fourneaux, les progrès de ses travaux et l'établissement de ses batteries. Il serait peu judicieux d'attendre ces effets de fourneaux creusés longtemps à l'avance, parce que la puissance qui y a intérêt saura toujours bien, par adresse ou par corruption, se procurer des données exactes sur leur position, et dès lors prévenir leur action ou s'y soustraire, en adoptant une marche d'attaque qui porte les travaux les plus essentiels en deçà ou au delà de la surface des entonnoirs, ou en bouleversant tout le dispositif de la défense par quelques globes de compression établis hors de sa portée. Ces réflexions si simples n'ont pas toujours été faites : la préoccupation, l'esprit de système ont causé à cet égard de grandes aberrations, et Cormontaigne cite un système de contre-mines très-complet, dont la dépense a dépassé un demi-million, appliqué à Metz, à une lunette détachée, mais qui, taillé dans une roche calcaire, n'est susceptible ni d'extension, ni de modification, et par cela même ne saurait servir que contre un ennemi assez bénévole pour aller se placer justement à l'endroit où les embûches sont préparées. Afin d'éviter un inconvénient aussi grave, on considérera comme susceptibles de recevoir un dépositif de mines défensives seulement les terrains formés de terre végétale, d'argile ou de sable mélangé, dans lesquels l'eau ne se rencontre qu'à 6 mètres à peu près de la surface. Il est possible, à la rigueur, d'en établir dans d'autres, mais fort douteux qu'ils satisfassent alors à ce qu'on attend d'eux et bonifient ainsi les frais qu'ils occasionnent.

On objectera peut-être que les mêmes obstacles existent pour le mineur assiégeant, lequel a bien moins les moyens d'en triompher ; cette remarque manque de justesse en ceci, que les résultats à produire ne sont pas les mêmes. L'effet utile des mines offensives a lieu dans toutes les directions, celui des mines défensives uniquement de bas en haut ; l'assiégé, pour conserver ses ouvrages, doit restreindre l'effet souterrain et employer les charges qui donnent le plus grand rapport entre le rayon de l'entonnoir et la quantité de poudre brûlée ; de là la nécessité de placer la charge à une profondeur égale à sa portée horizontale ; l'assiégeant cherche, au contraire, à étendre la commotion aussi loin que possible, et une profondeur moindre lui suffit, parce qu'au moyen de charges plus grandes, il double ou triple le rapport entre le rayon de rupture et la ligne de M. R. ; son calcul se borne

à l'augmentation de la quantité de kilog. de poudre, suivant la longueur de ces lignes, son travail à leur préparer un emplacement capable de les contenir; il frappe à grande distance, sans bouger de place, pourvu que la force soit proportionnée à l'éloignement, tandis que l'assiégé doit s'avancer vers le but qu'il veut atteindre, jusqu'à ce que celui-ci se trouve à portée de son arme, et cette portée est étroitement limitée par la position de ses propres ouvrages; la difficulté du terrain tourne donc spécialement contre l'assiégé.

On peut néanmoins admettre qu'un terrain de roc recouvert de 4 à 5 mètres de terres serait avantageux à la défense souterraine, si, les galeries étant creusées dans le roc, on préparait les moyens de conduire rapidement les rameaux jusqu'aux terres pour y établir les fourneaux.

Dans la 2me partie du Cours, nous vous avons donné quelques aperçus sur la construction des mines : nous allons chercher à les compléter.

La fouille pour les galeries de toute espèce se fait souterrainement ou à ciel ouvert. Le dernier moyen est celui qu'on préfère, comme le moins cher, pour les constructions en mauvais terrain, lorsqu'on établit des galeries en maçonnerie, et surtout pour les parties dont on suppose ne pouvoir dérober la connaissance aux ennemis. Sans doute, les mouvements de terre deviennent plus considérables, mais, en revanche, on peut retirer tout le boisage et le faire servir plusieurs fois, chose très-difficile et même impossible, pour une grande partie, dans les travaux souterrains. La main-d'œuvre de la maçonnerie est aussi beaucoup moins coûteuse, parce que les transports sont moins longs et les retards moins fréquents. L'autre méthode est spécialement suivie pour les écoutes et les rameaux, que l'on construit au moment où un siége devient imminent, et dont il faut éviter soigneusement de faire connaître les emplacements à l'ennemi. Or, si les travaux partaient de la surface, la couleur des terres nouvellement remblayées suffirait pour déceler la position des chemins souterrains. D'après les dimensions que nous vous avons indiquées, il est aisé de voir que le mineur peut travailler debout aux galeries majeures et aux grandes galeries, qu'il doit se tenir courbé pour fouiller une demi-galerie, mais que dans un grand et un petit rameau, il ne peut travailler qu'accroupi à genoux. La gêne de cette dernière position est cause que, malgré la diminution du cube à extraire, la fouille des grands et petits rameaux exige le même temps, et que celui employé pour la fouille des demi-galeries ne se trouve aucunement dans le rapport des surfaces de section.

Les outils dont les mineurs se servent sont : (*pl. II*), la pioche (*fig.* 11), du poids de 2 kil.; la langue de bœuf (*fig.* 12), du poids de 1.50 kil.; la pelle carrée (*fig.* 13), du poids de 1.50 kil ; la pelle ronde (*fig.* 14), du poids de 1.50 kil.; le poinçon à grain d'orge (*fig.* 15), l'escoupe (*fig.* 16), du poids de 1.50 kil.; la drague (*fig.* 17), le ciseau de fer (*fig.* 18), le pic à tête (*fig.* 19), du poids de 2.50 kil ; le pic à roc (*fig.* 20), du poids de 2.40 kil.; le coin de fer (*fig.* 21), le pic à tranche (*fig.* 22), du poids de 2 kil.; la barre à mine (*fig.* 23), du poids de 6 à 10 kil.; la curette (*fig.* 24), du poids de 0.50 kil.; l'épinglette (*fig.* 25), du poids de 0.50 kil.; le refouloir terminé par un sabot de cuivre (*fig.* 26), le pistolet (*fig.* 27), du poids de 3 à 6 kil.; la scie ordinaire (*fig.* 28), la masse à main (*fig.* 29), du poids de 2 kil.; le marteau (*fig.* 30), le ciseau de menuisier (*fig.* 31), la lanterne à vitre de corne (*fig.* 32), les triquoises (*fig.* 33), le chariot (*fig.* 34), de la contenance de 0.05 de mètre cube; le chandelier en fer (*fig.* 35), le compas en fer (*fig.* 36), le niveau de maçon (*fig.* 37), la caisse ferrée pour les grands puits (*fig.* 38), les pinces (*fig.* 39 et 40), le panier (*fig.* 41), de la contenance de 0.025 de mètre cube; la boîte à outils (*fig.* 42), l'entonnoir en fer-blanc (*fig.* 43); le trépan (*fig.* 44), le cordeau (*fig.* 45), le fil à plomb (*fig.* 46), la vrille (*fig.* 47), la hâche à main (*fig.* 48), la scie à main (*fig.* 49), la mesure à poudre en fer-blanc (*fig.* 50), de la contenance de 5 kil.

Les outils 11, 12, etc., jusqu'à 22, ont un manche plus ou moins long du poids de 0.75 kil. Les mineurs se servent aussi de la brouette, du mètre et du double-mètre, de la règle de maçon et du treuil ou bourriquet pour les puits (*fig.* 52). Dans cette figure, le cadre à oreilles paraît simplement posé sur le sol, mais il est ordinairement enterré de de son épaisseur. La fig. 51 représente un ventilateur à aubes héliçoïdales.

C'est dans les fouilles qu'on emploie la pioche ordinaire, la pelle carrée, la pelle ronde; *l'escoupe*, pelle ronde plus creusée que la pelle ronde ordinaire sert spécialement à charger les terres déjà détachées; la *langue de bœuf*, sert à pratiquer des rainures dans les terres, afin d'y engager les planches du ciel ou du coffrage; la *drague*, à charger la vase, lorsque le mineur rencontre de l'eau dans les galeries; le pic à tête, le pic à roc et le pic à tranche, attaquent les milieux d'une grande dureté. Quand on doit s'ouvrir un passage dans la maçonnerie, on fait usage du poinçon à grain d'orge, du ciseau et du coin de fer, pour ôter le mortier qui se trouve dans les joints et ébranler les pierres;

après quoi, on les arrache ou on les brise à l'aide de pinces, dont l'extrémité tranchante est tantôt recourbée, tantôt en pied de biche.

Dans la pierre tendre, on forme à l'aide du ciseau des rainures étroites, puis on détache de gros éclats avec des coins en fer et la masse; mais quand il faut frayer son chemin à travers des bancs de rocher ou de la maçonnerie en gros blocs très-compactes, tous ces outils ne peuvent servir qu'après que la pierre est réduite en fragments ou étonnée au moyen de la poudre; c'est à quoi servent les *pétards*. On donne ce nom à des trous cylindriques, de $0^m,60$ à $1^m,30$ de profondeur, (*pl. II*, *fig.* 80), creusés dans le rocher, autant que possible perpendiculairement à la direction des couches, à l'aide de ciseaux bien acérés et de masses de fer. Deux mineurs font en une heure $0^m,40$ dans le calcaire oolithique, et $0^m,33$ dans le roc dur. Un des mineurs tient le ciseau et lui fait faire un quart de révolution à chaque coup de masse que frappe le second. A mesure que le trou s'approfondit, on retire les fragments détachés, à l'aide d'une petite cuiller en fer, à long manche, et lorsqu'il est achevé, on y verse de la poudre jusqu'à $^1/_4$ ou $^1/_3$ de la profondeur; on met contre la paroi une tige de fer, puis on bourre le reste du conduit avec de la terre, de petits morceaux de bois et des fragments du rocher; on retire la tige de fer; on remplit de poudre l'espace qu'elle occupait, afin de se mettre en communication avec la charge; enfin on met le feu à l'aide du moine ou d'une mèche de coton soufrée, qui, produisant plus de fumée que le moine, permet de voir à distance si elle brûle ou si elle s'éteint. Le ciseaux s'appellent *pistolet* et *barre à mine*, suivant qu'ils ont de $0^m,60$ à $1^m,00$, ou de $1^m,30$ à $2^m,00$ de longueur; le travail au pistolet n'exige qu'un seul mineur. La petite cuiller se nomme *curette;* la tige de fer, *épinglette,* et la barre de fer, avec laquelle on serre le bourrage, *le refouloir*. Après l'explosion, on détache avec la pince les blocs que la poudre a désagrégés. Pour favoriser cet effet, lorsque les blocs sont considérables, on place divers pétards à proximité l'un de l'autre et l'on compasse les feux:

Nous venons de décrire les procédés ordinaires des mineurs, mais il y a beaucoup à améliorer. Ainsi, on peut faire une grande économie de poudre, en la mêlant par moitié avec de la sciure de bois, $1_k,00$ de ce mélange enlève 1 mètre cube de roc en plein déblai, moins dans les rentrants. On augmente sensiblement l'effet de la charge, en plaçant au fond du trou de mine, avant d'y verser la poudre, un cylindre de bois dont le diamètre est d'un centimètre moindre que celui du trou, comme aussi en ménageant entre la charge et le bourrage un

vide égal au volume de la poudre, ce qu'on obtient en plaçant sur celle-ci deux disques de carton reliés par une baguette. On adapte aussi quelquefois le dispositif de la fig. 81, pl. II. On peut encore, avec toutes sortes d'avantages, remplacer l'amorce de poudre par une étoupille ordinaire passée dans un roseau, enfin diminuer le temps exigé et le danger des explosions, en substituant dans le bourrage du sable légèrement humecté et non comprimé aux terres mêlées de fragments de pierre et de morceaux de bois, qu'on a l'habitude d'employer et de refouler avec force.

Dans le roc ou en général dans les terrains qui se soutiennent d'eux-mêmes, le ciel des galeries a la forme du plein-cintre, et l'on se sert d'un patron en bois pour diriger la fouille. A Sébastopol, on a construit aussi de nombreuses galeries ou des rameaux en plate-bande, dans des couches de glaise, comprises entre des lits horizontaux d'une roche calcaire.

Lorsque le terrain est assez solide pour pouvoir y construire une galerie boisée souterrainement, on commence par indiquer sur le terrain, de distance en distance, par des piquets, les centres de puits placés sur l'alignement de la galerie. Chaque brigade s'enfonce ensuite à la profondeur indiquée par le nivellement, de manière à ce que la galerie soit de niveau ou sous une pente calculée, après quoi les mineurs travaillent à la galerie d'équerre sur deux faces opposées de chaque puits, et se portent au-devant les uns des autres, jusqu'à ce qu'ils se rencontrent. (*Pl. II, fig.* 53 à 59.)

Le mètre courant de puits peut se faire, au *minimum*, en deux heures de temps; mais le temps moyen, pour fouiller et boiser, est de 4 h. 30′. La fouille d'un mètre courant de galerie majeure emploie moyennement 4 h. 15′, celle d'une grande galerie 3 h. 30′, d'une demi-galerie 2 h. 30′, d'un grand rameau et d'un petit rameau 2 h. Quand il faut pétarder, l'avancement dépend entièrement de la dureté du rocher; quelquefois on gagne à peine $0^m,15$ en 24 heures; dans la maçonnerie de moëllons, on compte qu'on avance de $1^m,00$ à $1^m,60$ en 24 heures, et il est rare que le rocher ait une dureté moyenne plus grande, lorsque son épaisseur est considérable. L'avancement est à peu près double dans la maçonnerie de briques qui n'exige pas de pétards (Bapaume, 1847). Il en est de même de la roche tendre. D'ailleurs, si de pareils obstacles étaient fréquents, on retomberait dans le cas mentionné où l'emploi des contre-mines est considéré comme inadmissible, l'ennemi pouvant ruiner toutes les défenses à la surface avant que l'assiégé soit en mesure de faire jouer ses fourneaux.

Quand les terres sont détachées, on en remplit des paniers, à l'aide desquels on les transporte dans les galeries jusqu'aux issues. Si elles débouchent dans un petit puits, on accroche les paniers aux crochets d'une corde à puits, enroulée sur un treuil, et deux mineurs tournent la manivelle. Parfois aussi, on verse les terres des paniers dans de petits chariots, qui en contiennent deux; puis deux mineurs, dont l'un tire une corde et l'autre pousse, les conduisent jusqu'au jour. Dans les grands puits, on se sert aussi de caisses ferrées, de la même contenance que les chariots, afin de remonter le produit de deux paniers à la fois. Il est rare qu'on se serve de brouettes, parce qu'elles ne peuvent rouler que dans les galeries; celles des mineurs ont les bras un peu courts, afin de les manœuvrer plus facilement dans les changements de direction, et contiennent $0^{m.c.},040$. Un railway en bois, tel que les mineurs français en construisirent devant Sébastopol, facilite beaucoup les transports dans les galeries.

Nous vous avons déjà indiqué comment on conduit le boisage des puits (*pl. II, fig.* 57), et des galeries (*fig.* 53 et 59). Ces travaux demandent les précautions les plus minutieuses dans la pose des différentes pièces, puisque la position exacte du fourneau dépend de la précision avec laquelle on aura observé les directions et les pentes, et nous avons vu combien il était nécessaire de connaître la véritable ligne de M. R. C'est pour cet effet qu'on forme les cadres et les châssis (*pl. II, fig.* 54, 55 et 56), de bois de dimensions égales, qu'on a soin de leur donner une même mesure exacte à l'intérieur, et qu'on y fait au milieu des marques ou *coches,* pour les placer rigoureusement suivant la direction donnée, c'est-à-dire quant aux galeries, d'équerre sur l'axe et parallèlement entre eux. Les pentes, se règlent par des tasseaux attachés sur les semelles et coupés de hauteur précise, suivant l'éloignement et la différence de niveau des châssis successifs (*pl. II, fig.* 53). On les vérifie encore par la distance à laquelle des tringles, placées horizontalement, se trouvent des chapeaux, ayant soin de rectifier, à l'aide du fil à plomb, la position verticale des montants. Pour assurer la direction des rameaux qui s'entent obliquement sur les galeries, on trace d'avance l'épure en grand, suivant laquelle on façonne une fausse équerre, et celle-ci convenablement rapportée, sur l'axe de la galerie, indique par la direction de sa seconde branche celle de l'axe du rameau.

Lorsque le terrain est mauvais, on est forcé pendant la construction, de soutenir les terres et les planches par des points d'appui rappro-

chés; c'est ce qu'on obtient par l'emploi d'un *faux cadre* ou cadre provisoire, placé à demi-distance de l'intervalle qui doit exister entre deux cadres successifs, dans les puits, ou d'un *faux-châssis* (*pl. II, fig.* 58), dans les galeries, et même parfois dans les dernières au moyen d'un masque, *fig.* 59, placé contre le terres du fond. Nous ne nous appesantirons pas sur les détails de ces constructions, que vous trouverez avec toute l'étendue désirable dans le *Manuel du mineur;* vous aurez constamment cet ouvrage entre les mains lorsque vous passerez à la pratique, et il serait d'ailleurs fort difficile de retenir toutes ces prescriptions avant de les avoir vu mettre en œuvre.

Le temps requis pour boiser un mètre courant est estimé, terme moyen, à 1 h. 45′ pour une galerie majeure, 1 h. 30′ pour une grande galerie, 1 heure pour une demi-galerie, un grand rameau ou un petit rameau, en sorte que la fouille et le boisage ensemble emploient, par mètre courant, pour une galerie majeure 6 heures, une grande galerie 5 heures, une demi-galerie 3 h. 30′, un grand ou un petit rameau 3 heures. En choisissant les mineurs et les stimulant vivement, on a parfois exécuté 1 mètre courant de galerie majeure en 4 heures, de grande galerie en 3 heures, de demi-galerie en 2 heures, de grand et de petit rameau en 1 h. 40′. Cependant, à la guerre, on ne compte que sur 6 mètres d'avancement par 24 heures, ou $0^{m},25$ par heure dans les travaux non inquiétés, et sur 4 mètres par 24 heures, lorsque les mineurs doivent surveiller les mouvements du mineur ennemi. (*Voyez* la table n° 5 à la fin des leçons sur les mines.)

A mesure que l'on s'enfonce dans les terres, la circulation de l'air n'a plus lieu dans les galeries, la combustion des lumières et la respiration des ouvriers absorbent bientôt le peu d'oxygène qui s'y trouve, et comme il ne se renouvelle pas, l'air devient irrespirable, et les lumières s'éteignent. Cet effet se manifeste déjà au fond d'un puits de 7 à 8 mètres de profondeur ou d'une galerie de 45 mètres de longueur, quelquefois même à des distances beaucoup plus faibles, comme de 15 à 20 mètres de longueur, suivant les gaz qui émanent des terres remuées, ainsi qu'il arriva aux Anglais, à l'attaque du château de Burgos. A peine arrivés à 45 pieds de l'entrée d'une de leurs galeries, les mineurs assiégeants furent obligés d'abandonner de temps en temps le travail pour éviter le mauvais air. Cependant une autre galerie beaucoup moins profonde, et qui n'était qu'à 6 pieds sous la surface du terrain, put être conduite à 162 pieds de longueur sans qu'on y fut incommodé du manque d'air respirable. La présence des gaz délétères

étant un obstacle absolu à la continuation des travaux, on a cherché à y remédier de différentes manières, mais aucune n'a été reconnue entièrement satisfaisante. D'ordinaire, quand le mineur sent que l'air commence à lui manquer, il donne un coup de *trépan,* pour percer la terre verticalement au-dessus de lui, jusqu'à la surface, et se mettre en communication avec l'air extérieur. Cet instrument (*pl. II*, *fig.* 44) se compose d'une tarière, destinée à pénétrer dans la masse des terres à traverser, d'un tabouret à quatre pieds, avec une vis verticale, une manivelle horizontale et plusieurs allonges, que l'on place successivement entre la tête de la vis et la tarière, et que l'on fixe les unes aux autres par le moyen de clavettes. Le trépan perfectionné permet de manœuvrer la tarière obliquement dans différentes directions.

Ces instruments sont peu commodes et fatigants. Lorsque le terrain n'est pas fort dur, on peut les remplacer simplement par une pelle façonnée en cylindre et tranchante par sa base supérieure, à l'instar des sondes. Le mineur fixe cette pelle à l'extrémité d'un manche, auquel il adapte successivement des allonges réunies par des clavettes, puis en la soulevant avec force, il pratique un trou vertical sans beaucoup de difficulté. Mais il est évident que ni l'un ni l'autre expédient ne peuvent servir lorsqu'on a des couches de sable ou de gravier à traverser, car le trou ouvert se recomblerait incessamment de lui-même. Le roc dur rend quelquefois l'exécution du trou impraticable ou on craint de déceler à l'ennemi la position des galeries. Dans tous ces cas, on a recours aux ventilateurs, dont il y a diverses espèces. Le ventilateur de Rugy a été longtemps en usage : il est une modification de celui qu'inventa, l'Anglais Hales, en 1741, et consiste en un demi-cylindre dans lequel une ventelle, à axe vertical, reçoit un mouvement alternatif. Il porte quatre soupapes; les deux premières s'ouvrent en dedans et sont couvertes par un mufle, qui communique, par des tuyaux, à l'intérieur de la galerie. Les deux autres s'ouvrent en dehors et communiquent, au moyen d'un second mufle, avec l'air extérieur.

On se sert actuellement en France d'un ventilateur cylindrique à ailes tournantes; l'axe horizontal, est muni de quatre ventelles ou palettes qui divisent l'espace intérieur suivant les rayons; il est mu au moyen d'une manivelle double à mouvement rotatoire continu. L'air, introduit latéralement par une ouverture dont le milieu répond à l'axe des ventelles, est ensuite pressé par celles-ci et chassé en vertu de la force centrifuge dans les mufles d'un tuyau adapté au tambour.

Le ventilateur de Sochet (*pl. II, fig.* 51), est basé sur le principe

des ventelles en hélice : son principal avantage est de pouvoir servir, sans déplacement, à souffler ou à aspirer l'air, selon qu'on tourne la manivelle dans un sens ou dans le sens opposé. Les Russes, à Sébastopol, se sont servis de petites pompes à air jumelées, renfermées dans des boîtes peu volumineuses et de tuyaux en tôle de $0^m,06$ de diamètre, ajustés à emboîtement conique.

En Angleterre, le colonel du génie Pasley a imaginé un ventilateur dont la construction est aussi simple que l'usage en est commode et bien approprié au service auquel il est destiné. C'est un cylindre d'un pied (anglais) de diamètre et de hauteur, formé de deux plateaux circulaires reliés par du cuir flexible; le plateau supérieur porte une poignée; l'autre est muni de deux oreilles percées de trous, et servant à fixer le cylindre sur le boisage des galeries, à l'aide de clous ou de vis à bois; il est muni, en outre, d'un ajutage conique en fer-blanc, que ferme une petite soupape, du côté intérieur. Une seconde soupape plus grande, et qui s'ouvre du côté intérieur, est placée au centre du plateau.

Des tuyaux en cuir, de trois à cinq pieds de longueur et de 1 $^1/_2$ pouce de diamètre, susceptibles d'être réunis bout à bout, au moyen d'ajutages coniques en fer-blanc emboîtant les uns dans les autres, mettent le ventilateur en communication avec le fond des galeries que l'on veut aérer. Il suffit, pour cela, d'imprimer un mouvement de va-et-vient au plateau supérieur du cylindre.

Quelquefois on cherche à remplacer ces instruments par un soufflet de forge (Turin, 1706), qu'on manœuvre à l'entrée d'une galerie et dont la tuyère est adaptée à un tuyau, composé de conduits successifs, de 2 mètres de longueur environ, engagés les uns dans les autres. Cette machine remplit mal son objet, en ce qu'on est obligé de garnir de peau les extrémités des divers tuyaux, afin que l'air ne s'échappe pas, ce qui suffit pour que cet air se trouve déjà infecté lorsqu'il arrive au fond de la galerie.

Il existe d'ailleurs un obstacle considérable à l'emploi de toutes les espèces de ventilateurs par conduits : c'est la résistance que l'élasticité de l'air oppose au mouvement dans les tuyaux. Il est d'expérience que les machines soufflantes de la plus grande force, en usage dans l'industrie, ne produisent aucun effet sensible à une distance un peu longue, et cependant l'espace resserré dont on dispose dans les mines n'admet aucune comparaison entre la puissance des machines qu'on peut employer et celle des énormes engins mus par la vapeur. C'est pour-

quoi l'extraction du mauvais air du fond des galeries, par des tuyaux *d'appel*, est souvent préférable ; mais de quelque façon qu'on agisse, il est véritablement impossible, en bien des cas, de prolonger des galeries isolées fort loin de l'orifice unique qu'on a ouvert. Pour dépasser la limite que le terrain indique, il n'y a guère qu'un moyen assuré : c'est d'établir une seconde galerie parallèle, à peu de distance, et de pratiquer de nombreuses communications de l'une à l'autre. Alors l'inégalité de pression ou de température, existant naturellement ou artificiellement aux ouvertures diverses, produira un courant d'air, qui renouvellera sans cesse l'air vicié. La disposition la plus simple est d'adosser ou de superposer les deux galeries, et l'entretien d'un foyer allumé dans l'une des deux le moyen le plus assuré d'activer le tirage.

Dans les mines défensives, on construit en maçonnerie les parties dont la connaissance ne peut être dérobée à l'ennemi, afin d'éviter un entretien fort coûteux. Si ces travaux se font souterrainement, on commence par les boiser, et, comme nous l'avons dit, alors les galeries doivent avoir *dans œuvre* la même largeur et la même hauteur qu'on veut donner aux maçonneries hors œuvre. Ainsi supposant une demi-galerie maçonnée, qui aura $1^m,50$ de hauteur sur 1 mètre de largeur, admettant que ses pieds-droits auront deux briques et demie ou $0^m,52$ d'épaisseur, et la voûte, en plein-cintre, une brique et demie ou $0^m,31$, il faudra que les châssis de la galerie boisée aient hors œuvre $2^m,05$ de largeur sur $1^m,95$ de hauteur. On fait déborder les planches du ciel de $0^m,20$, pour pouvoir être supportées par de faux châssis. Alors on place à côté de chaque châssis un faux châssis, on les relie deux à deux par des tringles et on étrésillonne les planches de coffrage. Ensuite, on enlève les châssis et on creuse dans l'intervalle la tranchée pour les fondations, auxquelles on donne souvent (*pl. II, fig.* 60) $0^m,20$ de profondeur et $0^m,20$ d'empâtement à l'intérieur. Lorsqu'elles sont établies, on élève les pieds-droits jusqu'à la naissance de la voûte, et on retire au fur et à mesure les planches du coffrage, faisant remonter les étrésillons qui gêneraient la construction. A ce point, on remplace les montants des châssis par des pointaux, qu'on cale sur la partie des pieds-droits excédant l'épaisseur de la voûte. Rien ne s'oppose alors à la pose des cintres, mais comme l'espace manque pour faire travailler les maçons entre ces cintres et la terre, on y substitue des parties de cylindre ou *tambours mobiles,* de $0^m,50$ de longueur, supportés par des chevalets. Ces tambours sont portés à la hauteur nécessaire au moyen de cales, et on en place deux jointifs. Deux maçons se faisant face construisent

ainsi, chacun par la tranche, leur partie de voûte, puis reculent pour faire place à un nouveau tambour. D'ordinaire, on en emploie quatre, le temps exigé pour maçonner la voûte au-dessus de l'un étant suffisant pour que le mortier de la partie précédente sèche au point que la maçonnerie se soutienne d'elle-même. Le décintrement se fait sans secousse, en ôtant les cales sur lesquelles les tambours reposent. A mesure que la voûte avance, on recule les pointaux et, s'il est possible, on retire les chapeaux et les planches du ciel ; mais cette dernière opération est difficile et surtout dangereuse, car si un affaissement a lieu dans le vide laissé au-dessus de la voûte, il est à prévoir que la maçonnerie nouvellement faite résistera mal au choc d'une forte masse et qu'elle sera enfoncée, ce qui obligerait à recommencer le percement à nouveaux frais et dans des circonstances beaucoup plus défavorables. Aussi s'expose-t-on rarement à de pareils accidents, et préfère-t-on se résoudre au sacrifice des chapeaux et des planches de ciel.

Au lieu de la forme prismatique couverte par un demi-cylindre, qu'on est habitué à donner aux galeries, divers autres profils ont été employés ; quelques ingénieurs ont proposé la forme d'anneaux elliptiques, afin d'offrir plus de résistance aux commotions latérales, et cette méthode a été adoptée pour plusieurs galeries exécutées en mauvais terrain, dans des travaux industriels. Le volume de la maçonnerie n'est pas plus considérable, parce qu'on diminue sur la surface des pieds-droits l'augmentation produite par l'extension du développement, et il n'est pas douteux qu'une voûte continue doit opposer plus de résistance aux chocs latéraux et obliques que les pieds-droits prismatiques, non reliés par le bas. Nous savons d'ailleurs combien la forme annulaire augmente la résistance qu'un volume donné de matière solide oppose à la rupture. Sous ce rapport, ce changement est donc une véritable amélioration, mais l'exécution est beaucoup plus difficile et demande à être surveillée de près, puisque tout l'avantage présumé serait perdu, si, par négligence, le maçon ne plaçait pas suivant la coupe les divers éléments de la voûte. La main-d'œuvre est d'ailleurs un peu plus chère, et il n'est guère praticable de retirer les montants, aussi peu que les chapeaux et les planches de ciel, la maçonnerie n'offrant plus de place pour l'établissement des pointaux, par lesquels on remplace les premiers, lorsque les pieds-droits sont prismatiques. Il est bon de dire que si l'on prévoyait devoir en faire le sacrifice, on pourrait substituer aux bois de sciage et aux madriers, indiqués par le *Manuel du mineur* et les autres livres didactiques, des bois ronds d'essence légère et des

planches en bois blanc, comme dans les travaux industriels, ce qui diminuerait de beaucoup la valeur du boisage qu'on serait forcé d'abandonner. De pareils travaux se faisant en pleine paix, rien n'empêchera de multiplier les précautions pour que l'irrégularité des bois n'en apporte pas dans les dimensions et les directions des galeries. C'est la partie *ab* (*pl. II, fig.* 61) que l'on construit d'abord, ensuite les longs côtés *bd* et *ac*, et on termine par la partie de voûte *cd*, maçonnée sur tambours, comme à l'ordinaire. On vient de faire tout récemment une application de ce profil de galeries, aux constructions souterraines du bastion d'attaque de l'agrandissement de la place de Lille.

Dans des galeries de grande dimension, comme le seraient des communications souterraines destinées au passage des voitures d'artillerie, on fait la fouille en deux fois, en commençant par la partie entre le sol et la naissance de la voûte à construire. Cette partie étant coffrée, on construit la voûte, et ce n'est que lorsqu'elle est achevée qu'on fouille l'espace nécessaire à la construction des pieds-droits. On exécute celle-ci sur une longueur de 1 mètre à $1^m,50$ à la fois, suivant la consistance des terres. La cohésion suffit pour maintenir les parties de la maçonnerie sous lesquelles on déblaie. Si des éboulements latéraux étaient à craindre, on soutiendrait les terres par des madriers, arcs-boutés contre les parties déjà maçonnées et soutenus par des étrésillons; on retire cette charpente à mesure que la maçonnerie vient la remplacer.

Suivant des expériences faites dans les travaux industriels, le temps employé pour maçonner un mètre cube de maçonnerie, dans une demi-galerie de forme elliptique, dont les parois avaient $0^m,22$ d'épaisseur, a été de 1,35 journée de maçon et de 1,35 journée de manœuvre. Le coût du mètre courant de galerie pareille, avec des parois de $0^m,31$ d'épaisseur, dans un terrain où la fouille, faite par des terrassiers du pays, avançait de $0^m,50$ par heure, et où la maçonnerie ordinaire est estimée à 18 francs le mètre cube, s'est élevé à 35 francs par mètre courant, tout compris; exécuté par des mineurs militaires, le mètre courant aurait coûté 30 francs, en supposant égal le prix des bois, prix très-minime dans le travail cité, parce que les châssis étaient confectionnés en bois ronds, de faible dimension et sans assemblages réguliers. Ces châssis ont néanmoins parfaitement résisté dans des terres remblayées, et à 2 mètres seulement sous une chaussée.

Lorsque les circonstances permettent de conduire les travaux à ciel ouvert, on évite une grande partie des inconvénients que nous avons signalés. Il ne s'agit que de creuser une tranchée, dont le fond ait la

largeur hors œuvre de la galerie qu'on veut construire. Ainsi la largeur de cette tranchée à la surface du terrain dépend de la consistance des terres, de la profondeur où la galerie doit être placée et de la base qu'on prévoit devoir donner aux talus. L'immense déblai qui pourrait devenir nécessaire dans un mauvais terrain, conduit parfois à coffrer la tranchée sur toute sa hauteur. Cette construction consiste en une suite de puits jointifs. On commence par placer sur le sol des semelles à longues oreilles perpendiculairement à la direction de la tranchée, puis des longrines, encastrées à mi-bois sur les semelles et espacées dans œuvre de la largeur hors œuvre de la galerie. Ensuite, on fouille l'intervalle, et on pose des cadres unis, à la distance ordinaire du boisage des puits. On coffre l'intervalle, et on descend ainsi jusqu'à l'emplacement de la galerie, que l'on construit, soit en maçonnerie, soit en charpente, ayant soin de retirer les bois de la tranchée à mesure que la galerie s'est élevée à la hauteur d'un cadre. Le remblai se fait avec la même précaution, en relevant avec une pince ordinaire ou avec une pince à pointe et un pied de chevrette les planches du coffrage à mesure que la tranchée se remplit. Cette opération est trop simple pour que nous nous appesantissions sur les détails.

On peut voir (*pl. II*, *fig.* 76 à 79 et *fig.* 91 à 94), divers détails de galeries maçonnées qu'il est utile de remarquer.

Les galeries dont l'ennemi peut connaître l'emplacement précis doivent être accompagnées de *contre-puits*, ou fougasses, placés de distance en distance, à une certaine hauteur au-dessus du ciel, et se chargeant par l'intérieur, si l'on veut prévenir l'attaque par puits, par laquelle l'ennemi s'efforce de détruire les préparatifs de la défense, avant que celle-ci ait pu en tirer parti. Pour que les contre-puits ne nuisent pas à la galerie, qu'ils sont destinés à préserver des commotions destructives, il faut que la distance verticale soit au moins égale au rayon de rupture vertical, ou à $h\sqrt{2}$, environ une fois et demie la ligne de M. R. de la charge ordinaire; encore sera-t-il prudent de renforcer le coffrage, à l'endroit du contre-puits, et indispensable de le faire, si la distance verticale se rapprochait du rayon vertical de rupture certaine h. Les fougasses n'exigent que 50 minutes pour être chargées, et le bourrage peut se faire en 25 minutes au plus, en sorte qu'au bout de 75 minutes, elles seront prêtes à faire feu. Un puits d'attaque, n'avance, au *maximum*, que d'un mètre par heure. Si donc le fourneau du contre-puits est à plus de 2 mètres de la surface, on a tout le temps de le charger et de le faire jouer avant que la fouille du puits d'attaque

puisse être parvenue à cette profondeur. Cependant l'explosion d'une charge de 50 kilog., placée à ce niveau dans un terrain ordinaire, produit un entonnoir de $1^m,60$ de profondeur et de $7^m,15$ de diamètre, et la commotion détruit tout puits d'attaque, dans un rayon de 4 mètres autour du fourneau. Cette espèce de fougasse est donc une fort bonne défense contre l'attaque par les puits, et peut servir également à retarder la marche des sapes, sans créer des couverts bien dangereux par ses entonnoirs.

Afin de ne pas gêner le service des écoutes, on établit les contre-puits au-dessus de bouts de rameau, de 2 ou 3 mètres de longueur, placés à droite ou à gauche de la galerie et d'équerre. Au-dessus de l'extrémité du rameau, on ouvre un puits de $0^m,80$ de largeur, qu'on descend jusqu'au ciel du rameau. On le perce pour y engager une gaîne carrée (*pl. II, fig.* 5 et 6) de $0^m,12$ sur chaque côté, en planches rabotées; extérieurement à cette gaîne et le long de la paroi faisant face à la galerie, est fixée une planche portant une rainure, destinée à recevoir la fusée porte-feu. La gaîne étant solidement fixée, on recomble avec soin le puits jusqu'à ce qu'on soit arrivé à $0^m,45$ au-dessous de l'extrémité supérieure de la gaîne; on place ensuite la boîte aux poudres, de dimension suffisante pour recevoir la charge, mais qui, en tout cas, doit avoir $0^m,60$ de hauteur pour la manœuvre du chargeoir. La gaîne entre de $0^m,35$ dans cette boîte, dont jusqu'ici on a formé le fond et le couvercle de plateaux de $0^m,10$, pour favoriser le dégagement latéral du fluide. Après quoi, on démolit le reste du puits, on le recomble et on efface soigneusement tout vestige de la construction.

Nous dirons en même temps comment le service de ces fourneaux se fait : on les remplit à l'aide d'un instrument appelé *chargeoir* (*pl. II, fig.* 7, à gauche), formé d'une boîte de cuivre carrée, terminée en pyramide tronquée et contenant environ 2 kilog. de poudre. Le sommet est fixé sur un axe, placé à l'extrémité d'un manche, long de 3 à 4 mètres, mais composé de plusieurs parties, réunies par des charnières en cuir ou en fer. La partie extrême qui porte la boîte est entourée sur une certaine hauteur d'une armature en bois léger, de $0^m,115$ de largeur, destinée à maintenir le chargeoir lorsqu'il est engagé dans la gaîne. Enfin, la boîte de cuivre, abandonnée à elle-même sur son axe, est forcée, par un petit ressort fixé sur un des côtés du manche, de se renverser du côté opposé. Et afin de pouvoir verser successivement la poudre des quatre côtés de la gaîne et de la répartir ainsi également, la dernière partie du manche du chargeoir est com-

posée elle-même de deux parties, dont celle d'en haut peut tourner sur l'autre, en conservant le même axe. On bourre au moyen de mandrins de bois, de $0^m,115$ d'équarrissage (*pl. II, fig.* 7, à droite), que l'on enfile dans la gaîne. Ils sont reliés les uns aux autres pour la facilité du service. Le mandrin supérieur est terminé en pyramide et sa pointe est poussée jusqu'au couvercle de la boîte, afin de détourner du dessus du bourrage l'effet vertical des poudres. Le mandrin inférieur est terminé par une pièce formant un *T* renversé ; on l'arc-boute contre le sol du rameau.

Pour mettre le feu au contre-puits, on dispose un tuyau vertical de fer-blanc, engagé par une extrémité dans la petite rainure latérale de la gaîne, et posé par son extrémité inférieure sur l'auget de conduite d'une fusée ordinaire. Là il renferme une petite fusée, dont l'étoupille entre dans l'auget horizontal. Cette petite fusée part à l'arrivée de la première, elle monte dans la boîte du contre-puits et retombe sur les poudres, auxquelles elle met le feu.

Ces constructions sont de peu de durée ; jusqu'ici on n'est pas arrêté sur les moyens à prendre pour établir des fourneaux semblables, d'une manière permanente, afin de défendre les galeries des systèmes de contre-mine, et de n'avoir que peu de travail à y faire en cas de siége, sans doute par crainte de faire connaître longtemps à l'avance l'emplacement des contre-puits. Cependant, pour des galeries construites à ciel ouvert, cette difficulté ne peut guère exister, et leur utilité est trop grande pour qu'on néglige de les établir partout où c'est possible. Les Autrichiens construisent des contre-poids permanents, où la gaîne est remplacée par une cheminée en maçonnerie, avec un conduit central en cuivre ou en zinc de quatre pouces de côté intérieur, en section horizontale. La chambre aux poudres est formée de six dalles en pierre, de quatre pouces d'épaisseur, assemblées à emboîtement. Les maçonneries inférieures sont renforcées.

Dans ces derniers temps, on a fait, avec succès, des expériences pour *charger, après bourrage*, les mines disposées, comme à l'ordinaire, au bout d'un rameau ; on se sert, dans cette opération, du chargeoir des contre-poids ; on bourre ensuite la gaîne, et on met le feu aux poudres d'une manière analogue à ce qui est expliqué ci-dessus.

Le bourrage préserve le dispositif de la destruction à distance, et quand on se sert de l'électricité pour communiquer le feu, on peut vérifier l'état des conducteurs, à l'aide de l'aiguille aimantée, chaque fois qu'une explosion voisine du dispositif a pu le déranger.

Losque l'assiégeant se propose simplement d'enfoncer les galeries par l'explosion d'une forte charge placée à quelque distance au-dessus, et non d'engager la guerre souterraine, il lui suffit de creuser un emplacement capable de recevoir les poudres, en s'enfonçant jusqu'au point où le rayon de rupture certaine, résultant de la quantité de poudre enflammée et de la nature du sol, soit plus grand que son éloignement de la galerie. Ces travaux demandant une très-grande célérité, on ne donne aux puits que $0^m,80$ de côté dans œuvre, et on substitue au coffrage ordinaire des cadres (*pl. II, fig.* 64) composés de quatre planches, de $0^m,25$ à $0^m,40$ de largeur, sur $0^m,04$ d'épaisseur, assemblées entre elles par entailles de la moitié de la largeur. On espace ces cadres tant plein que vide (*pl. II, fig.* 65), ou bien de mètre en mètre, suivant la consistance du terrain, parce qu'il y a trop de difficulté à les placer jointifs, ce qui les rend peu propres aux mauvais terrains. Ces puits prennent le nom de *puits d'attaque* ou *puits à la Boule,* d'après leur objet ou le nom de leur inventeur. Le temps moyen que leur construction exige est de deux heures trente minutes par mètre courant, mais dans des circonstances très-favorables on est parvenu, avec de bons mineurs relevés de 30′ en 30′, à creuser le mètre courant en une heure : c'est leur *maximum* d'avancement, comme nous l'avons déjà dit.

D'après les expériences de Vienne (1830) il faut, dans l'attaque par puits :

Pour la sape volante	3^h 30′
Pour un puits de 9 pieds. . . .	3^h 34′
Pour la charge et la mise du feu.	0^h 17′
TOTAL. . .	7^h 21′

On a coffré d'une manière analogue des rameaux de mine (*pl. II, fig.* 62 et 63) et dans les terrains assez consistants pour admettre ce mode de boisage, il est plus expéditif, en même temps que plus favorable aux communications; c'est ce qu'on appelle des rameaux *à la hollandaise,* probablemeut d'après le peuple qui en a introduit l'usage, dans la défense de Berg-op-Zoom en 1747.

On se sert aussi de cadres pareils, mais plus forts, pour former les *rameaux de combat* (*pl. II, fig.* 75). C'est le nom qu'on a donné à des parties de rameaux destinées à pouvoir résister aux commotions souterraines, même fort rapprochées. Ces rameaux n'ont que la longueur simple de la ligne de M. R. et $0^m,60$ sur $0^m,70$ dans œuvre. On les place à l'extrémité d'un rameau ordinaire, les formant de plateaux

de $0^m,10$ sur $0^m,30$, assemblés comme les cadres à la hollandaise et placés jointifs; ensuite on construit au delà, vers le fourneau, un bout de rameau ordinaire, de $2^m,00$ à $3^m,00$ de longueur, suivant que le fourneau est placé en retour sur le rameau ou dans son prolongement. Comme cette partie est destinée à être détruite par l'explosion, on la construit le plus légèrement possible, même sans boisage, si les terres sont assez fermes pour se soutenir pendant le temps qui doit s'écouler entre la fouille du fourneau et l'instant de le faire jouer. Le rameau de combat est destiné à être bourré plein, avec des bois équarris, de $2^m,00$ à $3^m,00$ de longueur, formant sept rangées horizontales, chacune de cinq pièces, dont celle du milieu, qui fait clef, est garnie d'une corde à la tête.

« Ces châssis, dit l'*Aide-Mémoire de l'officier du génie*, résistent « très-bien aux explosions; ils se conservent intacts à une distance « égale à la ligne de M. R., lorsqu'on place le fourneau à leur extré- « mité même, et ne sont nullement endommagés lorsqu'on met le « fourneau à une distance convenable de cette extrémité; ainsi, par « exemple, pour une ligne de M. R. de $3^m,00$, il suffit que la charge « se trouve, soit au bout d'un petit rameau de $2^m,00$, dans le prolon- « gement du rameau de combat, soit au bout d'un retour de $1^m,50$ « à $2^m,00$. Quant au bourrage, il n'est jamais rompu par l'effet de « l'explosion, mais il est souvent déplacé; cela arrive surtout lorsque « la charge n'est pas établie en retour, et il en résulte alors que la « galerie en arrière se trouve enfumée. »

Nous n'avons pas de données sur le temps que la construction du mètre courant de rameau de combat exige, mais elle peut se déduire de celui qu'on emploie à poser les châssis, comptant $3\ 1/3$ cadres pour un mètre courant. Nous devons ajouter, d'après le résultat d'expériences récentes, que parfois le bourrage se trouve tellement serré et contenu entre les bois de coffrage, après l'explosion des fourneaux, qu'il devient impossible de l'enlever, circonstance qui nous semble assez grave pour faire abandonner entièrement cette méthode.

Afin de compléter ce qui regarde la construction des mines, nous allons entrer dans quelques détails sur la manière de bourrer les rameaux.

Lorsque le fourneau est situé sur le flanc du rameau, on commence le bourrage en plaçant des pièces de bois, sous forme d'étrésillons, contre des plateaux dressés contre le coffre aux poudres et le côté opposé du rameau. Cela fait, on bourre avec des terres le premier

intervalle de châssis, ainsi que les vides autour des étrésillons, et on établit ensuite un masque de pièces de bois, appuyées en travers du rameau, aux montants du second châssis. Arrivé là, on remplit avec des terres seules un espace de deux intervalles de châssis, on fait un nouveau masque de pièces de bois et on continue ainsi jusqu'à l'extrémité du bourrage, où on établit un dernier masque, que l'on fortifie encore par des arcs-boutants guindés contre les montants du châssis qui soutient ce dernier masque.

Lorsque le fourneau est situé à l'extrémité d'un rameau, on dresse des plateaux contre le coffre des poudres, et on remplit, avec des bois placés en travers du rameau et fortement guindés, le premier intervalle de châssis. On bourre ensuite avec des terres seules le second intervalle de châssis, et on continue le bourrage comme dans le cas précédent.

Quand il s'agit de bourrer un rameau à la hollandaise, un rameau en maçonnerie ou un rameau non étayé, on guinde d'abord des étrésillons entre le coffre des poudres et le côté opposé du rameau, si le fourneau est situé sur l'un de ses flancs; ou bien, si le fourneau est situé à l'extrémité, on remplit, avec des bois posés en travers du rameau et fortement guindés, un espace d'environ $1^m,00$. Cela fait, on bourre avec des terres seules un intervalle de $1^m,00$ à $1^m,50$, et on continue le bourrage en faisant alternativement des masques en bois d'un mètre et des remplissages en terre de $1^m,50$.

Les bois dont on se sert dans le bourrage peuvent être tout simplement des bûches. Autant que possible, les terres sont mises dans des sacs pour les transporter plus facilement et plus promptement.

Le temps nécessaire à cette opération est estimé ne pas dépasser $30'$ par mètre courant, et monter à $20'$ au moins.

(*Voyez* la table n° 5 à la fin des leçons sur les mines.)

On a proposé de substituer le fer ou la fonte au bois, pour revêtir les puits et les galeries de mines; il pourrait en résulter une plus grande facilité d'exécution, ainsi qu'une plus grande résistance contre les explosions des fourneaux ennemis; mais, à ces avantages, viendraient en compensation un surcroît de dépense, plus de difficulté pour réparer les avaries, les accidents du feu au moment du transport des poudres, et enfin, un nouveau mode d'investigation, à l'aide de la boussole, fourni à l'adversaire pour découvrir la position des dispositifs souterrains. Nous croyons ces objections assez sérieuses pour pouvoir conclure que le fer ne sera jamais employé sur une grande échelle dans

les travaux de ce genre. L'idée d'interposer une muraille en fer, descendue dans le sol jusqu'au niveau des sources, afin d'arrêter la marche du mineur ennemi, nous paraît moins encore susceptible d'application, si ce n'est, peut-être, sur un site tout à fait exceptionnel, tel qu'un isthme étroit formant le seul accès possible vers un ouvrage d'une très-haute importance.

14me LEÇON.

ATTAQUE ET DÉFENSE PAR LES MINES.

SOMMAIRE.

Objet des dispositions défensives. — Galeries magistrale, d'enveloppe et de communication sous le glacis. — Fourneaux sous les fossés et sous les brèches. — Dispositions sous le terre-plein des ouvrages retranchés. — Conduite du mineur assiégé; distance à laquelle on peut entendre les travaux d'attaque; moyens employés pour les reconnaître. — Jeu des fourneaux successifs de la première disposition. — Défense contre les diverses méthodes d'agression. — Globes de compression, bourrés ou sans bourrage; temps exigé pour la construction des premiers; consommation de poudre occasionnée par les autres. — Attaque par puits. — Emploi des contre-puits. — Seconde disposition autour des places d'armes, observation à cet égard. — Défense du passage du fossé, de la demi-lune, de son réduit et du bastion retranché. — Fougasses ordinaires; fougasses-pierriers; leur construction; leur effet. — Mines diverses.

Maintenant que nous connaissons la théorie des mines, le travail et la dépense que leur construction exige, il nous reste à examiner l'usage qu'on en peut faire dans la défense et dans l'attaque, pour en conclure les conditions auxquelles un bon système de mines défensive doit satisfaire.

L'objet que l'assiégé a en vue dans leur construction est d'empêcher ou de ralentir les progrès des approches de l'assiégeant à la surface du terrain et la construction des batteries. Il s'attache spécialement aux travaux les plus préjudiciables à la défense, les batterie de la 3me parallèle, les cheminements sur le glacis, le couronnement du chemin couvert, les batteries de brèche, les contre-batteries, les passages de fossé

et les logements sur les brèches. Quelques théoriciens ont bien proposé de pousser les chemins souterrains jusqu'à l'emplacement de la 2me parallèle ou du moins jusqu'aux demi-parallèles; mais l'incertitude sur la distance à laquelle ces logements seront placés, jointe au peu d'extension du rayon d'action des fourneaux, rend ces propositions peu judicieuses. Comment deviner d'avance, à quelques mètres près, le point où l'assiégeant établira ses batteries? Comment reconnaître sous terre la place précise où un fourneau devrait se trouver pour produire l'effet désiré, alors que le rayon d'entonnoir ne peut guère dépasser 6 ou 8 mètres? Comment arriver à cette place, dans le peu de jours que durent les approches éloignées, si la réalité s'écartait beaucoup des prévisions? Il serait d'ailleurs trop facile à l'assiégeant, prévenu de l'existence des appareils de fourneaux à cette distance, de les dépasser, au moyen d'une sape volante, puis de couper leur communication par une tranchée profonde, en sorte que non-seulement les travaux plus avancés seraient perdus, mais qu'une galerie lui serait ouverte pour se rapprocher à couvert des autres défenses souterraines. Les systèmes (*voir* les fig, 19 et 20 de la pl. VI, de la 3me partie), les plus vastes se bornent, par cela même, à préparer une disposition de fourneaux sur les points où l'on présume que les batteries de la 3me parallèle seront placées, une seconde autour des saillants, à la distance ordinaire des cavaliers de tranchée, tandis qu'une troisième doit empêcher l'établissement des batteries de brèche et des contre-batteries dans le couronnement du chemin couvert. Ces appareils sont précédés d'écoutes, afin de reconnaître de loin la marche du mineur assiégeant, et d'engager avec lui la guerre souterraine, s'il voulait venir disperser par des globes de compression les préparatifs de la défense. Les têtes de ces écoutes vont jusqu'à 120 ou 140 mètres de la contrescarpe, pour arriver sur le terrain de la 3me parallèle, ou à peu près. D'après ce que nous avons dit de la difficulté de faire parvenir l'air au fond des galeries, on conçoit qu'il serait peu praticable de faire partir toutes ces dispositions d'une même galerie majeure adossée à la contrescarpe, et l'on a été conduit à relier les tiges des fourneaux les plus éloignés par une galerie parallèle à la première; même quelques auteurs proposent encore une galerie intermédiaire, servant de base à la seconde disposition. C'est ce qu'on appelle *les galeries d'enveloppe*, alors que celle qui est adossée à à la contrescarpe reçoit le nom de *galerie magistrale* ou *majeure*. Sur diverses directions, spécialement sous les gouttières des plans du glacis des places d'armes rentrantes et vers l'arrondissement des contrescarpes

aux saillants, ces galeries communiquent entre elles par des *galeries de communication*. A ces mêmes points, on élargit aussi les souterrains, pour qu'une partie de l'espace excavé puisse servir de magasin aux bois, aux terres, aux poudres et autres objets que la construction des rameaux, la charge des fourneaux et le bourrage exigent, et, en même temps, de corps de garde aux mineurs (*pl. II, fig.* 91). D'ordinaire l'entrée principale de tout le système se trouve à la gorge des places d'armes rentrantes, et parfois, quand la profondeur du terrain le permet, d'autres galeries passent sous le fossé et forment une communication entre les chemins souterrains dans le bastion et ceux sous le glacis.

Les appareils de fourneaux peuvent être à plusieurs étages, suivant la profondeur à laquelle l'eau se rencontre. On donne aux premiers la ligne de M. R. la plus faible possible, comme $3^m,25$ à $3^m,50$, les éloignant des seconds fourneaux du double de cette même ligne. Ceux-ci seront à $4^m,50$ ou $5^m,00$ de profondeur, afin que leur rayon d'entonnoir puisse comprendre le logement par lequel l'ennemi aura couronné les bords du premier. Un troisième, placé à la distance convenable et à une plus grande profondeur, doit pouvoir, de même, détruire l'entonnoir du second, et rien n'empêcherait d'avoir un 4^{me} et 5^{me} rang, pourvu que l'éloignement des fourneaux des galeries en arrière fût assez grand pour mettre celles-ci à l'abri des commotions. On combine d'ailleurs les fourneaux d'un même étage, de manière à ce que chaque entonnoir puisse être recomblé en partie par l'explosion des fourneaux les plus rapprochés, à droite et à gauche.

Telles sont les dispositions principales sous les glacis. Les mines sous le fossé, ayant pour but de disperser les décombres produits par les brèches, se placent en avant du pied de l'escarpe. Leurs rameaux partent d'une galerie placée derrière ce revêtement, quand l'ouvrage est plein, ou d'une galerie adossée au revêtement de la gorge, lorsque l'ouvrage a un réduit entouré d'un fossé. Sur cette même galerie s'entent les rameaux des fourneaux par lesquels on défend l'accès de la brèche, et au moyen desquels on fait disparaître les parties du parapet qui empêchent l'action des feux collatéraux ou fournissent à l'assiégeant des facilités pour tourner les retranchements. L'accès souterrain vers tous ces fourneaux est disputé à l'aide de galeries d'écoute, prolongées vers l'ennemi.

Enfin, on peut défendre encore l'intérieur des ouvrages retranchés par des fourneaux partant d'une galerie adossée à la contrescarpe du retranchement.

Lorsque les galeries sous le bastion ont une communication directe avec celles sous le chemin couvert, on place en capitale du bastion, au point où se réunissent les galeries dirigées vers les épaules, et de là vers les places d'armes rentrantes, un grand souterrain, servant en partie de corps de garde, en partie de magasin, comme nous l'avons dit en parlant des dispositions sous le glacis.

Toutes les galeries ont des amorces d'écoute préparées latéralement et bouchées en pierres sèches. De plus, à des intervalles de 30 mètres, au plus, on y forme des battées, pour recevoir des portes en chêne, de $0^m,10$ à $0^m,12$ d'épaisseur, avec des encastrements pour une traverse de même équarrissage, afin de séparer les galeries en plusieurs cases, fermées par des portes crénelées, à l'abri de la balle, si le mineur ennemi parvenait à y pénétrer sur quelque point.

Ce sont ces dispositions qui étaient les plus généralement usitées et considérées comme les plus parfaites avant que Mouzé ne proposât son mode d'attaque par puits. Par cela même vous pourrez les rencontrer, exécutées en tout ou en partie, dans plusieurs places. Il s'agit donc de voir quel parti on comptait en tirer.

Lorsque les travaux à la surface approchent de l'emplacement des premiers appareils, ce dont on s'assure par le relevé des travaux faits dans la nuit, en les rapportant sur un plan construit sur une grande échelle (opération qui doit avoir lieu dans tous les cas), on charge et bourre les premiers fourneaux, et on amène dans les galeries du front d'attaque tout ce qui est nécessaire au jeu des fourneaux suivants. Le mineur assiégé, tapi au fond des écoutes les plus avancées, surveille pendant ce temps les mouvements de l'assiégeant. Les données sur la distance à laquelle on peut reconnaître sous terre les travaux exécutés à la surface et le travail du mineur ennemi, sont extrêmement divergentes. Les uns disent que, quelque aisé qu'un terrain soit à travailler, on peut entendre à travers les terres, à 28 ou 30 mètres de distance, les coups de l'outil au moyen duquel se fait la fouille, à plus forte raison aura-t-on cette faculté lorsque le déblai exige le secours de la pioche ; qu'à 40 ou 50 mètres, déjà, on reconnaît le bruit qu'on fait en assemblant des cadres ou en enfonçant des planches. D'autres prétendent que, dans les terrains compactes et à 7 ou 8 mètres de profondeur, au delà de 15 à 14 mètres, on n'entend plus le retentissement des coups; comme les uns et les autres se fondent sur l'expérience, il est naturel de croire que la composition du terrain exerce à cet égard une grande influence. Généralement, la transmission du son est en raison de la

densité et de la siccité des terrains. Ceux que la mine a déjà bouleversés ou qui sont humides le transmettent difficilement. A Montpellier, dans un sable très-dur, coupé de bancs de roc, on entend les coups de pioche à 20 mètres et les coups de dame à 60 mètres ; le travail de la pelle ou du ciseau plat s'entend encore à 10 mètres. A Metz et à Arras, aucun travail de mine n'est entendu à plus de 25 mètres. En tous cas, il sera indispensable de se convaincre, par des épreuves directes, faites dans le terrain où un système de mine doit être établi, de la distance à laquelle les bruits divers s'y propagent, afin de pouvoir déduire des conséquences certaines des faits observés pendant l'attaque. On emploie d'ailleurs plusieurs moyens pour faciliter la transmission du son et reconnaître la direction dans laquelle il arrive. Ainsi on place sur la terre une plaque de tôle, percée de trous, dont les moindres vibrations deviennent sonores pour l'oreille qu'on pose dessus. Le même effet est produit par une peau fortement tendue, comme une peau de tambour, sur laquelle on jette des pois, ou autres petits corps ronds, d'un faible poids. La peau leur transmet les commotions les plus légères et leurs mouvements les décèlent à l'observateur. Alors on donne en avant dans la terre plusieurs coups de sonde, et en appliquant l'oreille à leur ouverture, on cherche à s'assurer du point d'où le bruit provient et de la distance à laquelle il se trouve. Par ces expédients différents, réunis s'il le faut, on ne tarde pas à reconnaître l'approche de l'ennemi, tant à la surface que souterrainement. Dans le premier cas, on attend que la sape arrive au-dessus du fourneau, pour ensevelir d'un seul coup toute la brigade, et on tient un second fourneau prêt, qui doit recombler le vide fait par le premier et enterrer les travailleurs ennemis, s'ils voulaient s'emparer de l'entonnoir, soit pour le couronner, soit pour le fouiller, découvrir notre galerie et pénétrer ainsi dans nos communications. Pendant ce temps, on charge les fourneaux inférieurs, afin de renouveler ces effets, qu'on reproduirait presque indéfiniment, en débouchant des galeries latérales par des rameaux qui envelopperaient le premier entonnoir de tous les côtés, et en faisant varier la direction des explosions comme la profondeur à laquelle les charges sont placées. Lorsqu'on se juge assez voisin du mineur assiégeant, on l'attaque, sans perdre de temps, soit en cherchant à rencontrer ses fourneaux pour en enlever la charge ou le bourrage ou pour couper les augets, soit en lui donnant le camouflet : si la galerie ennemie n'est qu'à 4 ou 5 mètres de distance, on pourra se contenter du camouflet ordinaire, qui consiste en un trou de sonde de 2 ou

3 mètres de profondeur, où l'on introduit une gargousse de 5 à 6 kilog. de poudre qu'on étrésillonne solidement avant d'y mettre le feu. On enfoncera par ce moyen la galerie à 2 mètres de distance. Pour les distances plus considérables, on emploiera des camouflets plus grands, en ménageant toutefois ses propres galeries autant que possible. Rencontre-t-on le bout de la sonde de l'ennemi, on se hâte au moment où il la retire, de tirer quelques coups de pistolets dans le trou, qu'on élargit ensuite.

Mais l'assiégeant ne manquera pas de nous combattre par des moyens analogues, et de chercher à détruire nos galeries et nos rameaux par l'explosion des fourneaux placés à bonne distance, qu'il chargera aussi fort que possible, afin d'étendre la commotion destructive au loin, ou bien en tâchant de crever nos galeries, puis de les déblayer pour s'y introduire de vive force et en chasser nos mineurs. Dans les deux suppositions, la conduite de l'assiégé reste la même : ses fourneaux étant chargés et bourrés, il attend l'approche de son ennemi, dont il connaît le point de départ, car celui-ci ne peut ouvrir ses puits qu'à couvert, derrière le parapet de ses tranchées. Cependant à la surveillance souterraine, il joint encore celle à la surface, observant avec soin, des lieux élevés de la place, la couleur des déblais jetés sur les revers de la tranchée. Si cette couleur est différente sur quelques points du restant des parapets, l'ennemi a probablement entamé des puits, quoique pas toujours à l'endroit où les déblais sont déposés, car, pour dépister son adversaire, il aura soin de les transporter au loin. C'est alors au mineur à deviner la marche de l'ennemi, suivant la nature des bruits qui lui parviennent. Tant que ceux-ci restent à la même distance, l'assiégeant creuse ses puits; s'ils se rapprochent, il entre en galerie; s'ils cessent, il charge; s'ils s'éloignent, il bourre. D'après la connaissance qu'on a des localités, on doit dès lors prendre son parti. Si l'adversaire reste fort éloigné, on peut attendre l'explosion, dans l'espoir que la commotion trop faible ne détruira pas les fourneaux défensifs, ou bien y mettre le feu avant que l'explosion ne puisse avoir lieu, vers l'instant où on suppose les globes achevés, afin de creuser entre les fourneaux de l'ennemi et les dispositions défensives en seconde ligne un fossé continu, qui empêchera les commotions de se propager au delà, et dont on disputera le passage à l'aide de la guerre souterraine. On ne prendra néanmoins ce dernier parti que si l'on doit absolument craindre, par la longueur du temps employé à la fouille et la quantité de déblais qui en sont provenus, de voir l'assiégeant donner à son globe de compression

une ligne de M. R. telle qu'il atteindra certainement les préparatifs de la défense, et quand la profondeur du terrain permet un pareil travail, car on se cause un préjudice considérable en abrégeant ainsi, soi-même, la distance à laquelle la guerre souterraine doit commencer. On a d'ailleurs beaucoup de chance que ce premier globe sera établi trop loin ou trop près, puisque, si les fourneaux les plus avancés ont été faits pendant l'investissement, il est peu présumable que l'assiégeant connaisse leur emplacement précis; or, dans la première supposition, tous les avantages seront de notre côté dans la lutte qui va suivre, l'ennemi devant croire l'assiégé hors de mesure et avançant, par cela même, avec pleine confiance, jusqu'à ce que l'action des fourneaux lui apprenne, mais à son dam, combien il s'est trompé. Dans la seconde, on ne laissera pas achever les travaux, mais on étouffera le mineur ennemi dans ses puits, par un camouflet ou par le jeu d'un fourneau, avant qu'il soit assez avancé pour charger. Rappelons-nous qu'un grand puits exige 4 h. 30′, temps moyen, par mètre d'avancement, et un puits d'attaque 2 h. 30′; mais pour obtenir des effets puissants, il faut donner une grande profondeur aux puits, afin d'accroître le rayon de rupture, toujours proportionnel à la distance entre le fourneau et la surface du sol, et les puits prendraient des dimensions considérables s'ils devaient recevoir des charges capables de suppléer à la suppression du bourrage. Par exemple, un puits d'attaque, de $0^m,80$ de côté, serait rempli sur $5^m,40$ de hauteur avec de la poudre belge du poids de 0,87 kilog. le litre ou décimètre cube, si on y plaçait 3,000 kilog., et produirait à peine un entonnoir de 10 mètres de rayon, même si le fond était descendu à 10 mètres de la surface. Son rayon de rupture horizontal ne serait donc que de 15 mètres à peu près (comptant la ligne de M. R. du centre des poudres), et sa construction exigerait, sans la charge, 25 heures. Si on l'ouvrait à 10 mètres de l'aplomb d'une écoute, l'assiégé aurait 18 heures pour faire un rameau de 6 mètres, 3 $^1/_2$ heures pour charger et bourrer un camouflet de 25 kilog., qui détruirait le mineur ennemi et son travail avant qu'il fût arrivé au fond, et encore 4 heures de répit, pour reconnaître la position du puits.

Remarquons que l'assiégé, pour obtenir ce résultat, n'a pas besoin de prendre le plus bas du terrain, mais peut se placer à une profondeur telle que la distance du niveau le plus bas n'excède pas la longueur du rayon de rupture verticale, puisqu'il n'en interdira pas moins le passage à l'assiégeant au-dessous de lui, tandis que ce dernier est forcé de creuser, autant que le terrain le permet, s'il veut tirer tout le parti possible des quantités de poudre qu'il brûle.

Si l'assiégeant, pour faire produire un plus grand effet à ses munitions, veut les placer toutes dans un fourneau, à la profondeur de 10 mètres, et bourrer, il lui faudra, dans le cas d'un globe de compression *maximum*, 9 heures pour creuser au-dessous du niveau de sa tranchée un puits de 2 mètres, 135 heures pour 45 mètres de rameau, inclinés au 6^{me}; 15 heures pour bourrer, et ce n'est pas trop d'ajouter 5 heures pour la construction d'un fourneau d'environ 40 mètres cubes, le transport des poudres, le placement de l'auget et les pertes de temps inévitables, ce qui porte à huit jours le temps requis pour la construction d'un globe de compression, capable de détruire à 40 mètres de distance horizontale les galeries d'enveloppe de l'assiégé, car il n'est pas certain que les rameaux bourrés, avec leurs fourneaux, seraient également enfoncés, même à la moitié de cette distance. Mais en 120 heures le mineur assiégé pourrait faire 30 mètres courants de rameau, charger et bourrer. Si donc il était à 40 mètres du puits, il lui serait possible de prolonger son rameau jusqu'à la naissance de la galerie de son adversaire et de la détruire en entier, ou de laisser l'assiégeant passer à côté de lui, et de lui donner le camouflet avant qu'il soit arrivé à l'emplacement de son fourneau. Dans l'un et l'autre cas, non-seulement le travail de l'assiégeant serait perdu, mais devenu plus incertain encore sur la véritable position des galeries de la place, il devrait recommencer ses attaques de plus loin, et avec l'appréhension de se trouver encore au milieu des embûches de son ennemi.

Il est probable aussi qu'il reculerait devant l'effrayante consommation de poudre qu'occasionneraient des globes de compression placés à cette profondeur, car en appliquant la formule de Lebrun, on trouve pour le globe *maximum*, où $n=3$, avec 10 mètres de ligne de M. R., une charge de 32,590 kilog.; donc, si on voulait supprimer le bourrage, une charge de 65,000 kilog., moitié de la consommation totale au dernier siége de la citadelle d'Anvers, et en commençant à 140 mètres du saillant, il faudrait trois appareils semblables au moins pour parvenir jusqu'au fossé, c'est-à-dire pour détruire la galerie majeure. Ainsi une pareille attaque, conduite sur les trois saillants et des deux côtés à la fois, exigerait un approvisionnement fabuleux. Par cela même, il est facile de juger que ce n'est pas aux globes de compression, c'est-à-dire aux fourneaux surchargés très-profonds, que la suppression du bourrage peut être appliquée.

Supposons donc que l'assiégeant se bornera à des lignes de M. R. de 6 mètres, et bourrera ses fourneaux proportionnellement aux charges,

voyons quelle sera alors sa marche. Partant de la 3me parallèle, il doit, pour ne pas endommager ses propres travaux, se porter à 20 mètres en avant, ce qui lui est également commandé par la longueur du rameau que le bourrage exige. Il creusera donc un puits de 2 mètres, puis un rameau de 20 mètres, au bout duquel il placera un fourneau de 2 mètres dans tous les sens, capable de contenir les 7,000 kilog. de charge, que la formule indique en terrain ordinaire. Le temps exigé pour cette opération sera de cinq jours, ainsi calculé :

2 mètres de puits à 4 h. 30′.	=	9 heures.
20 mètres de rameau à 3 heures	=	60 »
Construction de la chambre et charge. .	=	36 »
Bourrage	=	10 »
		115 heures.

Mais c'est le temps moyen, pris dans les écoles; à la guerre, lorsque le mineur doit surveiller son ennemi, il va bien moins vite. Ainsi nous avons dit qu'on ne compte que sur 4 mètres de rameaux en 24 heures, ce qui doublerait le temps exigé (à Schweidnitz, 32 mètres de rameau ont été faits en douze jours). Ce n'est donc pas exagérer que de compter sept jours pour un globe pareil, dont l'effet sera un entonnoir de 18 mètres de rayon et un ellipsoïde de rupture de 24 mètres de demi-grand axe. Par conséquent, si les écoutes dépassent les galeries de 20 mètres, celles-ci ne pourront être endommagées qu'à la condition que l'assiégeant soit venu à portée du camouflet. Si cependant l'assiégé a été surpris, si tous ses préparatifs ont été détruits, l'assiégeant pourra, après avoir couronné l'entonnoir qu'il a formé, placer à 6 ou 7 mètres de l'aplomb du bord supérieur un second fourneau, de la même dimension, mais dont il devra encore majorer la charge, s'il veut obtenir un ellipsoïde de rupture égal, puisque les terres sont meurtries du côté du premier fourneau, et que le principal effort du gaz portera dans cette direction; par-cela même, une partie des travaux à la surface seront détruits ou comblés, et il devra les rétablir avant de pouvoir continuer l'attaque souterraine. En tenant compte de ces circonstances, on trouve que la construction des fourneaux d'attaque prendra seule trente jours avant que l'explosion des derniers ouvre la contrescarpe et ôte définitivement au mineur assiégé les moyens de revenir sur l'assiégeant.

Remarquons que, dans l'hypothèse posée, il faut cinq globes à chaque attaque de mine et six attaques sur le front, c'est-à-dire 210,000 kilog. de poudre pour la charge des fourneaux, sans compter ce qu'on brûle-

rait dans les chicanes de la guerre souterraine. Remarquons encore que si le terrain était très-profond, comme de 15 à 16 mètres (l'étage inférieur des mines russes à Sébastopol était à 16 et 17 mètres de profondeur), ces globes formidables pourraient bien n'être pas suffisants; en effet, les galeries placées au plus bas souffriraient peu ou point des explosions, et rien n'empêcherait dès lors l'assiégé de revenir sous les entonnoirs formés, pour faire sauter les batteries établies dans les décombres. La découverte de Bélidor n'exercerait donc pas sur la guerre souterraine l'influence que quelques écrivains lui ont attribuée, et il n'est pas étonnant qu'on ait avisé à trouver d'autres méthodes plus expéditives. Voici celle que Mouzé a proposée.

Il admet d'abord qu'on peut toujours connaître l'emplacement des galeries construites pendant la paix, de manière à pouvoir les retrouver sur le terrain. Ceci convenu, il place la 3^{me} parallèle hors de l'action des fourneaux les plus avancés, à 50 mètres, par exemple, plus en arrière que la distance ordinaire. Maintenant, ayant bien déterminé la position des galeries d'écoute et trompé l'assiégé par des amorces de boyaux de communication, qui semblent annoncer l'intention de poursuivre les sapes à l'ordinaire, il pousse brusquement la nuit une sape volante jusqu'au-dessus des galeries, sous sa protection creuse un puits à la profondeur voulue pour que l'écoute se trouve dans l'ellipsoïde de rupture, et l'enfonce au moyen d'une forte charge non bourrée. Dès lors la communication avec les appareils plus avancés étant interceptée, il n'a plus rien à en craindre, et en fouillant l'entonnoir, il trouve la galerie, dans laquelle il s'introduit, pour en chasser l'assiégé jusqu'au delà des points d'intersection avec la galerie d'enveloppe. Ces travaux ayant été reliés à ceux en arrière, il établit une 4^{me} parallèle, exactement au-dessus de l'enveloppe, de manière à n'avoir rien à craindre des fourneaux qui en partent. Si le front est soumis au ricochet et n'a pas de défenses intérieures dans le chemin couvert, il donne ensuite l'assaut à ce dehors, et il lui suffit d'en rester maître pendant la nuit pour enfoncer également la galerie majeure, à l'aplomb de chaque traverse, en sorte que l'attaque à la surface n'est aucunement retardée par la guerre souterraine. Si l'assiégé ne se laisse pas chasser de ses galeries (et véritablement il n'y a aucune raison pour cela, deux hommes pouvant difficilement y marcher de front, en sorte que la supériorité du nombre ne sert à rien dans de pareilles entreprises), Mouzé se borne à diriger des sapes au-dessus, les enfonçant par des puits au fur et à mesure de ses progrès. Lorsque le chemin couvert ne peut être ricoché

ou contient des défenses intérieures, lesquelles rendent l'attaque de vive force impossible, et s'il y a des dispositions de fourneaux indépendantes des écoutes qu'il a neutralisées, il lui faudrait bien recourir au globe de compression; mais il préfère provoquer, par des semblants d'approche, l'explosion d'un des fourneaux, descendre au fond de l'entonnoir un puits, dans lequel il logera quelques milliers de poudre, et détruire par la conflagration de cette charge tout l'appareil qui lui est opposé. Ce moyen lui semble immanquable, et la guerre souterraine ne lui offre pas de moyen d'en conjurer les funestes effets, parce que le temps que la confection du puits exige ne suffit pas pour charger et bourrer les fourneaux par lesquels on devrait renouveler l'action des premiers. Aussi son système de défense se fonde-t-il sur l'emploi des sorties, qui feront perdre assez de temps à l'assiégeant, après l'explosion des fourneaux du 1^er^ et du 2^me^ étage, pour que le mineur assiégé ait celui de charger et de bourrer les fourneaux suivants, ou bien, désespérant de pouvoir lutter contre lui à armes égales, il crée, par l'explosion de plusieurs grands fourneaux, un entonnoir continu, avant que l'assiégeant ne soit à portée de les détruire, conservant au parapet du chemin couvert 6 à 8 mètres d'épaisseur, et il se contente alors de défendre le passage de cet entonnoir par des camouflets et l'approche de la contrescarpe par de petits fourneaux, placés dans l'épaisseur des terres, les globes de compression n'étant plus à craindre.

Quelque respect que nous professions pour un auteur de si haute réputation, nous nous permettrons quelques observations. Il nous semble qu'il s'est un peu exagéré les facilités que l'attaque trouvera à s'emparer des galeries dont elle connaît la position. Ce procédé a été le premier auquel on ait pensé, et l'assiégeant s'est efforcé de le mettre en œuvre, en débourrant les rameaux des fourneaux dès que l'entonnoir était formé, sans en retirer grand avantage. La preuve que la défense le redoutait peu, c'est que souvent elle plaçait sur les galeries des évents en regard de cheminées, qui rendaient bien faciles à l'assiégeant les moyens d'y pénétrer; mais en y entrant, il trouvait les mineurs assiégés prêts à le recevoir à coups de pistolet (Turin, 1706), à couvert derrière les portes les plus voisines; il rencontrait des fougasses à bombes sous ses pieds, et des camouflets derrière les parois de la galerie, pour l'étouffer dès qu'il s'éloignait de son puits. De plus, outre les écoutes maçonnées, rien n'empêche l'assiégé de faire partir de sa galerie d'enveloppe et des transversales d'autres écoutes parallèles, dont l'assiégeant ne peut avoir connaissance, et qui serviront au premier de

tige pour ses fourneaux, comme elles lui donneront le moyen de détruire la galerie par des camouflets, si l'assiégeant osait s'y introduire. Ce n'est donc que dans les terrains peu propres aux travaux souterrains, où les dispositions sont invariables, que la marche de l'assiégeant serait assurée par le procédé indiqué; encore pourrait-on tenter, par divers expédients, de l'induire en erreur. Il est aussi à observer que la fouille d'un puits capable de contenir *quelques milliers de poudre*, suivant l'expression de l'auteur, exigerait plus de temps qu'on ne le croirait de prime abord. Le calcul auquel nous nous sommes livré, à l'occasion des globes de compression, en fournit la preuve : 1,000 kilog. de poudre occupent, dans un puits d'attaque, 2 mètres de hauteur, au moins, et il serait fort important de savoir si, pour des poudres ainsi placées, la ligne de M. R. ne devrait pas se compter du centre de la charge, plutôt que du fond des puits, surtout pour les effets sous-horizontaux, ce qui donnerait d'immenses différences dans la portée des explosions; enfin, si l'entonnoir continu qu'il veut produire offre tant d'avantages, rien n'empêcherait de le construire d'une manière permanente, en creusant autour des saillants un fossé de la même profondeur. On y gagnerait de pouvoir en éclairer parfaitement le fond par le feu des rentrants, au lieu de donner de nombreux couverts, formés par les lèvres des entonnoirs. Ceci nous ramènerait seulement à cette considération, que les terrains de profondeur moyenne, comme de 8 à 10 mètres au-dessus du niveau des eaux, sont les plus avantageux à la guerre souterraine, ainsi que nous l'annoncions dans la 13^{me} leçon de la 3^{me} partie.

Quand la position d'une galerie défensive n'est pas déterminée, Boule, l'inventeur des *puits à la Boule* et, d'après lui, Gillot, proposent de l'attaquer par une série de puits, exécutés simultanément et embrassant tout le terrain où l'on présume que la galerie se trouve. Ce mode d'attaque s'appelle *attaque à la Gillot*.

C'est spécialement contre les attaques par puits que les contre-puits sont destinés à agir, ainsi que leur nom l'indique. Nous avons vu qu'il ne faut pas 1 $^1/_2$ heure à l'assiégé pour les charger et les faire jouer, tandis qu'il en faut au moins 3 et souvent 5 ou 6 à l'assiégeant pour fouiller le puits par lequel il se propose d'enfoncer l'écoute. Si donc l'assiégé se tient sur ses gardes, et s'il a des contre-puits espacés du double de leur rayon de rupture, sur quelque point que l'assiégeant s'enfonce, il court risque de voir son ouvrage détruit avant de pouvoir s'en servir. Il est vrai que cette défense ne peut se renouveler, mais

l'assiégé gagnera le temps de charger et de bourrer des fourneaux latéraux, par lesquels il comblera l'entonnoir du contre-puits, si l'assiégeant voulait s'en servir pour y placer des poudres et enfoncer la galerie, ou bien pour le fouiller et, en suivant les rameaux, reconnaître la position exacte de l'écoute, afin de diriger sa sape au-dessus. Enfin, l'attaque par puits, n'étant pas soutenue par des approches régulières, doit obtenir ses résultats pendant les premières heures de la nuit, et l'opération serait manquée si l'explosion des fougasses obligeait à recommencer les fouilles. L'assiégeant se verra donc forcé de détruire par l'explosion de fortes charges et les galeries et les contre-puits qui les défendent, mais cette nécessité de bouleverser lui-même le terrain sur lequel il doit marcher, ralentit ses progrès d'une manière sensible, et ce ralentissement est justement le but que l'assiégé se propose d'atteindre.

Mouzé a très-bien prouvé, au surplus, que la méthode habituelle de traverser le glacis n'est pas la seule dont on puisse se servir, en sorte que les dispositions permanentes de fourneaux peuvent être évitées par la marche des sapes, excepté celles sous le couronnement, qui embrassent les batteries de brèche et les contre-batteries, soit qu'on les construise sur le glacis, soit dans le chemin couvert. Ce n'est donc que sur ces dernières qu'il est permis de compter, à moins que les dispositions de fourneaux n'embrassent toute la surface sur laquelle il est possible à l'assiégeant de cheminer.

Les contre-mines de l'assiégé renverseront les batteries de brèche et les contre-batteries par le jeu de fourneaux ordinaires, ou les soulèveront par des fourneaux sous-chargés, ou enfin les feront sauter au moyen de fortes surcharges de poudre. Le dommage causé à ces batteries par de simples fourneaux sous-chargés n'est guère moins préjudiciable à l'attaque que l'effet des mines ordinaires, puisqu'il faudra dans les deux cas le même temps à peu près pour établir les épaulements et les plates-formes; mais les sous-charges ont l'avantage pour la défense de ne détruire qu'une moindre portion des galeries de contre-mines. Par l'explosion des fourneaux surchargés, au contraire, ces galeries sont immédiatement mises hors de service; mais l'assiégé peut, à l'aide d'un dispositif convenable, enlever à l'ennemi ses bouches à feu, avec leurs affûts et plates-formes, en les rejetant dans le fossé de la fortification. Un fait de guerre dû au hasard, devant Turin, en 1706, avait constaté la possibilité de cette manœuvre de la défense, et, dès 1739, une épreuve directe faite à la Fère l'avait pleinement con-

firmée. Dans cette épreuve, que l'on a répétée à Metz, en l'année 1844, avec non moins de succès, une batterie de brèche de 2 pièces de 24 fut enlevée par le jeu de 4 fourneaux, dont 2 petits sous les essieux et 2 surchargés sous les crosses des affûts. Les petits fourneaux n'avaient que $2^m,13$ (7 pieds) de ligne de M. R. et une charge de 20 livres de poudre capable seulement d'ébranler les terres; les gros fourneaux, placés à $3^m,25$ (10 pieds) de distance horizontale des petits, avaient 10 pieds de ligne de M. R. et une charge de 600 livres de poudre, c'est-à-dire de 6 fois environ la charge du fourneau ordinaire; les bouches à feu furent lancées à 78^m (40 toises) de hauteur et retombèrent du côté de la place à 68^m (35 toises) de la batterie. Les feux avaient été compassés de manière à faire jouer simultanément les 2 petits fourneaux quelques secondes avant les fourneaux surchargés, afin de dégager ceux-ci du côté des essieux considérés comme centres de gravité des pièces. A Metz, en 1844, après la première épreuve qui fut calquée sur celle que nous venons de décrire, et après avoir recomblé les entonnoirs, on en a fait une seconde au même emplacement, mais en supprimant les petits fourneaux; l'effet obtenu a été des plus satisfaisants, grâce peut-être au défaut de cohésion des terres, suite de la première explosion, et cette dernière circonstance ne doit pas être perdue de vue.

Quand la galerie de contrescarpe est détruite et l'ennemi maître du glacis, la défense souterraine n'est pas terminée, elle sert encore à combattre l'établissement de l'assiégeant sur la demi-lune et sur le bastion, quand celui-ci est retranché. Si nous supposons les fossés approfondis jusqu'à peu de distance au-dessus de l'eau, l'ennemi ne pourra y loger des globes de compression, pour faire écrouler les revêtements et ébouler les terres, et lorsqu'il veut ouvrir la brèche au moyen de la mine, il faut qu'il s'attaque aux maçonneries mêmes. Mais le mineur assiégé, qui a poussé des rameaux jusque derrière les contre-forts, est partout à l'attendre et lui donne le camouflet dès qu'il se trouve à sa portée. Si l'assiégeant fait brèche par le canon, l'assiégé prépare des fourneaux sous les éboulis (*pl. II, fig.* 89), qu'il lance vers les travaux de l'assiégeant, et, escarpant ainsi le revêtement, oblige son adversaire à recommencer la brèche en la prenant plus bas. Ce moyen de défense est d'une grande valeur : on pourra l'employer avec plus de succès, s'il y a une galerie d'escarpe en contre-bas de la tranchée horizontale pratiquée par l'artillerie assiégeante pour l'ouverture de la brèche. Voici, sur la manière dont on procédera en ce cas, un exemple

remarquable des expériences faites à Bapaume en 1847. Quatre rameaux partant de la galerie d'escarpe conduisirent le mineur à 1 mètre sous le fond du fossé, et ces sorties furent ensuite reliées par un rameau hollandais creusé le long de la fondation du mur d'escarpe. Une charge de 1,130 kilog. de poudre fut distribuée dans un auget placé sur le fond du rameau hollandais. La ligne de M. R. étant de 5^m,00 et la hauteur verticale des terres et décombres de 5^m,70, cette charge correspondait à celles de 4 fourneaux accouplés surchargés de la moitié environ de la charge du fourneau ordinaire. Avant de bourrer, l'on avait disposé, entre la poudre et les matériaux à projeter, 4 forts plateaux de chêne, afin d'augmenter le jet et de régulariser la gerbe. L'effet fut prodigieux : la brèche fut parfaitement escarpée sur toute sa largeur, le terrain devant la contrescarpe fut jonché de pierres suivant une zone en éventail de 150 à 200 mètres de largeur. On remarqua 4 traînées principales de décombres dues, sans nul doute, à l'influence des 4 plateaux de chêne. La batterie qui avait été construite sur la contrescarpe pour ouvrir la brèche eut ses embrasures balayées, le revêtement arraché, les merlons presque rasés, les bouches à feu renversées avec leurs affûts, et l'une d'elles bourrée de terre et de pierraille. J'estime que la gerbe de décombres lancée par cette mine avec une charge totale de 45 fougasses-pierriers, était de 300 à 400 mètres cubes environ, volume équivalent à ce que projetteraient 100 fougasses-pierriers ordinaires jouant simultanément. Dans un siége, un pareil volcan tuerait ou blesserait infailliblement beaucoup de monde dans les tranchées.

Avant que le jeu de ces fourneaux ne soit épuisé, l'assiégé en a déjà préparé d'autres, sous le haut de la brèche, qui doivent bouleverser le logement de l'ennemi, s'il s'y établit pied à pied, ou lancer ses colonnes en l'air, s'il prétend s'en emparer par un assaut. (*Pl. II, fig.* 89.) L'ennemi cherche-t-il à ouvrir le rempart de la demi-lune au moyen d'un grand globe de compression, afin de battre le réduit en brèche par les batteries du couronnement du glacis, qui ont déjà ouvert l'enveloppe, il retombe dans toutes les chicanes de la guerre souterraine, et l'assiégé la soutient avec avantage, protégé, à portée de grenades à main, par un réduit que son fossé préserve des commotions, en même temps que la fusillade, à cette proximité, et les sorties rendent impossibles les attaques par puits contre la galerie de contrescarpe. Il défend de la même manière l'approche des coupures, déblaye par quelques fourneaux le parapet de la demi-lune, lequel empêcherait le feu du réduit

d'agir contre les cheminements dans le terre-plein du chemin couvert et offrirait des facilités à l'assiégeant pour prendre la place d'armes rentrante à revers, mais il conserve la masse du rempart, afin de couvrir l'escarpe du réduit à une hauteur telle que sa mise en brèche soit impossible. Cette défense épuisée, une nouvelle guerre de chicane commence sous le réduit, dans lequel on aura eu soin de faire un retranchement d'une épaule à l'autre, avec contrescarpe revêtue en maçonnerie ou en charpente, et galerie de contrescarpe. On s'opposera par ce moyen au logement sur le saillant, et on disputera chaque mètre du terre-plein en avant de la coupure. Puis, si la galerie sous le réduit a une communication souterraine avec la tenaille, on pourra encore contrarier par quelques fourneaux, dont l'approche sera également défendue par la guerre souterraine, le logement à la gorge du réduit et la construction des batteries contre la courtine. Enfin, le logement sur le bastion rencontrera les mêmes obstacles, qui, renforcés par des sorties faites à une aussi petite distance, doivent retarder considérablement l'approche du retranchement. D'après ce qu'on vient de voir, l'assiégeant, comme l'assiégé, aura parfois à déblayer par la mine et à rejeter au loin les terres du rempart : le premier pour mettre en brèche les ouvrages de seconde ligne avec le canon qu'il a en batterie dans le couronnement du chemin couvert; le second pour pouvoir, avec l'artillerie des ouvrages de seconde ligne ou de quelque ouvrage collatéral, agir contre l'ennemi au travers de la trouée que les fourneaux auront ouverte. A Metz, pendant le simulacre de siége de 1844, la défense a essayé le second expédient sur la demi-lune du front d'attaque, mais elle n'a pas réussi, parce que les fourneaux, qui étaient au nombre de trois, ne furent pas surchargés. Plus récemment, en 1847, à Bapaume, l'on a pratiqué une large trouée dans la contre-garde du bastion 4 de cette place, au moyen de 5 fourneaux, dont 2 ordinaires derrière l'escarpe, 2 ordinaires derrière le revêtement de la gorge, et le 5^{e}, fortement surchargé, placé à la croisée des diagonales des 4 autres. L'explosion devait être simultanée; mais les 2 fourneaux de l'escarpe ayant joué par hasard avant les 3 autres, ceux-ci, dont le fourneau surchargé du centre faisait partie, produisirent du côté de la campagne une énorme gerbe de terre et de pierres, qui, pendant un siége, eussent tué beaucoup de monde dans la tranchée. Le résultat inverse eût eu lieu si les 2 fourneaux de la gorge avaient joué les premiers. On conclura de là, quant au compassement des feux dans les dispositifs de ce genre, qu'il peut et doit être combiné en vue de déterminer la projection des

décombres dans la place, effet qui sera sous tous les rapports avantageux à l'attaque. D'ailleurs, la forte surcharge du fourneau du centre a paru une condition indispensable du succès, puisque la trouée pratiquée dans la contre-garde de Bapaume fut à peine suffisante pour rendre possible l'ouverture de la brèche au bastion 4 par le canon de la batterie préparée à cet effet sur la contrescarpe de la contre-garde.

L'attache du mineur aux escarpes des ouvrages flanqués présente des difficultés que Vauban conseille d'aplanir en creusant par le boulet un trou capable d'abriter le mineur dès les premiers coups de ciseau. Il croit surtout le moyen bon s'il y a une galerie d'escarpe dans l'ouvrage. Mais on a fait remarquer avec raison que l'on ne saurait mieux faire, quand on a du canon en batterie, que de s'en servir pour ouvrir et achever la brèche jusqu'à la rendre praticable. Dans le cas contraire, où l'on n'a pas de canon, et lorsqu'une galerie est adossée à l'escarpe, on pourra suivre la méthode proposée par Goulon : construire la descente du fossé, organiser le passage pour la défense, et mettre une garde à portée; attacher ensuite le mineur en deux points au moins de l'escarpe vers les deux extrémités de la brèche à former; lorsque le mineur a pénétré dans la maçonnerie jusqu'à 1 mètre de distance de galerie, faire déposer 30 kilog. de poudre au fond de son rameau dans deux sacs à terre, bourrer et mettre le feu; dès que la galerie est percée, y faire rouler à la hâte des bombes chargées ou d'autres artifices pour éloigner l'assiégé. Le mineur entrera alors dans la galerie en roulant devant lui d'autres bombes seulement amorcées et sans charge; l'assiégé redoutera l'explosion de ces dernières bombes et n'osera pas en approcher. Le mineur, soutenu par quelques grenadiers, en profitera pour barrer la galerie au moyen de sacs à terre, qui lui seront passés de main en main et qu'il établira aux extrémités du bourrage qu'il doit faire plus tard sur les côtés de la brèche. Il demeurera ainsi possesseur de la portion de galerie où les fourneaux doivent être placés. Mais de son côté, l'assiégé ne se laissera pas intimider par de vaines démonstrations; il attaquera le mineur assiégeant en face, en flanc et à dos; il enlèvera ou percera le bourrage des extrémités de la brèche et dérobera la charge des fourneaux.

Quant à la durée de la lutte souterraine dans un siége, Bousmard, faisant le journal d'attaque et de défense d'un ouvrage extérieur, renforcé d'un système complet de contre-mines, pourvu d'un réduit et d'un retranchement également contre-minés, arrive à trouver que sa défense pourra se prolonger pendant 55 jours. En conduisant l'at-

taque suivant les idées de Mouzé, il y aurait sans doute beaucoup à rabattre de cette évaluation, mais il resterait toujours une augmentation de résistance de 30 jours, car Bousmard suppose son chemin couvert à l'abri d'une attaque de vive force, en sorte qu'entre Mouzé et lui, il ne s'agit plus que de savoir si la guerre souterraine commence à 80 ou à 30 mètres de la palissade du chemin couvert; et la diminution de 25 jours, que nous venons de faire, compense et au delà cette différence. La durée du siége d'une place non contre-minée étant moyennement de 25 jours, l'application d'un système de mines défensives à une seule pièce avancée ou à une demi-lune saillante doublerait et au delà la durée de la résistance, surtout de la résistance rapprochée, qui coûte le plus de sang à l'assiégeant. Cette considération nous porte à croire que l'assaillant ne s'astreindra à cette méthode d'attaque qu'à défaut de chance de réussir par aucune autre, même au prix des plus grands sacrifices. Ainsi nous ne doutons pas que, du moment où la brèche serait ouverte dans la demi-lune, l'assaut ne s'ensuivît immédiatement, et avec des forces suffisantes pour surmonter toutes les résistances, s'emparer des issues des galeries de contrescarpe, et les enfoncer par le pétard, pendant qu'on renverserait les pieds-droits des galeries par des barils de poudre déposés contre. Une attaque pareille, formée par 1,000 ou 1,500 hommes, le quadruple ou le quintuple de la garde de la demi-lune, s'adressant à la fois aux brèches et à la gorge, aurait beaucoup de chance d'emporter en même temps la demi-lune, le réduit et les coupures, et, quoique sanglante, ne coûterait certainement pas à l'assiégeant moitié autant d'hommes que le feu rapproché de la place pendant 15 jours. Peut-être l'habitude des attaques savantes a-t-elle trop fait perdre de vue aux ingénieurs tout ce qu'on peut obtenir des attaques de vive force en masse, et l'économie de temps et de sang qu'on fait en rompant d'un seul coup toute la trame de chicanes dans lesquelles l'assiégé comptait enlacer son adversaire.

Un moyen de défense par lequel on peut suppléer en partie au manque de contre-mines sous le glacis se trouve dans les fougasses. (*Pl. III, fig.* 2.) Nous vous en avons déjà parlé dans la fortification passagère, mais là la promptitude des attaques permet peu d'en tirer parti. Il n'en est pas de même en fortification permanente, où l'ennemi doit arriver nécessairement sur l'endroit où les poudres sont déposées. On peut même les disposer comme des fourneaux à jeu successif et à plusieurs étages, pourvu qu'on ait soin de numéroter les augets, qui, conduits dans l'intérieur du chemin couvert, près des réduits, ou,

mieux, percés à travers la contrescarpe, seront à l'abri des coups de main de l'ennemi. Il est vrai que si le terrain est propre aux mines, l'assiégeant, averti de leur existence, les culbutera facilement par un fourneau creusé à portée de leurs frêles communications, et par une forte commotion les mettra hors d'état de lui nuire; mais alors même elles ne seraient pas sans effet, car jusqu'après l'explosion de ces fourneaux, il arrêtera la marche de ses sapes, et c'est à cette distance qu'il importe le plus de le retenir sous les feux de la place. D'ailleurs, tout terrain n'est pas propre à l'établissement des mines, bien moins des globes de compression, et si, par exemple, l'eau se rencontrait à $2^{m},50$ de profondeur sous la surface, il faudrait brûler prodigieusement de poudre pour obtenir des rayons de rupture de quelque longueur. C'est donc spécialement dans les terrains peu profonds que les fougasses seront d'application. On ajoutera à leur effet, en remplaçant la terre au-dessus par des pierres ou des décombres. Si alors on a soin de diriger leur ligne de M. R. vers les travaux ennemis, on lui nuira par l'explosion de la poudre et par les projectiles qu'elle lancera. (*Pl. III, fig.* 5 et 6.) La fougasse-pierrier (*pl. III, fig.* 9 et 10), proposée par le général Fleury pour la défense des fossés des ouvrages en terre, est creusée dans le talus du fossé : elle peut avoir $1^{m},80$ à 2 mètres de ligne de M. R. L'axe de l'entonnoir forme avec le fond du fossé un angle de 22°. La charge de 25 kilog., trois fois celle d'un fourneau ordinaire de $1^{m},80$ de ligne de M. R., est placée dans une boîte goudronnée et recouverte d'un plateau en madriers, de 1 mètre en carré et de $0^{m},10$ d'épaisseur. Sur ce plateau on met 3 à 4 mètres cubes de briques ou 3 mètres cubes de cailloux ou d'autres matériaux semblables, proportionnellement à la charge. Deux hommes exécutent une fougasse pareille, de $1^{m},80$ de ligne de M. R., en trois heures de travail. L'explosion couvre de pierres plus ou moins rapprochées un espace de 55 mètres de long sur 65 de large.

Les fougasses s'emploient encore avec succès pour disperser les terres des ouvrages de contre-approche, lorsque ces travaux, tombés aux mains de l'ennemi, lui offriraient un couvert, et seront fort utiles contre l'attaque par puits, en leur donnant une communication avec les galeries, mais ne remplacent pas les contre-puits, parce qu'on ne peut les charger à volonté, ce qui oblige à les placer longtemps à l'avance et les expose aux nuisibles effets de l'humidité. Sous le fond des fossés comme sous le sol des galeries de mine, elles interdisent le passage, et si l'on ne peut se dissimuler que leur effet est presque

entièrement moral, à cause du peu d'étendue de leur entonnoir, qui exige que l'ennemi soit placé exactement au-dessus, le peu de travail que leur établissement occasionne compense en partie ce défaut, en permettant de les multiplier. Si on désigne par C la charge en kilogrammes d'une fougasse-pierrier, par V le volume en mètres cubes des pierres à lancer, par D la portée moyenne en mètres, on aura, d'après les expériences de M. le capitaine Bralion au régiment du génie à Gand, la formule suivante pour le calcul de la charge :

$$C = 2 + \frac{92\,D\,V}{1000}.$$

Pour $D = 70$ et $V = 2{,}50$, il vient $C = 18^{k},10$.

Ce qui prouve clairement l'efficacité de la guerre souterraine, c'est l'extrême rareté des siéges dans lesquels elle a eu lieu avec quelque étendue. A peine si, depuis un siècle, on peut en citer trois ou quatre, sans doute parce que les assiégeants se détournent des fronts contre-minés ou préfèrent amener la reddition par un blocus, l'approvisionnement en vivres n'étant guère fait pour un temps plus long que celui pendant lequel les mines défensives sont susceptibles de prolonger la résistance; en effet, les places sont approvisionnées, d'ordinaire, pour 2 à 3 mois, et nous voyons qu'il ne serait nullement impossible de faire durer le siége autant ou plus. Or, un blocus n'entraîne aucune perte, en hommes ni en munitions; bien mieux, il conserve la place intacte pour le vainqueur. Lors donc qu'on prévoit ne pouvoir enlever la place en moins de temps et qu'elle n'a pas de secours à attendre, un blocus sera de beaucoup préférable à un siége. C'est ainsi que les Français s'emparèrent, en 1795, de Luxembourg, sans aucune perte, alors que leur armée se serait peut-être fondue devant une place admirablement fortifiée par l'art et la nature.

Si nous considérons maintenant que ce surcroît de résistance peut s'obtenir avec une dépense d'argent moindre que celle exigée pour la construction d'une seule contre-garde, ou autre ouvrage semblable, dont l'effet sur la prolongation du siége est évalué à six jours dans les circonstances favorables; que les mines exigent, pour toute augmentation de garnison, une demi-compagnie ou une compagnie de mineurs, en matériel quelques bois de faible équarrissage et 30 à 45 milliers de poudres, on doit féliciter les États à qui l'esprit de leur population et le site de leurs places fortes facilite l'emploi énergique de ce moyen. A cet égard, la Belgique n'a rien à envier à ses voisins plus

puissants : les travaux industriels ont tellement familiarisé les habitants d'une bonne partie du royaume avec les ressources et les dangers des communications souterraines, qu'il serait difficile de former ailleurs des mineurs plus intelligents et plus hardis, et cette facilité de la défense est une espèce de compensation pour la multiplicité des places fortes que la nature de nos frontières et la richesse de notre territoire nous font une nécessité d'entretenir.

Plaçons ici la description de quelques mines d'espèce particulière.

Dans les *fougasses à bombes* (*pl. III*, *fig.* 1), les bombes sont mises dans le compartiment supérieur d'une caisse divisée en deux par un plateau parallèle au fond. Leurs fusées débordent de 2 à 3 centimètres la face inférieure du plateau. Au-dessous de celui-ci on ne met que le saucisson, quand les bombes doivent éclater au moment d'être projetées. Dans le cas contraire, on y met de plus une charge de poudre capable de produire un entonnoir dans le terrain où la caisse est placée. Le tableau suivant fournit des données pour l'emploi des *bombes enterrées*.

CALIBRE des bombes.	CHARGE de la bombe pleine.	CHARGE SUFFISANTE pour faire éclater.	PROFONDEUR jusqu'à laquelle la bombe pleine produit un entonnoir.
6 pouces.	1 livre 6 onces.	0 livre 12 onces.	2 pieds 6 pouces. 0m,81
8 »	4 » 1 »	1 »	3 » 6 » 1m,24
10 »	10 »	3 »	5 » 1m,62
12 »	17 »	5 »	6 » 1m,95
18 »	48 »	12 »	8 à 9 pieds. 2m,40 à 2m,90

A Sébastopol les mineurs français voulurent utiliser comme fougasses les anciens rameaux après les avoir réparés et débourrés jusqu'aux talus de leurs entonnoirs. Un rameau pareil débouchant dans son entonnoir à 60 mètres du bastion du Mât, une charge y fut déposée de 57 kilog. de poudre en trois sacs; on la recouvrit extérieurement avec des pierres, des biscaïens, des grenades russes, des éclats de bombes. On bourra à l'intérieur toute la longueur du rameau, mais cet essai ne fut pas heureux.

Au même siége, les Russes placèrent une ligne de 24 caisses,

espacées de 2 en 2 mètres et enterrées au niveau du sol, en travers du ravin du Carénage. Au-dessus de chacune de ces caisses à double enveloppe se trouvait un tube de verre étamé qui, en se brisant sous les pieds des assiégeants, devait laisser échapper un liquide propre à enflammer une composition mise en communication avec une charge de poudre de 7 à 8 kilogrammes. Les caisses furent découvertes et enlevées par le génie français.

L'établissement des *mines artésiennes* ou *forées,* peut se faire avec une vitesse six fois plus grande que celui d'un rameau boisé ordinaire. Les chambres à poudre sont creusées au moyen de la tarière articulée, à mâchoire mobile ou formées par une petite explosion au fond du trou de sonde si le terrain s'y prête. Au dernier cas, on peut avec une charge de $0^k,700$ produire une chambre capable de contenir 200 kilog. de poudre. Avec la tarière, de bons sondeurs ont creusé en 11 heures et à $11^m,70$ de distance, une chambre de la capacité de $^1/_2$ mètre cube. Faisons remarquer que l'emploi de la tarière a l'inconvénient grave de trahir la position du mineur par le bruit que fait cet instrument.

Les fig. 3 et 4 pl. III représentent un dispositif de fougasses-camouflets pour la défense du chemin couvert. Dans un bon terrain, il ne faut que deux heures à deux hommes exercés pour creuser une pareille fougasse avec la cuiller à camouflet et $^1/_2$ heure pour la charger et la bourrer. La charge est de 12 kilog. Dans un siége, le saucisson devrait aboutir dans un réduit ou dans un blokhaus.

Le 8 septembre 1855, date de l'assaut final de Sébastopol, le génie français lança vers 8 heures du matin sur le bastion central, 2 tonneaux de poudre de 100 kilog. chacun, qui firent explosion dans l'ouvrage. C'étaient des *mines de projection.* Il résulte d'expériences faites en France et en Espagne que la charge C de la fougasse projetante est donnée par la formule $C = \frac{Dp}{7200}\left(1 - \frac{p}{20000}\right)$. Dans cette formule, p représente le poids en kilogrammes du tonneau chargé et du plateau qui doit faciliter la projection; et D la portée. Dans l'hypothèse $D = 400$ et $p = 300$, la formule donne $C = 16^k,40$. La projection se fait sous l'angle de 45°; le tonneau en douves épaisses est fretté en fer ou fortement cerclé en bois; il porte une fusée et se place contre le plateau, l'axe parallèle à celui-ci.

15me LEÇON.

DISPOSITIONS PERMANENTES POUR LA GUERRE SOUTERRAINE. — DÉMOLITIONS.

SOMMAIRE.

Règles qui président à la disposition des mines défensives; application aux galeries sous le glacis, sous le fond des fossés et sous le terre-plein des ouvrages retranchés. — Dimensions des galeries elliptiques. — Travaux à exécuter lorsque le front d'attaque est connu. — Dispositions des fourneaux en capitale. — Changements aux terrassements. — Contre-approches. — Gros fourneaux sous les batteries de brèche. — Contre-puits au-dessus des galeries maçonnées. — Dispositions à prendre dans une place sans galeries permanentes. — Quantités de bois pour la construction des galeries en charpente; temps nécessaire; consommation de poudre. — Démolition des revêtements, par des fourneaux ordinaires ou par des fourneaux surchargés. — Règle à suivre pour le calcul des charges. — Démolition des murs non terrassés, mines sous l'eau, démolition de magasins à poudre et d'autres bâtiments voûtés. — Règle empirique pour les charges; observation à cet égard. — Démolition des maisons.

Ayant examiné les diverses méthodes d'attaque dont l'assiégeant peut faire usage pour surmonter la résistance opposée par les mines défensives, voyons quelles sont les règles que nous pouvons en déduire, afin de disposer le système de manière à avoir le moins possible à redouter des efforts de l'assaillant.

La première est que l'ennemi pouvant presque toujours se procurer des renseignements exacts sur les galeries maçonnées pendant la paix, et cette connaissance lui donnant les moyens de paralyser leur action, si elles ne se trouvent pas sous la protection immédiate et rapprochée des ouvrages, il ne faut construire d'une manière permanente que les communications souterraines dont la possession soit garantie : c'est-à-dire sous les glacis, la galerie majeure et les galeries de communication, à 25 mètres au plus de la crête du chemin couvert, afin que l'assiégeant ne puisse conduire une sape au-dessus sans se mettre à portée des grenades à main. Si la nature du sol oblige à faire toutes les dispositions des fourneaux longtemps à l'avance, à cause de la difficulté de le

travailler, nous le considérerons comme impropre à la guerre souterraine, et nous compterons peu sur l'effet d'explosions qui ne peuvent pas se renouveler.

La seconde, que la protection à accorder aux communications souterraines exige l'addition de défenses intérieures, réduits maçonnés ou blockhaus, dans le chemin couvert, afin de rendre impossible l'enlèvement de vive force de ce dehors et la destruction des entrées des galeries.

La troisième, qu'il faut, autant que faire se peut, rendre chaque disposition de fourneaux indépendante des autres, en lui donnant une communication séparée avec la galerie majeure, en sorte que la destruction d'une des dispositions ne paralyse l'effet ni de la précédente ni de la suivante.

La quatrième, que l'action destructive des commotions souterraines agissant avec plus d'effet contre le flanc des galeries que sur leur tête, dans le sens de l'axe, il faut tâcher de présenter partout des pointes à l'ennemi et couvrir l'accès vers la galerie de communication par les fourneaux, au lieu de placer les fourneaux sur le flanc des galeries.

Cette règle néanmoins n'est susceptible d'être appliquée avec fruit que lorsqu'on pourra présumer avec quelque certitude la marche à suivre par le mineur ennemi, les expressions de tête et de flanc variant suivant la direction qu'il adopte.

La cinquième, que pour être sûr de barrer le chemin au sapeur ennemi, les dispositions aux saillants doivent embrasser toute la largeur sur laquelle les cheminements peuvent être dirigés sans trop s'exposer à l'enfilade.

La sixième, que la défense souterraine des ouvrages revêtus et soutenus par des réduits présentant beaucoup plus de facilités que celle des glacis, elle s'appliquera avec le plus d'avantage aux systèmes à contre-gardes et à bastions retranchés, et qu'il faut attacher beaucoup d'importance aux dispositions sous le terre-plein de pareils ouvrages, au lieu de ne considérer que celles en avant du chemin ouvert.

La septième, que la défense par les mines demandant à être complétée par des sorties fréquentes, elle aura le plus d'énergie dans les places où la garnison de combat est très-forte par rapport à la garnison exigée pour la garde seulement de la place.

La huitième, enfin, que les communications souterraines étant exposées aux commotions latérales et obliques, aussi bien qu'aux commotions verticales, la forme la plus avantageuse à donner aux galeries en

maçonnerie sera la forme annulaire, qu'on façonnera en anneau elliptique, pour se rapprocher des dimensions habituelles des passages et de celles du corps humain.

La deuxième règle, ainsi que les deux dernières, quoique fort importantes pour se décider sur l'application des mines défensives, n'influant pas sur la disposition à leur donner, nous nous contenterons d'en avoir fait mention, et nous allons nous occuper de chercher une méthode qui satisfasse aux autres. Nous suivrons principalement Mouzé, comme le mineur dont l'intelligence et l'habileté sont le plus généralement préconisées.

Et puisqu'il ne s'agit pas pour nous de recherches spéculatives, ce ne sera pas dans les fronts de la place idéale que nous choisirons notre modèle d'application, parce qu'il n'y a pas dans le royaume un seul front établi suivant ce dessin; mais nous prendrons un front de Cormontaigne, tel que vous en trouverez partout, et auquel, par conséquent, vous pourrez être appelés à faire cette addition, si jamais vous avez l'honneur de diriger la défense d'une forteresse ou d'y participer. Nous nous sommes efforcé d'ailleurs de donner aux ouvrages de la place idéale une disposition qui favorise l'application des contre-mines, en sorte qu'il vous sera aisé d'opérer par analogie, dans l'emplacement à donner aux galeries de votre épure.

Pour satisfaire à la première règle, nous bornerons nos constructions permanentes (*pl. III*, *fig.* 13) à une galerie majeure adossée à la contrescarpe du chemin couvert, avec des demi-galeries poussées dans diverses directions, sans aucune uniformité, afin de rendre d'autant plus difficile à l'adversaire l'appréciation précise de leur position par rapport aux points fixes dont nous ne pouvons l'empêcher de reconnaître la situation. Leur espacement aura été déterminé d'ailleurs par des expériences sur la distance à laquelle on peut entendre le bruit des travaux souterrains et à la surface, et réglée de manière à être moindre que le double de cette distance. Alors le mineur ennemi ne pourra jamais pénétrer entre elles sans que sa présence soit signalée. Deux de ces demi-galeries seront placées, sans symétrie, l'une à droite, l'autre à gauche de la capitale du front, et seront reliées par une transversale, laquelle deviendra le point de départ des dispositions à prendre pendant le siége sous l'emplacement des cavaliers de tranchée et des parties circulaires. Plusieurs amorces d'écoutes partiront de l'arrondissement de la contrescarpe et seront poussées non loin de cette transversale, afin de la détruire complétement lorsque l'ennemi s'en sera emparé de

manière ou d'autre. Ces écoutes doivent devenir en même temps les tiges des gros fourneaux, à l'aide desquels on produira l'entonnoir continu, dont nous avons parlé dans la leçon précédente.

Admettons que les demi-galeries soient espacées moyennement de 30 mètres, et que le chemin couvert de la demi-lune ait 150 mètres de face; il y en aura au plus six devant chaque face de la demi-lune et quatre autour de la place d'armes rentrante et devant le bastion. Nous les arrêterons à 25 mètres de la crête du chemin couvert, ce qui, vu l'obliquité, peut les pousser à 35 ou 40 mètres de la contrescarpe, ayant soin d'y laisser, de 10 en 10 mètres, des amorces pour les rameaux qu'on voudrait en faire partir, à droite et à gauche. Ces galeries seront placées assez près du niveau des sources (soit que le fond des fossés s'en rapproche et qu'on les place dans un même plan, soit qu'on descende en pente jusqu'à la cote nécessaire), pour qu'il devienne impossible de pousser des rameaux par dessous sans être entendu. Si la contrescarpe est soutenue par un revêtement en décharge, chaque berceau offrira, en outre, une amorce, pour des rameaux intermédiaires. A défaut de cette faculté, des amorces seront aussi laissées, à des intervalles de 10 à 12 mètres, dans le pied-droit de la galerie majeure. Les entrées des demi-galeries et des rameaux sont fermées en maçonnerie sèche, mais on prépare les battées et les gonds pour les portes en charpente que nous avons décrites et qu'on tient en magasin; des portes roulantes seront souvent préférables comme moins sujettes à entraver la circulation. Près de leurs extrémités sont également des battées et des arrière-voussures pour les portes qu'on doit y placer, si on débouche par là. On ne négligera pas non plus de laisser, à 6 ou 8 mètres en avant de ces portes, derrière les maçonneries, de petites niches, destinées à recevoir des camouflets, par lesquels on enfoncera les galeries, si l'ennemi tentait de s'y introduire de vive force, et on disposera les contre-puits, pour les défendre contre les attaques venant par le dessus. On aura soin, en outre, de construire, à l'entrée et sur les côtés des principales galeries, de petits locaux destinés à servir de corps de garde, de magasins d'outils, d'armes, de terre et de poudre, afin que la défense ait constamment à portée tout ce qui est nécessaire à la guerre souterraine la plus active.

Telles sont les dispositions permanentes auxquelles nous nous bornerons sous les glacis. Dans l'intérieur des ouvrages à réduit, nous pousserons de la contrescarpe de celui-ci des demi-galeries, jusque sous la crête du parapet, espacées moins que celles sous les glacis et

dirigées vers divers points, mais spécialement vers ceux où l'on peut supposer que la brèche sera ouverte. Remarquons que si les revêtements sont établis en décharge avec deux étages de voûte, et que l'étage inférieur soit au-dessous du niveau jusqu'auquel le canon ennemi peut plonger, il donnera la facilité d'établir une galerie crénelée, qui rendra presque impossible l'attachement du mineur au revêtement, en sorte que si des fourneaux placés sous le fossé dispersaient les décombres de la brèche, il resterait un escarpement trop grand pour être franchi sans échelles, tandis que la sape dans le fond du fossé rencontrerait des difficultés quasi-insurmontables, ce qui obligerait le mineur ennemi à passer sous le fossé, si le terrain le permet. Mais alors l'assiégé se portera au-devant de lui, afin de contrarier son passage par des fourneaux et par les chicanes de la guerre souterraine, avec l'avantage de n'avoir rien à craindre du globe de compression, que l'assiégeant ne peut employer sans détruire lui-même les logements sur la contrescarpe qui assurent ses approches, ni des puits, impossibles à entamer à cette proximité de la galerie. Il semble qu'on pourrait donc utilement établir une disposition permanente de fourneaux sous le fossé, rendant leur communication indépendante des contre-mines sous le glacis, renforçant, au besoin, le pied du revêtement par un massif en maçonnerie, afin de reporter l'effet des poudres vers la contrescarpe; elle servirait en même temps, comme nous l'avons dit, à disperser les éboulis de la brèche, lorsque l'assiégeant serait parvenu à en ouvrir une, malgré les obstacles qu'on lui oppose. Si le revêtement est plein et le niveau des sources trop rapproché du fond des fossés pour admettre la construction des fourneaux et la guerre souterraine, on attendra le mineur ennemi lorsque, ayant percé le revêtement, il fera des crochets derrière, afin d'arriver aux contre-forts. A la proximité où l'on s'en trouve, il lui sera impossible de n'être pas découvert dès les premiers moments de son travail, et bientôt un camouflet fera justice de son audace, s'il ose s'aventurer entre toutes les embûches préparées. S'il tente de s'emparer de l'ouvrage par un assaut, après l'avoir ouvert par le canon, les fourneaux placés sous le parapet creuseront la brèche et la rendront impraticable, puis disperseront les massifs qui le couvriraient à revers contre les ouvrages collatéraux, etc.

Des dispositions semblables seront prises sous les demi-lunes à réduit et sous les bastions retranchés, en partant de la contrescarpe des retranchements. Les dispositions sous le fossé capital s'embrancheront sur une galerie majeure placée sous le terre-plein du bastion, et se

bifurquant comme la communication du bastion retranché de Cormontaigne, avec un magasin central à leur rencontre. La galerie majeure devra avoir, près de chaque demi-galerie, un élargissement de 2 mètres sur 8 à 10 mètres de longueur, afin d'offrir une surface suffisante pour le dépôt des terres, bois, etc., qui doivent servir à la construction des rameaux et au bourrage.

Conformément à la huitième règle, nous donnerons à toutes nos galeries en maçonnerie la forme d'un anneau elliptique, dont les axes auront, dans œuvre :

Les grandes galeries . . .	$2^m,30$ sur $1^m,20$.
Les demi-galeries	$1^m,50$ sur $1^m,20$.

La maçonnerie ayant partout une épaisseur égale de $0^m,42$ ou de deux briques boutisses, bien placées en coupe, les joints normaux à la courbe formant chaque anneau boutisse séparément, pour éviter des joints trop épais. Cette construction n'exigera guère plus de maçonnerie que les galeries en berceau usitées, et présentera une résistance bien supérieure aux commotions latérales et obliques.

Lorsque l'ouverture de la tranchée aura révélé le front d'attaque choisi par l'ennemi, si d'autres indices certains, comme les reconnaissances spéciales et les dépôts de matériaux, n'ont pas indiqué plus tôt son dessein, on se portera aussitôt au-devant de lui jusqu'au pied du glacis, et sur les points où les batteries les plus dangereuses doivent être construites, en même temps qu'on établira des communications latérales entre les travaux permanents, pour faciliter l'aérage. Ces constructions pourront ne pas partir exactement du bout des galeries maçonnées et n'être pas dirigées en ligne droite, ni parallèlement aux capitales, car c'est à quoi l'ennemi s'attend, c'est une donnée sur laquelle il basera son projet d'attaque; or, nous avons le plus grand intérêt à lui dérober la connaissance de la position de nos chemins souterrains, sûrs que s'il échoue une ou deux fois dans ses attaques par puits, avec perte de ses mineurs, le reste sera si bien dégoûté, que ses chances de succès, proportionnées à la rapidité du travail, en seront fort diminuées. Nous nous consolerons donc du surcroît d'ouvrage qui en résultera, en considération de l'énergie que notre défense souterraine en doit recevoir. D'ailleurs, nous avons au moins 200 heures devant nous, le point le plus éloigné où nous voulions nous porter n'est guère qu'à 50 mètres de notre transversale, et nos rameaux, faits sans crainte de l'ennemi, avanceront au moins de 12 mètres par 24 heures, et pour-

ront avancer de 18 à 20 mètres dans les terrains favorables. Toutes nos ressources sont d'ailleurs appliquées uniquement sous le glacis de la demi-lune, comme le point le plus saillant, et une compagnie de mineurs, aidée par des servants tirés de l'infanterie, sera suffisante pour construire les travaux dont nous aurons besoin. Quant à l'ordre du travail, on compte 18 mineurs par rameau ou *attaque*, partagés en 3 divisions de 6 hommes, lesquels sont relevés après 6 heures de travail et ont 12 heures de repos. Il y a trois premiers mineurs qui fouillent et boisent. Il en faut trois autres pour l'apport des matériaux et l'assistance des premiers, plus un servant d'infanterie par 30 mètres de galerie, pour le roulage des terres, et deux par attaque de rameaux, pour passer les paniers. De cette manière, le travail se poursuit sans relâche et sans distinction de jour et de nuit. A chaque saillant, un sergent conduit les travaux et est relevé également toutes les 6 heures, tandis que les officiers dirigent le tout et sont de service 18 heures de suite.

On construit alors les fourneaux en avant de la transversale, sous l'emplacement présumé des cavaliers de tranchée et de la partie circulaire, et on pousse des écoutes à 20 ou 25 mètres plus en avant, pour entamer la guerre souterraine, si l'ennemi voulait employer les globes de compression. Ces écoutes seront descendues aussi profondément que possible, afin de les soustraire à l'action des puits, et espacées de manière à ce qu'il soit impossible de travailler entre deux sans être entendu. Si l'aérage éprouve de trop grandes difficultés, il faut les relier par des transversales. — Autant que possible, on établira deux étages de fourneaux, calculant leur ligne de M. R., en sorte que l'effet des seconds ait lieu du côté de l'entonnoir des premiers. Et si le temps, les lieux et les moyens le permettent, on pourra disposer un troisième étage. Les deux premiers étages sont chargés et bourrés pleins, et c'est dans cette position qu'on attendra l'approche de l'ennemi, prêt à mettre le feu, s'il vient à portée des fourneaux, ou à se porter vers lui, s'il voulait employer les globes de compression. Nous proposons deux étages, afin de pouvoir étouffer le mineur assiégeant par l'explosion des fourneaux du second, si, après avoir couronné les entonnoirs du premier, il voulait loger des poudres au fond, afin de détruire toute la disposition par une commotion. La multiplicité des écoutes, dont à présent il ne peut pas connaître la position exacte, puisqu'elles viennent d'être construites, lui ôte les moyens de les enfoncer, à moins qu'il ne multiplie aussi les puits, au point de bouleverser tout le terrain sur lequel il

doit marcher, et les commotions ne détruiront pourtant probablement pas les fourneaux, puisqu'ils lui présentent la moindre surface possible et sont bourrés. Pendant ce temps, on prépare les camouflets, qui détruiront la transversale quand son effet sera épuisé, et on construit les fourneaux destinés à produire l'entonnoir continu. Les flancs de la transversale sont défendus par les fourneaux entés sur les demi-galeries des branches, et quand tout est chargé et bourré, on attend de nouveau l'approche de l'assaillant pour le frapper s'il se met à portée de nos armes. En adoptant cette marche, les fourneaux défendent toujours l'accès vers les galeries, et l'ennemi est obligé de multiplier les globes de compression pour détruire toutes les dispositions. S'il préfère placer ceux-ci au fond de puits, au lieu de faire des rameaux bourrés, sans doute il gagnera du temps, mais la consommation de poudre deviendra exorbitante, et en tout cas, la construction de ses logements et de ses batteries sera sensiblement retardée.

Nous avons dit qu'on pouvait employer plusieurs moyens pour induire l'ennemi en erreur sur la position exacte des galeries maçonnées. En effet, 4 à 5 mètres d'erreur dans le calcul de leur emplacement suffiront pour faire échouer son attaque, et dès lors il ne s'agit que de faire varier la position des points fixes, qui doivent lui servir de repère, assez pour que les prolongements de la droite, passant par deux de ces points, s'écartent autant de la capitale primitive. Nous essayerons d'y parvenir, en déplaçant l'arête des glacis et celle de l'angle flanqué de la demi-lune par un épaississement de quelques mètres fait au parapet de cet angle flanqué sur une face, recoupant le talus extérieur d'autant, et par un mouvement de terre semblable, mais en sens inverse, fait à l'angle de la place d'armes saillante. Nous savons que l'ennemi se sert de la position de ces arêtes dans la détermination des capitales, comme il s'aide de la manière dont les talus sont diversement éclairés pour déterminer les prolongements des faces. Si donc il ne s'aperçoit pas de notre ruse, il est sûr qu'il prendra une direction erronée, que les ricochets en seront moins efficaces, et surtout qu'il ne conclura plus de là à la position des galeries. Ce dernier résultat sera obtenu encore, quand même la ruse serait découverte, car il lui sera toujours extrêmement difficile de s'assurer de combien de mètres la capitale a été déplacée, et cela seul l'empêchera de procéder sans hésitation à la destruction des galeries. Je ne sais si je me trompe et si cette manœuvre ne produirait pas dans la pratique l'effet qu'elle promet au premier aperçu, mais j'y vois un

obstacle puissant au mode d'attaque proposé par Mouzé, et le travail qu'elle occasionnerait ne serait jamais bien considérable.

Un autre moyen est d'ériger des flèches en contre-approche à la queue du glacis, si la garnison est assez forte pour se livrer à ces travaux. Placées en arrière ou au-dessus des premiers fourneaux, elles empêcherait l'ennemi de pousser une sape volante sur la communication qui y conduit, et l'obligeraient à commencer la guerre souterraine à 120 mètres de la palissade, car quel que soit le talent des ingénieurs assiégeants, il est peu présumable qu'ils retrouveront la nuit et dans le désordre d'une attaque de vive force, qu'ils retrouveront, disons-nous, l'alignement des écoutes avec assez d'exactitude pour avoir beaucoup de chance de les enfoncer, surtout si l'assiégé a pris la précaution de ne pas placer la flèche précisément et symétriquement sur la capitale du front. Dans les grandes places, on pourrait ainsi ajouter une disposition de fourneaux aux deux que nous avons indiquées, et s'en servir pour disputer l'approche des flèches, comme pour bouleverser celles-ci, lorsque l'ennemi serait parvenu à s'en rendre maître, et c'est à cet effet qu'on se bornerait si la défense extérieure ne pouvait être soutenue avec vigueur, faute d'une garnison suffisante, dans les places moins importantes. En tout cas, l'emplacement des contre-approches sera le point de départ de la guerre souterraine, car leur enlèvement de vive force révélerait trop les vues de l'assiégeant, pour que l'assiégé fût après cela excusable de se laisser dérober des établissements à la sape volante et le creusement de puits d'attaque.

Quant à la disposition des fourneaux de chaque tige, elle dépend du but qu'on se propose d'atteindre. Les fourneaux de l'étage le plus élevé, devant barrer le passage aux sapes, seront espacés du double de leur ligne de moindre résistance. Ceux du second étage seront éloignés des premiers de $^7/_4$ de cette même longueur, mais mesurée de fourneau à fourneau et non dans le plan horizontal. Comme on désire que leur effet ait lieu vers l'entonnoir des premiers, il faudra que la distance entre le fourneau et les parois de l'entonnoir ne soit pas beaucoup plus grande que leur ligne de M. R., ce qui suffira pour obtenir la direction voulue, la commotion éprouvée par les terres autour de l'entonnoir ayant détruit leur ténacité. Cette considération déterminera la profondeur à laquelle les seconds fourneaux souvent désignés par les mineurs sous le nom de *fourneaux en retirade* seront placés, leur espacement suivra la règle des fourneaux séparés, le double ou au

moins les $^{7}/_{4}$ de la ligne de M. R. Un troisième étage devrait être établi d'après les mêmes principes, en sorte qu'il y aura moins de fourneaux au second étage qu'au premier, au troisième qu'au second. Les différences de niveau des fourneaux situés sur la même tige s'obtiennent en faisant descendre ou grimper les rameaux proportionnellement à la distance. Par exemple, un fourneau de 6 mètres de ligne de M. R. demandant 12 mètres de rameau pour être convenablement bourré, s'il part d'une écoute placée à 8 mètres de profondeur, on fera monter le sol du rameau au $^{1}/_{6}$. Le *maximum* de cette inclinaison sera du quart; s'il fallait le dépasser, il serait préférable, pour la facilité des communications, de descendre d'abord par un puits vertical, et de partir de là, en inclinant le rameau convenablement. On pourrait aussi construire le rameau à gradins.

Les fourneaux qui doivent former l'entonnoir continu se placent à côté des demi-galeries; on donne aux rameaux la forme d'un T ou d'un trèfle, et on fait les espacements de manière que les entonnoirs à la surface coupent un angle de 120°. Des écoutes poussées en avant serviront à défendre l'approche des fourneaux, si l'assaillant voulait les éventer ou enfoncer la transversale qui les réunit. L'espacement des fourneaux proportionné à la longueur de la ligne de M. R. étant un problème de géométrie élémentaire, nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet, les exemples précédents étant suffisants pour vous guider dans l'application.

Nous supposons qu'on a formé un réduit blindé ou blockhaus dans la place d'armes saillante, et remplacé également la traverse intermédiaire dans le chemin couvert par une traverse blindée, afin de prévenir l'attaque de vive force et l'enfoncement de la galerie majeure; sans cela, il faudrait disposer des contre-puits ou des fourneaux sous toute l'étendue du chemin couvert; mais nous avouons n'avoir aucune confiance dans cette dernière défense souterraine, car la moindre démonstration ennemie fera abandonner le chemin couvert par ses défenseurs, redoutant d'être eux-mêmes victimes des explosions, et probablement ces mêmes démonstrations suffiraient pour engager les mineurs à mettre le feu aux amorces et à se dégarnir ainsi de leur unique moyen de défense, avant le moment du danger véritable.

Les conditions de sûreté des ouvrages exigent la suppression de toute galerie qui conduirait de l'extérieur à l'intérieur sous le fossé, à moins qu'il ne s'agisse d'un fossé de réduit ou de retranchement. Peut-être conviendrait-il, pour mieux satisfaire au troisième principe posé

ci-dessus, d'interrompre la galerie magistrale de contrescarpe de manière à isoler le groupe de contre-mines devant la demi-lune du groupe des places d'armes rentrantes et celui-ci du groupe établi devant le bastion. Le système à écoutes isolées (*t. II, pl. VI, fig.* 19), que plusieurs ont proposé dans ces derniers temps, serait le terme extrême de celui *à groupes distincts ;* mais nous ne saurions l'admettre, à cause de la complication et des difficultés qu'il crée pour le service souterrain.

Les dispositions permanentes que nous avons décrites ne sont néanmoins pas indispensables pour tirer parti des mines dans la défense. Lors même que la place n'aurait aucune galerie maçonnée, si le terrain est propre à la guerre souterraine, il suffit qu'on ait des mineurs, du bois et de la poudre ; seulement, les dispositions préparatoires exigeant plus de temps, il ne faut pas attendre l'ouverture de la tranchée, mais utiliser activement l'intervalle entre l'investissement et le commencement des attaques, estimé habituellement de 10 à 15 jours. On l'emploie à préparer les communications souterraines sur tous les fronts, car les travaux préparatoires doivent exister sur tous, sauf à n'établir les fourneaux que sur le front attaqué. Ces travaux consisteront (*pl. III, fig.* 12) dans une écoute en capitale, ou à peu près, partant de l'arrondissement de la contrescarpe devant la demi-lune. La première partie de cette écoute, sur 24 mètres de longueur, sera en grande galerie, pour servir en même temps de magasin ; puis on la prolongera en demi-galerie jusqu'à 20 mètres en avant de la palissade du chemin couvert. Sitôt que le front d'attaque sera connu, toutes les brigades de mineurs se réuniront sur le front attaqué et formeront, en demi-galeries, deux écoutes parallèles à la première, à une distance telle qu'elle soit égale au double de la ligne de M. R. qu'on veut donner aux fourneaux. On cherche à embrasser ainsi tout le terrain compris entre des parallèles à la capitale passant par les premières traverses, parce que c'est là que l'ennemi peut le mieux conduire des sapes debout, lorsque la violence de son feu a presque annulé celui qui part de la place d'armes saillante. Ces écoutes seront reliées par trois transversales ; la première, non loin de la contrescarpe, à 6 ou 8 mètres, sera en demi-galerie et servira de lieu de dépôt, les deuxième et troisième, en rameau, servent à établir des courants d'air, afin de permettre de prolonger les écoutes jusqu'à 40 mètres environ du saillant du chemin couvert, sous la partie circulaire et les cavaliers de tranchée. On combine alors les fourneaux placés aux extrémités, de manière à enlever par leur jeu les têtes de sape, à quelque point de la

partie circulaire qu'elles débouchent, et on pousse également des rameaux sous les cavaliers de tranchée. Les transversales seront fermées de portes, pour préserver les galeries de l'infiltration de la fumée des fourneaux de l'écoute parallèle. On laisse dans les écoutes des amorces pour les rameaux, par lesquels on se portera au-devant du mineur ennemi, lorsque la guerre souterraine sera engagée.

Enfin, on dispose sous le glacis une série de fourneaux, destinés à bouleverser les batteries de brèche, supposées établies entre la première et la deuxième traverse et autour de la place d'armes saillante, espaçant les fourneaux et les avançant au delà de la crête du chemin couvert, suivant la profondeur à laquelle on veut les placer. Les entonnoirs doivent se toucher ou se couper par le haut, et leur axe se place à la distance de la crête du chemin couvert, où l'on présume que les crosses des affûts se trouveront, afin que l'effet de l'explosion tende à projeter les pièces dans le fossé ou le chemin couvert. On ne fait qu'une communication pour deux fourneaux, la première partie, de 5 à 6 mètres de longueur, en demi-galerie, le reste en rameau.

Pendant l'attaque de la demi-lune, on fera également un dispositif autour du bastion (*pl. III, fig.* 11), construisant une rangée de fourneaux destinés à bouleverser les batteries de brèche et les contre-batteries. Leur espacement et leur distance de la contrescarpe seront proportionnés à leur ligne de M. R. On défend l'approche de chaque couple de fourneaux par un troisième, placé au bout de l'écoute, à 20 mètres environ de la crête du chemin couvert. Si le terrain permet de donner des lignes de M. R. de 6 mètres, sur un front de 350 mètres de polygone extérieur, cinq systèmes de trois fourneaux suffiront pour enceindre le bastion.

Dans la même supposition, tout l'appareil que nous avons décrit exigerait 24 mètres de grande galerie, 162 mètres de demi-galerie et 432 mètres de rameau, qui pourraient être exécutés en 22 jours, par une demi-compagnie de mineurs, assistés de 120 servants d'infanterie.

J'ai extrait du traité de Mouzé un tableau (n° 6, à la fin des leçons sur les mines), indiquant la quantité de bois de diverses espèces, nécessaire au coffrage des galeries de toutes les dimensions. C'est encore un document utile à inscrire sur vos carnets, pour avoir, en cas de besoin, une approximation des quantités requises, en bois de sciage et planches, pour la conduite d'une attaque ou d'une défense par les mines. Pourtant, il ne faudrait pas en conclure que tous ces bois soient indispensables, le calcul étant basé sur un boisage plein, alors qu'à moins

d'un terrain très-défavorable une bonne partie pourrait être exécutée sans boisage aucun ou avec un demi-boisage. Des mineurs intelligents sauront d'ailleurs tirer parti de bois ronds aussi bien que de bois de sciage.

La poudre nécessaire à la défense complète de tout un front, disposé comme nous l'avons décrit plus haut, est calculé par Mouzé monter à 48,000 kilog., et elle est évaluée à 30,000 kilog., quand aucune galerie permanente n'existait dans la place.

Les travaux exécutés pendant le siége n'ont sans doute ni la solidité ni la facilité de communication qu'offrent les galeries permanentes. En revanche, il est bien plus difficile à l'assiégeant d'en connaître l'existence et d'en apprécier l'étendue, ce qui les préserve en quelque sorte de l'attaque par puits, incontestablement la plus dangereuse à laquelle ils puissent être exposés. Diverses tentatives ont été faites en France, dans les écoles régimentaires du génie, pour trouver contre ces attaques une défense plus sûre que celle des contre-puits; on a essayé de loger des poudres au fond d'un trou de sonde donné dans la direction où le bruit décèle les fouilles, et de créer ainsi instantanément une fougasse. Mais quoique quelques-uns de ces essais aient offert d'assez beaux résultats, ils n'ont été ni assez décisifs, ni assez constants, pour qu'on puisse compter avec raison sur leur efficacité.

Depuis quelque temps on s'est beaucoup occupé de l'établissement et du jeu des mines submergées ou *sous-marines,* destinées soit à détruire des corps immobiles, flottants ou échoués au fond de l'eau, soit à faire sauter et couler les navires en marche. Dans les deux cas, l'emploi de l'électricité paraît avantageux pour déterminer les explosions; mais les chances de succès sont bien moindres au second cas qu'au premier.

D'après les expériences tentées tant à l'étranger qu'en Belgique (on vient d'en faire une très-intéressante à Anvers, au mois d'août 1864) il est permis d'espérer une solution satisfaisante des difficultés qu'offre le problème. Lorsqu'il s'agit de la défense d'une passe obligée, telle que celle du Bas-Escaut, il est de la plus haute importance de disposer les fourneaux, non-seulement de manière à préserver indéfiniment les poudres des effets de l'humidité, mais à en produire l'inflammation inévitable et opportune sous le choc même de tout bâtiment ennemi qui se présente à portée. On parvient à réaliser la dernière condition, en plaçant l'appareil électro-magnétique de façon à faire fermer le circuit par ce bâtiment.

Jusqu'à ce jour, les mines sous-marines n'ont pas donné de résultats bien marquants à la guerre; mais, étant douées d'une grande puissance préventive, en raison de la terreur qu'elles inspirent, elles ont eu déjà, comme à Cronstadt, cette conséquence éminemment utile : de forcer l'ennemi à la plus extrême circonspection et de le retenir assez au large pour l'empêcher de nuire.

Les mines submergées s'emploieraient aussi avec avantage contre le passage des fossés pleins d'eau, dans un siége régulier. L'essai fait à Metz, en 1844, dans le fossé de la demi-lune du front de Chambière, ne laisse aucun doute à cet égard.

Pour compléter ce que nous avons à dire des mines, nous ajouterons quelques mots sur les démolitions qu'on opère par leur moyen.

Vous trouvez dans la table des charges celles qui sont propres aux diverses espèces de maçonnerie, et il ne s'agit donc que de savoir comment on doit disposer les fourneaux. Cormontaigne, qui avait présidé à la démolition de plusieurs places, de celle de Menin entre autres, dans les années 1747-1748, prescrit de placer de petits fourneaux accouplés, encastrés dans l'épaisseur du revêtement, à l'origine des contre-forts, les espaçant de deux contre-forts en deux contre-forts. Le rameau est alors percé à travers le revêtement, au droit d'un contre-fort, et retourné d'équerre des deux côtés le long du parement intérieur. Les fourneaux n'ont que de faibles charges et abattent cependant tout le mur d'escarpe. Appliquée aux contrescarpes, la même méthode exige encore moins de poudre.

Quand on suit ce système, il est nécessaire de placer les fourneaux aussi bas que possible (le *Manuel du mineur* dit à $0^m,30$ au-dessus du niveau des sources), afin que la destruction soit complète, car si les fourneaux sont au-dessus des fondations, celles-ci, soutenues par les terres, souffrent fort peu, et même les contre-forts ne sont pas très-endommagés, le mur d'escarpe cédant trop vite pour que l'action sur les maçonneries engagées dans les terres soit fort violente. Il en résulte que si les terres ont quelque consistance, les terre-pleins et même la partie postérieure des parapets restent intacts, il n'y a que la maçonnerie à rétablir pour réparer le dommage causé, et même il est facile d'escarper les remparts assez pour offrir une défense dans l'état où l'explosion les laisse, les talus étant soutenus de proche en proche par les restes des contre-forts.

C'est cette considération qui a engagé d'autres ingénieurs à rendre la démolition plus complète, par l'emploi de quantités de poudre considé-

rables, réparties en quatre ou cinq fourneaux surchargés, les portant à la queue des contre-forts, pour que l'entonnoir comprenne toute la maçonnerie et tout le parapet, quoique en ayant soin que la ligne de M. R. soit du côté du fossé. Par ce moyen, ils recomblent le fossé, en même temps qu'ils détruisent le revêtement. Le général Chasseloup cite l'exemple d'un bastion où 4 fourneaux, chargés de 1,400 à 1,500 kilog., suffirent à la démolition d'une face de plus de 100 mètres de longueur, avec une partie du flanc, tout en recomblant le fossé en grande partie. Les fig. 85 à 88 de la pl. II, montrent divers dispositifs de fourneaux de démolition. Le n° 85, est relatif à la formation d'une brèche, en cas de siége, au moyen de 2 fourneaux établis contre le parement intérieur d'un mur d'escarpe. Au cas de fossés à l'eau, le mineur peut descendre par un puits (*fig.* 88) jusqu'à l'emplacement des fourneaux.

Dans la démolition des remparts de Vienne, en 1809, on a suivi pour cet effet une règle, ainsi formulée : s'il y a une galerie de mine adossée au revêtement, on place les fourneaux dans cette galerie, en les enfonçant de leur épaisseur dans la maçonnerie de l'escarpe et les espaçant de deux fois leur ligne de M. R. On bourre toute la galerie occupée par les fourneaux, plus, à chaque extrémité, une longueur correspondante à la charge du fourneau extrême; ou bien, regardant comme ligne de M. R. la distance de la galerie au parement extérieur du mur, on imagine une suite de fourneaux ordinaires, distants entre eux de deux fois cette ligne, et l'on calcule la somme de ces charges. On augmente cette somme de moitié, et on répartit la poudre dans la galerie en un certain nombre de tas, communiquant les uns avec les autres par de fortes traînées. On bourre ensuite toutes les issues avec beaucoup de soin, laissant vide seulement la longueur correspondante à la partie à démolir. Si la galerie a plus de 2 mètres en largeur ou en hauteur, ou si elle a un grand nombre d'issues difficile à bourrer, il faut encore augmenter la charge.

Cette règle, purement empirique, proposée par l'ingénieur Lebrun, peut sans doute être employée avec confiance dans des cas presque identiques; mais il serait difficile de se baser sur elle par analogie, puisqu'elle n'établit aucun rapport entre le cube de la poudre et le vide laissé, tandis qu'évidemment il doit en exister un entre le cube du gaz dégagé, proportionnel au volume et au poids de la poudre, et le volume d'air à comprimer. La compressibilité des terres doit aussi jouer un rôle en ceci, et probablement l'augmentation de la charge ne devrait

pas être la même avec un remblai en sable qu'avec un remblai en terre glaise; mais la théorie des mines n'est pas assez avancée pour porter ces différences en compte exact et pour mesurer leur influence sur les charges.

Dans ses formules, Lebrun avait égard à la résistance des maçonneries, puisque les charges de ses fourneaux ordinaires furent calculées à raison de 20 livres de poudre par toise cube, soit $1^k,32$ par mètre cube, c'est-à-dire presque le double de ce qu'exige la terre ordinaire des mineurs. La commission de Bapaume a fait l'essai de sa méthode sur la face droite du bastion 3 de cette place, non pas dans un simple but de démolition, mais en vue d'ouvrir une brèche praticable (*voyez* la *fig.* 8, *pl. III*). La ligne de moindre résistance étant de $3^m,30$, et la portion de galerie laissée entre les deux bourrages de 20 mètres de longueur, le dispositif comportait 3 fourneaux ordinaires de 83^k de poudre. La charge totale, $83 \times 3 + \frac{83 \times 3}{2} = 373^k,5$, fut déposée dans la galerie en trois tas égaux de $124^k,5$, formés de petits barils défoncés et reliés entre eux par de fortes traînées de poudre. Le résultat de l'explosion n'a pas répondu à l'attente. Les décombres, projetés en partie au-dessus de la contrescarpe, ne furent point recouverts par la terre, et la rampe de la brèche présenta, vers le sommet, un escarpement vertical de 2 mètres à $2^m,50$ de hauteur. La charge de démolition doit donc être considérée comme trop grande pour l'objet qu'on avait en vue ici, et il reste à éclaircir si une charge moindre, telle, par exemple, que la charge qui résulterait de la règle, en prenant les charges élémentaires comme pour les fourneaux ordinaires en terre ordinaire, si cette charge ainsi réduite et placée dans la galerie d'escarpe peut former une bonne brèche, ou s'il faut établir les fourneaux dans les terres du rempart derrière la maçonnerie, ainsi qu'on le pratique quand il n'y a pas de galerie.

Quand un mur n'est pas terrassé, il suffira pour l'ouvrir, s'il a au-dessous de $0^m,90$ d'épaisseur, d'y appliquer un ou deux barils de poudre, de 50 kilog., et d'y mettre le feu.

Si le mur a de $1^m,50$ à 2 mètres, il faut établir des fourneaux sous ses fondations et à l'aplomb du milieu de son épaisseur. (*Pl. II*, *fig.* 84.)

Si l'épaisseur allait jusqu'à 3 ou 4 mètres, on ouvrirait un rameau, perpendiculaire au revêtement, aussi près que possible de la surface des eaux, on ferait un retour à droite et à gauche au milieu de l'épaisseur, et on placerait des fourneaux à l'extrémité. Pour de faibles lon-

gueurs, tant d'apprêts seraient cependant superflus, car de simples pétards de 2 à 5 kilog., suivant la ténacité de la maçonnerie, creusés jusqu'aux $^2/_3$ de l'épaisseur du mur, suffiraient à sa destruction. C'est ainsi que nous avons vu démolir un batardeau sous l'eau, en introduisant au fond du trou du pétard la charge et l'amorce renfermés dans une boîte de fer-blanc.

Cet exemple montre qu'il ne serait nullement impossible de se servir de fougasses sous le niveau des eaux, moyennant les précautions nécessaires, et on pourrait en tirer parti dans les places, surtout dans celles à manœuvre d'eau, en disposant les charges dans des caisses métalliques, avant d'abandonner la contrescarpe, et se réservant les moyens d'y mettre le feu. Leur effet serait d'autant plus assuré que l'ennemi s'en défierait moins. Cette idée utilisée avec intelligence serait le moyen de frapper de terreur l'ennemi le plus audacieux. Il frémirait de se voir exposé aux explosions souterraines, alors que l'eau l'empêcherait de combattre son adversaire à armes égales, et prolongerait probablement le siége de quelques jours, à une époque où chaque heure gagnée est si précieuse pour l'assiégé. Au simulacre de siége en 1844, à Metz, on a fait sauter le passage en fascines d'un fossé plein d'eau, en enflammant, à l'aide de la pile, une charge de poudre renfermée dans une grosse bouteille (dame-jeanne), garantie elle-même contre les chocs par une caisse en bois qu'on avait fait échouer avant la construction du passage.

Les fig. 82 et 83 de la pl. II, font voir de quelle manière on parvient à pétarder le terrain au fond de l'eau.

Nous avons déjà expliqué, dans la conduite de la guerre souterraine, la manière dont on détruit les galeries de mine. On suivrait la même méthode, si tout un système devait être démoli, plaçant des fougasses le long des pieds-droits et compassant les feux, pour que l'effet simultané devienne le plus grand possible.

Quant aux magasins à poudre et autres édifices voûtés, il suffit d'en clore les ouvertures et de mettre la poudre en tas sur le plancher. L'explosion soulève la voûte, écarte les pieds-droits, et les débris retombants achèvent la destruction. On donne pour la quantitité de poudre à employer une règle empirique, consistant à calculer combien de fourneaux ordinaires il faudrait pour renverser un revêtement de l'épaisseur du pied-droit et de la longueur des pieds-droits et des pignons. On additionne les charges, qu'on augmente de moitié, les mettant en tas au milieu du magasin, pourvu qu'il n'ait pas plus de 140 mètres

carrés de surface. Dans le cas contraire, il faudrait augmenter la charge d'autant de fois la charge du fourneau de comparaison qu'il y aura de fois 8 mètres carrés au delà des 140. Cette règle paraît peu rationnelle; en effet, l'expansion du gaz et la compression de l'air ne peuvent pas être en rapport avec la surface du magasin, mais avec le volume. Ce serait donc à ce dernier que la charge devrait se proportionner. Il est vrai cependant que les volumes des magasins sont proportionnels aux surfaces quand les hauteurs sont constantes; ce qui arrive souvent.

Enfin, les édifices carrés n'ayant de force que par leurs angles, on les fera crouler facilement en plaçant 5 ou 6 kilog. de poudre sous chaque coin, déchaussant les fondations et recouvrant le trou dans lequel les poudres sont déposées de tous les matériaux, pavés, etc., qui peuvent augmenter leur action et la reporter sur les murs. Si cependant l'édifice était fort grand, cette disposition ne serait pas suffisante, et il conviendrait de partager les murs en bandes verticales, en démolissant à la pioche l'intervalle entre les portes et les fenêtres, puis plaçant de petits fourneaux sous les piliers ainsi formés. Le mode de construction doit d'ailleurs diriger l'ingénieur, qui fera certainement crouler une maison, s'il affaiblit et ébranle les murs sur lesquels la charpente des planchers et du toit repose. Il n'y a, par cela même, aucune prescription absolue à faire à cet égard, mais ce que nous avons dit des effets de la poudre est plus que suffisant pour vous diriger dans toutes les circonstances où vous auriez à l'employer.

Quand on veut, pour gagner du temps, opérer la destruction d'une voûte ou d'un mur en maçonnerie, par l'explosion de la poudre, en plein air et sans bourrage, on peut admettre, comme règle approximative, que la charge doit être égale à 5 charges de fourneau ordinaire en terre ordinaire, l'épaisseur de la maçonnerie étant prise pour ligne de M. R.

Il y aurait sans doute avantage, en mainte occurrence, d'employer pour les démolitions une poudre lente, telle que la poudre de mine au nitrate de baryte appelée *saxifragine*. Un décimètre cube de cet agent produit 1,804 litres de gaz, tandis que la poudre ordinaire n'en donne que 1,112 litres, d'où l'on peut inférer que la force de rupture théorique de la saxifragine dépasse celle de la poudre ordinaire d'environ 63 p. c.

L'appareil *Ruhmkorff*, réunissant les deux principales conditions de tout engin militaire, la simplicité et la puissance, rendra désormais l'emploi de l'électricité plus facile dans les mines.

TABLEAU HISTORIQUE

de la guerre souterraine ancienne et moderne.

Mines anciennes.

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
Avant J.-C. 569.	BARCÉ (place de la Pentapole de Lybie).	Un chaudronnier de la ville découvre le travail des mineurs assiégeants à l'aide d'un bouclier d'airain qu'il pose à terre en divers endroits pour y prêter l'oreille.
520.	CHALCÉDOINE (Asie mineure).	Darius, fils d'Hystaspe, fait creuser une galerie de mine de 2,775 mètres (15 stades) de longueur, et débouche dans la ville sur la place du marché que ses mineurs ont reconnue aux racines des oliviers qui y croissaient.
430.	FIDÈNES (Italie).	Le dictateur Servilius pousse ses mineurs jusque dans la citadelle bâtie au haut d'une montagne.
393.	VÉIES (Italie).	Le dictateur Camille pénètre avec ses troupes par une galerie souterraine dans le temple de Junon, construit au milieu de la citadelle.
332.	GAZA (Palestine).	Les sables s'opposant aux mouvements des machines d'approche des Macédoniens, Alexandre fait creuser des mines qui renversent la muraille.
326.	SABUS (Inde).	Les barbares sont épouvantés en voyant les Macédoniens sortir de terre au milieu de leur ville.
304.	RHODES.	L'Hélépole de Démétrius s'enfonce dans une galerie de mine de l'assiégé (Végèce). Selon Vitruve, elle demeure embourbée dans un amas d'ordures que les assiégés ont fait couler sur sa route.
232 à 178.	PALÉE DE CÉPHALÉNIE.	Philippe III de Macédoine y fait une brèche de 2 arpents (480 pieds) de largeur.
232 à 178.	THÈBES DE PHTIOTIDE.	Le même y fait une brèche de 200 pas; ses mineurs mettent 9 jours pour arriver jusqu'à la muraille; ils en sapent 200 pas en 3 fois 24 heures de travail continu. Le mur s'écroule avant qu'on ait mis le feu aux étais.

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
214.	Apollonie (Illyrie).	Tryphon, à l'aide de vases d'airain suspendus dans les contremines, découvre les mineurs assiégeants qu'il fait périr en versant sur eux de la poix bouillante, des vidanges de latrines, du sable rougi, etc.
189.	Ambracie (Étolie).	Les assiégés ayant éventé la mine d'attaque, la rendent inhabitable en brûlant des plumes dans un tonneau de fer percé de trous du côté de l'ennemi et muni d'un soufflet à l'autre bout.
86.	Athènes.	On se bat dans les galeries à coups de lances et d'épées. Une partie de la muraille, renversée par la mine, entraîne et écrase dans sa chute une foule de défenseurs. Cet événement répand la terreur dans la place.
68.	Thémyscire (Pont).	Les assiégés ouvrent les galeries d'attaque et y lancent des ours et d'autres bêtes féroces.
52.	Avaricum (Bourges).	Les mineurs gaulois mettent le feu par la base à la terrasse de César qu'ils attaquent aussitôt dans une sortie.
49.	Marseille.	Les Marseillais noient les mineurs romains en creusant et emplissant d'eau un grand réservoir en travers de la direction des galeries d'attaque, que l'eau envahit avec violence.
Après J.-C.		
502.	Amide (sur le Tigre).	La place fut surprise et enlevée par le roi de Perse Cavade à l'aide d'un ancien souterrain ; un soldat en avait découvert l'issue du côté de la campagne, où elle était fermée seulement par quelques pierres. Il aboutissait à une tour de l'enceinte occupée par des moines.
544.	Edesse (Mésopotamie).	L'assiégé contremine et met le feu par la base à la terrasse des Perses ; il lance ensuite des dards enflammés afin de donner le change sur l'embrâsement de la mine. Cosroès cherche vainement à l'éteindre ; les Perses sont chassés par une sortie et le siége est levé.
1109.	Durazzo (Illyrie).	Le contremineur souffle le feu grégeois au visage des mineurs assiégeants.
1175.	Alexandrie de la Paille.	Fréderic Barberousse parvient à pénétrer dans la ville par une galerie qu'il avait fait construire sous le fossé plein d'eau ; mais ses soldats sont massacrés en débouchant de la galerie.

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
1190 à 1191.	PTOLÉMAÏS (Saint-Jean-d'Acre, Palestine).	Brèche par la mine; contremines, engagements souterrains. — Pendant un assaut de la place, il y a sous terre une rencontre de mineurs (les mineurs assiégeants étaient des Pisans et des Génois) dans laquelle Musulmans et Croisés, frappés de la même pensée, conviennent de poser les armes et d'attendre, sans combat, l'issue de la lutte engagée à la surface. — Un vaisseau musulman, chargé de munitions de guerre pour la place et capturé en mer par Richard Cœur de Lion, avait à bord des serpents et des crocodiles destinés à la défense souterraine.
1197.	THORON (château près de Tyr).	Des mineurs Saxons des mines de Gosslar, pratiquent dans le roc des galeries souterraines et les conduisent sous les fondements des murailles qu'ils mettent en brèche. Les Musulmans, dans une sortie, viennent attaquer les croisés jusque dans leurs galeries de mines. L'approche d'une armée de secours fait lever le siége.
1204.	CHATEAU-GAILLARD.	Combats souterrains. Une partie de mur sapée s'écroule sous le choc de quelques pierres et avant qu'on ait mis le feu aux étançons; l'assaut réussit et Philippe-Auguste emporte la place, parce que ses soldats parviennent à y pénétrer par une galerie de contremines.
1226.	PÉKIN.	Gengis-Kan attache ses mineurs au pied de la muraille; les Chinois emploient contre eux des globes de fer remplis de poudre, qu'ils descendent à l'aide de chaînes et qu'ils font éclater en y mettant le feu avec de longues mèches.
1388.	CHATEAU DE GAESBÉEK (Brabant).	Les Bruxellois assiégeant ce château, demandent à leurs alliés les Liégeois, les mineurs nécessaires pour en faire tomber les murailles par la mine et par la sape.
1420.	MELUN.	Combats souterrains. Le roi d'Angleterre y prend part et joûte contre les chevaliers du Dauphin. Une traverse en bois sépare les champions.

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
1453.	CONSTANTINOPLE.	Feu grégeois employé dans les mines pour faire sauter la muraille ; n'était-ce pas de la poudre? il y a lieu de le croire, car elle était connue depuis longtemps.
	Mines à poudre.	
1487.	SARSANELLO (château de Sarsano, Toscane).	Un ingénieur Génois ouvre par une mine à poudre une brèche imparfaite qui n'amène aucun résultat. Pierre de Navarre, soldat mercenaire de l'armée génoise, est témoin de ce premier essai.
1500.	CÉPHALÉNIE (château St-George de).	Pierre de Navarre passé au service d'Espagne, fait creuser en plusieurs endroits le rocher sur lequel le château était bâti ; il y établit des charges de poudre, dont l'explosion abat les murailles. Le château est ensuite emporté d'assaut. Au même siége, les Turcs ayant fait une galerie souterraine pour favoriser les sorties, les mineurs assiégeants l'éventent, y jettent une quantité de poudre et la détruisent par l'explosion. (Paul Jove). Suivant l'historien Duponcet, le fourneau s'établit sous la tête de la galerie : le feu y est mis au moment où l'on vient de s'assurer que les travailleurs assiégés sont à l'ouvrage ; ceux-ci y périssent tous avec les ingénieurs qui les dirigent.
1503.	NAPLES (Château Neuf et Château de l'OEuf).	Une vieille citadelle attenante au Château Neuf est emportée d'assaut par une brèche ouverte à l'aide de la poudre. Un succès plus éclatant est obtenu au Château de l'OEuf. Le fourneau déchire le rocher dans une cavité duquel il avait été placé et précipite dans la mer une partie des murailles avec leurs défenseurs.
1509.	PADOUE.	Premières *mines* à poudre *défensives;* elles sont placées dans le massif des remparts attaqués. Les Vénitiens défendent la place contre une armée coalisée, sous les ordres de l'empereur Maximilien Ier. Les vétérans de l'armée de Gonzalve périssent ; la terreur inspirée par les mines est telle que la noblesse française, le fameux Bayard en tête, et la noblesse allemande refusent de marcher à un dernier assaut. Le siége est levé.

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
1512.	Bologne.	La muraille soulevée par une mine à poudre, retombe d'aplomb sur sa base sans se renverser; on croit à un miracle parce qu'il y avait en cet endroit une chapelle très-vénérée des Bolonais.
1515.	Milan (Château de).	Le duc Sforza s'y est renfermé avec sa cour. En apprenant qu'une mine a été pratiquée pour le faire sauter, il est saisi d'épouvante et capitule aussitôt. — Combinaison des mines anciennes et modernes par Navarre, alors au service de France.
1521.	Rhodes.	Martinenge se sert de *peaux tendues* sur lesquelles il place des grelots pour écouter et découvrir le mineur ennemi. Les Turcs ouvrent avec des fourneaux une brèche qui comble le fossé. *Nota.* Selon Folard, l'emploi comme moyen d'écoute de la peau tendue des timbales, portant des grelots, paraît remonter au siége de Croie, capitale de l'Albanie, en 1450.
1524.	Saint-André d'Écosse.	Premier emploi des *barils foudroyants* dans la défense des brèches; ils sont roulés du haut en bas de la rampe; ils étaient probablement montés sur des roues.
1524.	Marseille.	Les Marseillais font usage de contremines en défendant leur ville contre les Impériaux. Les femmes sont employées au transport des terres de la contremine que, par ce motif, on appela la *tranchée des Dames*.
1529.	Vienne.	Contremines opposées aux mines nombreuses des Turcs.
1536.	Péronne.	Les Impériaux font attaquer par la mine une grosse tour du château, laquelle remontait au XII^e^ siècle. Les mineurs étaient Namurois. Le gouverneur de Péronne dirige contre eux, par une des voûtes du château, une sortie qui en tue ou prend un grand nombre, dans les trous où ils sont déjà à couvert; il ordonne ensuite de contreminer. Les mineurs assiégeants n'en achèvent pas moins leur ouvrage; la mine est chargée de 15 *barils de poudre* : le feu y est donné le 5 septembre, à 5 heures du matin, et elle fait sauter une partie de la tour. Le comte

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
		de Dammartin qui était descendu dans la contremine vers 4 heures, demeure enseveli sous les débris avec une soixantaine d'hommes. Cependant l'assaut est repoussé et le siége est levé.
1237.	SAINT-POL.	La muraille est sapée à la façon des anciens, et le 15 juin, à 5 heures du soir, le comte de Buren, général des Impériaux, fait brûler les étançons qui soutiennent le ciel des galeries creusées sous le rempart. L'éboulement de celui-ci devient le signal de l'assaut et Saint-Pol est emporté.
1543.	ALBE ROYALE (Hongrie).	Un fourneau de contremine joue à contre-temps et tue un grand nombre d'assiégés. Après 3 heures d'une lutte acharnée, Soliman reste maître du bastion attaqué, le 29 août. — Deville attribue l'accident au défaut des porte-feu en usage avant le saucisson, ces porte-feu consistant en une traînée de poudre recouverte d'une planche ou de quelques pierres ou renfermée dans un tuyau. Ils n'étaient pas suffisamment protégés contre l'humidité ni contre les accidents du feu. — Attaqués à leur tour dans Albe, les Musulmans, pour s'y défendre, contreminèrent un faubourg, puis le boulevard de Javarin et enfin l'église cathédrale.
1553.	THÉROUANNE.	Le célèbre comte de Rœulx, général de Charles-Quint, avait recruté 300 mineurs Anglais : ceux-ci déblaient par différentes explosions une grande plate-forme ou contre-garde masquant le mur qui faisait face aux batteries d'attaque du Mont-St-Jean. La brèche est faite par le canon, mais l'assaut échoue. Les mineurs reprennent alors leurs opérations, et, malgré les contremines, mais grâce à un *mantelet* de nouvelle invention, imaginé par l'espagnol *Vega*, les travaux souterrains de l'attaque font de grands progrès. Les défenses essentielles sautent le 18 juin et la place est emportée le 20.
1553.	HESDIN (Vieil).	Les mineurs assiégeants, avec le secours des mantelets dont ils s'étaient servis au siége de Thérouanne, pénètrent sous le rempart

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
		du château, qu'ils font ébouler par différentes explosions. Pendant qu'on parlemente, un prêtre met le feu aux artifices préparés pour la défense de la brèche ; les Impériaux alors font sauter leurs dernières mines et achèvent ainsi de renverser l'enceinte du château, où ils pénètrent en foule.
1557.	SAINT-QUENTIN.	Les mines de brèche manquent leur effet à cause des nombreuses fissures que présentaient les vieilles murailles de la place.
1570.	GALERA (royaume de Grenade).	Défendue par les Maures et quelques alliés Turcs, contre don Juan d'Autriche, frère du roi d'Espagne Philippe II. Une première mine est creusée en trois jours dans le flanc de la montagne, de grès tendre, sur laquelle le château était bâti. La charge de 45 barils agit dans le sens de la galerie, qui était probablement trop courte. Deux autres mines sont établies ensuite en dix jours ; la première renverse une partie du château et lançant en l'air des quartiers de roc, élargit la brèche commencée par l'artillerie. La deuxième endommage moins les ouvrages, mais en faisant craindre une troisième explosion, elle jette l'épouvante parmi les assiégés. Les Turcs avaient proposé de se faire jour les armes à la main, en faisant évader les femmes et les enfants par une galerie souterraine qui aboutissait au bord de la rivière. Ayant repoussé ce projet, les Maures se défendent avec la rage du désespoir et périssent tous, à la réserve d'un petit nombre d'enfants au-dessous de douze ans. La place est incendiée et rasée jusqu'aux fondements.
1580.	CAHORS.	Premiers *pétards de rupture*. Henri de Navarre surprend la place, en enfonçant par ce moyen trois portes successives.
1585.	ANVERS.	Premières *mines flottantes* par Jennibelli. Il y en eut quatre, indépendamment de treize petits brûlots. Une seule atteignit et rompit le pont que l'assiégeant avait construit sur l'Escaut à la hauteur de Calloo ; à l'une d'elles le feu fût communiqué par une

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
		mèche à temps, essayée à l'avance; à une autre, à l'aide d'un briquet battu par la détente d'un réveille-matin.
1593.	Dreux.	Premier emploi du *saucisson* comme porte-feu par Sully.
1601 à 1604.	Ostende.	Déblai par la mine de traverses en terre qui masquent les batteries, suivi du feu de ces batteries contre les attaques. Le saucisson n'est pas encore employé à ce siége. Le porte-feu y consiste en un tuyau rempli de poudre qu'on allume au moyen d'une fusée servant d'amorce, qui est elle-même allumée à la main.
1621.	Riga.	Gustave-Adolphe ayant mis le siége devant cette place, les défenseurs établissent des mines sous le rempart d'une lunette avancée et donnent le premier exemple de la combinaison des sorties avec le jeu des fourneaux.
1632.	Benfeld.	Les mineurs dalécarliens de Gustave-Adolphe, ayant entendu le travail du contre-mineur, bouchent aussitôt la galerie d'attaque et changent habilement de direction.
1636.	Arras.	L'assiégeant conduit une attaque souterraine sous le fond du fossé sec d'un ouvrage à cornes et y fait brèche par la mine.
1638.	Le Catelet et Moncal de Montferrat.	Fourneaux de brèche établis dans le creux d'une galerie d'escarpe réussissent. (De Ville.)
1659.	Thorn.	Place défendue par les Suédois contre les Polonais. Ceux-ci y lancent de grosses pierres pesant plusieurs quintaux. Ils creusent à cet effet, dans le terrain rassis près de la contrescarpe, des trous en forme de mortiers avec une chambre pour recevoir la charge, à laquelle ils mettent le feu à l'aide d'une étoupille. On a vu dans ce procédé l'origine des *fougasses-pierriers;* mais c'est une erreur. Le chevalier de Ville (*Charge d'un gouverneur*) parle déjà de ces fougasses et dit que par leur moyen « on fait tomber une pluie de pierres qui fait grand dommage à ceux qui sont dans les tranchées et lieux découverts. »

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
1667 à 1669.	CANDIE.	Guerre souterraine sur une vaste échelle de part et d'autre ; fourneaux dont quelques-uns de 16,000 livres de charge. Terreur inspirée par les explosions. Les troupes les plus braves fuient au cri de *gare la mine*. *Déblai* par la mine *du pied* des rampes *des brèches*. Premier emploi des *camouflets ordinaires* ou petites *mines forées* dont la charge se pose au fond d'un trou de tarière.
1667.	MAESTRICHT.	Belle défense souterraine d'un bastion détaché pris et repris plusieurs fois.
1684.	LUXEMBOURG.	L'assiégeant maître de la galerie d'escarpe de la contregarde de Barlemont met *huit jours* à disposer 37 fourneaux, tant derrière le pied-droit intérieur que dans le pied-droit extérieur de la galerie. Il les charge de 13,300 livres de poudre et produit une *brèche de* 80 *toises* de longueur. Il eût pu, en plaçant cette charge dans la galerie même, ouvrir une brèche convenable en 24 *heures* de travail.
1706.	TURIN.	Un fourneau des assiégés lance dans le fossé de la place un canon de batterie de brèche. L'assiégeant fait couler l'eau d'un ruisseau, par une cheminée d'aérage, dans les galeries de contre-mine. — Il tente de pénétrer dans la place par une galerie passant sous le fond du fossé. — Héroïsme d'un mineur assiégé (Pierre Mica) qui se sacrifie pour faire avorter l'entreprise. — Entonnoir de 30 pieds de rayon sur 21 de profondeur, qui suppose un *fourneau surchargé* à 2.69 fois la charge du fourneau ordinaire. Fait sans doute connu de Bélidor.
1708 à 1709.	ALICANTE.	Le château mis en brèche par le jeu simultané de 3 fourneaux établis dans le roc et dont un de 20,000 livres de poudre, un de 40,000 et un de 60,000, en tout 120,000 livres. C'est *la plus forte mine connue.*
1709.	TOURNAY.	L'assiégeant pousse ses approches dans le fossé de la place, dont il s'est rendu maître, afin d'atteindre le fossé de la citadelle. Le

DATES	PLACES ASSIÉGÉES	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
		mineur assiégé renverse sur ces approches une partie du mur d'escarpe de la place. — Sorties combinées avec les explosions. — Cheminements en *sapes couvertes*.
1744.	MENIN (démolition).	Premier emploi de la *boite* à feu *de Boule*, appelée alors *boute-feu à palette*.
1744.	DÉMONTE.	Ce château formidable est réduit (dans l'intervalle de six heures, par l'explosion de 800,000 livres de poudre en différents fourneaux) en un chaos de décombres, de rochers, de maçonnerie et de charpente.
1746.	CHARLEROY.	Bélidor, par ses intelligences dans la place, insinue au gouverneur et à la garnison que l'assiégeant a fait placer 700 à 800 milliers de poudre dans des souterrains de carrières sous la Ville-Haute pour la faire sauter. — Terreur panique et découragement qui hâtent la reddition.
1747.	BERG-OP-ZOOM.	Contrescarpe crénelée à voûtes perpendiculaires, renversée par l'explosion de 500 livres de poudre que l'assiégeant a jetées dans la galerie. — *Châssis hollandais*. — *Puits à la Boute*.
1762.	SWEIDNITZ.	*Globes de compression*. — Terres de la *contrescarpe projetées* par le dernier globe contre le mur d'escarpe d'un fort où elles forment une *rampe praticable*. La ligne de moindre résistance de ce fourneau était de 24 pieds, la charge de 5,000 livres, le bourrage de 48 pieds. Le diamètre de l'entonnoir fut de 72 pieds. La commotion déchira sur toute sa longueur la voûte d'une galerie de contre-mine à 48 pieds de distance horizontale, mais dont le sol était à 8 ou 9 pieds plus élevé que le centre des poudres.
1793.	VALENCIENNES.	Fourneaux surchargés à $2,202^{k},78$ pour $4^{m},98$ de ligne de moindre résistance, dans une terre forte. Le diamètre de l'entonnoir fut de $23^{m},52$.
1797.	LA BRUNETTE ET EXILES.	Démolitions par la mine. Des voûtes d'arêtes se soutiennent seules après la destruction des piliers et malgré le poids des terre-

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
		pleins supérieurs. Elles avaient 3 mètres d'épaisseur à la clef et des voussoirs d'une pièce.
1799.	Saint-Jean d'Acre.	L'assiégeant construit une galerie à 8 mètres en contre-bas du fossé sec. Le contre-mineur passe et repasse plusieurs fois au-dessus de cette galerie sans la rencontrer.
1807.	Dantzig.	Réduit, blokhaus en charpente, d'une place d'armes rentrante du chemin couvert, attaqué, mais seulement ébranlé par la mine. Il fallut le brûler. — Trait d'audace d'un mineur assiégeant qui, descendu seul dans un puits, fait prisonniers les contre-mineurs.
1809.	Sarragosse.	Mines employées dans la guerre de maisons. On entrait ordinairement en galerie dans les caves, pour passer sous la maison voisine du même côté de la rue et sous la rue pour attaquer une maison en face. On reconnut que les fortes charges n'étaient pas avantageuses, parce que, en renversant complétement la maison attaquée, elles y rendaient le logement et les cheminements ultérieurs trop difficiles.
1809.	Girone.	L'assiégeant pour démasquer ne de ses batteries, déblaie par le jeu de 23 fourneaux une partie de la crête du glacis et une traverse du chemin couvert.
1809.	Amarante (Pont d').	Mine découverte, joue à l'air libre et rase la barricade du pont. — Opérations nocturnes très-intéressantes pour son établissement.
1812.	Ciudad-Rodrigo.	Mines défensives dans la rampe de la brèche. — Poterne, chargée en mine, près de la brèche, pour assurer la retraite des défenseurs.
1812.	Valence.	L'assiégeant, après la prise du camp retranché, s'approcha en 24 heures jusqu'à la contrescarpe à la faveur des maisons du faubourg Saint-Vincent. Il attacha le mineur dans la cave d'une maison à 33 mètres de la muraille, et conduisit une galerie sous le fossé plein d'eau pour la mettre en brèche. La place capitula avant l'explosion.
1812.	Burgos (château de).	Mine de brèche des Anglais manque son effet,

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
		parce que la charge fut placée sous le mur même et non sous le rempart en arrière du mur. — Les défenseurs avaient miné les piliers de l'église de Saint-Roman, bâtie sur la pente du terrain; ils la firent sauter au moment où les Anglais venaient de s'en emparer et ensevelirent ainsi sous les ruines une partie de la colonne assaillante.
1812.	TORRE-NUEVA.	On se sert simplement de barils de poudre, au lieu du pétard de rupture, pour enfoncer la porte de la tour.
1812.	BADAJOZ.	On défend la brèche à l'aide de barils foudroyants. Un chapelet de 60 bombes chargées et enterrées au pied de la contrescarpe fait une cruelle exécution parmi les assaillants qui viennent de se jeter dans le fossé pour atteindre les brèches.
1813.	TORGAU (fort Zinna).	Démolition par la mine à l'approche de l'ennemi. — Raté. — Héroïsme d'un mineur qui, pour sauvegarder l'honneur de sa compagnie, allume le saucisson à la main, et périt en faisant produire aux fourneaux l'effet qu'on en attend.
1813.	SAINT-SÉBASTIEN.	Mine dans un aqueduc qui aboutit au fossé; bourrage insuffisant. — Mur de quai, renversé par l'explosion de plusieurs fourneaux, détruit une partie de la colonne d'assaut.
1813 et 1814.	MONZON EN ARAGON.	Attaque et défense souterraines très-intéressantes, soutenues pendant quatre mois et demi.
1828.	BRAÏLOW.	Un fourneau surchargé projette les terres de la contrescarpe et forme contre le mur d'escarpe une rampe jusqu'à 3 pieds au-dessus du sommet; mais les terres cèdent sous les pieds des assaillants qui sont repoussés. — Une mine de brèche trop chargée et placée à une profondeur insuffisante ne produit qu'une longue ouverture au pied du mur, dont la partie supérieure reste debout.
1828.	WARNA.	Fossé-ravin; passage en sape couverte. — Mines nombreuses à la contrescarpe et à l'escarpe.

DATES.	PLACES ASSIÉGÉES.	FAITS SAILLANTS RELATIFS A L'ART DU MINEUR MILITAIRE.
1832.	ANVERS (citadelle).	Brèche par la mine à la lunette Saint-Laurent revêtue et à fossé plein d'eau ; le mur d'escarpe à voûtes en décharge remplies de terre. Le mineur est attaché à l'aide d'un radeau.
1837.	CONSTANTINE.	Mine à l'air libre, dans une ruelle étroite, où elle brûle cruellement un grand nombre de Français au moment de l'assaut.
1855.	SÉBASTOPOL.	Portion de parallèle ouverte par l'explosion d'une ligne de fourneaux établis dans le roc. — Nombreux puits d'attaque ; leur action de rupture horizontale ne s'étend pas au delà du rayon des entonnoirs. — Fougasses-pierriers de divers genres. — Mines de projection.
1863.	PUEBLA (Mexique).	Mines employées dans la guerre de maisons, comme à Sarragosse.

N° 1. TABLE INDIQUANT LA CHARGE DES FOURNEAUX ORDINAIRES DANS UN TERRAIN EXIGEANT $0^k,793$ DE POUDRE PAR MÈTRE CUBE A ENLEVER.

Lignes de M. R.	Charges.	Lignes de M. R.	Charges.	Lignes de M. R.	Charges.	Lignes de M. R.	Charges.	Lignes de M. R.	Charges.	Lignes de M. R.	Charges.	Lignes de M. R.	Charges.	Lignes de M. R.	Charges.
m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.
1.00	1.45	2.10	15.46	3.20	47.62	4.30	115.54	5.40	228.82	6.50	399.08	7.60	637.91	8.70	956.95
1.10	1.93	2.20	15.47	3.30	52.22	4.40	123.78	5.50	241.77	6.60	417.78	7.70	663.43	8.80	990.50
1.20	2.51	2.30	17.68	3.40	57.12	4.50	132.42	5.60	255.21	6.70	437.06	7.80	689.60	8.90	1024.47
1.30	3.19	2.40	20.09	3.50	62.31	4.60	141.45	5.70	269.11	6.80	456.94	7.90	716.50	9.00	1059.36
1.40	3.99	2.50	22.71	3.60	67.80	4.70	150.86	5.80	283.54	6.90	477.40	8.00	744.05	9.10	1095.10
1.50	4.90	2.60	25.54	3.70	73.61	4.80	160.71	5.90	298.46	7.00	498.45	8.10	772.32	9.20	1131.61
1.60	5.95	2.70	28.60	3.80	79.74	4.90	170.97	6.00	313.89	7.10	520.12	8.20	801.23	9.30	1168.89
1.70	7.14	2.80	31.90	3.90	86.20	5.00	181.65	6.10	329.85	7.20	542.40	8.30	830.94	9.40	1207.02
1.80	8.48	2.90	35.44	4.00	93.00	5.10	192.77	6.20	346.34	7.30	565.31	8.40	861.34	9.60	1285.71
1.90	9.97	3.00	39.24	4.10	100.15	5.20	204.33	6.30	363.37	7.40	588.87	8.50	892.46	9.80	1367.78
2.00	11.65	3.10	43.29	4.20	107.66	5.30	216.36	6.40	380.95	7.50	613.07	8.60	924.54	10.00	1453.20

N° 2. TABLE INDIQUANT LES RAPPORTS DES CHARGES DES FOURNEAUX ORDINAIRES, SUIVANT LES MILIEUX.

DÉSIGNATION DES MILIEUX.	Poids du M. C.	Charge par M. C.	Rapports.
	kil.	kil.	
Terre commune	1358	0.892	1.12
Sable fort	1773	0.991	1.25
Grosse terre, mêlée de sable et de gravier, appelée par les mineurs *terre ordinaire*.	1859	0.795	1.00
Sable humide	1888	1.040	1.31
Terre mêlée de petites pierres	1902	1.114	1.41
Argile mêlée de tuf	1988	1.226	1.55
Terre grasse, mêlée de cailloux	2288	1.358	1.69
Roc	2288	1.783	2.25
Nouvelles ou vieilles maçonneries, restées ou devenues humides		1.024	1.30
Maçonneries médiocres		1.321	1.66
Nouvelle maçonnerie très-bonne		1.783	2.25
Vieille maçonnerie très-bonne		1.982	2.50
Maçonnerie romaine ou excellente maçonnerie		2.313	2.90

N° 3. TABLE DES CHARGES POUR DEUX FOURNEAUX ORDINAIRES ACCOUPLÉS, DEPUIS LE POINT OÙ LES CIRCONFÉRENCES SE TOUCHENT JUSQU'A CELUI OÙ ELLES SE CONFONDENT EN TERRAIN ORDINAIRE.

Ligne de M. R.	Petit axe du solide commun, en parties du rayon.	Charge pour le solide commun.	Charge des 2 fourneaux accouplés.	Ligne de M. R.	Petit axe du solide commun, en parties du rayon.	Charge pour le solide commun.	Charge des 2 fourneaux accouplés.	Ligne de M. R.	Petit axe du solide commun, en parties du rayon.	Charge pour le solide commun.	Charge des 2 fourneaux accouplés.
		kil.	kil.			kil.	kil.			kil.	kil.
	»	»	100.00		»	»	337.24		»	»	800.00
	0.25	0.42	99.58		0.25	1.47	335.77		0.25	3.49	796.51
	0.33	0.85	99.17		0.33	2.76	334.48		0.33	6.47	793.53
	0.50	2.38	97.62		0.50	8.09	329.13		0.50	19.18	780.82
3m,25	0.66	4.81	95.19	4m,86	0.66	16.28	320.96	6m,50	0.66	38.54	761.46
	1.00	12.50	87.50		1.00	42.35	294.89		1.00	100.38	699.62
	1.33	21.82	78.18		1.33	75.53	263.71		1.33	168.62	631.38
	1.50	28.18	71.82		1.50	95.09	242.15		1.50	219.60	580.80
	1.66	36.27	63.73		1.66	122.30	214.94		1.66	284.31	515.69
	2.00	50.00	50.00		2.00	168.62	168.62		2.00	400.00	400.00
	»	»	173.52		»	»	582.35		»	»	1380.28
	0.25	0.78	172.74		0.25	2.56	579.79		0.25	6.03	1374.25
	0.33	1.40	172.12		0.33	4.78	577 57		0.33	11.31	1368.97
	0.50	4.13	169.39		0.50	13.97	568.38		0.50	33.11	1347.17
	0.66	8.33	165.19		0.66	28.12	554.23		0.66	66.64	4313.64
3m,90	1.00	21.69	151.85	5m,85	1.00	73.28	509.07	7m,80	1.00	173.53	1206.75
	1.33	37.47	136.05		1.33	126.47	455.88		1.33	300.00	1080.28
	1.50	48.53	124.99		1.50	163.72	418.63		1.50	387.74	992.26
	1.66	62.50	110.02		1.66	210.78	371.57		1.66	500.00	880.28
	2.00	86.76	86.76		2.00	291.17	291.17		2.00	690.14	690.14

N° 4. TABLE DES DIMENSIONS DES BOÎTES CUBIQUES.

Poudre.	Côté.	Poudre.	Côté.	Poudre.	Côté.	Poudre.	Côté.	Poudre.	Côté.	Poudre.	Côté.
kil.	mètre.	kil.	mètre.	kil.	mètre.	kil.	mètre.	kil.	mètre.	kil.	mètre.
1	0.103	55	0.392	150	0.548	425	0.775	900	0.995	1900	1.227
5	0.176	60	0.404	175	0.577	450	0.790	950	1.013	2000	1.299
10	0.222	65	0.415	200	0.605	475	0.804	1000	1.031	2100	1.320
15	0.255	70	0.425	225	0.627	500	0.818	1100	1.065	2200	1.341
20	0.280	75	0.435	250	0.650	550	0.845	1200	1.095	2300	1.361
25	0.302	80	0.444	275	0.670	600	0.870	1300	1.125	2400	1.380
30	0.321	85	0.453	300	0.690	650	0.893	1400	1.155	2500	1.399
35	0.337	90	0.462	325	0.709	700	0.915	1500	1.180	2600	1.417
40	0.353	95	0.471	350	0.727	750	0.937	1600	1.205	2700	1.435
45	0.367	100	0.479	375	0.743	800	0.957	1700	1.230	2800	1.453
50	0.380	125	0.516	400	0.760	850	0.977	1800	1.254	2900	1.470
										3000	1.487

N° 5. DONNÉES SUR LA VITESSE DU TRAVAIL DU MINEUR.

DÉSIGNATION DU TRAVAIL.		Nombre de mineurs.	Temps minimum.		Temps moyen.		Déblai à faire.
	Pose d'un cadre à oreilles. . .	»	0 h. 35′		1 h. »		
Puits de 1m,32 dans œuvre.	Fouille de 1 mètre courant . .	5	1 h. »	2 h. »	2 h. 45′	4 h. 30′	m. cube. 2.72
	Pose d'un cadre uni		» 30′		» 45′		
	Coffrage d'un intervalle. . . .		» 30′		1 h. »		
Puits à la boule ou d'attaque.	Pose d'un cadre à oreilles. . .	4	» 15′	»	» 30′	3 h. »	0.74
	Travail complet de 1 mètre cour.		1 h. »		2 h. 30′		
Galerie majeure (2 mèt. sur 2 mèt.).	Fouille de 1 mètre avec emploi du faux châssis	6, dont 2 piochent en même temps.	2 h. 50′	4 h. »	4 h. 15′	6 h. »	3.42
	Pose d'un châssis		» 40′		1 h. »		
	Coffrage d'un intervalle. . . .		» 30′		» 45′		
Grande galerie (2 mètres sur 1 mètre).	Fouille de 1 mètre courant . .	5	2 h. »	3 h. »	3 h. 30′	5 h. »	3.02
	Pose d'un châssis		» 30′		» 45′		
	Coffrage d'un intervalle. . . .		» 30′		» 45′		
Demi-galerie (1m,40 sur 1m,00).	Fouille de 1 mètre courant . .	5	1 h. 20′	2 h. »	2 h. 30′	3 h. 30′	2.12
	Pose d'un châssis		» 20′		» 30′		
	Coffrage d'un intervalle. . . .		» 20′		» 30′		
Grand rameau (1 mètre sur 0m,80).	Fouille de 1 mètre courant . .	4	1 h. 10′	1 h. 40′	2 h. »	3 h. »	1.28
	Pose d'un châssis		» 15′		» 30′		
	Coffrage d'un intervalle. . . .		» 15′		» 30′		
Petit rameau (0m,80 sur 0m,65).	Fouille de 1 mètre courant . .	4	1 h. 10′	1 h. 40′	2 h. »	3 h. »	0.89
	Pose d'un châssis		» 15′		» 30′		
	Coffrage d'un intervalle. . . .		» 15′		» 30′		
Rameau sans coffrage.	Travail complet de 1 mètre cour.	4	1 h. »	»	»	»	0.52
Bourrage de 1 mètre courant. En terres et gazons.	Dans un grand rameau	»	»	0 h. 20′	»	» 50′	
	Dans un petit rameau			» 15′			
En sacs à terre.	Dans un grand rameau	»	»	» 15′	»	» 20′	
	Dans un petit rameau.			» 12′			

N. B. Le débourrage peut s'exécuter dans le même temps que le bourrage.

TRAVAIL DE 2 MINEURS EN 12 HEURES.

1° Dans la pierre très-vive en pétardant continuellement (rameau) 0m,20
2° Dans la maçonnerie de moëllons . . . . . 0m,50 à 0m,80
3° Dans du roc très-dur coupé de mollasses tendres. . . . . 0m,90 à 1m,20
4° Dans la maçonnerie de briques (Bapaume, 1847). 2m,00

N° 6. DONNÉES SUR LES BOIS NÉCESSAIRES POUR LES GALERIES ET RAMEAUX EN CHARPENTE.

QUANTITÉS POUR 2 MÈTRES COURANTS, BOISÉS PLEINS.	DÉSIGNATION DES BOIS.	Équarrissage en centimètres (bois de chêne).	Mètres courants.
Galerie de 1m,00 sur 1m,78, ayant 2 châssis par double mètre courant.	2 chapeaux de 1m,50	15 — 18	2.60
	2 semelles de 1m,30.	12 — 15	2.60
	4 montants de 2m,00	15 — 15	8.00
	10 madriers de 1m,22	30 — 4	12.20
	14 planches de 2m,43	30 — 3	34.02
Galerie de 1m,00 sur 1m,50, ayant 3 châssis pour 4m,00 ou 1m,50 châssis par 2 mètres.	1,50 chapeau de 1m,30. . . .	12 — 15	1.95
	1,50 semelle de 1m,30	9 — 12	1.95
	3 montants de 1m,46.	12 — 12	4.38
	7,50 madriers de 1m,54. . . .	30 — 4	11.55
	7,50 planches de 2m,76. . . .	30 — 3	20.07
Rameau de 0m,65 sur 0m,81, à raison de 1m,50 châssis par double mètre.	1,50 chapeau de 1m,00. . . .	9 — 12	1.50
	1,50 semelle de 1m,00	9 — 9	1.50
	3 montants de 0m,96.	9 — 9	2.88
	9 planches de 2m,76	30 — 3	24.84
Rameau à la hollandaise	7 chapeaux de 0,76	30 — 4	5.32
	7 planches de 2m,48.	30 — 3	17.36

N. B. Il faut 16 clous de 6 centimètres pour fixer les tringles, lorsqu'il y a double châssis, et 12 clous, lorsqu'il n'y a qu'un châssis et demi par double mètre.

Les puits ont 1m,32 ou 1m,00, ou seulement 0m,80 de côté dans œuvre.	Cadre à oreilles sur côtés se dépassant de 0m,50 à 0m,60.	15 — 15
	Cadre uni	12 — 12
	Planches de coffrage de 1m,10 à 1m,20 et 0,20 à 0,30 de largeur	2 — 3
	Tringles de 1m,10 à 1m,20. . .	2 1/2 — 6 à 7

§ III.

DÉTAILS DE CONSTRUCTION.

16me LEÇON.

REVÊTEMENTS.

SOMMAIRE.

Ordre suivi dans la construction des places. — Tracé et nivellement de la magistrale. — Fouille des fondations. — Profils des revêtements usités chez les anciens. — Profils de Vauban. — Faits d'expérience sur les inconvénients des talus extérieurs. — Différence entre les données admises par les théories sur la poussée des terres et la résistance des murs et les résultats d'expérience. — Vice radical des formules basées sur la simple inertie des maçonneries. — Cas où elles sont applicables. — Considérations sur la forme des revêtements pleins. — Revêtements en décharge, incertitude et erreurs de la théorie. — Faits d'expérience. — Règles qu'on en peut déduire. — Propriétés militaires des divers revêtements. — Comparaison des frais de construction qu'ils exigent. — Observation relative aux fondations sur pilotis. — Tracé de la nette maçonnerie. — Inflexion des lignes prolongées vers la campagne. — Tablettes et couronnements en briques de champ. — Temps indispensable à la construction des murs et des remparts.

Lorsque le plan d'une place est arrêté et le défilement fait, il s'agit de procéder à la construction, en commençant par l'enceinte. Si la place doit être revêtue, on s'occupe d'abord des revêtements, afin de porter les terres fournies par le déblai des fossés directement à leur destination et d'éviter des remaniements très-onéreux. Pour le même effet, en tout état de cause, on établit les fondations et on élève les maçonneries des poternes, casemates et autres constructions engagées dans la masse des remparts avant d'entamer les terrassements. Après quoi on masse les terre-pleins et les parapets, terminant la construction par les communications et les bâtiments militaires.

Le tracé des ouvrages se fait en plaçant aux angles des perches, dont le centre détermine l'alignement du pied des murs, ou l'arête des

hermes, mesurant les longueurs à la chaîne, réglant l'ouverture des angles par la mesure des cordes ou se servant d'un goniomètre quelconque, et souvent en employant les deux méthodes concurremment pour se servir de vérification. — En faisant ces opérations on a soin de se ménager des repères invariables, pour retrouver exactement le tracé, si la fouille des fondations venait à faire disparaître ou à déranger les premiers jalons plantés. Ainsi on fera bien d'établir des dés en maçonnerie à l'intersection des lignes de défense sur les fronts bastionnés, ces intersections se trouvant d'ordinaire hors des premières excavations, et de déterminer par trois coordonnées horizontales la position de chaque angle. Au premier coup d'œil deux coordonnées semblent suffisantes, puisqu'elles déterminent la projection d'un point; mais la troisième fournira un moyen de vérification, si la négligence ou la malveillance altéraient le lieu occupé par un des repères. Un registre d'attachement sera tenu, sur lequel on inscrira les mesures prises.

Ensuite on reconnaît, par un nivellement fait avec soin, la hauteur exacte de chaque point au-dessus du plan de comparaison général, déterminé par rapport à quelque point fixe et inaltérable, comme le recouvrement d'une écluse, le seuil d'une église, etc. Pour plus de précaution, il convient de rattacher ce premier repère à plusieurs autres, également reliés entre eux, afin de rendre toute erreur impossible. On peut obtenir ainsi sur chaque front plusieurs termes de comparaison et se faciliter les moyens de vérification.

Le travail qui succède à celui-ci est la fouille des fondations des revêtements d'escarpe. Je suppose que des sondes auront été faites au préalable, pour s'assurer de la nature du fond et, par conséquent, du genre de fondation qui conviendra pour les murs, cette donnée étant nécessaire au calcul de la largeur de la fouille et de l'inclinaison des talus. Cependant comme ces sondes n'ont lieu que sur un petit nombre de points, avant de commencer la construction, on aura soin de s'assurer que la réalité répond aux prévisions, et que la composition et l'épaisseur des couches sont les même sous toute l'étendue des fondations, afin de prendre les précautions indispensables s'il en était autrement.

Le Cours de construction enseigne comment les sondes se font et les conséquences qu'on tire de la composition du sol qu'elles accusent.

Nous nous occuperons donc plus spécialement des revêtements, question très-ardue, qui n'est pas suffisamment éclaircie.

La forme des murs par lesquels on soutient les terres a varié avec

les temps et les circonstances. Les anciens formaient rarement des remparts en terrassements, ou bien ils détruisaient la poussée en partageant la hauteur des terres par des couches de poutres ou de fascinages. Cependant quand cette précaution ne suffisait pas, ils augmentaient la stabilité des murs par l'addition de contre-forts extérieurs. Ceci n'offrait pas d'inconvénient pour la défense, l'intervalle entre deux contre-forts pouvant être battu d'en haut par les mâchecoulis, puisque le peu d'épaisseur du parapet permettait de le construire sur encorbellement. Lorsqu'il s'agissait de simples murs de soutènement, par exemple, pour les routes sur le flanc des montagnes, ils reliaient ces contre-forts par des voûtes, formant une suite d'arcades, en sorte que le poids des terres placées sur l'extrados contribuait à la stabilité, et ils employaient ce même genre de construction, mais avec des contre-forts intérieurs, lorsque les murs étaient isolés et le terre-plein formé par l'extrados des voûtes.

L'usage de l'artillerie obligeant à surmonter les murs d'un épais parapet en terrassement et à reculer la ligne de feu, l'application de contre-forts extérieurs entraînait l'existence d'un angle mort au pied du revêtement et facilitait l'attachement du mineur. De plus, la cohésion des maçonneries était bientôt détruite par la violence du choc du boulet, si les terres appuyées contre le mur n'absorbaient la force vive qui lui était communiquée ; enfin, la dépense serait devenue excessive si l'on avait voulu supporter par des voûtes les terre-pleins comme les parapets. On remplaça alors les contre-forts extérieurs par un talus extérieur continu, on supprima les voûtes intérieures, et leurs pieds-droits, convertis en contre-forts intérieurs, servirent seulement à diviser la masse des terres et à rendre la brèche moins accessible en empêchant la chute d'une partie du parapet, lors même que le revêtement était détruit.

Vauban suivit sur ce point l'exemple des ingénieurs qui l'avaient précédé, et, après avoir construit ou réparé avec succès plus de 150 places, il se crut autorisé à baser sur son expérience des règles pour tous les profils de maçonnerie capables de soutenir la poussée des terres. Il les rédigea sous forme de tables, que nous allons vous faire connaître.

Pour les revêtements d'escarpe, il donne au mur, en haut, une épaisseur de 5 pieds de $0^m,325$ ou $1^m,625$, met le parement intérieur d'aplomb, et incline le talus extérieur, de manière à ce que la base soit la $^1/_5$ partie de la hauteur. Ces dimensions devaient être constantes,

pour toute espèce de terre *en remblai*. Celles du parapet au-dessus devaient l'être également. Il lui donnait de 2 mètres à $2^m,275$ de hauteur, $5^m,85$ d'épaisseur, $0^m,585$ de plongée, et il le soutenait à l'extérieur par un mur de parapet, de $0^m,97$ d'épaisseur, élevé à $1^m,30$ au-dessus du cordon ou jusqu'à la rencontre de la plongée. Les contre-forts étaient espacés, de milieu en milieu, de $4^m,87$ ou de $5^m,85$; leur longueur, pour $3^m,25$ de hauteur de revêtement, était de $1^m,30$, et augmentait de $0^m,65$ par chaque $3^m,25$ d'élévation; par exemple, elle atteignait $2^m,60$ quand l'escarpe allait à $9^m,75$. L'épaisseur, qui pour le revêtement de $3^m,25$ était de $0^m,975$ à la racine et de $0^m,65$ à la queue, augmentait aussi proportionnellement à la hauteur, et bien de $0^m,10$ par 1 mètre, en conservant les mêmes rapports entre la racine et la queue. En désignant par H la hauteur d'un contre-fort égale à celle du mur, on a : $\frac{H+3^m,25}{5}$ = la longueur du contre-fort, $\frac{H+6^m,50}{10}$ = l'épaisseur à la racine et $\frac{H+6^m,50}{15}$ = l'épaisseur en queue.

Quant aux contrescarpes, elles devaient avoir même talus et mêmes contre forts, mais leur épaisseur en haut n'était que de $0^m,975$ = 3 pieds de $0^m,325$.

A ce profil, que Vauban poussa jusqu'à une hauteur d'escarpe de 26 mètres, il ajouta les recommandations suivantes :

1° Dans le pays où la maçonnerie est fort bonne, on peut fixer l'épaisseur au sommet à $1^m,46$; mais dans les lieux où elle ne le sera pas, il faudra l'augmenter jusqu'à $1^m,88$, et même plus, si elle est fort mauvaise; à Bapaume elle était de $2^m,30$.

2° Les contre-forts aux angles saillants doivent être redoublés et ébrasés de part et d'autre par rapport aux lignes droites qui forment ces angles.

3° Ils seront toujours élevés à plomb à l'extrémité et par les côtés et bien liés au corps de place.

4° Les contre-forts seront élevés aussi haut que le cordon; ils seraient encore meilleurs si on leur donnait $0^m,65$ de plus pour le soutien du parapet.

5° Dans les ouvrages où le revêtement n'est élevé qu'à moitié ou aux trois quarts du rempart, et le surplus en gazons de placage, il faudra régler son épaisseur comme s'il devait être élevé en maçonnerie jusqu'au sommet du rempart; par exemple, si on élevait $4^m,87$ en gazons au-dessus du revêtement, il faudrait augmenter l'épaisseur au

sommet de $0^m,975$, avec $1^m,625$ qu'elle aurait déjà, pour en avoir $2^m,60$ à la naissance du gazon.

6° Il faut augmenter la grandeur et la solidité des contre-forts à proportion de l'élévation du revêtement ; par exemple, si le revêtement a $11^m,37$ de haut, savoir $6^m,50$ en revêtement et $4^m,87$ en gazons, il faudra y faire les contre-forts qui ont été réglés pour le profil de $11^m,37$ de haut, et que le revêtement ait la même épaisseur à $6^m,50$ de haut comme s'il en avait $11^m,37$.

7° Dans les endroits où l'on fera des cavaliers, comme à Maubeuge, il faudra augmenter le sommet du profil de $0^m,16$ d'épais, pour chaque $1^m,625$ que le cavalier sera élevé au-dessus du revêtement, et la solidité des contre-forts à proportion; ce qui doit s'entendre des gros revêtements de la place et non de ceux que l'on fait quelquefois aux cavaliers, et seulement quand le pied du cavalier approche de 6 à 8 mètres du parapet.

8° Ces profils ne sont proposés que pour la maçonnerie qui doit soutenir des grands poids de terre nouvellement remuée, et non pour celle qu'on adosse contre la terre vierge, qui ne l'a pas encore été, comme sont la plupart des revêtements de fossés.

Ces prescriptions étant sanctionnées par d'aussi vastes expériences, il semble qu'on aurait pu considérer la question comme résolue et bien résolue, mais elles étaient purement empiriques, ne faisaient aucune différence des qualités de la terre en remblai, qualités qui influent pourtant sur la grandeur de la poussée, et de plus posaient comme condition fondamentale l'existence d'un grand talus extérieur. Dans nos contrées, où les brusques et continuelles variations de la température, de l'humidité et de la sécheresse tendent à décomposer les matériaux les plus solides, on ne tarda pas à s'apercevoir que les revêtements construits d'après ces règles perdaient en durée ce qu'ils gagnaient en force par ce talus. Son inclinaison favorise l'introduction de l'eau dans les joints ; celle-ci, venant à se cristalliser par la gelée, soulève et sépare les éléments de la maçonnerie, en faisant tomber le mortier qui remplissait les interstices. Le vide ainsi créé est bientôt rempli par les germes des plantes et des arbustes, qui, à leur tour, attirant et perpétuant l'humidité, accélèrent la désagrégation des maçonneries, en sorte qu'au bout de peu d'années les pierres du parement se détachent et éclatent, même quand il est fait en pierres de taille. L'effet est encore plus prompt et plus redoutable quand la maçonnerie est en briques; celles-ci se détachent par épaisseurs de demi-

brique à la fois, sur des hauteurs parfois très-considérables, le poids des panneresses, isolées par la chute du mortier, faisant casser les boutisses. Il se forme de cette manière des arrachements profonds, qui entraîneraient à la fin l'entière destruction du mur et qui sont très-difficiles à réparer solidement, la maçonnerie nouvelle tendant toujours à se séparer de l'ancienne, à cause du tassement. — C'est afin de parer à un aussi grave inconvénient qu'on a réduit l'inclinaison du talus extérieur (inclinaison que les constructeurs appellent *fruit*) successivement au $^1/_6$, au $^1/_8$, au $^1/_{12}$, et qu'on est venu jusqu'au $^1/_{20}$, et à 0 ou au parement vertical. M. Poncelet estime que, dans les limites d'inclinaison de $^1/_6$ à 0 du parement extérieur, on obtiendra des revêtements à très-peu près de même force que ceux de Vauban, en leur donnant une épaisseur E, mesurée à $^1/_9$ de la hauteur à partir du pied, égale à :

$$E = (H + h) \operatorname{tang} \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{p}{p'}} \, (0{,}865),$$

formule dans laquelle on désigne par H la hauteur du revêtement, par h la hauteur réduite de la surcharge, par α le complément du talus naturel des terres, par p le poids d'un mètre cube des terres, et par p' celui d'un mètre cube de la maçonnerie. Pour le cas particulier des terres et maçonneries moyennes, on aurait :

$$E = 0{,}285\,(H + h) = \frac{2}{7}\,(H + h),$$

et, si l'on avait en outre $H = 10$ mètres et $h = 3$ mètres, il viendrait $E = 0{,}285 \times 13 = 3^m{,}705$.

L'infiltration de l'eau dans la maçonnerie ne produit ses effets destructeurs qu'après plusieurs années et alors le tassement des terres étant complet, leur poussée est extrêmement diminuée. Nous croyons que, par cela même, il serait toujours possible de diminuer aussi à cette époque le talus extérieur sans compromettre la stabilité du mur, et peut-être, dans les localités où les matériaux se prêtent bien à la construction des murs pleins, ce parti serait-il le plus économique. Car si l'on voulait diminuer le talus en conservant l'épaisseur donnée par Vauban au pied de ses revêtements, le profil deviendait énorme, et pour changer la forme en modifiant les dimensions, avec la certitude de rester en tout cas au-dessus de la poussée, il faudrait pouvoir s'appuyer sur une expérience aussi étendue que la sienne. A défaut, on a voulu trouver une solution générale par le calcul, en déterminant la puissance

de la poussée et ses accroissements, suivant la hauteur du remblai, l'espèce des terres, la surcharge, et la résistance des murs contre la force qui tend à les déplacer. Bélidor, De Prony, Mayniël, Navier, Eytelwein, Poncelet et d'autres sont partis de différentes hypothèses, d'après lesquelles ils ont établi des formules pour le profil des revêtements, abstraction faite de leur longueur, en ayant soin de faire concorder les résultats, tant bien que mal, avec le profil général de Vauban, pour ne pas se mettre en contradiction flagrante avec l'expérience. Divers ingénieurs, se basant sur ces calculs, ont présenté des profils variés de revêtements, qui tous devaient être plus économiques et en même temps plus stables que ceux de Vauban. Nous citerons spécialement les revêtements à talus intérieurs, et ceux à retraites intérieures, qui ont eu un moment de grande vogue. Enfin, on en est revenu aux revêtements en décharge, en réunissant, à l'instar des anciens, les contre-forts par des voûtes qui détruisent toute poussée contre le mur d'escarpe ou de *masque*. Examinons les hypothèses sur lesquelles les formules sont basées, pour apprécier les résultats du calcul.

Quant à la poussée des terres, on a cherché à déterminer l'angle du prisme de plus grande poussée, c'est-à-dire l'angle dièdre formé par le parement intérieur du mur et la surface des terres qui ne s'éboulent pas à l'instant quand ce mur est supprimé. De quelques expériences faites sur une petite échelle, on a cru pouvoir conclure que pour une même espèce de terre cet angle était constant, quelles que fussent la hauteur du remblai et la surcharge, et la moitié du complément de l'angle du talus naturel des terres. Dans l'application, la hauteur du triangle servant de base au prisme est comptée à partir de l'arête supérieure ou retraite des fondations. La longueur du prisme n'entre pas dans les éléments du calcul. On n'envisage que le profil.

On considère sous deux rapports la résistance de la maçonnerie contre un déplacement par translation, contre le glissement sur les fondations, et contre le renversement, le mur tournant autour de son arête inférieure du parement extérieur au-dessus des fondations.

Dans les deux cas, pour calculer la force capable de déplacer le mur, on admet que l'adhérence des matériaux étant complète, la résistance dépend uniquement du poids et de la forme du profil. Ainsi la longueur du mur n'est pas prise en considération.

Les formules déduites de ces données sont alors d'une extrême simplicité. Il ne s'agit que de trouver la force capable de soulever ou de faire glisser un mur d'un poids donné, en appliquant la force au $^1/_3$

environ de la hauteur du mur au-dessus de la retraite des fondations, la maçonnerie se détachant tout d'une pièce et entraînant ou non dans son mouvement les contre-forts. Les uns calculent le poids du mur au-dessus des fondations d'après son profil entier; d'autres défalquent une partie, dont la hauteur est égale à celle à laquelle des terres de l'espèce en question peuvent se soutenir quelque temps sans s'ébouler. Si la résistance ainsi calculée est sensiblement au-dessus de la poussée trouvée par la méthode ci-dessus, on n'a rien à craindre des efforts de la dernière, sinon il faut augmenter le poids de la maçonnerie, c'est-à-dire sa surface, ou bien allonger le bras de levier, en changeant la forme du profil, et éloignant la verticale passant par le centre de gravité de l'arête extérieure du pied du mur. La plupart des théoriciens ont suivi cette voie.

Si maintenant nous consultons l'expérience, nous verrons qu'aucune des hypothèses sur lesquelles les formules sont basées n'est admissible, lorsqu'il s'agit des revêtements des places. D'abord, pour la poussée des terres, il s'en faut de beaucoup que l'angle du prisme de poussée soit indépendant de la hauteur du remblai et de la surcharge. Tous les ingénieurs constructeurs savent que, lorsqu'on forme un remblai d'une grande élévation, le talus primitif s'enfle au tiers environ de sa hauteur, renflement d'autant plus considérable que le remblai devient plus haut ou la surcharge plus forte. Or, comme le pied du talus ne se déplace pas, l'angle du talus naturel des terres, pris au pied, augmente avec la hauteur du remblai et la surcharge, et son complément diminue d'autant. Cette propriété des grands remblais est si bien connue, que dans des terrassements considérables, par exemple pour les remblais des routes, on augmente le rapport de la base à la hauteur des talus, suivant l'élévation, et lorsqu'on néglige cette précaution, les accotements s'affaissent, il survient des éboulements, qu'il faut recouper, et le remblai ne prend le talus voulu qu'après deux ou trois années, lorsque le tassement est parfait. Vauban n'avait donc pas tort de prescrire d'augmenter l'épaisseur du revêtement quand le rempart supportait la surcharge d'un cavalier, quoique ce cavalier, se trouvant à 14 ou 15 mètres du parement intérieur du mur et hors du prisme, n'aurait eu aucune influence sur la poussée, en raisonnant dans le sens de la formule.

En examinant ce qui arrive lorsqu'un revêtement cède à la poussée, il n'est pas difficile d'ailleurs de se convaincre de l'influence de la longueur des lignes sur la poussée. Tantôt la fondation fléchit et s'enfonce

en s'avançant; alors le revêtement se lézarde aux points où il n'est plus soutenu, puis il se renverse en arrière avec ses contre-forts, à cause de l'excédant de poids qui repose sur l'arrière du mur (revêtement de Vauban, à Ypres), ou bien la fondation tourne sur place avec le revêtement qui est au-dessus, et celui-ci se sépare de ses contre-forts, retenus par le poids des terres qui reposent sur leur surface et par le frottement latéral. Si le terrain est incompressible et l'épaisseur de la maçonnerie trop faible, le mur se courbe au tiers environ de sa hauteur, ce qu'on appelle *prendre du ventre,* en même temps qu'il s'arque entre ses extrémités (*pl. III, fig. 14*), ces points offrant toujours une résistance supérieure, tant par le développement de la maçonnerie, plus grand en ces endroits que le développement du parapet, que par le redoublement des contre-forts. La flèche de courbure est souvent de $0^m,20$ à $0^m,30$, suivant la longueur du mur et les matériaux dont il est formé, avant que des lézardes ne se manifestent, ce qui dépend de *l'élasticité* de la maçonnerie. Puis le revêtement se déchire, horizontalement, à la hauteur de la résultante de la poussée, sur sa longueur, et, verticalement, près des points d'appui, comme au milieu de la courbure horizontale, entraînant dans son mouvement une partie du haut des contre-forts ou s'en détachant au droit du parement intérieur. Le bord supérieur de l'éboulement qui en résulte est toujours une courbe elliptique, dont le petit axe se trouve vers le milieu du mur renversé. Il suit de là évidemment :

1° Que, dans la formule de la résistance contre la rotation, il faudrait comprendre dans le profil des murs celui des fondations, et rapporter le mouvement non au pied du mur sur la fondation, mais à l'arête extérieure et inférieure des fondations.

2° Que la résistance d'un mur ne dépend pas simplement de son poids, mais de l'adhérence des mortiers, force très-variable suivant les matériaux employés, la saison dans laquelle on a bâti et le temps écoulé depuis la construction, mais, en tout cas, proportionnelle à la surface de déchirement, parallèle à la direction de la poussée, au tiers environ de la hauteur du mur.

3° Que l'espacement des points d'appui immuables a une grande influence, tant sur la grandeur de la poussée que sur la résistance des murs, d'un côté parce que la masse des terres agissantes n'est pas un prisme droit, à section constante, mais un prisme tronqué, dont la surface de section diminue à mesure qu'on approche des extrémités; de l'autre, parce que la maçonnerie doit se déchirer latéralement près

de ces mêmes points, et que le bras de levier de la puissance qui tend à produire la rupture devient plus petit à mesure que les points immuables se rapprochent.

C'est faute d'avoir réfléchi à cette dernière considération que différents théoriciens ont avancé que le profil de Vauban était trop faible pour les très-grandes hauteurs, comme de 26 mètres, malgré les constructions exécutées avec succès sur ces dimensions par l'illustre ingénieur. Ils ont perdu de vue que les contre-forts restant également espacés de milieu en milieu, tandis qu'ils s'allongeaient et s'épaississaient dans un rapport très-rapide, ils constituaient autant de points immuables, auxquels le prisme d'éboulement devait s'arrêter, et entre lesquels, dès lors, il ne pouvait s'exercer qu'une poussée comparativement très-faible.

On peut aussi observer, 4°, qu'on limiterait bien à tort la hauteur du prisme de plus grande poussée par celle du mur *au-dessus des fondations*, alors que toujours ou presque toujours on est forcé de déblayer une largeur sensiblement plus grande que celle remplie par les maçonneries, soit pour former des fondations artificielles, soit pour établir des retraites, soit même pour placer les maçons, qu'on n'aime pas, à moins de nécessité absolue, à laisser travailler sous les pieds, parce qu'en marchant sur les maçonneries fraîches, ils détruisent la liaison et l'adhérence des matériaux, lesquelles, une fois rompues, ne se rétablissent jamais complétement. Or les terres par lesquelles on remplit les vides autour des fondations ne sont nullement incompressibles, de manière qu'il faut compter la poussée en comprenant les fondations dans la hauteur du prisme, comme aussi calculer la résistance du revêtement contre un déplacement par glissement en employant le coëfficient du frottement de la maçonnerie sur la terre, parfois humectée, au lieu de celui du frottement de la maçonnerie sur elle-même. (Bastion 2, à Menin.)

5° L'élasticité de la maçonnerie devrait aussi entrer dans la formule d'équilibre, cette force s'opposant à la courbure que la poussée tend à faire prendre au mur. Mais elle est très-faible et on ne doit jamais approcher de l'équilibre à ce point; car dès qu'un mouvement se manifeste, la rupture de la liaison et de l'adhérence des mortiers est consommée, c'est-à-dire que la résistance des murs est notablement affaiblie.

Enfin, 6°, l'adhérence des matériaux dans des maçonneries récentes et fort épaisses n'est ni complète, ni égale, en sorte qu'on ne peut, sans

grave erreur, regarder les murs comme un tout indivisible et homogène. La solidification du mortier n'a lieu qu'après de longues années, et c'est aussi en partie pourquoi on peut, sans danger, retrancher des maçonneries séculaires le $^1/_4$ ou le $^1/_3$ de leur épaisseur.

De ces considérations sur l'erreur des hypothèses fondamentales suivrait-il que les formules qu'on en a déduites soient entièrement sans application? Nous ne le croyons pas, tant qu'on s'en sert dans les limites des dimensions habituelles et pour des murs de la forme indiquée, parce que les auteurs ont eu grand soin d'introduire des coëfficients numériques, pour le frottement, la cohésion, la stabilité, etc., choisis de manière à rapprocher les résultats du calcul des dimensions reconnues bonnes dans la pratique. Seulement, il faut se garder d'admettre ces théories comme des vérités mathématiques, et de baser sur elles, par analogie, les dimensions de constructions inusitées, par leurs proportions ou par leur forme. Nous nous sommes toujours très-bien trouvés, par exemple, des formules de Mayniël, pour les murs sans surcharge, dans lesquelles n'entrent que le poids des terres et des maçonneries, en substituant un parement vertical au talus du $^1/_{20}$, prenant la quantité de maçonnerie jugée nécessaire à l'équilibre pour la totalité du mur, retranchant à la partie supérieure, augmentant l'inférieure, et ajoutant des contre-forts espacés et proportionnés comme ceux de Vauban. Rien ne paraît moins admissible pourtant que les spéculations théoriques qui ont conduit à ces formules.

Si maintenant nous considérons la forme des revêtements proposés en remplacement de ceux de notre illustre maître, nous apercevrons facilement que les talus intérieurs augmentent très-peu la surface de déchirement, alors que la masse des terres qui tendent à s'ébouler s'accroît dans une forte proportion. Ces murs sont donc défavorables sous le rapport de la stabilité, bien plus défavorables sous celui de l'économie, vu l'extension inutile des maçonneries de fondation. Il n'en est pas de même, semble-t-il, des revêtements à retraites intérieures, d'ailleurs sujets à d'autres défauts; ici la surface de déchirement augmente d'une manière sensible au point où passe la résultante de la poussée, et le poids des terres qui reposent sur les retraites supplée aux maçonneries retranchées. Nous savons que Mayniël fait dire le contraire à sa formule, mais une formule dit tout ce qu'on veut, moyennant les modifications nécessaires, et par exemple, dans l'espèce, Mayniël fait abstraction de l'action des terres, fort à tort suivant nous, lorsque les retraites prennent une certaine largeur, comme $0^m,20$

à $0^m,30$ ou plus. Le fait de l'arrachement des contre-forts dans les mouvements de translation d'un revêtement prouve, en effet, combien le poids des terres augmente la stabilité des murs qui les supportent, car le poids de la maçonnerie seul ne serait pas suffisant pour motiver leur rupture suivant la plus grande section au lieu de la plus petite. Enfin, le grand surcroît de résistance que les revêtements empruntent des voûtes jetées entre leurs contre-forts corrobore encore ce raisonnement.

Ceci nous amène aux revêtements en décharge (*pl. III, fig.* 15, 16, et 17), pour la résistance desquels les formules sont bien autrement obscures et compliquées, les analystes habitués à raisonner sur le profil se trouvant très-embarrassés des vides laissés sous les voûtes. Aussi le général du génie français Michaud a-t-il fait l'observation, dans un mémoire sur ces revêtements, inséré au *Mémorial de l'officier du génie,* n° 11, que les calculs mathématiques appliqués sans consulter l'expérience ont conduit à de fâcheux résultats dans les constructions de ce genre. Nous ne connaissons, en effet, aucune théorie rationnelle sur leur résistance à la poussée, et les formules déduites jusqu'ici conduisent à des résultats absurdes. Ainsi dans le mémoire cité, on donne pour règle générale que la stabilité d'un revêtement en décharge doit être égale à celle d'un revêtement du profil de Vauban, de 10 mètres de hauteur, et dans les notes jointes au mémoire, on voit que cette stabilité signifie la résistance contre le déplacement, par rotation et par glissement. Donnant pour exemple le calcul des dimensions d'un revêtement de 10 mètres de hauteur, soutenu par des voûtes de 6 mètres de longueur et d'un mètre d'épaisseur, l'auteur trouve que le mur de masque devrait avoir $1^m,65$ d'épaisseur au niveau du sol de la galerie, plus $^1/_{20}$ de talus extérieur, et 1 mètre en haut, en même temps que le mur de soutènement sous les voûtes obtiendrait $2^m,96$ d'épaisseur, le tout pour le cas d'équilibre, en sorte que ces dimensions devraient être majorées pour être au-dessus de la poussée. Nous avons vu des revêtements de la même hauteur, avec des voûtes de la même longueur, mais de $0^m,65$ d'épaisseur, closes par un mur d'escarpe de $0^m,50$ sur toute la hauteur, et par un mur de soutènement de $0^m,65$, qui ont parfaitement résisté à la poussée et à de fortes surcharges. De si monstrueuses erreurs, glissées dans un pareil ouvrage, montrent jusqu'où de fausses analogies peuvent conduire les hommes les plus instruits. Si l'auteur avait fait attention que chaque pied-droit, chargé du poids d'une voûte et des terres qui reposent dessus, présente une

stabilité bien supérieure à la poussée qui s'exerce contre sa faible surface, il aurait compris que ces pieds-droits constituent autant de points immuables contre lesquels la terre s'appuie, et que la cohésion latérale des terres diminue d'autant la poussée contre le mur sous la voûte. Il aurait vu aussi que ce mur, retenu à ses deux extrémités, ne peut pas se renverser d'une pièce, mais doit être brisé en trois endroits, au milieu et le long des pieds-droits, pour se déplacer, ce qui, sur une si petite longueur, demande une tout autre force. Par la même raison, le mur de masque, contre lequel ne s'exerce d'autre poussée directe que celle des terres sous la voûte, et qui est relié de part et d'autre aux pieds-droits, peut (sous le rapport de la stabilité) être réduit à une épaisseur très-faible, ses points d'appui l'empêchant de se déplacer.

Examinons encore ici ce que l'expérience, chèrement achetée, dans diverses constructions récentes, nous a appris des effets de la poussée sur les revêtements en décharge. Nous n'avons pas d'exemple de renversement par soulèvement des maçonneries et des terres qui reposent dessus, mais de trop fréquents du tassement des terres sous la fondation, la charge étant répartie sur une trop petite surface; dans ce cas, le revêtement s'est renversé en arrière en s'enfonçant, au lieu de se renverser en avant en se soulevant. Dans d'autres cas, les pieds-droits, morcelés par les baies des passages et des créneaux imprudemment coupés au travers, sont devenus trop faibles pour porter le poids des voûtes et des terres, et la maçonnerie entre le passage et le mur de masque a été épaufrée ou écrasée, d'où sont résultées des lézardes en travers des voûtes et des pieds-droits au-dessus des passages, qu'on a parfois arrêtées en rétrécissant le passage, en le portant plus loin du mur de masque et en fermant les créneaux (citadelle de Gand). Cette solution de continuité a été accompagnée d'un surplomb du mur de masque, lorsque les pieds-droits n'étaient pas élevés jusqu'au cordon, ou quand le mur de masque, dépassant l'extrados de plusieurs décimètres, devait résister à une assez forte poussée dans les noues. Enfin, quand le terrain n'était pas entièrement incompressible, un effet pareil a été produit, mais en sens inverse, la partie des pieds-droits postérieure aux passages s'enfonçant ou tassant par suite de la surcharge que les voûtes correspondantes supportent. Dès lors l'adhérence des maçonneries étant rompue, la partie antérieure, avec le mur de masque, pouvait obéir à la poussée qui agissait contre elle. Ce dernier effet a même été quelquefois sensible sur un terrain incompressible, mais avec des matériaux tendres et susceptibles d'un grand tassement.

Il suit de ces observations que :

1° Quant à la poussée, on peut former des revêtements avec décharge très-économique, lorsque le fond est incompressible, en reliant les pieds-droits par plusieurs étages de voûtes sur lesquelles les terres reposent, et en faisant les voûtes assez longues pour que le mur de masque ne supporte guère d'autre poussée que celle des terres sous les voûtes, pourvu que les matériaux soient assez solides pour supporter sans écrasement le poids des maçonneries et des terres.

L'équation d'équilibre devra alors s'établir entre l'inertie des maçonneries et des terres qu'elles supportent, plus l'adhérence de la maçonnerie suivant la surface de déchirement du pied-droit parallèle à la direction de la poussée, d'un côté, et la poussée exercée contre la surface postérieure du pied-droit et des voûtes qu'il supporte, de l'autre. Si la ligne revêtue était courte, comme formée de quatre à cinq voûtes seulement entre deux massifs, il conviendrait encore de porter en compte, en faveur de la résistance, l'adhérence latérale des maçonneries suivant la clef des voûtes.

2° Dans le même cas et sous les mêmes conditions, on pourrait même supprimer le mur de masque, en allongeant suffisamment les voûtes pour porter le talus des terres entre deux étages successifs.

3° Lorsqu'on veut conserver une galerie sous la voûte, la distance entre le passage et le mur de masque doit être calculée de manière que la surface de chaque partie séparée du pied-droit soit en état de supporter, sans s'écraser, le poids qui repose dessus. Il est à remarquer que la résistance contre l'écrasement doit être au moins décuple de celle exigée par la condition d'équilibre, parce qu'on ne peut jamais être sûr que la totalité des points de deux surfaces superposées viendront au même instant en contact, tandis que les suites les plus graves seraient à craindre si la cohésion des molécules venait à être détruite dans une direction quelconque et la pression changée en force vive.

Il est évident que le raisonnement fait pour un pied-droit divisé par un passage s'applique entièrement à une partie du pied-droit subdivisée par un créneau.

4° Si l'on n'arase pas l'extrados des voûtes, il faudra continuer les pieds-droits au-dessus des noues jusqu'au cordon et donner au mur de masque au-dessus de l'extrados des voûtes une épaisseur proportionnée à la poussée qu'il supporte. Mais le plus expédient sera toujours d'araser l'extrados, quand les voûtes doivent porter une grande masse de terre, afin de prévenir le déchirement des maçonneries par

des forces agissant suivant des directions divergentes. Afin de diminuer le cube des maçonneries dans les noues, on peut augmenter le rayon des voûtes, tout en les faisant en portion de plein cintre, pourvu que le rayon ne dépasse pas 4 mètres, et qu'on renforce les pieds-droits au point que chacun isolément puisse servir de culée, si les voûtes collatérales étaient détruites par le canon.

5° La force des murs de soutènement par derrière doit être calculée d'après celle nécessaire pour déchirer la maçonnerie entre deux points d'appui immuables ou l'écraser, si le mur de soutènement est cintré. Dans ce dernier cas, avec des profils ordinaires, $0^m,32$ d'épaisseur seront suffisants; on la portera à $0^m,52$ ou, au plus, à $0^m,63$, lorsque ce mur sera en ligne droite.

6° Par la même raison, l'épaisseur des voûtes, sous le rapport de la stabilité, pourrait être réduite à $0^m,42$, pour des portées de 4 mètres, couvertes en plein-cintre, et il serait plus avantageux d'avoir sur la hauteur deux voûtes de $0^m,42$ qu'une de 1 mètre. Ce n'est que la considération de la résistance à l'artillerie qui engage à épaissir la voûte supérieure, à mesure que son extrados sera plus rapproché du cordon de l'escarpe.

7° L'empâtement des fondations doit aller en augmentant, de l'avant à l'arrière des pieds-droits, en proportion de l'augmentation de charge portée par les voûtes, en sorte que le plus souvent il sera prudent, lorsqu'on ferme les voûtes par derrière par un mur de soutènement reposant sur arceau de décharge, de relier les pieds-droits en ce point par une contre-voûte, pour répartir la pression sur une plus grande surface.

Maintenant, considérons ces revêtements sous le rapport défensif. Quelques ingénieurs s'en promettent d'immenses résultats : selon eux, il serait quasi-impossible d'y ouvrir une brèche praticable, ou du moins le temps exigé deviendrait fort long, à cause du soutien que les voûtes donnent au parapet. Nous avouons n'avoir pas tous nos apaisements à cet égard; il est bien vrai que l'idée des revêtements en décharge a été reproduite d'après quelques expériences de guerre, spécialement d'après la difficulté éprouvée au siége du château de Dillembourg, dans la guerre de sept ans (1760); mais l'assiégeant n'y connut cette circonstance qu'après le siége; d'ailleurs le tir s'y fit à 350 mètres de distance. Quatre pièces de 16, renforcées d'abord de 3 pièces de 24, puis de 2 autres pièces de 24, ne parvinrent qu'au bout de cinq jours à ouvrir une brèche complète et praticable. On peut donc

douter que semblable difficulté se représentât, si prévenu de l'existence des voûtes, on déterminait la direction du tir en conséquence, et qu'il eût lieu à la distance ordinaire de 50 ou 60 mètres. Il nous semble qu'en prenant les pieds-droits convenablement d'écharpe et les coupant de l'arrière à l'avant, l'artillerie les détruirait presque aussi vite qu'un revêtement plein, à moins que les pieds-droits et les voûtes ne fussent beaucoup plus longs que l'épaisseur de ce revêtement avec ses contre-forts, et engagés dans les terres. Les expériences de Bapaume de 1847, ont montré la possibilité d'y réussir même en ce cas. Il y a plus : dès que le mur de masque est ouvert, l'assiégeant peut pénétrer dans les galeries et de là arriver dans la place par les communications établies, ou bien creuser rapidement une mine dans le massif du rempart et faire disparaître par une seule explosion les maçonneries et les terrassements, ce qui (l'établissement du fourneau) n'exigera guère plus de temps que l'ouverture de la brèche dans un revêtement plein. Par compensation, les galeries derrière le revêtement offrent une excellente défense contre les attaques de vive force et suppléent, sur beaucoup de points, au flanquement que les fossés ne peuvent recevoir des parapets. Or, comme la différence en temps ne peut jamais être fort en leur défaveur, vu le peu d'heures que l'ouverture d'une brèche exige, les revêtements en décharge sont préférables sous le rapport défensif, surtout parce qu'une place n'est jamais attaquée sur tout son pourtour à la fois, et que les galeries non menacées pourront servir de refuge aux troupes et de magasin aux approvisionnements, avantage tellement grand, tellement important que seul il suffirait pour faire pencher la balance en leur faveur. Seulement, il faudra avoir soin de placer le sol des galeries assez haut pour que l'ennemi, du fond du fossé, ne puisse pas en emboucher les créneaux, ni enfoncer leur masque par des barils de poudre placés contre, ni pénétrer facilement dans les galeries, s'il était percé de loin par l'artillerie. A Lille, le sol des galeries est à 4 mètres au-dessus du fond du fossé. Il faudra aussi réduire au *minimum* de quantité et de dimension les communications entre les galeries et l'intérieur de la place, et les faire aboutir aux points où des corps de garde permanents sont établis, afin de faciliter la surveillance. A Lille, il y a une communication de $1^{m},20$ seulement de largeur, à chaque angle de courtine; les galeries passent au-dessus des poternes, dont elles sont tout à fait isolées, et au-dessous des passages des portes, où elles ont un débouché constamment surveillé par la garde. On fermera d'ailleurs les passages par des portes crenelées à l'épreuve de la balle, lorsque

le point auquel le revêtement doit être attaqué sera connu. Il sera bon, d'un autre côté, quand l'escarpe est très-élevée, d'avoir deux étages de voûtes, pour que l'inférieur maintienne les pieds-droits lorsque le supérieur sera coupé par les boulets, et aussi parce que l'inférieur, s'il se trouvait plus bas que le niveau auquel on attaque ordinairement les revêtements battus en brèche, resterait défensif, gênerait le passage du fossé, et, en supportant les décombres, empêcherait la formation d'une brèche praticable, même lorsque les voûtes supérieures seraient ouvertes.

Il est un troisième point de vue sous lequel il faut comparer les deux espèces de revêtements, c'est celui de l'économie. Comme simple mur de soutènement, les décharges l'emporteront infiniment sur les murs pleins, puisqu'une faible quantité de maçonnerie jetée entre les contre-forts sous forme de voûte suppléera à la lourde masse par laquelle, dans les contrescarpes ordinaires, on contre-balance l'effort de la poussée. Ainsi, pour un mur de profil de $8^m,50$ de hauteur, à parement vertical, avons-nous pu nous contenter de $0^m,95$ d'épaisseur, en plaçant entre des contre-forts de 1 mètre d'épaisseur sur $1^m,90$ de longueur, espacés de $4^m,90$ de milieu en milieu, deux rangées de voûtes de $0^m,42$ d'épaisseur, le remblai se faisant en sable. Suivant le profil de Vauban, ce même mur aurait eu sur la fondation $2^m,60$, avec des contre-forts de $2^m,40$ de longueur et de $1^m,25$ d'épaisseur réduite. L'économie produite par les voûtes était donc considérable. Il n'en est plus de même lorsqu'on veut obtenir une galerie de contrescarpe, la longueur des pieds-droits devant être sensiblement augmentée pour permettre d'y percer un passage, sans s'exposer à voir la maçonnerie écrasée sous son poids et celui des terres, et de plus la résistance des maçonneries devant suppléer à la force qu'elles empruntent, dans le premier cas, aux terres qu'on appuie sur les voûtes. Aussi, à moins d'avoir affaire à de très-hautes contrescarpes au-dessus de 7 mètres, ne croyons-nous pas que des constructions en décharge avec galerie de communication puissent être appliquées sans une notable augmentation de dépense.

Ce raisonnement est encore plus applicable aux revêtements d'escarpe, d'autant que les voûtes et les pieds-droits, doivent être sensiblement plus longs que la poussée ne l'exige, afin d'offrir plus de défense contre le canon et des abris plus spacieux. La dépense est d'ailleurs majorée par les massifs placés aux angles, pour servir de culées et ôter à l'ennemi l'envie d'ouvrir le revêtement en ces points, puis de

battre les pieds-droits en flanc. Ces massifs doivent être aussi longs que les voûtes et seront limités sur les faces par des perpendiculaires abaissées du point d'intersection de deux parallèles, menées à la magistrale, à la distance de la longueur des pieds-droits. La raison d'économie fait quelquefois évider ces massifs; mais la défense alors subira les mauvaises chances qu'entraîne cet affaiblissement des maçonneries. Aux angles rentrants, il suffit qu'ils aient l'épaisseur d'un pied-droit ou quelque chose de plus, vu l'appui qu'ils reçoivent des terres remblayées contre. Enfin, la nécessité de donner aux pieds-droits une base incompressible oblige d'ordinaire à établir des fondations artificielles, dont le coût absorbe et au delà l'économie qu'on aurait pu faire sur le cube des maçonneries. Aussi, suivant nos calculs, les revêtements en décharge ne deviennent-ils moins dispendieux que lorsque leur hauteur dépasse 12 mètres; mais au delà de cette limite leur avantage devient de plus en plus sensible, parce que le cube des maçonneries pleines croît dans une progression effrayante. Notons aussi que si les galeries sont fermées par derrière, le vide laissé sous les voûtes augmente les déblais et diminue les remblais, en sorte que les fossés pourront être plus étroits, considération dont nous avons appris à apprécier l'importance.

Comme on donne aux revêtements une force plus grande que celle exigée par la poussée, il n'y a, au surplus, aucune raison pour que les dimensions soient les mêmes sur toutes les parties du tracé. Ainsi, sur le front de la place idéale, la tenaille couvrant parfaitement la courtine et les flancs retirés, le revêtement de ces parties pourra être plus faible, tandis qu'il conviendrait d'augmenter la longueur des pieds-droits des faces au droit du fossé de la demi-lune, quand ce dehors est appliqué, pour rendre d'une moindre conséquence les dégradations dont le revêtement est passible en ces points.

Le mur de masque pourrait aussi être formé de voûtes superposées, afin de rendre sa mise en brèche plus difficile; mais cette construction embarrassante qui n'augmente pas sensiblement la difficulté d'ouvrir le masque, a le défaut de signaler nettement à l'ennemi l'emplacement des pieds-droits, et surtout de présenter des obstacles au percement des créneaux. Nous lui voyons donc plus d'inconvénients que d'avantages. Cependant, si la position des voûtes était déjà indiquée par celle des évents, comme il arrive ordinairement, nous admettrions volontiers le prolongement des voûtes jusqu'au parement extérieur de l'escarpe en faveur de la plus grande solidité qu'offre ce mode de construction.

Il est à observer que, lorsqu'on fonde sur pilotis, comme la nature du sol dans beaucoup de nos places l'exige, il sera indispensable de fortifier par un plus grand nombre de pilots l'extrémité des pieds-droits et des contre-forts, à cause du plus grands poids supporté par ces points, et qu'en général, lorsqu'un revêtement quelconque est établi sur pilotis, il est essentiel de donner à la fondation une grande profondeur sous le fond du fossé. Ceci étant en contradiction avec les idées routinières, il s'agit de l'expliquer plus amplement. Quand les sondes ont fait reconnaître que le fond est mauvais, mais qu'au-dessous de plusieurs couches compressibles se trouve un banc solide, on supplée à la maçonnerie qui devrait traverser toutes les couches molles, en fichant sur ce banc des pilots assez gros pour supporter sans plier leur part du fardeau dont ils seront chargés. Si c'est un édifice qu'on construit, il n'y a aucun inconvénient à faire monter ces pilots presque à fleur de terre (sauf les précautions contre l'altération des bois par les variations de la température), pourvu qu'on ait soin de calculer la force des pilots comme si elle ne recevait aucun accroissement des terres qu'ils traversent, de crainte que cet accroissement ne fût au-dessous des prévisions. Mais ceci ne suffit pas pour les murs soumis à des pressions latérales. Évidemment la composante agissant dans le sens horizontal n'a d'autre obstacle à vaincre que le frottement et la résistance que les terres au-dessous du fond du fossé opposent à la marche des fondations. Suivant l'observation faite tantôt, cette force n'agit pas seulement sur le revêtement en s'arrêtant à la retraite des fondations, elle est reportée sur les pilots. Or, les pilots ne peuvent sans doute pas suivre le mouvement en entier, mais les tenons engagés dans le grillage, l'élasticité du bois et la résistance des couches environnantes les empêchent seuls d'obéir à cette force, en s'inclinant. On conviendra sans doute que les tenons ne sont pas suffisants pour contre-balancer la poussée horizontale, et que si les couches sont molles jusqu'à une grande profondeur, les tenons doivent se briser et tout le revêtement s'avancer, en faisant décrire aux pilots une courbe, à partir du point où les couches incompressibles empêchent les parties engagées de se déplacer. Ce mouvement continuera jusqu'à ce que l'élasticité des bois fasse équilibre à la poussée, à moins que leur résistance dans la position inclinée ne soit plus en rapport avec le poids dont ils sont chargés, car alors les pilots plieront, puis se casseront, et le revêtement se couchera à la renverse dans le fossé. Le seul moyen de parer à ce grave accident est de donner par-devant une grande surface aux fondations, afin d'accroître la résis-

tance des terres sous le fond des fossés. Rien n'est plus propre à cela que l'addition d'une rangée de palplanches, soutenues par une ventrière et des pilots de garde inclinés; mais il ne sera pas hors de propos d'observer que cette espèce de pilots est très-difficile à mettre à place, dans l'alignement et à la profondeur, en sorte qu'on ne peut pas se fier à l'effet qu'ils devraient produire autant qu'on le croirait en considérant leur position.

Les galeries d'escarpe ou de contrescarpe, ménagées dans l'épaisseur de ces murs parallélement à leur direction, telles que les employaient quelques anciens ingénieurs, ne sont plus admises dans les constructions modernes. La principale raison de leur abandon, c'est que la destruction du pied-droit, qui forme masque du côté du fossé, entraîne la chute totale du revêtement : cette destruction est moins à craindre, si la galerie est en contre-bas du fond d'un fossé sec, pour servir exclusivement à la défense souterraine, et nous admettrions sans difficulté, en ce cas, l'ancien dispositif en voûtes parallèles.

Quel que soit le genre de revêtement adopté, après que les fondations seront terminées, on rétablira exactement les angles à l'aide des repères, puis on tracera le pied du revêtement, non plus à la chaîne, mais avec des règles de 4 mètres de longueur, pour plus d'exactitude. Aux lignes dont le prolongement se perd dans la campagne, on donne une légère inflexion, comme le $^1/_{200}$ de la longueur, afin d'empêcher l'effet d'optique qui fait paraître rondes les masses prolongées en ligne droite, lorsque ce prolongement va couper l'horizon.

Vauban couronnait ses murs d'une tablette en pierre de taille, de $0^m,25$ à $0^m,30$ d'épaisseur et de $0^m,15$ à $0^m,20$ de saillie, placée à hauteur du pied du talus extérieur du parapet. On appelait *cordon* la partie antérieure, quand elle était arrondie; on taillait la face inférieure en *larmier*. Dans les dernières constructions, on l'a souvent supprimée par économie, mais cette économie est mal entendue. Quand la tablette n'existe pas, les eaux pluviales coulent le long du revêtement et imbibent incessamment la partie supérieure, qui ne tarde pas à être dégradée par les gelées, tandis que ce rebord prévient la dégradation en répartissant les eaux sur toute la surface du mur. Observons cependant que la pierre de taille se lie difficilement aux briques, que les meilleurs mortiers ont peine à remplir complétement le joint entre eux, et que l'eau s'y introduisant fait lever la tablette et la détache complétement du reste de la maçonnerie. Il en résulte que chaque pièce doit couvrir toute la largeur du mur, pour rendre d'une manière perma-

nente le service qu'on en attend, ce qui occasionne une dépense assez forte, et que lorsqu'on a de très-bonnes briques, on peut l'éviter en substituant à la tablette un couronnement en briques de champ et mortier hydraulique, donnant une demi-brique de saillie et trois briques de hauteur à ce couronnement. (Gand et Lille). A Paris, on a employé les tablettes liées à une couche de $0^m,30$ de béton recouvrant toute l'épaisseur du mur. Si, par position, un mur d'escarpe était dans le cas d'être mis en brèche par la mine plutôt que par le canon, il serait utile de construire en pierres dures la partie où devrait avoir lieu l'attachement du mineur ennemi.

Les remarques faites sur les effets du tassement des maçonneries et de l'adhérence des mortiers conduisent à la conclusion qu'il faut au moins trois années pour la construction d'un front de fortification. Pendant la première, on creuse les fondations, on les établit et on élève les revêtements jusqu'à la moitié environ de leur hauteur, remblayant les terres par derrière, au fur et à mesure, par couches de $0^m,25$ à $0^m,30$, au plus, d'épaisseur. La seconde année, on termine les revêtements et on fait les remblais jusqu'au niveau des tablettes; enfin, dans la troisième année, on achève les parapets, on établit les portes, les ponts, les rampes et les autres moyens de communication, en sorte qu'avant trois ans la place n'est pas en état de défense. Souvent pour éviter le renchérissement des matériaux et de la main-d'œuvre, par une consommation disproportionnée aux moyens de production, on ne fait les dehors qu'après l'enceinte, et, comme les mêmes précautions doivent être prises, la construction dure alors six ans au moins, les bâtiments militaires étant d'ordinaire un travail qu'on exécute quand les autres sont terminés.

17me LEÇON.

PORTES ET POTERNES.

SOMMAIRE.

Dimensions des portes, largeur, hauteur. — Décharges dans les pieds-droits. — Chasse-roues en pierre de taille, en fer. — Passages dévoyés. — Orgues et herses. — Inutilité et désavantages des ornements architectoniques à l'extérieur. — Difficulté de couvrir le passage par le relief du chemin couvert. — Dimension du tableau. — Portes secondaires dans quelques vieilles places, leur désavantage. — Emplacement des portes battantes; arcs doubleaux servant de feuillure. — Faiblesse des voûtes d'arête contre le choc des bombes. — Corps de garde, partagés en corps de garde d'officiers et de soldats. — Salles d'arrêts et latrines. — Lits de camp. — Pavage des corps de garde. — Vestibules. — Escaliers. — Poternes, leurs dimensions, leur pente. — Escaliers-rampes adoptés en France pour le transport de l'artillerie. — Position du seuil des poternes au-dessus du fond des fossés. — Pavage des portes et poternes. — Chapes en trass et en mastic bitumineux; les premières sont préférables. — Vantaux de portes de ville et de poterne; charpente; serrurerie. — Menuiscrie et ferrures pour fenêtres de corps de garde et pour guichets. — Passages dans les ouvrages extérieurs et dans les glacis. — Guérites ménagées dans l'épaisseur des murs. — Hahas à bascule.

Les communications des ouvrages entre eux sont établies au moyen de poternes, de rampes et d'escaliers, voûtés ou à ciel ouvert; mais les places devant agir, pendant la guerre, en combinaison avec les armées, il est indispensable qu'elles aient, par exemple, pour les cas de grandes sorties à faire, de secours à introduire, etc., sans parler des besoins du commerce et de l'industrie, en tout temps, plusieurs passages vers la campagne, par lesquels des colonnes de troupes et des convois de voitures puissent se mouvoir avec facilité et rapidité. On conçoit que les défilés étroits et tortueux, établis à des niveaux différents, afin de pouvoir passer d'un ouvrage à l'autre, seraient très-insuffisants pour atteindre ce but, et chaque forteresse est percée de plusieurs portes, suivant le nombre de grandes routes qui la traversent, par lesquelles on parvient de plain-pied du terre-plein de la ville en rase campagne, à l'aide de ponts jetés sur les fossés et de chemins pavés à la gorge ou dans l'intérieur des ouvrages, suivant la direction la plus courte que la sûreté

de la place tolère. C'est de ces portes que nous allons nous occuper dans cette leçon, ainsi que des poternes, rampes, escaliers et autres moyens de communication.

On estime qu'une porte de ville est nécessaire par 3 ou 4 fronts. Il en faut davantage, lorsque le site de la place est divisé par des cours d'eau sans ponts à l'extérieur, en plusieurs secteurs isolés. Chaque secteur réclame alors au moins deux portes reliées par une route de ceinture, afin que la communication ne soit point empêchée tout à fait, si l'une d'elles est en réparation.

Les portes doivent avoir une largeur et une hauteur proportionnées aux plus fortes voitures en usage dans le pays. Chez nous, la longueur des essieux ne dépasse pas $2^m,20$; on adopte néanmoins, pour la première dimension, 4 mètres, $4^m,40$ ou même 5 mètres, afin qu'une voiture qui n'aurait pas pris exactement le milieu du passage où une voie de 2 mètres au moins est réservée aux charrois, laisse encore entre elle et les murs un espace suffisant à l'établissement de bons trottoirs et pour que les piétons ne courent pas risque d'être écrasés. On peut aussi, à cette fin, entailler dans les murs latéraux des arceaux de décharge, de $0^m,30$ de profondeur, dans lesquels les piétons se refugient. En même temps, on place immédiatement contre le mur ou à quelque distance, s'il y a des trottoirs, des bornes inclinées, débordant en tout cas le mur d'une quantité plus grande que le bout de la fusée ne dépasse la roue, en sorte que celle-ci heurterait contre la borne avant que l'essieu n'effleurât le mur. De là le nom de *chasse-roue* donné à ces bornes. On les fait d'ordinaire en pierre de taille, leur donnant la forme d'un prisme à 8 pans, dont le rayon intérieur a $0^m,20$. Ils sont taillés sur une longueur de $0^m,75$, sans compter la calotte sphérique qui les couronne, et on laisse le bout enterré brut ou simplement épincé, de $0^m,40$ à $0^m,45$ d'équarissage et de $0^m,80$ de longueur, mais ces dimensions peuvent varier suivant les localités. Souvent aussi on les remplace par des barres de fer, de $0^m,035$ d'équarissage, inclinées sous 45° à 55°, recourbées en haut, scellées dans les pieds-droits et dans des dés de pierre de taille placés parmi les pavés. L'évidement des pieds-droits a encore une autre utilité, c'est de fournir des points d'appui aux coffrages en charpente, par lesquels on condamne, pendant un siége, les portes dont l'usage est superflu ou dangereux, et dont nous traiterons quand nous en serons à la mise en état de défense.

Aux portes très-fréquentées conduisant à des faubourgs populeux

ou à des gares de chemins de fer, les trottoirs dont nous avons parlé mènent quelquefois à des baies et à des passerelles latérales qu'on a soin de murer en temps de guerre. D'autres fois, on construit deux passages accolés, l'un servant à l'entrée, l'autre à la sortie.

Avant que l'extension des ouvrages extérieurs eût fait couvrir complétement par les dehors, et spécialement par la demi-lune, le passage des portes, on avait soin de le dévoyer suffisamment, en le courbant souvent en deux sens, pour que le coup de feu rasant l'arête extérieure d'un pied-droit fût intercepté par l'autre. On perçait les murs latéraux de créneaux et on les fermait, du côté de la ville comme du côté de la campagne, de portes épaisses, constituant ainsi un défilé dans lequel il était extrêmement dangereux de s'engager. En outre, on plaçait, en arrière de la première paire de portes battantes, une porte verticale, coulant dans des rainures, et que nous avons décrite, sous le nom d'*orgue* et de *herse*, dans la 3^{me} partie. Cette fermeture avait l'inconvénient de rendre le passage des portes difficile et très-sujet à encombrement, comme il n'est que trop aisé de s'en convaincre dans les places où un tracé analogue a été adopté pour la traversée du glacis, quoiqu'ici les inconvénients soient plus faciles à prévenir, par l'absence des voûtes ; en outre, les orgues ou herses exigeaient pour leur manœuvre un bâtiment fort élevé, dont le toit indiquait nettement, de très-loin, l'emplacement de la communication principale et semblait appeler les feux de l'ennemi, lorsqu'il se donnait la peine de détruire ces défenses. Aussi a-t-on depuis longtemps supprimé les passages courbes et les fermetures verticales, sauf dans quelques localités où des circonstances exceptionnelles obligent à passer sur leurs défauts, à cause des avantages qu'on s'en promet. Ainsi ces précautions peuvent encore être employées rationnellement à la gorge des bastions retranchés contre la ville, lorsque aucun obstacle n'empêche l'ennemi, parvenu dans la place, ou une bourgeoisie révoltée, de briser les fermetures à coups de canon et de battre même l'intérieur du réduit ; mais on doit soigneusement éviter d'en avoir besoin aux passages importants et sur les routes fréquentées.

Il serait très-désirable, surtout sur les fronts d'attaque, qu'aucun indice extérieur n'accusât à l'ennemi la position des portes, c'est-à-dire que la porte, avec la voûte qui la couvre, fût dérobée aux vues de la campagne, aussi bien que le reste du revêtement, mais c'est très-difficile à obtenir avec une tenaille ordinaire. En effet, une porte ne peut guère avoir moins de 4^{m},50 ou même 5 mètres sous clef, sans gêner

le passage des chariots de roulage et des diligences; l'épaisseur de la voûte doit être de 1 mètre, pour que la communication soit garantie de l'atteinte des bombes les plus fortes, encore n'est-on pas bien sûr de n'avoir rien à craindre, à moins de renforcer l'extrados de la voûte par un dos d'âne de $0^m,50$ à $0^m,80$ de flèche. Si donc la ville est au niveau de la campagne, il faudrait élever la crête du glacis de plus de 6 mètres, pour intercepter les vues dirigées vers la porte en arrière des épaules des demi-lunes. Or, le relief des places d'armes même ne va guère qu'à 3 mètres, celui des réduits à $3^m,60$ ou $3^m,90$, en sorte qu'il faudrait baisser le sol du passage de près de 3 mètres, si on voulait satisfaire complétement à cette condition. C'est cependant ce qui est impossible dans les sites aquatiques, où l'on rencontrerait l'eau avant d'arriver à ce niveau, et souvent peu praticable sur les horizons élevés, à cause de la profonde entaille à faire dans la tenaille, puis des raccordements avec le pavé de la ville et avec le niveau du terre-plein du chemin couvert dont il convient de ne pas trop s'écarter. On préfère alors relever la courtine vers son milieu de $1^m,50$ à 2 mètres, construire un cavalier de courtine ou une traverse munie d'un passage couvert afin de gagner la différence de hauteur qu'on ne peut obtenir en s'enfonçant, et on se contente de couvrir par le terrassement du glacis le vide sous la voûte, en laissant la maçonnerie au-dessus exposée à la vue de l'assaillant.

Mais, comme si ce premier défaut n'était pas assez choquant, on accompagne presque toujours le passage de colonnes ou de pilastres, supportant un entablement en pierres de taille, dont la couleur tranche vivement sur celle des autres maçonneries et désigne encore plus clairement l'endroit où l'on doit frapper. Quoique cette coutume soit générale et que nous-même nous ayons été forcé de la suivre, nous ne pouvons nous empêcher de dire qu'elle est déraisonnable et antimilitaire, le goût futile de la décoration et des embellissements ne devant jamais prévaloir sur les considérations tirées des besoins de la défense. D'ailleurs, si l'on tient tant aux ornements architectoniques, rien n'empêchera de décorer la façade vers la ville, puisque celle-ci, couverte par la masse du rempart et du parapet, ne décèle rien à l'ennemi et n'a rien à craindre de ses projectiles. Nous avons déjà dit ailleurs comment, avec une tenaille du tracé de la place idéale, on peut couvrir la porte aux vues du dehors; mais si cette construction était adoptée, la décoration extérieure deviendrait également inutile, puisqu'on ne la découvrirait qu'en arrivant sur la tenaille, c'est-à-dire de trop près pour

qu'elle puisse produire de l'effet. Les ingénieurs prussiens, dans leurs dernières constructions de l'espèce, accusent un dédain de la puissance destructive de l'artillerie, bien difficile à justifier selon nous, et qui pourra quelque jour leur attirer d'amères déceptions.

Nous avons dit que le passage de la porte a habituellement 4 à 5 mètres de largeur; cependant il y a un point où cette largeur est réduite à $2^m,85$ ou $3^m,50$ au plus, et c'est à sa sortie vers la campagne. Là se place un pont-levis, ayant un peu plus, $0^m,20$ à $0^m,30$, de largeur que la sortie, et de $3^m,50$ à 4 mètres de longueur; les tourillons répondent au plan extérieur du mur, en sorte qu'en se relevant, le tablier ferme complétement le passage, quand la hauteur sous clef de la sortie ne dépasse pas 4 mètres. Si elle était de 5 mètres, comme les tabliers de ponts-levis de $4^m,50$ de longueur sont déjà trop lourds à manœuvrer, il faudrait se résigner à laisser ouverte la partie supérieure du passage. Le mur qui ferme l'excédant de largeur et de hauteur de celui-ci sur la sortie, s'appelle le *tableau* de la porte. On lui donne d'ordinaire $0^m,65$ à $0^m,85$ d'épaisseur, afin de fournir un appui solide aux manœuvres du pont-levis, qui reposent sur lui, comme aux fermetures, composées d'anneaux scellés dans la maçonnerie et dans le tablier, de chaînes, de cadenas et de verrous. Dans quelques anciennes places, à côté de la porte principale, il y a une petite porte, avec son pont séparé, qui va rejoindre le grand pont comme à la citadelle d'Anvers. Cette porte est destinée au passage des hommes isolés ou patrouilles, pour lesquels on ne veut pas baisser le pont-levis principal, précaution bonne lorsque aucun ouvrage extérieur n'empêche l'approche du passage et les surprises, mais qui devient inutile dans la fortification moderne et, par cela même, n'est pas à imiter.

Sous la voûte se placent les portes battantes, dont les vantaux se ferment de dedans en dehors : règle générale pour toutes les portes de poternes et autres passages, afin de pouvoir les fermer contre l'ennemi qui poursuit. On leur procure une battée, en faisant sous la voûte un arc doubleau, appuyé sur des pilastres de $0^m,16$ à $0^m,20$ de saillie et de $0^m,65$ d'épaisseur, ou bien on laisse la partie antérieure plus étroite et plus basse d'autant, et l'on coupe dans les pieds-droits et dans la voûte une niche dans laquelle la porte se loge (*pl. III, fig.* 18). Cette dernière construction donne lieu à une voûte d'arête, la pénétration des voûtes perpendiculaires arrivant jusqu'à la clef de la voûte principale, et à cette occasion nous ferons observer que les voûtes d'arête sont les plus faibles de toutes contre le choc des bombes, quand celles-ci

frappent vers le point d'intersection des deux clefs, les matériaux en ce point n'étant soutenus que par l'adhérence des mortiers et ne formant voussoir que dans le sens des arêtes. Il sera donc prudent de placer cette voûte d'arête sous l'épaisseur du parapet, où une grande profondeur de terres rend le choc des bombes moins à craindre, et de donner 1 mètre de moins en hauteur aux autres niches latérales, afin de diminuer l'inconvénient que nous venons de signaler.

La sûreté du passage exige que ces portes soient accompagnées de *corps de garde*, pour un poste considérable, destiné à fournir les sentinelles devant les armes et sur les remparts, corps de garde qui, d'après les principes que nous avons énoncés, doivent être également à l'épreuve de la bombe. On compte d'ordinaire sur un poste de 25 à 30 hommes, commandés par un officier ; 9 à 10 hommes seront constamment en faction, le lit de camp devra pouvoir en recevoir 16 à 20. On peut mettre $0^m,55$ pour la place d'un homme, ce qui donne, pour la longueur du lit de camp, de 9 à 11 mètres. La largeur du corps de garde sera de 4 mètres à $4^m,40$, dont $2^m,10$ sont occupés par le lit de camp; sa hauteur de $2^m,82$ à 3 mètres. Nous avons donné $8^m,40$ de longueur, $4^m,40$ de largeur, et $2^m,82$ sous clef, dimensions qui n'ont donné lieu à aucune réclamation. Les voûtes peuvent être perpendiculaires ou parallèles à la longueur de la courtine ; la première disposition est plus forte, puisque dans la seconde les ouvertures pour la porte et les fenêtres doivent être percées dans la culée, mais elle se prête mal à la décoration, et comme on y tient, comme d'ailleurs la culée est fortifiée par le mur de soutènement du rempart et la voûte protégée par les terres qui reposent dessus, nous ne voyons pas grand inconvénient à adopter l'autre.

Nous avons formé le lit de camp de madriers, en chêne, de $0^m,04$ d'épaisseur, placés suivant la largeur, embrévés au pied dans une sablière de $0^m,10$ à $0^m,15$ et reposant sur un sommier de $0^m,08$ et $0^m,12$, avec des montants de $0^m,10$ et $0^m,15$, espacés de $2^m,00$ environ. Le sommier était relié à la sablière par des traverses de $0^m,08$ et $0^m,12$, encastrées à queue d'aronde, espacées de 4 mètres en 4 mètres. Le chevet était formé d'un madrier de $0^m,04$ sur $0^m,30$, formant avec l'horizon un angle de 30°. Le pied du lit de camp est à $0^m,45$ au-dessus du sol, la tête à $0^m,85$. Souvent on garnit le pied de planches, pour que le dessous ne devienne pas le réceptacle de toute espèce d'ordures. Des planches de 25 millimètres sont très-suffisantes pour cet objet. On fait alors déborder la sablière de

27 millimètres devant les montants, afin que les planches étant placées, elles arasent à peu près la face antérieure de la sablière. Toute cette charpente doit être en chêne. Aux extrémités d'un lit de camp, à moins qu'elles n'aboutissent à un mur, on place des *demi-stalles* pour garantir les hommes qui y sont couchés.

Afin d'obtenir une disposition symétrique, on place de l'autre côté de la porte le corps de garde de l'officier et une salle d'arrêt, dans laquelle on dépose les délinquants jusqu'à leur envoi à la grand'garde. Nous avons donné au corps de garde de l'officier $5^m,20$ de longueur, à la salle d'arrêt $4^m,20$, les séparant par un mur de $0^m,42$. Les dimensions en largeur et en hauteur étaient les mêmes que pour le corps de garde des soldats. Dans la salle d'arrêt est placé un lit de camp de la construction détaillée tantôt. Les longueurs réunies de ces deux locaux dépassent celle du corps de garde des soldats, mais derrière celui-ci et dans la même façade se trouve la porte des latrines, accessoire indispensable de tout lieu habité. Le plan vous en fait connaître les dimensions et les détails.

Il faut ménager dans l'épaisseur des murs un conduit pour la fumée des poêles, qu'on place en hiver dans les corps de garde. Nous leur avons donné $0^m,25$ sur $0^m,40$, les faisant déboucher dans le couronnement du mur de soutènement. Peut-être aurait-il mieux valu, pour la conservation des façades, percer le mur d'un trou oblique, dans lequel un tuyau de tôle peut être introduit, car la fumée a constamment noirci le couronnement, la suie étant entraînée le long de la façade par la pluie.

On pave souvent le corps de garde en briques de plat et briques de champ ou en carreaux de terre cuite. Cette méthode est tout au plus bonne pour le corps de garde d'officier, où il y a peu de circulation. Dans les corps de garde des soldats, le pavé en grès est préférable, ceux en terre cuite se détériorant rapidement sous les coups de crosse et occasionnant un entretien considérable.

Parfois on laisse entre les corps de garde et le passage de la porte des vestibules-arceaux de moindre diamètre et de moindre hauteur sous clef que la voûte principale, ou qu'il convient du moins d'établir de cette manière, afin d'atténuer les défauts des voûtes d'arête. Ces vestibules facilitent la circulation des piétons et offrent en même temps un espace couvert, sur lequel les hommes de garde peuvent se réunir. Faisant alors déboucher les portes des corps de garde dans les vestibules, il devient plus aisé de prévenir les attaques par surprise, en cas

de sédition ou de trahison, en garnissant les vestibules de grillages à portes battantes et les fermant, lorsqu'on a quelque irruption violente à craindre.

Souvent encore on place à côté des corps de garde des escaliers, au moyen desquels les hommes qui vont relever les factionnaires, ainsi que les rondes et les patrouilles, se rendent sur le rempart. On pourrait bien se dispenser de cette construction, lorsqu'il y a des rampes adossées à la courtine, puisque le détour ne serait jamais fort long; mais si on veut l'appliquer pour que la garde puisse plus rapidement garnir le parapet au-dessus de la porte et en face du pont, le plus simple sera de faire servir à cet usage les murs de profil par lesquels on soutient le talus intérieur du rempart. Il ne faut pour cela que les élargir et les allonger un peu, car ils ont rarement moins de $0^m,80$ de largeur, et les escaliers n'ont guère que $1^m,25$, et une inclinaison de 6 de hauteur sur 7 de giron peut suffire. Habituellement, on fait les marches en pierre de taille; cependant si le restant de la maçonnerie est en briques, il serait mieux de faire les marches en briques également, à cause de la difficulté qui existe à relier parfaitement les deux espèces de maçonnerie.

Il est quelquefois utile de construire, pour plus de sûreté, des galeries crénelées à côté des passages des portes, comme on peut le voir fig. 13, pl. XI, de la 3^{me} partie (2^{me} volume) du Cours.

Lorsque les portes sont sur des fronts exposés aux attaques et à fossés secs, on y joint des poternes destinées à fournir les moyens de communication, quand les travaux d'attaque sont poussés assez avant pour rendre le passage du pont impossible ou très-dangereux. Comme elles doivent servir à l'artillerie, il est indispensable de leur donner une largeur de $2^m,85$ à 3 mètres, au *minimum*, et autant de hauteur sous clef. Il n'y a que la baie de la porte sur le fossé qu'on réduit à $2^m,50$ de largeur et de hauteur, afin de faciliter le jeu des vantaux. Une autre condition de leur établissement est de pouvoir servir au passage des bouches à feu attelées, c'est-à-dire de n'être pas assez inclinées pour exiger le secours des machines dans la descente ou la montée des pièces. La pente du sol ne doit donc pas dépasser $0^m,17$ par mètre, mais c'est ce qu'il est très-difficile d'obtenir dans bien des cas. Si nous supposons, par exemple, le passage de la porte à 6 mètres au-dessus du fond du fossé, et le seuil de la poterne à 1 mètre au-dessus du même niveau (ce qui oblige néanmoins à ajouter une rampe en bois à la sortie pendant le siége), la longueur de la poterne serait, suivant la règle,

de 30 mètres, plus l'épaisseur du mur d'escarpe et du mur du côté de la ville et plus le palier horizontal indispensable au jeu des vantaux du côté du fossé, tandis que toute l'épaisseur du rempart n'est que de 20 à 24 mètres, dont il faudrait défalquer la profondeur du vestibule, si la poterne était placée à côté de la porte. Aussi dans beaucoup de places a-t-on, faute d'espace suffisant, remplacé la rampe par un escalier, ce qui rend la poterne impropre au passage des chevaux et le transport de l'artillerie très-difficile. En France, nous avons vu employer un *mezzo termine*, un escalier-rampe, destiné à parer à un de ces inconvénients au moins. L'escalier (*pl. III, fig.* 19), de $1^m,25$ de largeur, s'appuie à deux bandes en pierre de taille, de $0^m,30$ de largeur, ayant un rebord de $0^m,05$ de hauteur. La voie d'une voiture d'artillerie étant de $1^m,60$ entre les joues intérieures des roues, la bouche à feu posée sur les bandes sera contenue par les rebords et pourra être hissée ou descendue le long de la rampe à force de bras ou à l'aide de palans, sans courir le risque d'écorner les marches et de fatiguer l'affût par des secousses répétées. Il est inutile d'ajouter qu'on tient l'escalier aussi doux que possible. Ce palliatif est ingénieux, mais il ne remédie que très-imparfaitement aux défauts des escaliers, puisqu'il faut employer des machines au lieu de chevaux dans le transport de l'artillerie, dont le passage à travers la poterne sera toujours lent et difficile. Il n'est donc à recommander que dans des localités où le manque d'espace rend la construction de rampes impossible, et il ne faut jamais sacrifier celle-ci au désir de rendre une façade plus belle et le coup d'œil de la porte plus agréable. Quand la poterne n'accompagne pas la porte et sert elle-même de communication principale entre l'enceinte et les dehors, on pourra souvent commencer la rampe au niveau voulu du côté du fossé, et la prolonger vers la place jusqu'à la longueur exigée, au delà de l'épaisseur du rempart, soit perpendiculairement à l'escarpe, soit en retour le long du pied des talus intérieurs de la courtine, avec la précaution d'élargir le pavage près de l'entrée de la poterne, afin de faciliter le changement de direction des voitures.

Nous avons dit que le seuil des poternes est placé à 1 mètre au-dessus du fond des fossés secs, et effectivement on rencontre dans plusieurs places cette disposition; mais elle est vicieuse, car elle exige l'addition d'une rampe en bois pour pouvoir passer dans le fossé, sans donner une garantie suffisante contre les coups de main. Il est, par cela même, préférable de faire aboutir la poterne au niveau même du fossé ou de le tenir au-dessus de 3 à 4 mètres. Dans le premier cas, on ne court pas

le risque de voir la rampe en bois, renversée et brisée par les projectiles verticaux, intercepter la communication; dans le second, la hauteur à laquelle le débouché se trouve rend impossible à l'ennemi de l'ouvrir par l'explosion de quelques sacs de poudre placés contre les fermetures, et si l'inconvénient de la rampe en bois devient plus grave, au moins est-il compensé par un avantage sous d'autres rapports. Quand une tenaille se trouve devant la courtine, le meilleur sera de placer l'ouverture de la poterne à la plus grande hauteur que le parapet de la tenaille couvre, de passer de plain-pied de la poterne sur la tenaille, à l'aide d'un pont-levis, puis d'adosser à la tenaille les rampes par lesquelles on passe dans le fossé. On répartit ainsi sur une plus grande longueur la différence de niveau qu'on doit racheter, le débouché de la poterne est battu de feux moins fichants, et, par cela même, est mieux flanqué; enfin, les tentatives pour en forcer les fermetures deviennent sensiblement plus difficiles.

Le passage sous les portes étant fort resserré, la boue et les immondices s'y accumulent avec rapidité, et il ne faut négliger aucune précaution pour en faciliter l'écoulement. A cet effet, le passage, les vestibules et un espace assez large, comme de 6 à 8 mètres devant la façade entière, sont pavés en pavés de grès. On bombe ce pavé de $0^m,12$ à $0^m,16$ sous la voûte, afin de rejeter dans les rigoles sur les côtés tout ce qui tombe au milieu. Il faut également avoir soin de placer le restant du pavage dans des plans tels, que la boue et les eaux pluviales soient entraînées par leur poids vers le regard d'un égout qui, traversant sous le rempart, les fait écouler dans le fossé. Ces regards et ces égouts n'ont rien qui les distingue de ceux usités dans l'architecture civile, excepté que la sortie de l'égout dans le fossé doit être munie d'une forte grille en fer et avoir une section tellement réduite, dans le sens de la hauteur, qu'en aucun cas un homme ne puisse s'y introduire. Par contre, du côté de la ville, il sera avantageux que ses dimensions soient suffisantes pour permettre l'intromission d'un homme ou, du moins, d'un jeune garçon, si le conduit venait à être engorgé.

On se sert, pour le pavage des portes et poternes, des trois échantillons de pavés dont nous avons donné les dimensions en traitant des communications militaires. Le passage de la porte sera pavé en pavés du deuxième; les vestibules, les poternes et l'abord des corps de garde, en pavés du troisième échantillon. Le corps de garde pour soldats et la salle d'arrêt peuvent l'être en pavés du quatrième échantillon, tandis qu'on planchéie le corps de garde pour officier en madriers de chêne,

de $0^m,035$, assemblés à joints carrés et blanchis d'un côté, sur gîtes de $0^m,08$ et $0^m,10$, reposant sur les retraites des fondations et sur des dés établis suivant l'axe de la voûte, en sorte qu'ils ne touchent pas la terre. Ce plancher est préférable de beaucoup, pour la propreté, l'agrément et même l'économie dans l'entretien, aux carrelages dont on se sert quelquefois.

Les dos d'âne sont disposés de manière à favoriser l'écoulement des eaux de filtration. Ainsi quand les voûtes sont parallèles au mur de façade, on place la naissance du dos d'âne à $0^m,12$ ou $0^m,15$ plus haut au milieu de la longueur de la voûte que vers ses extrémités, formant ainsi des surfaces gauches, au bas desquelles on place une gouttière, qui porte en dehors, à l'aide d'une gargouille en pierre de taille placée en travers du mur et débordant de $0^m,15$ à $0^m,20$ l'aplomb extérieur, les eaux qui ont pénétré à travers les terres. Lorsque les voûtes sont perpendiculaires, on élève également la naissance du dos d'âne du côté des terres et la gargouille se place dans le prolongement de l'intersection des deux plans. Quand les voûtes sont parallèles, on a soin, en outre de former au pied du plan du dos d'âne, dans les terres, un massif en pierres sèches ou en décombres, de 1 mètre environ de hauteur et de $0^m,50$ à $0^m,60$ d'épaisseur, afin de favoriser la distribution des eaux de filtration dans la masse des terres et de les empêcher d'humecter constamment les maçonneries par derrière.

Les voûtes de casemates sont construites avec les mêmes précautions. Les casemates à canon reçoivent quelquefois une plate-forme en maçonnerie, qu'on fait très-solide en pierres de taille de $0^m,50$ d'épaisseur. La pierre destinée à porter la crapaudine de cheville ouvrière pour châssis d'affûts doit être des plus fortes dimensions possibles; on y encastre un gîte en chêne appelé *coussinet de crapaudine,* et dont la face antérieure, serrée contre la face postérieure de la crapaudine, empêche que celle-ci ne bascule en arrière par l'effet du recul. La fig. 14, pl. V, représente une grande caponnière à canons analogue à celles de la nouvelle enceinte d'Anvers.

On établit au-dessus de tous les souterrains, portes, poternes, etc., des chapes imperméables, en mortier hydraulique. A cet effet, lorsque les maçonneries sont en briques, genre de construction le plus usité dans notre pays, on arase le dos d'âne suivant la forme prescrite, à l'aide d'assises horizontales, dont on a soin d'abattre les angles à la truelle, de manière à présenter une surface continue, qu'on recouvre ensuite de deux couches de briques sur plat, placées en liaison et en

mortier hydraulique. Avec ce même mortier, on récrépit les murs à l'extérieur, jusqu'à la rencontre du dos d'âne, avant d'appuyer les terres contre. Puis, après avoir fouillé profondément les joints avec un crochet, on étend une première couche de mortier hydraulique, de 0m,01 d'épaisseur, en appuyant fortement avec la truelle pour faire entrer le mortier dans les joints. Alors, on passe sur la surface un morceau de grosse laine, afin de la rendre bien rugueuse, et on la couvre de paillassons qui empêchent le contact immédiat de l'air et une dessiccation trop rapide. Au bout de deux jours, on passe une seconde couche de même épaisseur, traitée de la même manière, et, au bout d'un intervalle égal, une troisième couche semblable, après quoi on les laisse reposer quelques jours. On découvre la chape, pour chercher les gerçures qu'elle pourrait présenter, on les resserre avec le fer à polir, et, quand elles sont considérables, on y coule du mortier liquide, et on recouvre le tout de nouveau d'une couche de sable, sur 0m,08 à 0m,10 d'épaisseur. Cette opération ayant été renouvelée deux ou trois fois avec soin, en faisant déborder la chape de quelques centimètres sur l'arête des pieds-droits, on peut charger la voûte de terre avec confiance, pourvu que le mortier hydraulique soit bon, ce dont il convient de s'assurer, dans chaque localité, par des épreuves directes. A Menin, nous nous sommes servi avec le plus grand succès d'un mélange de 6 parties de chaux éteinte de Tournay, sur 5 parties de trass d'Andernach, et aussi de 6 parties de la même chaux, 4 de trass et 1 de sable. Depuis quelques années, on a beaucoup préconisé pour cet usage les mastics bitumineux de Seyssel et de Lobsann, coulés en couches de 0m,01 d'épaisseur, sur pavés en briques de plat. L'expérience est loin de constater le bon effet constant de ces enduits, mais même si leur bonté venait à être reconnue d'une manière irréfragable, la raison d'économie engagerait à conserver l'emploi du mortier hydraulique, dont le mètre carré de chape ne coûte guère que 2 fr., alors que les mastics bitumineux vont à 7 ou 8 fr. Quelle que soit la matière qu'on emploie, il sera prudent, au surplus, d'attendre pour appliquer les chapes sur les voûtes, que le tassement des maçonneries ait eu lieu complétement, puisque tout mouvement entraînerait des gerçures. Cependant, lors même qu'on serait forcé de réparer une chape en mortier hydraulique au bout d'une année, et qu'on en serait dispensé par l'emploi du bitume, encore le premier sera-t-il probablement le plus économique, à cause de la grande différence du prix d'établissement.

Le devis instructif, en France, porte à 0m,10 l'épaisseur de la chape

de mortier; avec les matériaux en usage dans notre pays, cette stipulation serait erronée, car le mortier sur cette épaisseur aurait toujours des gerçures nombreuses, souvent peu perceptibles à l'extérieur, mais qui n'occasionneraient pas moins des infiltrations. L'élasticité du mortier rendrait aussi plus difficile le rapprochement des lèvres des gerçures au moyen du battoir de fer, en sorte que l'autre méthode est de beaucoup préférable, avec les matériaux dont nous nous servons.

L'emploi de ces moyens est quelquefois impuissant à prévenir l'infiltration des eaux pluviales. C'est pourquoi il pourra y avoir lieu, en certains cas, d'imiter le procédé suivi par Vauban aux forts qui protégeaient jadis le port de Dunkerke (le *Risban*, le *fort de revers*, le *fort blanc*). Dans ces forts, les souterrains voûtés à l'épreuve des bombes étaient recouverts d'un bâtiment de construction ordinaire, dont la destruction ou la démolition, en temps de guerre, ne devait point empêcher de pousser la défense à outrance.

Nous n'avons pas encore parlé des vantaux des portes de ville ni des portes des poternes. Ordinairement, les premiers sont à l'épreuve de la balle. A cet effet, on établit, pour chaque vantail, un cadre, composé de deux montants de $0^m,16$ d'équarrissage, dont l'un est le tournant, l'autre le battant, de trois traverses de $0^m,06$ et $0^m,22$ et de trois liens montants, de $0^m,06$ et $0^m,16$; le tout assemblé à tenons et mortaises et chevillé en bois. Ce cadre est revêtu à l'extérieur de madriers de $0^m,10$ d'épaisseur, affleurant, par conséquent, les montants. Les madriers sont chevillés, en bois, contre les traverses et les liens. Souvent pour les mettre à l'abri de la hache, on les garnit à l'extérieur de gros clous, placés en quinconce, dont la tête, en segment de sphère, a $0^m,04$ ou $0^m,05$ de diamètre et qu'on espace de $0^m,12$ à $0^m,15$. Cette garniture monte jusqu'à $2^m,20$, au moins, au-dessus du pavé.

Les portes tournent sur des pivots en fer forgé, supportés par des crapaudines en bronze, ou, ce qui vaut autant, en fonte, encastrés dans des dés en pierre de taille, placés au niveau du pavé. En haut, elles sont appendues par des pentures à des gonds en fer, et elles sont, en outre, soutenues, par-devant, par des roulettes en bronze, placées sous les battants et roulant sur des bandes circulaires en fer, encastrées dans les pierres de taille descendues au niveau du pavé. La porte est fermée par un fléau en chêne, de $0^m,10$ et $0^m,16$ d'équarrissage, tournant autour d'un pivot en fer, de $0^m,04$ de diamètre, et s'engageant dans deux équerres en fer, dont l'une traverse un anneau fixé sur le fléau et est percée d'un trou, pour recevoir la branche du cadenas au

moyen duquel la fermeture est complétée. En bas, les deux vantaux sont garnis de verrous, de $0^m,04$ de diamètre, glissant dans deux anneaux et munis d'un arrêt, pour rester suspendus lorsqu'on ouvre la porte. Ces verrous entrent dans les trous d'une pierre de taille, formant saillie de $0^m,05$ pour constituer un arrêt, auquel aboutissent les bandes en fer sous les roulettes.

Les dés en pierres de taille dans lesquels les gonds sont scellés, ont, au moins, $0^m,30$ de face et de queue. On leur donne une épaisseur convenable, suivant celle des assises de la maçonnerie, comme de $0^m,20$ à $0^m,25$, correspondant à 4 ou 5 assises de briques.

Les pentures sont assujetties contre les portes par des boulons à écrou et des clous rivés; leur longueur dépasse la moitié de la largeur de la porte; leur épaisseur est de $0^m,005$; leur largeur moyenne est de $0^m,07$. Ils sont renforcés près de l'œil par une double équerre des mêmes dimensions, et de $0^m,40$ à $0^m,50$ de longueur, dans chaque sens, fixés contre les montants par des boulons à écrou et des clous rivés. Le gond a 35 ou 40 millimètres de diamètre et $0^m,05$ de saillie; sa tige se bifurque en queue d'aronde et est scellée avec du plomb dans la pierre de taille.

Le pivot, de 35 millimètres de diamètre et d'autant de hauteur, a trois branches encastrées dans le tournant du vantail et fixées par des clous noyés dans le bois. Dans cette construction le pivot répond verticalement au gond et le centre de rotation est en arrière de la porte; mais d'autres fois ce centre est reporté au milieu du tournant et le pivot est placé sous l'axe du prisme. Alors on remplace le gond qui est en haut, par un collier en fer, embrassant le tournant, comme nous l'avons dit en parlant des grandes barrières, dans la fortification passagère.

La roulette sous le battant tourne sur un pivot de 15 millimètres de diamètre, sa chape a également des branches encastrées d'équerre dans l'épaisseur des bois; elle a 6 millimètres d'épaisseur sur 60 millimètres de largeur. La roulette a $0^m,03$ de largeur et autant de rayon.

Enfin, les bandes de fer circulaires ont $0^m,05$ de largeur et $0^m,008$ d'épaisseur.

Dans plusieurs endroits on pratique dans un des vantaux un guichet, afin de pouvoir laisser circuler les piétons à l'entrée de la nuit, lorsque déjà les portes sont fermées, mais les ponts-levis encore baissés. Il suffit pour cela d'ajouter un montant entre les traverses et de placer sur le battant les gonds autour desquels les pentures du guichet tour-

nent. Pour plus de sûreté, on ne lui donne d'ordinaire que les dimensions indispensables à l'introduction d'une personne à la fois, c'est-à-dire $0^m,80$ de largeur et $1^m,45$ de hauteur, l'élévation nécessaire au passage des piétons étant complétée par l'épaisseur de la traverse inférieure que le passant est obligé d'enjamber. La fermeture du guichet consiste en une serrure à verrou, outre le fléau de la porte qu'on a soin de faire passer dessus, sa charpente en un cadre de $0^m,06$ et $0^m,15$, avec une traverse de même dimension, revêtu de madriers semblables à ceux du reste de la porte.

Les poternes ayant moins de largeur et de hauteur que des portes de ville, leurs portes battantes ont aussi des dimensions plus faibles. Nous leur avons donné $0^m,08$ d'épaisseur, en deux couches de madriers de $0^m,04$ recroisés. Elles sont suspendues de la même manière, sur pivot et sur gond; seulement les ferrures sont moins fortes. On estime que les pivots avec leurs branches, sans la crapaudine, doivent peser 16 kilog.; les pentures, sans boulons, 6 kilog.; les gonds, 9 kilog. On les ferme par deux verrous plats, du poids de 5 kilog. chacun, avec leurs anneaux, s'engageant dans la clef de la voûte et dans la pierre d'arrêt, puis au moyen d'un fléau en fer carré, de $0^m,03$ sur $0^m,50$ de longueur, reliant deux forts anneaux rivés à travers les madriers et arrêté par un cadenas. Les portes qui donnent immédiatement sur le fossé sont encore renforcées par des arcs-boutants, également en fer carré de $0^m,03$ de côté, placés au tiers de la hauteur au-dessus du sol, tenant par un bout dans un anneau scellé dans un dé en pierre de taille, de l'autre prenant dans un anneau rivé à travers les madriers. La longueur des arcs-boutants est calculée en sorte qu'ils arrivent au milieu de chaque vantail, en formant des angles égaux avec la porte et le mur.

Les baies des fenêtres des corps de garde, étant percées à travers les culées, pénètrent dans les voûtes. Nous répéterons l'observation, qu'il faut éviter de faire monter ces pénétrations jusqu'auprès de la clef, et se priver plutôt d'un peu de jour que de s'exposer à affaiblir le mur par de larges ouvertures. Nous ne leur avons donné que 1 mètre de largeur sur $1^m,60$ de hauteur, les arrondissant par le haut en plein cintre, sans ébrasement intérieur, plaçant le seuil à $0^m,90$ au-dessus du pavé, en sorte qu'il restait $0^m,35$ entre leur clef et celle de la voûte principale. D'ordinaire, on fait la partie cintrée de la fenêtre dormante, afin d'éviter les arrière-voussures, toujours peu solides. Quant à la menuiserie des fenêtres, nous avons donné au cadre dormant $0^m,08$

d'équarissage, au battant $0^m,04$ et $0^m,08$, et nous avons garanti les carreaux inférieurs par des liteaux intérieurs de $0^m,02$ et $0^m,03$. La baie extérieure, réduite à $0^m,86$ de largeur sur $1^m,53$ de hauteur, par des battées de $0^m,07$, a été fermée par des contre-vents en sapin du Nord, de $0^m,035$, cloués sur un cadre en chêne, de $0^m,04$ et $0^m,12$, avec deux pentures, une targette et un verrou.

Sur les fronts de la place idéale, nous avons eu soin d'isoler la communication avec la demi-lune, son réduit et les réduits de place d'armes, de la communication vers la campagne. Il n'en est pas de même dans la plupart des anciennes places. Là, au contraire, les grandes routes coupent tous les dehors. Dans les réparations et améliorations à faire dans ces places, il est utile de faire disparaître cette disposition, en conduisant les routes et établissant les ponts le long de la gorge du dehors, jusqu'à ce qu'ils parviennent au chemin couvert, d'où les routes ressortent par les sorties ménagées dans les glacis des places d'armes rentrantes. Si cependant les localités offraient de trop grands obstacles, en conservant la disposition existante, il faudrait isoler par des murs de gorge la communication vers la campagne de l'intérieur des ouvrages, afin de rendre les surprises plus difficiles, et percer dans les remparts des dehors des portes semblables à celle décrite dans la courtine et toujours accompagnées de corps de garde. Si le relief du dehors ne permettait pas de donner à la voûte de la porte, spécialement sous le terre-plein, une épaisseur suffisante pour être à l'abri de la bombe, il ne faut pas s'arrêter à cette difficulté, car l'avantage d'avoir un terre-plein continu l'emporte sur le danger qui peut en résulter pendant un siége, d'autant que pendant ce temps les communications directes avec la campagne sont le plus souvent interrompues. Là où le relief est absolument trop faible, comme, par exemple, dans des ouvrages dont la magistrale n'est que de 5 mètres au-dessus du passage, on remplace les portes par des coupures, de la même largeur que les passages voûtés, soutenant les remparts des deux côtés par des *murs de profil,* suivant les arêtes des plans des parapets et des remparts. Ces murs sont verticaux, d'une épaisseur proportionnée à la poussée, mais presque toujours beaucoup au-dessus, afin de les mettre en même temps au-dessus des chocs accidentels. A Menin, nous leur avons donné $0^m,95$, quoique la crête du parapet ne fût qu'à $4^m,70$ au-dessus du pavé, encore les avons-nous soutenus par des contre-forts de $1^m,60$ de longueur et de $0^m,80$ d'épaisseur réduite, dans la partie correspondante au parapet. Dans ces murs

on ménage des *coulisses ou rainures* destinées à recevoir les pièces de bois formant revêtement pour les terres d'un coffre, lorsque la défense exige la construction d'un parapet continu à l'endroit du passage. D'ordinaire, ces coulisses sont revêtues en pierre de taille; elles ont $0^m,30$ de largeur et de profondeur, l'appareil des pierres de taille se fait en chaînette, les assises, de même longueur, saillant alternativement à droite et à gauche.

Il est utile de préparer, en outre, dans la partie correspondante au terre-plein, le logement des gîtes qui supporteront le plancher par lequel on remplacera le terre-plein lorsqu'on voudra établir une communication non-interrompue derrière les parapets de l'ouvrage. Ces pièces peuvent avoir $0^m,16$ et $0^m,25$ d'équarissage et poser de $0^m,20$ sur les murs de profil. Afin de prévenir les infiltrations, il convient d'entailler leur logement dans des pierres de taille, qu'on encastre dans le couronnement.

Dans quelques places, on a ménagé dans les murs de profil des *niches* servant de *guérites* aux factionnaires chargés de la surveillance. On donne à ces guérites, qu'on fait octogonales, $0^m,65$ de petit diamètre, $2^m,20$ de hauteur, et on entaille, à droite et à gauche, un créneau pour découvrir les objets qui approchent. Cette idée est plus ingénieuse qu'utile, le factionnaire pouvant être facilement bloqué dans sa niche par une voiture arrêtée entre les murs de profil et dès lors mis hors d'état de faire son service. Comme d'ailleurs cette disposition n'offre d'autre avantage que l'économie d'une guérite en charpente, avantage bien minime en compensation du danger qui pourrait résulter pour la défense de l'enlèvement d'un factionnaire, elle n'est pas à imiter.

Lorsqu'on juge nécessaire de s'assurer l'usage exclusif des rampes par la construction de *hahas*, on doit préparer dans le couronnement d'une des culées l'encastrement des gîtes, comme nous venons de le dire pour les planchers qui complètent les terre-pleins dans des ouvrages d'un faible relief. On peut alors faire reposer l'autre extrémité des gîtes sur un chevalet de $0^m,90$ de hauteur, placé au-dessus d'une retraite et mobile autour d'un axe à sa partie inférieure. La traverse supérieure supporte un fort piton qui passe à travers le masque de la contrescarpe; à l'aide d'un levier coudé, on abat alors le chevalet; si l'ennemi osait poursuivre les nôtres dans leur retraite, le pont tombe dans le fossé en suivant le mouvement de son support, et la communication se trouve à l'instant interrompue. Le même effet peut être pro-

duit de plusieurs autres manières, par exemple, en faisant rentrer le pont dans la casemate par une rainure horizontale, à l'aide d'une tige en crémaillère et d'une roue dentée, ce qui donne en même temps la faculté de rétablir la communication à volonté, mais le mécanisme sera plus sujet à se détraquer, l'effet moins instantané, et comme la manœuvre ne doit pas se répéter souvent, nous croyons que la construction la plus simple sera la meilleure.

18me LEÇON.

SUITE DES PORTES ET POTERNES.

SOMMAIRE.

Épaisseur à donner aux pieds-droits des passages voûtés et autres bâtiments à l'épreuve. — Objections contre la théorie de la poussée des voûtes et nécessité de s'en rapporter à l'autorité des faits. — Divers exemples d'épaisseur de pieds-droits pris dans des constructions existantes. — Murs de soutènement et de profil peuvent être établis suivant les formules de Mayniel. — Observations relatives aux murs à épaisseur variable et aux murs cintrés. — Construction des voûtes en briques. — Décintrement. — Durée de la construction d'un bâtiment voûté. — Magasins à poudre sous les remparts, leurs dimensions; leur construction; maçonnerie, charpente, menuiserie. — Corps de garde des ouvrages avancés, leur emplacement. — Latrines à la turque, dimensions et construction. — Disposition usitée en France, observations qu'elle suggère. — Fourneaux de cuisine économique de M. Choumara.

Vous aurez remarqué, peut-être, que dans la leçon précédente nous n'avons pas parlé de l'épaisseur à donner aux pieds-droits des portes et poternes. La raison en est qu'avant de vous donner des résultats d'expérience, nous avons voulu vous expliquer pourquoi nous ne vous renvoyons pas simplement à la théorie sur la poussée des voûtes et pourquoi ces résultats d'expérience sont les seuls auxquels nous ayons confiance. Nous vous avons précédemment fait connaître nos objections contre la théorie de la poussée des terres; celles contre la théorie de la poussée des voûtes ne sont pas moins graves et résultent également du désaccord complet entre les faits admis par la théorie, comme bases du calcul, et les faits observés. En effet, la théorie part de la donnée qu'un

pied-droit résiste principalement en vertu de son poids; qu'en se renversant il tournerait tout d'une pièce autour de son arête extérieure au-dessus des fondations, ou, lorsqu'il est accompagné de contre-forts, autour de l'arête extérieure des contre-forts, aussi au-dessus des fondations, son moment statique étant égal au poids de la nette maçonnerie, multiplié par le bras de levier, compté à partir de l'arête inférieure du mur ou de l'arête inférieure des contre-forts. Elle regarde comme invariable la forme du prisme de poussée et du prisme de résistance, et ne tient aucun compte de la vitesse que le prisme de poussée peut acquérir. Enfin, elle ne prend en considération que le profil, sans égard à la distance des contre-forts ou à la décomposition des forces, qui a lieu quand les pieds-droits sont percés de décharges. Maintenant, si nous consultons l'expérience, elle nous enseigne que lorsqu'un pied-droit cède à la poussée, c'est parce que celle-ci se reportant sur l'arête extérieure et inférieure des fondations, le sol ou les fondations artificielles cèdent à une pression inégale, et dans ce cas les pieds-droits se renversent, en suivant le mouvement de leurs fondations, loin de s'en séparer; ou bien la maçonnerie des pieds-droits étant trop faible, elle se courbe dans le sens de la hauteur, puis l'arête du joint de rupture s'écrase sous le poids du prisme de poussée qu'elle supporte seule, et le mur reprend une position à peu près verticale, sans se séparer de ses fondations et sans lézardes notables dans le bas, dès que le prisme de poussée a effectué sa chute. Elle apprend que toute maçonnerie de voûte est sujette à un tassement, proportionnel au nombre de voussoirs dont la voûte est composée, et que ce tassement change la position des voussoirs, à partir de la naissance de la voûte jusqu'à la clef, au moment du décintrement, suivant leur distance de la naissance; que pour les grandes voûtes en pierre de taille, de 10 à 12 mètres de rayon, ce tassement est de $0^m,25$ à $0^m,30$, et qu'il est d'autant pour les voûtes en briques de 6 à 7 mètres de rayon, en sorte qu'en formant les cintres, on est forcé de donner à l'extrados une forme elliptique, dont le grand axe se trouve à la clef de la voûte, et que si les pieds-droits résistent à ce mouvement, leur stabilité contre la pression est plus que suffisante. Elle montre encore qu'au moyen de décharges, on peut déterminer l'action de la poussée vers des points fixés à l'avance et neutraliser son effet sur le reste de la longueur des murs; qu'on peut détruire même l'action de la poussée sur les pieds-droits et la convertir en une pression verticale, au moyen d'ancres et de tirants appliqués à hauteur de la naissance des voûtes ou peu au-dessus,

comme le prouvent assez les admirables édifices élevés pendant le moyen âge ; enfin, que si les pieds-droits cèdent, ce n'est qu'après s'être lézardés obliquement et que la partie immédiatement attenante aux fondations ne suit pas le mouvement du reste du mur.

Il résulte de là que la théorie, pour donner des résultats rapprochés de l'expérience, devrait, dans toute maçonnerie réunie par du mortier, tenir compte de la ténacité et de l'élasticité, c'est-à-dire proportionner la résistance du pied-droit à la surface du plan de déchirement ; que le moment de la poussée ne doit pas être compté à partir de l'arête du pied-droit, mais être reporté à l'arête inférieure des fondations ; que ce moment n'est pas simplement dépendant du poids du prisme de poussée et de la hauteur des pieds-droits, et qu'il faut prendre en considération la quantité de mouvement que le décintrement produit, égale au poids du prisme de poussée, multipliée par la vitesse qu'il acquiert, depuis le moment où le cintre cesse de le soutenir jusqu'à celui où le mouvement est arrêté par l'inertie des pieds-droits ; que lorsque le bâtiment est renforcé de contre-forts, on doit calculer la grandeur et la direction des forces qui agissent sur chacun d'entre eux, et qu'alors l'espacement des contre-forts devient un des principaux éléments du calcul, en combinaison avec la ténacité et l'élasticité de la maçonnerie ; enfin, que lorsque la hauteur du bâtiment est partagée en plusieurs étages, par des planchers ancrés dans les culées, la hauteur des pieds-droits devrait être comptée à partir du plancher le plus rapproché de la naissance, et non à partir des fondations. Mais une formule peut-elle renfermer les termes de ces forces variables et donner des résultats pratiques, alors que l'élasticité, la ténacité et la vitesse due au tassement varient suivant le temps que la construction a duré, l'abondance des pluies ou l'intensité de la chaleur pendant cet intervalle, la qualité des matériaux employés dans la maçonnerie et le soin avec lequel on les a mis en œuvre, et ne sont pas les mêmes, non-seulement pour deux édifices semblables, mais pour les parties successives d'un même édifice? Si, pour caver au plus fort, on compte comme 0 les éléments de résistance qu'on ne peut évaluer d'une manière assez approximative, on obtient des résultats très-éloignés de ceux que la pratique montre être convenables, et on entraînerait le gouvernement dans des dépenses superflues. Afin d'obvier à ce défaut, on crée des hypothèses plus ou moins vraisemblables et on réduit, au moyen de ces suppositions, les formules à une forme dont les produits numériques, en les appliquant à des constructions existantes, se rapprochent

des dimensions reconnues bonnes par l'expérience. De pareilles formules méritent-elles cependant quelque confiance, si l'on devait s'éloigner considérablement des formes des constructions usitées? Nous ne le croyons pas, et nous maintenons que mieux vaudrait recourir de suite à l'autorité des faits que de chercher, par des calculs fondés sur des données arbitraires, une prétendue équation d'équilibre, à laquelle il faut ajouter, également d'une manière arbitraire, une certaine quantité, pour se rapprocher des dimensions prouvées suffisantes par l'expérience.

Pour vous faciliter les applications, nous vous ferons donc connaître les dimensions que nous avons données, en employant de la bonne maçonnerie de briques, du poids de 1,800 kilog. environ le mètre cube, engagée dans des remblais de terres sablonneuses pesant environ 1,700 kilog., et dont le talus naturel était de 4 de base pour 3 de hauteur, en ajoutant que les maçonneries ainsi établies n'ont jamais fait le moindre mouvement, quoique toutes les parties de la vaste construction dont nous étions chargé n'aient sans doute pas pu être surveillées avec tout le soin désirable, en sorte que nous pouvons admettre que les dimensions sont encore, au moins, un quart au-dessus de l'équilibre.

Aux poternes de $2^m,50$ à $2^m,85$ de hauteur sous clef et de $2^m,50$ à $2^m,85$ de diamètre, ayant par conséquent, comme elles étaient voûtées en plein cintre, de $1^m,25$ à $1^m,40$ de hauteur de pied-droit, nous avons donné $0^m,95$ d'épaisseur de pied-droit, quand la voûte avait $0^m,63$ d'épaisseur aux reins, avec un dos d'âne de $0^m,40$ de flèche sur la clef, élevant le pied-droit jusqu'à la rencontre du plan de l'extrados. Lorsque la voûte avait $0^m,95$ d'épaisseur, avec un dos d'âne de $0^m,60$ de flèche au milieu, les pieds-droits prenaient $1^m,25$ de largeur, et on les soutenait, en outre, par des contre-forts de $1^m,25$ de longueur et de $0^m,80$ d'épaisseur réduite, espacés de 5 mètres de milieu en milieu et également élevés jusqu'au plan de l'extrados. Aux portes de 4 mètres de hauteur et de largeur, voûtées en plein cintre, sur $0^m,95$ d'épaisseur, avec un dos d'âne de $0^m,63$ de flèche, les pieds-droits ont eu $1^m,57$ d'épaisseur, soutenus par des contre-forts des dimensions nommées tantôt et espacés de même. Dans ces pieds-droits, à gauche et à droite des points où les contre-forts sont appliqués, on a entaillé des niches de $0^m,32$ de profondeur, de $2^m,82$ de largeur et de $3^m,10$ de hauteur sous clef, voûtées en plein cintre; entre les portes et les vestibules, on a laissé des piliers, de $0^m,95$ en carré, élevés jusqu'à la naissance de la voûte.

Pour d'autres souterrains engagés dans les terres, ayant $4^m,40$ de largeur, $2^m,85$ de hauteur sous clef, et des voûtes de $0^m,83$ d'épaisseur, renforcées de dos d'âne de la même hauteur, les pieds-droits ont eu $1^m,25$ d'épaisseur, sans contre-forts, en les élevant jusqu'à la naissance du dos d'âne, et nous n'avons pas donné plus d'épaisseur aux pieds-droits, en formant une voûte de $0^m,42$ d'épaisseur, de $5^m,60$ de diamètre et de $4^m,60$ de hauteur sous clef, renforcée d'un dos d'âne de $0^m,65$ de flèche. Mais comme ce souterrain était chargé d'une grande hauteur de terres, donc les pieds-droits exposés à une grande pression latérale, nous les avons reliés par une contre-voûte ou voûte renversée, placée entre leurs fondations et destinée à servir de contre-fort continu.

A cette occasion nous ferons une remarque essentielle : c'est que lorsque les pieds-droits d'un souterrain acquièrent une hauteur considérable sous la naissance, il faut les mettre au-dessus de la poussée des terres aussi bien que de la poussée de la voûte, ces forces opposées n'agissant pas à la même hauteur et, par cela même, ne se détruisant point, quoique les terres adossées aux murs donnent à ceux-ci un grand surcroît de résistance contre la poussée des voûtes, comme les voûtes appliquées à la hauteur convenable peuvent faire équilibre à la poussée des terres. Ainsi nous avons pu nous contenter de donner aux pieds-droits d'un magasin à poudre engagés dans la terre, $1^m,88$ d'épaisseur, sans contre-forts, les voûtes ayant $5^m,96$ de diamètre, en plein cintre, $0^m,95$ d'épaisseur, non compris la maçonnerie de la chape, $3^m,66$ de hauteur sous clef et un dos d'âne de $0^m,95$ de flèche, sans que le plus léger mouvement se soit manifesté. Plusieurs auteurs donnent cependant des dimensions plus fortes aux pieds-droits des simples poternes, sans doute parce qu'ils n'ont pas égard à l'action des terres.

Nous avons suivi, dans la construction des poternes, le principe que lorsque l'épaisseur des terres au-dessus dépassait 3 mètres, les voûtes n'avaient plus rien à redouter du choc des bombes, et que, par cela même, elles pouvaient être réduites à l'épaisseur nécessaire pour supporter, sans s'écraser, le poids des terres dont elles étaient chargées, ce qui, lorsqu'on travaille avec des briques, permet de ne leur donner, et en toute assurance, que deux briques ou $0^m,43$ d'épaisseur, tant que le rayon de la voûte n'excède pas $2^m,50$. Tant que la quantité de terres sur la clef était de 2 mètres, comme dès lors l'épaisseur des terres vers les reins devenait assez considérable, nous nous sommes borné à des voûtes de 3 briques ou $0^m,65$ d'épaisseur, et ce n'est que lorsque la couche de terre n'était pas assez épaisse pour amortir seule le choc

des bombes, que nous avons porté l'épaisseur à 4 ½ briques, faisant entre 0m,95 et 1 mètre d'épaisseur de maçonnerie aux reins. Car dans tous les cas, nous avons fortifié la voûte au milieu par un dos d'âne, afin de décomposer dans des directions favorables à la résistance le mouvement provenant de la chute des corps. Les plans des dos d'âne servaient en même temps à faciliter l'écoulement des eaux de filtration, les dos d'âne étant recouverts de chapes en mortier hydraulique. Ainsi pour les poternes en rampe, une partie de la voûte avait 0m,42, une autre 0m,65 et la troisième 1 mètre d'épaisseur, ce qui permettait de diminuer les pieds-droits proportionnellement.

Mais tous les abris voûtés ne sont pas engagés dans les terres, et pour compléter ce que nous avons à vous dire sur la poussée des voûtes, nous allons vous faire connaître les dimensions données aux culées de quelques bâtiments à l'épreuve qui ont parfaitement résisté à la poussée.

Un arsenal composé de deux voûtes parallèles, en plein cintre, de 6m,20 de diamètre, 8 mètres de hauteur sous clef, 50 mètres de longueur et 1 mètre d'épaisseur aux reins, fortifiées de dos d'âne de 0m,40 de flèche, a reçu des pieds-droits de 1m,40 d'épaisseur, encore évidés, de 5 mètres en 5 mètres, par des arceaux en décharge, de 3 mètres de diamètre et de 6m,50 de hauteur sous clef, sur 0m,78 de profondeur, mesurés sur la fondation, mais soutenus, également de 5 mètres en 5 mètres, par des contre-forts de 2 mètres de longueur, 1m,20 d'épaisseur à la racine et 0m,80 d'épaisseur à la queue, élevés jusqu'au pied du dos d'âne, où se trouve un petit mur de 0m,80 de hauteur, de 0m,65 d'épaisseur, destiné à supporter les terres dont la voûte doit être chargée en cas de siége. Ce bâtiment reposant sur pilotis, on a eu soin de rapprocher les pilots à la queue des contre-forts, jusqu'à 0m,80 de milieu en milieu, pour empêcher tout mouvement du point d'appui. On a d'ailleurs évidé les pieds-droits avec tant de hardiesse, parce qu'à 0m,90 au-dessous de la naissance de la voûte, les culées sont réunies par de forts tirants de bois, de 0m,30 sur 0m,36 d'équarrissage, avec ancres de fer, dont les clefs étaient portées jusque dans l'épaisseur des contre-forts. Ces tirants servaient en même temps de poutres maîtresses pour le plancher de l'étage. Comme les contre-forts ne soutenaient pas immédiatement les parties près des façades et qu'on craignait que l'élasticité de la maçonnerie ne permît un mouvement en ces points, on a contre-balancé la poussée aux extrémités par des ancres en fer, courbées suivant l'extrados de la voûte et réunies par un tirant en fer, de

0m,05 de côté, placé dans les murs de pignon, à hauteur du joint présumé de rupture, c'est-à-dire à l'intersection du côté d'un angle de 40° au-dessus de l'horizontale des naissances. Au moment du décintrement, la tension sur les ancres s'est manifestée par la gerçure du mortier qui entourait les tirants, mais depuis lors aucun autre mouvement n'a été observé.

Les ateliers joints à l'arsenal ont 8 mètres de profondeur, 4m,50 de largeur et 3m,75 de hauteur sous clef. Les voûtes, en plein cintre, ont 0m,95 d'épaisseur, avec un dos d'âne de 0m,40 de flèche. Les culées ont 2m,20 d'épaisseur, mais on a évidé dans chaque massif un arceau en décharge de 3 mètres de diamètre, de 2m,20 de hauteur et de 1m,30 de profondeur, sans que la solidité en ait été altérée.

Pour un autre bâtiment à l'épreuve, servant de laboratoire, les voûtes ont eu 8m,50, de longueur, 3m,50 de diamètre et 3m,50 de hauteur sous clef; leur épaisseur était de 0m,95, renforcée par un dos d'âne de 0m,56 de flèche. Les culées, élevées jusqu'à la rencontre du plan du dos d'âne, n'ont eu que 1m,68 d'épaisseur, encore ont-elles été évidées par deux arceaux de 2m,30 de diamètre et de 2m,90 de hauteur sous clef, jusqu'à 0m,95 de profondeur, en sorte qu'il ne reste que 1m,46 d'épaisseur à la culée de ces arceaux. Des édifices de ce modèle ont été construits avec succès dans plusieurs places, avec diverses espèces de maçonnerie; cependant, nous avons lieu de croire que la culée n'était pas de beaucoup au-dessus de l'équilibre lorsque le décintrement a eu lieu.

Enfin, un autre bâtiment, dont les voûtes, en segment de cercle, sont établies à l'intrados avec un rayon de 7m,12, tandis qu'elles ont 6m,20 de corde, 8 mètres de hauteur sous clef, 0m,95 d'épaisseur, avec un dos d'âne de 0m,60 de flèche et 17 mètres de longueur, a reçu des culées de 4 mètres d'épaisseur, mais on a évidé dans cette masse un arceau perpendiculaire de 4 mètres de diamètre et 7m,50 de hauteur sous clef, puis deux passages longitudinaux, superposés, placés au milieu du massif, ayant 1m,25 de largeur et 2m,58 de hauteur sous clef. Cette construction, que motivaient quelques circonstances locales, serait partout ailleurs très-blâmable, car en divisant la masse on s'exposait à voir chaque partie succomber successivement sous la même poussée. Les poutres du plancher placé à 4 mètres de hauteur, fortement ancrées dans les murs, ont sans doute compensé la force que les galeries longitudinales ôtaient aux culées; mais quoique aucun accident fâcheux ne s'en soit suivi, nous n'oserions recommander une pareille disposition à l'imitation.

En France, on donne généralement aux voûtes des casernes défensives, qui ont 8 mètres de hauteur sous clef et 20 mètres de longueur, sur une épaisseur de 1 mètre aux reins, voûtées en plein cintre, des culées de $2^{m},50$, élevées jusqu'à la rencontre des plans du dos d'âne, dans lesquelles on perce un arceau en décharge de 3 ou 4 mètres de largeur, dont l'extrados est à 1 mètre au-dessous de l'intrados des grandes voûtes. Ces culées sont soutenues par des voûtes perpendiculaires, sous lesquelles sont les escaliers. Comme les poutres des planchers relient les culées à moitié de leur hauteur, il est évident, d'après les dimensions citées plus haut, qu'elles ont une force bien supérieure à celle que la poussée exige.

Quant aux épaisseurs du mur de profil et de soutènement, nous vous avons déjà dit que nous avons suivi les formules données par Mayniel pour l'équilibre des murs chargés de terre jusqu'au sommet, sans surcharge, mais en retranchant le talus extérieur. Nous avons donné même sur quelques points, où les fondations étaient larges et profondes, des dimensions plus faibles que celles indiquées pour l'équilibre, sans avoir à nous en repentir, et nous pourrions citer tel endroit où la surcharge d'un parapet a été supportée par un mur pareil, sans qu'il s'en soit suivi de mouvement, en sorte que, sans en admettre les bases théoriques, nous croyons pouvoir recommander l'emploi de ces formules, lorsque le terrassement ne dépasse pas le sommet des murs.

Pour les murs de profil de terrassement, dont, par conséquent, l'épaisseur devrait décroître progressivement avec la hauteur du talus, on forme souvent des ressorts, la maçonnerie se prêtant difficilement à une diminution insensible. Cependant on peut aussi, à moins que le mur ne soit fort long, prendre une épaisseur moyenne sur tout son développement. Nous disons, à moins que le mur ne soit fort long, parce qu'en ce cas il pourrait arriver, que quoique la résistance totale fût fort au-dessus de la poussée totale, la ténacité ne suffirait pas pour l'empêcher de se courber aux points où il serait le plus chargé, ce qu'il s'agit surtout d'empêcher.

Tout mur courbe a besoin de moins d'épaisseur qu'un mur droit, parce que, soit que la courbe soit convexe ou concave, le plan de déchirement des joints suivant lequel le mur devrait se séparer serait plus grand. Quand le mur est concave, la poussée agit d'ailleurs contre une plus grande surface ou une plus grande masse de maçonnerie; quand elle est convexe, son élasticité s'opposerait plus énergiquement au déplacement. D'ailleurs si la courbe est tracée avec un rayon compara-

tivement faible et la maçonnerie composée d'éléments assez grands, dans ce dernier cas, elle formera voûte contre la poussée, et aura besoin de moins d'épaisseur au sommet de la courbe qu'à son origine.

La considération de la grandeur des éléments dont une courbe est formée a une influence notoire sur la poussée qu'elle exerce et la résistance dont elle est susceptible. Plus ces éléments sont petits, moins ils portent de coupe, plus ils ont besoin d'être reliés par l'adhérence du mortier et plus ils sont susceptibles d'écrasement vers les joints de rupture, parce que la pression est supportée par une moindre surface. Ainsi dans les voûtes en briques, les éléments étant terminés par deux plans parallèles, théoriquement la pression s'exercerait entièrement sur l'arête à l'intrados, puisque le reste de la surface n'entrerait pas en contact. Dans la pratique, le mortier interposé supplée à ce défaut, mais on ne peut éviter que l'action de la poussée ne se reporte principalement sur le premier rouleau de briques, l'épaisseur du joint devenant trop grande lorsqu'on veut former des plans de deux briques de hauteur suivant le même rayon. C'est pour cette raison que l'on forme la voûte d'autant de rouleaux successifs d'une brique que son épaisseur le comporte, ayant soin de fermer chaque rouleau séparément et de décintrer dès que le premier ou, tout au plus, les deux premiers sont fermés et le mortier pris de manière à empêcher les briques de glisser, ce qui a lieu au bout de 24 heures environ. On parvient ainsi à partager le tassement en plusieurs mouvements successifs, agissant avec des forces partielles, bien moins à craindre que le mouvement continu, opéré par toute la masse du prisme de poussée, lorsqu'on décintre après que la voûte a reçu toute son épaisseur. On pare encore ainsi à un autre grave inconvénient. Malgré le soin apporté à la confection des voûtes, il peut arriver que sur toute une partie de la longueur, un des rouleaux supérieurs soit serré plus que les inférieurs, que ses joints soient plus minces, d'où résulterait que le tassement s'opérant inégalement, les différents rouleaux se sépareraient vers la clef ou *souffleraient,* suivant l'expression consacrée, et dès lors le projectile qui tomberait dessus n'aurait plus à vaincre que la résistance successive de chaque rouleau isolé, au lieu de la résistance simultanée de la masse entière. Cet effet n'est pas à craindre avec l'autre mode de construction, le premier rouleau prenant en grande partie son tassement avant que le second ne se ferme, et empêchant, par cela même, celui-ci et les suivants de tasser autant, parce qu'ils reposent sur lui. Afin que cet effet soit plus sûrement produit, on ne laisse ouvert du deuxième

rouleau, au moment du décintrement, qu'un arc d'environ 60°, du troisième un arc de 90°, du quatrième un arc de 120°, en sorte qu'une grande partie du poids dont le premier rouleau sera chargé repose déjà sur lui, sans que la pression sur les reins puisse faire soulever la clef. C'est ainsi que nous avons agi dans les constructions que nous avons dirigées, et des voûtes de 15 mètres de diamètre ont été faites en briques de $0^m,21$, $0^m,10$ et $0^m,05$, non-seulement sans accident, mais en prenant presque exactement le tassement qui avait été prévu. Ce tassement a eu lieu en trois fois, au décintrement, à la fermeture du troisième rouleau, puis du quatrième, sans qu'un rouleau de demi-brique passé par-dessus, le dos d'âne et la toiture en pannes dont on a chargé les voûtes, aient depuis produit un mouvement. Il est encore à observer que les cintres étant déchargés du poids de la voûte dès que le premier rouleau est fermé, peuvent être beaucoup plus faibles, surtout les couchis, en sorte que cette méthode de construction réunit l'économie à la solidité.

L'observation que nous avons faite sur le rôle que la ténacité joue dans la résistance des murs conduit à la conséquence, qu'il ne faut pas élever en une seule campagne les pieds-droits et la voûte d'un édifice considérable, mais laisser aux maçonneries des premiers le temps de se consolider et à leurs fondations celui de se raffermir, afin de les mettre mieux en état de résister à une pression inégale, les chargeant, au surplus, autant que possible, sitôt après leur achèvement, d'un poids égal à celui de la voûte qu'ils devront supporter, pour obtenir tout le tassement dont la maçonnerie est susceptible avant de l'exposer à l'action de la poussée. La même précaution n'est pas indispensable pour les poternes, la terre jetée contre les murs leur donnant toute la solidité qui pourrait encore leur manquer, et le peu de hauteur des pieds-droits les préservant des effets produits par des forces appliquées en sens contraire à des hauteurs différentes.

Il résulte aussi de ces observations que plus les divers voussoirs de la voûte seront liés indissolublement, moindre sera la poussée, en sorte que celle-ci diminuera à mesure que le mortier qu'on emploie sera meilleur. Et si la hauteur de l'édifice est partagée par un plancher, il deviendra très-utile de se servir des gîtes comme de tirants, en ancrant au moins quelques-uns d'entre eux dans les deux culées, et reliant ceux d'un même cours par des traits de Jupiter et des doubles queues d'aronde boulonnées, si la distribution de l'édifice comportait plusieurs voûtes parallèles entre les points d'appui extrêmes.

Chaque ouvrage extérieur doit être pourvu d'un magasin à poudre voûté, servant au dépôt des munitions pour la consommation journalière, et même il convient d'en établir de pareils dans chaque bastion également. On leur donne 3 à 4 mètres de largeur, autant de profondeur et 3 mètres à 3m,50 de hauteur sous clef. Leur position sous le rempart et la profondeur des terres dont ils sont chargés déterminent l'épaisseur qu'on doit donner à leur voûte; mais comme il vaut mieux pécher par excès que par défaut de précaution, afin de les mettre à l'abri de tout accident, on est dans l'usage de la porter à 1 mètre, tout comme si elles étaient exposées au choc direct des bombes. — Pour diminuer, autant que possible, l'effet de l'humidité presque inévitable de ces souterrains, on les pave en briques de champ et de plat, en bain de mortier hydraulique, et l'on pose sur ce carrelage un plancher en madriers de chêne, de 35 millimètres, à joints carrés, sur gites de 0m,08 et 0m,10. Un tel magasin peut contenir 5,000 à 6,000 kilog. de poudre embarillée; aussi, quand on en a beaucoup, sont-ils d'une grande ressource pour répartir sur plusieurs points l'immense approvisionnement qu'une place forte, même de moyenne grandeur, exige, et diminuer d'autant le danger des explosions. Ils pourraient suffire à la consommation de 5 bouches à feu pendant 6 à 8 jours, mais il est bon d'observer que l'approvisionnement des pièces destinées à faire au besoin un feu de bataille doit être fait en partie en gargousses, et que les artifices préparés doivent être conservés dans les mêmes magasins, en sorte que leur contenance ne sera rien moins que surabondante. On les place de préférence sous les remparts, tant pour plus de sécurité que pour ne pas perdre de l'espace intérieur des ouvrages, mais il ne faut pas que leur porte débouche immédiatement sur le terre-plein, comme on le voit trop fréquemment, puisqu'alors ils sont trop exposés aux explosions des projectiles creux. Il est bien préférable de les placer à côté d'une poterne, qui devient un abri pour les hommes de garde, ou bien sous une traverse percée perpendiculairement par le passage voûté, servant de vestibule au magasin. Ce passage doit alors être fermé de portes semblables à celles des poternes et le magasin avoir, en outre, une double porte, dont l'intérieure avec pentures et fermetures en cuivre. Voici le détail de ces portes et de leurs armatures.

On donne aux baies 0m,90 de largeur et 2m,10 de hauteur sous clef, les arrondissant en plein cintre et leur donnant, de chaque côté, des feuillures de 0m,08. Les portes sont faites en madriers de chêne, de

0m,035, recroisés, assemblés à languettes et rainures et réunis, pour la porte intérieure, par des chevilles refendues, placées en quinconce; pour la porte extérieure, par des clous de 0m,13, rivés. Les pentures ont 0m,60 de longueur, 0m,09 de largeur à l'œil et 0m,06 à l'extrémité, et sont fixées contre la porte par trois boulons à vis et écrou, avec une rondelle encastrée dans le madrier intérieur. L'épaisseur à l'œil est de 0m,010, diminuant jusqu'à 0m,005 par devant. Les gonds ont 0m,025 de diamètre et 0m,10 de hauteur; ils sont scellés dans des dés de pierre de taille de dimensions convenables (souvent 0m,20 carrés sur 0m,16 d'épaisseur, les 0m,16 correspondant à trois assises de briques).

La fermeture consiste dans une serrure carrée et à verrou, dont la plaque a 0m,20 sur chaque face; le verrou, de 0m,025 de diamètre, glissant dans trois anneaux, dont un scellé dans le mur, et arrêté par les deux tours de la clef. Un dé en pierre de taille reçoit l'anneau du verrou et le pêne de la serrure.

Nous avons parlé de l'humidité presque inévitable de ces souterrains : elle résulte principalement de l'eau employée dans la confection des mortiers, lors de la construction, et qui, ne pouvant s'évaporer, puisqu'on charge les maçonneries de terre immédiatement après leur achèvement, finit par pénétrer tous les autres matériaux, qu'elle rend plus susceptibles, par suite, d'absorber l'humidité venant du dehors par l'infiltration dans les terres. C'est pourquoi nous croyons qu'il serait fort utile d'isoler les maçonneries et de laisser les chapes seulement couvertes de quelques centimètres de sable, pendant deux ou trois ans, en même temps qu'on placerait dans l'intérieur des lits de chaux vive, pour absorber les parties aqueuses répandues dans l'air et favoriser la dessiccation parfaite de la maçonnerie. On peut encore non-seulement crépir les pieds-droits à l'extérieur en mortier hydraulique, mais les environner d'un corroi en terre argileuse bien battue, de 0m,15 à 0m,20 d'épaisseur; enfin, comme nous l'avons déjà dit, appuyer contre une maçonnerie en pierres sèches ou décombres, sur 0m,40 à 0m,50 d'épaisseur, pour détourner les infiltrations du mur. Joignant à cela les moyens de dessiccation employés à l'intérieur, on parviendra à rendre l'air parfaitement sec, comme à ôter toutes les causes qui entretiendraient l'humidité ou la renouvelleraient.

On accompagne de caveaux pareils les poternes sous la courtine et la tenaille. On en construit aussi, un peu plus grands, à proximité des batteries casematées sous les flancs, tant du flanc de l'enceinte que de

ceux des tenailles ou des réduits de demi-lune. On en place, comme nous venons de le dire, dans chaque ouvrage extérieur. Quand ces ouvrages ont des revêtements en décharge, on peut, pour plus d'économie, les placer dans les massifs à l'extrémité des faces ou des branches, pourvu que ces extrémités soient bien préservées, dans tous les sens, des feux à plein fouet et des feux directs par plongée. En pareil cas, la poterne qui y conduit peut servir, en même temps, de communication avec les galeries du revêtement. Dans les ouvrages coupés de traverses, leur emplacement semble indiqué sous une traverse en capitale, l'entrée du magasin tournée vers l'intérieur de la place.

Enfin, il faut aussi des *corps de garde* dans les ouvrages extérieurs, soit pour la surveillance du passage, lorsqu'ils longent les entrées, soit pour la garde même du dehors. On convertit facilement en bâtiment à cet usage nos réduits casematés de place d'armes, en fermant à l'intérieur deux ou trois arceaux par un mur d'une brique et demie, dans lequel on ménage les baies pour les portes et les fenêtres. Dans la demi-lune et son réduit, ce corps de garde peut être placé sous le rempart, recevant l'air par des créneaux donnant dans le fossé et ayant, en outre, une fenêtre dans le mur de soutènement du terre-plein. Il est inutile, sans doute, de vous faire observer que s'il y a dans l'ouvrage une batterie voûtée perpendiculaire à la capitale, les voûtes pourront facilement être converties en corps de garde, en les fermant par des murs minces, percés des ouvertures nécessaires.

Toute réunion permanente d'hommes exige à portée, comme nous l'avons dit, la construction de *latrines,* on sorte qu'on a beaucoup médité sur les meilleurs moyens de prévenir l'infection qui en résulte. Les lois de la physique ont conduit à donner aux ouvertures du siége les moindres dimensions possibles, et à construire au-dessus de la fosse une cheminée d'aérage, dont la section est plus grande que celle de toutes ces ouvertures prises ensemble. Alors il s'établit un courant d'air qui entraîne l'air vicié à mesure qu'il se produit et, en le mélangeant à une grande masse d'air atmosphérique, rend son action inoffensive. C'est ce qui a motivé la construction des latrines dites *à la turque* (*pl. III, fig.* 20), à présent généralement adoptées en France, pour les casernes et les hôpitaux, et qui devraient l'être dans tous nos établissements analogues, civils et militaires. Le siége ordinaire est remplacé par des dalles en pierre de taille, taillées en cuvette, de 2 mètres de longueur, de $0^m,90$ de largeur et de $0^m,30$ de plus

grande épaisseur, dans lesquelles on ouvre des trous prismatiques, de $0^m,08$ de largeur et de $0^m,20$ de longueur à l'orifice supérieur, tandis que l'inférieur a $0^m,12$ sur $0^m,24$. Le mur de derrière est revêtu également en dalles ou en carreaux vernissés, pour le garantir de l'humidité lorsqu'on verse des seaux d'eau sur les dalles, afin d'entraîner les immondices qui pourraient rester déposées. La fosse aura environ 2 mètres de profondeur; elle doit être maçonnée en mortier hydraulique, et enduite d'une couche imperméable, en trass, goudron ou mastic, pour empêcher que les matières y contenues ne corrompent l'eau des puits voisins. A une des extrémités se place la cheminée d'aérage, dont le tuyau s'élève jusqu'au-dessus du toit et le plus haut possible, pour activer le tirage. Dans les mêmes vues, lorsque les latrines sont adossées à un corps de garde, on a soin de faire déboucher le conduit de fumée dans cette cheminée, et on y adosse, autant que possible, la cheminée des cuisines des casernes et des hôpitaux. Le tirage actif et continuel de ces dernières enlève alors rapidement toute mauvaise odeur. Pour assurer cet effet, en France, les cuisines des casernes à l'épreuve ne se trouvent pas sous des voûtes, mais sont souvent placées avec les latrines dans un bâtiment séparé. Cette disposition nous paraît vicieuse, car jamais le soldat n'a plus besoin de renouveler ses forces que pendant un siége, et il faut éviter autant que possible, de le distraire de ses habitudes à cette époque, l'excitation du danger étant une cause très-active de maladie, qu'il faut s'efforcer d'amoindrir en le lui rappelant le moins qu'on peut pendant les instants où son devoir ne l'oblige pas à s'y exposer.

La théorie du calorique mieux comprise a fait introduire aussi un changement important dans la forme des chaudières et des fourneaux de *cuisine*. Ci-devant on faisait les chaudières cylindriques, et n'exposant à l'action de la flamme que le fond et le bord inférieur de la surface du cylindre, on laissait perdre une grande partie du calorique simultanément dégagé. On a fait la réflexion que le principe qui a fait introduire les cylindres bouilleurs dans les chaudières des machines à vapeur, pour accélérer la vaporisation, était également applicable à la cuisson des aliments dans un liquide, et que ce liquide s'échauffant plus rapidement à mesure qu'il se trouvait en contact sur une plus grande surface avec un corps échauffé, il fallait augmenter la surface des chaudières, pour hâter l'ébullition du liquide qui s'y trouvait contenu. Par conséquent, on a partagé la chaudière cylindrique en deux ou quatres parties égales, et on les a placées sur

les fourneaux, en laissant à la flamme et à la chaleur un libre accès entre les parois. Les expériences faites à cet égard prouvent que la consommation du combustible pour une même quantité de liquide mis en ébullition n'est que la moitié ou, tout au plus, les deux tiers de celle exigée pour les fourneaux ordinaires. Voici les dimensions que le capitaine du génie français Choumara, qui a le premier introduit cette amélioration, a donnée à ses fourneaux :

La chaudière elliptique (*pl. III, fig.* 21) se compose d'un quadrilatère, de $0^m,56$ et de $0^m,08$, et d'un demi-cercle de $0^m,28$ de rayon, pour le fond, et d'un quadrilatère de $0^m,60$ sur $0^m,08$, avec un demi-cercle de $0^m,30$ de rayon pour l'orifice supérieur. Elles ont $0^m,40$ de profondeur et sont établies, deux à deux, sur un bâti en fer, laissant entre elles un intervalle de $0^m,06$, fermé par en haut et par devant par une traverse coudée en fer, attachée sur le bâti. Les deux ellipses du bâti sont éloignées de $0^m,30$ et reliées par trois montants; l'ellipse inférieure a de plus trois pattes qui s'engagent dans la maçonnerie du fourneau. La grille du fourneau est sous la partie antérieure de la marmite, au-dessus du cendrier, et tous deux ont $0^m,20$ à $0^m,32$ en carré. La maçonnerie du fourneau est faite à l'ordinaire, à circuit, avec cheminée à registre. Chaque marmite peut contenir 72 litres d'eau quand elle est arasée, ou fournir 64 rations de soupe d'un kilog. La hauteur entière du fourneau au-dessus du sol est de $0^m,85$, sa largeur de $1^m,25$; sa profondeur est de $1^m,35$. Dans les établissements permanents, comme les hôpitaux et les prisons, il est plus avantageux encore de partager la chaudière en quatre, en laissant également un intervalle entre les quarts d'ellipse, puisqu'on augmente la surface du liquide exposée à l'action de la chaleur; mais les chaudières, en ce cas, s'éloignent trop des formes des ustensiles de campagne pour pouvoir les confier aux soldats, habitués à faire la cuisine dans les marmites rondes, donc pour s'en servir dans les casernes, où chacun est de cuisine à son tour.

Nous renvoyons aux fig. 1, pl. IX, et 6, 7, 8, 9, 10, pl. XII, de la 3e partie, pour divers détails relatifs aux réduits voûtés de demi-lunes ou de places d'armes rentrantes et saillantes du chemin couvert, réduits qu'on a beaucoup employés dans les constructions modernes. Quant aux caponnières à canons, *voyez* la fig. 7, pl. VII et la fig. 9, pl. VIII de la même partie. L'emploi de l'artillerie rayée dans l'attaque, rendra désormais tous les ouvrages de ce genre très-défectueux. Les casemates de notre tenaille valent mieux.

19me LEÇON.

PONTS DORMANTS ET PONTS-LEVIS.

SOMMAIRE.

Considérations générales. — Ponts dormants, leur largeur, leur construction. — Piles en maçonnerie; palées en charpente. — Disposition, dimension et construction du tablier. — Garde-fous en bois ou en fer. — Ponts-levis à flèche, avantages, inconvénients, théorie. — Position des tourbillons; disposition de la bascule : points d'attache des chaînes; tablier; redoublement en bois et en fer; équignons; brides; pitons; chaînes; verrous. — Pont à bascule inférieure; sa théorie, difficultés dans l'application. — Mode de manœuvre; chaînes, engrenages, leviers coudés; contre-poids en fonte. — Ponts tournants. — Ponts roulants. — Ponts à tourillons mobiles et à bascule extérieure, etc.; leurs avantages et leurs défauts.

Dans les places à fossés secs, pour passer de l'intérieur de la ville dans la campagne sans descendre et remonter, d'une manière fatigante pour les attelages, il faut établir des ponts au-dessus des fossés, au niveau du terrain naturel, à peu près, et la même précaution est nécessaire sur les sites aquatiques, afin de rétablir sur quelques points la communication interceptée par des fossés pleins d'eau. On ouvre ou l'on rompt ces communications suivant le besoin, en relevant ou en abaissant une partie du tablier mobile, autour d'un essieu, à l'aide d'un mécanisme que l'assiégé manœuvre à volonté. Les dispositions à prendre pour l'établissement et la manœuvre de ces ponts sont l'objet dont nous nous occuperons aujourd'hui.

On les partage en ponts dormants et ponts-levis. Les premiers, établis à demeure, reposent sur des piles en maçonnerie (*pl. III, fig.* 22) ou des palées en charpente (*pl. IV, fig.* 2), sur lesquelles les longerons du pont et le tablier sont fixés; le tablier en charpente est souvent garanti, par un pavé construit au-dessus, du frottement des roues; les derniers ont toujours un tablier en madriers, et doivent être placés aux points où les feux du rempart les défendent le mieux et où leur action est le plus énergique : immédiatement devant le passage de la porte, quand l'ouvrage y est revêtu, ou bien au milieu de la largeur

du fossé, quand celui-ci est plein d'eau et ses talus en terrassements.

La construction et les dimensions des ponts varient suivant leur longueur, l'importance de leur communication et, aussi, suivant l'espèce de fossé qu'ils traversent. Lorsque le fossé est étroit et, par cela même, le défilé court, si, en même temps, le passage est peu fréquenté, on réduit le pont à la largeur strictement nécessaire au passage d'une seule voiture à la fois, en sorte qu'en y comprenant l'épaisseur des lisses d'appui ou garde-fous, il peut n'avoir que 4 mètres ou $4^m,40$ de largeur, tandis que si le fossé est large, le défilé long, et la circulation continuelle, le pont dormant doit laisser aux voitures la faculté de se croiser, et avec des essieux d'environ $2^m,20$, une largeur de 6 mètres ou $6^m,20$ devient indispensable; on la pousse même jusqu'à 8 mètres et $8^m,50$, les trottoirs et garde-fous compris, pour prévenir l'encombrement et les accidents qui en résultent.

Quant à la construction, elle dépend en partie de la largeur du tablier et de l'espacement des piles, donc du poids qu'une travée peut avoir à soutenir à la fois, en partie de l'espèce de fossé. En effet, si ce dernier peut être rempli d'eau jusqu'au niveau du tablier, il y aura peu d'inconvénient à élever des piles en maçonnerie pour supporter les longerons, puisque le rétablissement du tablier, sous les feux croisés de la courtine, du flanc, de la tenaille et, en général, sous le feu des parties flanquantes, n'est pas à craindre, et que l'eau dont le fossé est rempli ne laisse pas derrière les piles de couvert favorable à l'ennemi. En même temps cette construction sera beaucoup plus économique, les maçonneries exigeant peu d'entretien et point de renouvellement, alors que des palées en charpente, exposées à des alternatives fréquentes d'humidité et de sécheresse, auront promptement besoin de l'un et de l'autre, considération importante dans des ouvrages permanents. Lorsque le fossé est sec, au contraire, les piles plus hautes intercepteront en partie les vues sur le fossé et y formeront des abris, dont l'assiégeant tirerait avantage dans l'établissement de son passage. Ici les considérations d'économie doivent céder aux exigences de la défense, et il faudra établir des palées ou des chevalets, dont le pied posera sur la caponnière en capitale ou sur le fond du fossé, et qu'on pourra enlever lorsque les attaques approcheront de la contrescarpe.

Les piles ou palées sont espacées suivant la force des bois dont on dispose pour les longerons. Il est rare qu'on les éloigne de plus de 8 mètres de milieu en milieu, parce que les bois de cette longueur et d'un fort équarrissage commencent à être rares et chers. D'ailleurs,

quand on substitue un pavé au tablier en bois, le poids de ce pavé seul est déjà fort considérable et exige des pièces de forte dimension. On donne aux piles en maçonnerie, suivant leur hauteur, 1 mètre ou $1^m,20$ d'épaisseur, les élevant jusqu'au niveau des eaux dans le fossé et plaçant au-dessus le chevalet qui porte les longerons. Ce chevalet (*pl. IV*, *fig.* 2) se compose d'une semelle, qui, étant soutenue sur chaque point de sa longueur par la maçonnerie, n'a besoin que d'une faible épaisseur, comme de $0^m,12$ à $0^m,16$; quant à sa largeur, elle est la même que l'équarrissage des montants qui y sont engagés à tenon et mortaise, de $0^m,22$ à $0^m,35$. Les montants sont espacés ordinairement de $0^m,90$ à 1 mètre de milieu en milieu; on les fait carrés, puisqu'ils doivent faire effort dans le sens de leur longueur. Par cette même raison, leur équarrissage peut avoir pour côté la plus faible des deux dimensions données aux autres pièces. Ainsi, quand les chapeaux et les longerons auront $0^m,25$ et $0^m,33$ d'équarrissage, les montants pourront n'avoir que $0^m,25$ dans les deux sens. Le chapeau qu'ils supportent est posé sur le plus petit côté. Lorsque les chevalets sont élevés de 5 à 6 mètres, on les fortifie encore par des liens montants et pendants ou par des liens en écharpe formant croix de Saint-André. Ces derniers liens sont ou boulonnés contre les montants ou encastrés de $0^m,03$ à $0^m,04$ de part et d'autre, sur quoi nous observerons : que les encastrements lient les pièces davantage, mais les affaiblissent à mesure que l'encastrement est plus profond, en sorte que lorsque les montants seront d'un fort équarrissage, il sera préférable d'encastrer les liens, qu'il vaudra mieux boulonner lorsque les montants se rapprocheront de la force suffisante seulement pour soutenir sans plier le fardeau qu'ils sont destinés à supporter. Les liens ont d'ordinaire le même équarrissage que la semelle.

Il peut arriver aussi que le chevalet soit superflu et qu'une simple semelle posée sur la pile suffise; c'est lorsque l'eau affleure le dessous des longerons; elle ne doit pas pouvoir monter plus haut, parce que, si elle atteignait ou dépassait le niveau du tablier, elle tendrait à soulever celui-ci et à détruire la stabilité du pont.

Lorsque les chevalets ou fermes reposent sur des palées, on commence par enfoncer des pilots à refus de mouton, puis on les recèpe à $0^m,50$ au-dessous du niveau des basses eaux ou jauge d'été, et on pose à cette hauteur un premier chapeau, dit *faux chapeau*, servant de semelle aux montants du restant du chevalet. Au moyen de cette disposition, on peut changer les montants en cas de réparation, sans

épuiser les eaux du fossé, et rétablir en peu d'heures le pont, quand on a dû l'ôter ou le couper, puisqu'on s'épargne l'opération longue et difficile du pilotage, la durée du bois de chêne sous l'eau, sans alternatives de sécheresse et d'humidité, de froid et de chaleur, étant indéfinie.

L'équarrissage des longerons qui reposent sur les fermes est proportionné à l'espacement des fermes et au fardeau qu'on prévoit qu'ils devront supporter. Il est d'usage de faire reposer un longeron sur chaque montant, c'est-à-dire de les espacer également, de milieu en milieu, de $0^m,90$ à 1 mètre. D'après l'espacement des fermes et la largeur de la voie des voitures, avec ces dispositions, une voiture attelée portera toujours sur deux longerons, au moins, et chaque longeron devra résister, au plus, au poids de 8 mètres carrés, du tablier, plus le poids d'une demi-voiture, encore le tablier répartit-il une partie de ce dernier poids sur tous les autres longerons de la même travée. Leur équarrissage varie ordinairement entre $0^m,18$ sur $0^m,26$, et $0^m,25$ sur $0^m,35$. Il est à observer qu'en fait de travaux permanents, la dépense d'un premier établissement plus considérable est compensée et au delà par la plus longue durée des constructions, en sorte que l'économie bien entendue engage à donner dès l'abord de fortes dimensions aux pièces, plutôt que de s'exposer à des réparations fort coûteuses au bout de peu d'années.

Les longerons sont ou juxtaposés sur les fermes, ou placés bout à bout et boulonnés, ou réunis à trait de Jupiter, suivant le degré de force et de durée qu'on veut donner à l'assemblage, car le pont donnera d'autant plus de peine à démonter qu'on aura mis plus de soin à assurer la stabilité de chaque partie.

Lorsque l'espacement des fermes est grand, on pose sous chaque cours de longerons de fortes pièces de bois du même équarrissage, qui, reliés aux montants correspondants des fermes par des liens montants, fixés par embrèvement et à tenon, diminuent d'autant la portée des longerons, en rapprochant les points d'appui; on les appelle des *corbeaux*.

Les longerons sont recouverts d'un plancher en madriers de chêne qui, sur les routes peu fréquentées, a $0^m,05$ d'épaisseur, les madriers cloués ou chevillés sur les longerons. Ce plancher est alors recouvert d'un second, de $0^m,05$ à $0^m,06$ d'épaisseur, en bois blanc, posé plein sur joint et plus court de $0^m,80$ ou de 1 mètre que le premier, afin de laisser de chaque côté une espèce de trottoir pour les piétons. On le fait en bois blanc, parce que cette essence de bois résiste mieux que le chêne aux coups répétés des pieds des chevaux, ne donne pas, en

s'écrasant, des éclats aussi dangereux, et qu'à durée égale, les frais sont bien moindres.

Dans les grandes places où la circulation très-active rendrait fort prompte la destruction des planchers, tandis que les ouvrages avancés mettent à l'abri de toute surprise et donnent le loisir de démolir à volonté ce qui pourrait gêner dans les fossés, on continue, comme nous l'avons dit, le pavé ou la chaussée sur le pont dormant. A cette fin, on forme le tablier de madriers de $0^m,12$ à $0^m,15$ d'épaisseur, au-dessus desquels on étend une couche de sable ou de gravier, de $0^m,30$ à $0^m,35$ d'épaisseur, et sur celle-ci le pavé ou la chaussée se construisent à l'ordinaire. On contient la couche de sable, sur les côtés, par de fortes pièces de bois, appelées *garde-gravier* ou *garde-grève*, qu'on relie par des boulons à écrou avec la rangée extérieure des longerons, en faisant concorder la position de ce cours de longerons de rive avec celle du garde-gravier et donnant aux boulons la longueur nécessaire pour traverser les deux pièces de bois et les madriers interposés. Malgré la force des bois, les madriers se détérioreront rapidement par l'effet de l'humidité presque constante de la couche de sable, et on a essayé divers moyens pour les en préserver, afin de prolonger leur durée. Non-seulement on les goudronne à plusieurs reprises (trois fois, au moins), mais quelques constructeurs laissent des joints ouverts entre eux, pour faciliter l'écoulement des eaux de filtration et l'accès de l'air. Cette idée est bizarre, car si ces joints ne se bouchaient pas par le gravier dont on charge le pont, le sable s'écoulerait successivement par les joints, et si le gravier les bouche, il n'y a plus ni filtration ni accès d'air. D'autres ont couvert les madriers de zinc ou de plomb et formé ainsi un bac complet, imperméable; mais dans ce cas, les eaux ne pouvant s'écouler, le sable sur lequel les pavés reposent reste humide et le pavé cède sous chaque forte charge. A notre avis, il conviendrait, en goudronnant fortement les madriers, de les placer à $0^m,03$ d'intervalle, et de couvrir ce joint d'une ligne de cailloux plats ou de briques, posées bout à bout. Rien n'empêcherait même de délarder les madriers de $0^m,01$ dans le sens de la hauteur sur chaque côté, formant arête au milieu de la largeur, pour hâter l'écoulement des eaux, qui pourraient dès lors s'égoutter et s'évaporer sans que les bois eussent à souffrir. D'un autre côté, la surface inférieure des remblais restant sèche, la masse sous le pavé ne s'imbibera point et on n'aura pas à craindre des réparations continuelles. Aussi conseillerions-nous cette disposition même si l'on recourait à l'emploi dispendieux du zinc ou du plomb,

que nous ferions servir à recouvrir la face supérieure et quelques centimètres de la hauteur latérale des longerons. Le zinc, au surplus, est peu propre à cet usage, car l'oxydation le détériore, et même le perce en peu d'années, quand il est en contact avec la terre humide.

Les ponts dormants sont accompagnés de garde-fous ou *garde-corps* en bois ou en fer. Ces derniers sont plus élégants, mais les autres sont bien préférables, tant sous le rapport de l'économie que de la force, car à moins de donner des dimensions inusitées, on ne peut lier les montants en fer battu ou en fonte assez solidement au tablier, pour qu'ils soient au-dessus des chocs auxquels ils sont exposés, quand des voitures, déviant de l'ornière, vont les heurter. Aussi n'en place-t-on plus guère que sur les ponts en maçonnerie, qui ne sont pas de notre ressort. Les montants des garde-fous en bois sont ordinairement espacés de $2^m,50$ environ, et sont engagés à tenon et mortaise dans le tablier, que le tenon traverse, pour être arrêté par une clavette, ou dans le *garde-grève*, sur lequel ils sont chevillés. Quand le tablier est en bois, on recommande de ne pas les relier aux chapeaux des chevalets, de peur que les secousses ne soient reportées immédiatement sur les supports, et on préfère les soutenir par des liens pendants, servant en même temps de chasse-roue, dont le tenon traverse également le tablier. Les liens sont garnis, à cet effet, d'une fausse équerre en fer, ayant une de ses branches clouée sur le tablier inférieur. Lorsque le pont est recouvert d'un pavé ou d'un empierrement, le poids de tout le système est trop grand pour redouter qu'il puisse être renversé par une simple secousse, et l'on répartit les montants de manière à ce qu'il y en ait un au-dessus de chaque pile ou palée. Alors le garde-fou est arc-bouté à l'extérieur par des liens pendants, arrêtés dans les semelles ou dans les chapeaux des chevalets. Les montants sont reliés par deux *lisses*, la première de $0^m,08$ en carré, placée suivant la diagonale, à $0^m,50$ ou $0^m,55$ au-dessus du tablier, et chevillée dans les montants; l'autre, à $1^m,10$ ou $1^m,20$ au-dessus du même tablier, à $0^m,02$ de largeur de plus que les montants et $0^m,16$ à $0^m,18$ de hauteur. On a soin d'en arrondir les arêtes supérieures, de donner la plus grande longueur possible aux pièces pour diminuer le nombre des joints (parce que c'est d'ordinaire par les joints que ces pièces périssent), de faire porter ces joints sur un montant et de réunir les pièces par un trait de Jupiter. Enfin, il est fort utile de couvrir les joints, dans la partie supérieure, par une bande de tôle ou de zinc, afin de rendre toute infiltration impossible.

Il est bien entendu que toutes les charpentes que nous venons de décrire doivent être en chêne, sans aubier, et tous les bois au-dessous de $0^m,20$ d'équarrissage, sciés à vive arête. D'un côté, les dimensions ont été calculées sur la force de résistance du chêne; de l'autre, il ne faut employer dans des constructions permanentes que l'essence de bois dont la durée est la plus longue, pour éviter des réparations trop fréquentes.

Les ponts-levis varient beaucoup de forme et de construction et vous en verrez dans nos places de toutes les espèces. Les plus anciens et les plus simples sont les ponts-levis à flèche et à bascule supérieure (*pl. III, fig.* 22 et *pl. IV, fig.* 2, *a*), que quelques ingénieurs préfèrent encore à tous les autres, à cause de la facilité d'établir l'équilibre entre le poids et les contre-poids. Cependant, ils ont le désavantage de montrer leurs flèches, quand le pont est levé, en sorte que non-seulement l'ennemi peut les briser à coups de canon, mais qu'elles servent comme de télégraphe pour annoncer quand la communication entre les divers ouvrages est établie ou interrompue, ce qui n'est pas sans inconvénient, tant pour les sorties que pour le calcul du moment des attaques. De plus, lorsque le passage entre les remparts est voûté, la hauteur à laquelle le contre-poids se place et son volume obligent à porter aussi fort haut la naissance des voûtes, donc à donner à celles-ci une très-grande hauteur sous clef ou une très-petite flèche, ce qui ne se fait qu'aux dépens de la solidité, suivant l'observation que nous avons faite sur les voûtes d'arête, ou les expose davantage aux feux de l'ennemi; enfin, la rupture d'une chaîne ou d'une flèche entraîne la chute du contre-poids et peut occasionner de graves accidents, dont on a de nombreux exemples.

La théorie en est extrêmement simple. Le poids du pont-levis avec les flèches et ses chaînes doit être mis en équilibre, autour de l'essieu, avec celui de la bascule, la figure formée par les quatre tourillons et les quatre points d'attache étant un parallélogramme, et les droites passant par les centres de gravité et les tourillons des systèmes inférieurs et supérieurs étant également parallèles. Alors la position relative des différentes forces, par rapport au point d'appui, restant la même pendant toute la manœuvre, théoriquement parlant, l'équilibre est constant en tout temps et dans toutes les positions, en sorte que l'on n'a que les frottements à vaincre. Dans la pratique, il faudrait beaucoup de précautions pour que cet équilibre constant eut lieu, et de plus, il ne tarderait pas à s'altérer, quelque précision qu'on eût

apportée dans le calcul, par l'inflexion des flèches, qu'aucun expédient ne peut entièrement prévenir. Mais comme pour vaincre les frottements il faut employer au moins deux hommes et souvent quatre, quand le pont-levis est d'une forte dimension, il suffit que l'excès de la résistance ne soit qu'une fraction de l'effort que ces hommes peuvent exercer, en pesant sur les chaînes. Il est évident que l'excès ne peut jamais être en faveur du mouvement, puisque, sans cela, le tablier tendrait à se lever et, incessamment rechassé par les fardeaux qui passent dessus, fatiguerait sensiblement ses armatures et son chevet. Sous ce rapport, un équilibre complet serait plus nuisible qu'utile, car lorsque les charges sont lourdes, la figure du tablier varie plus ou moins lors de leur passage, ce qui, en vertu de l'élasticité des bois, donne lieu à des réactions très-préjudiciables pour la stabilité et la durée.

Quant à la construction en elle-même, elle est sans difficulté : on élève des montants, soit en maçonnerie, soit en charpente, de la hauteur requise pour que les voitures qui ont passé ou doivent passer sous la porte puissent aussi passer sous l'entretoise qui réunit les deux flèches, et de la force nécessaire pour supporter sans plier le fardeau et l'effort de la manœuvre. A cet effet, les montants en charpente sont soutenus d'ordinaire du côté de la ville par de forts arcs-boutants en fer, la position des tourillons de l'essieu supérieur, ou l'axe de rotation de la bascule, devant être reportée vers l'aplomb de la surface postérieure des montants, pour que les flèches et le tablier puissent se rapprocher de la position verticale. L'addition d'une ou de plusieurs entretoises, en bois ou en fer, est indispensable pour rendre les deux flèches solidaires et empêcher les contre-poids de gauchir sous des efforts inégaux. Sur les montants, on place les tourillons autour desquels tournent les flèches, ou les crapaudines qui reçoivent les tourillons de l'essieu par lequel les flèches sont reliées. Les flèches ont une longueur et un équarrissage suffisants pour supporter, sans se rompre ou se plier, le poids du tablier et de son contre-poids. Ce dernier se compose de la partie des flèches en deçà des tourillons, des traverses et des entretoises par lesquelles on les relie et des matières pesantes qu'on y ajoute, vieux fers, gueuses, et souvent des pierres d'un poids considérable, pour établir l'équilibre avec le tablier, ses chaînes et la partie antérieure des flèches. Aux portes de ville, où les tabliers ont le *maximum* de dimension, on est souvent forcé de construire une caisse, au moyen de forts madriers cloués contre l'extrémité des flèches, et de l'emplir de fonte et de pierres, afin d'atteindre ce but. Il n'est donc pas

étonnant que le frottement devienne parfois assez considérable pour ne pouvoir être vaincu que par le poids de plusieurs hommes, surtout lorsque le temps est humide et aux lieux où la manœuvre ne se fait pas fréquemment, ni de voir les flèches, au bout de peu d'années, se courber sous l'effort exercé sur leurs extrémités, ce qui détruit toutes les conditions de l'équilibre, et vicie le calcul des forces exigées pour la manœuvre.

Afin de parer à ce grave inconvénient, on a imaginé de placer au-dessus des tourillons une aiguille ou poinçon supportant une chaîne, qui relie deux pitons boulonnés sur les flèches, pour que la tension de la chaîne empêche les flèches de se courber. Il est cependant aisé de voir, par la direction de la force, que ce palliatif, pour devenir efficace, exigerait des armatures très-longues et d'un poids considérable, et d'un côté, augmenterait le défaut reproché aux ponts-levis de cette construction, d'être trop en vue, de l'autre, romprait les conditions d'équilibre, en exigeant une force additionnelle, soit pour lever, soit pour baisser le pont. Nous croyons donc cette précaution utile, mais peu suffisante pour remédier au mal signalé.

En Prusse, on soutient les flèches, à la partie postérieure, au moyen de montants de bois qui y sont attachés par des anneaux et qu'on appuie par l'autre bout sur le sol ou sur la lisse supérieure du garde-corps du pont fixe, s'il s'en trouve en arrière. Ces montants sont à peu près verticaux ; il faut les dégager pour manœuvrer le pont-levis, aussi ne les laisse-t-on en position qu'en temps ordinaire ; en temps de guerre, pour éviter une manœuvre préalable, on les laisse libres.

Le point d'attache des chaînes qui tient la flèche au tablier n'est pas du tout chose indifférente pour la facilité de la manœuvre. Quelques ingénieurs dans le dessein de donner plus d'action à la bascule et de s'exposer moins aux vues de la campagne, ont raccourci les flèches de plusieurs décimètres, en laissant la chaîne attachée à l'extrémité du tablier ; mais il en résulte que ces chaînes devenant plus longues que la hauteur des montants et le tablier plus long que la partie antérieure des flèches, les différentes parties du système ne restent plus parallèles pendant le mouvement, en sorte que le tablier ne s'applique plus contre le tableau quand le pont est levé, et, de plus, que la force de traction, n'agissant plus directement en sens contraire du poids, se décompose en partie dans la direction de la longueur du tablier, et augmente la pression, donc le frottement sur les tourillons. Cela peut aller au point de rendre la manœuvre impossible, comme nous l'avons

vu arriver. En conséquence, il faut laisser les chaînes à peu près perpendiculaires, placer les points d'attache, en haut, sur le dessus des flèches, pour compenser, par l'enroulement d'une partie de la chaîne, l'excès de longueur qu'elle a sur la verticale, en bas, sur une moise qui relie par-dessous les longerons du tablier, de manière à ce que le parallélisme entre les côtés du quadrilatère formé par les points d'attache et les tourillons soit exact ou le devienne pendant le mouvement. L'addition de la moise permet d'ailleurs d'établir un parallélisme complet et de le maintenir dans toutes les positions, sa distance des tourillons étant facultative entre des limites assez étendues.

Le tablier des ponts-levis n'a jamais que la largeur nécessaire au passage d'une voiture à la fois, c'est-à-dire de $2^m,85$ à 4 mètres, au plus, et $3^m,50$ à 4 mètres ou $4^m,50$ au *maximum* de longueur. On ne donne aux longerons que la force strictement nécessaire, afin de les alléger autant que possible, et on les délarde en allant de la pièce des tourillons vers le chevet, pour raccourcir le bras de levier de la résistance. Les longerons ont ordinairement au milieu $0^m,18$ sur $0^m,25$, et, suivant ce que nous venons de dire, on leur donne une forme tronconique, les réduisant à $0^m,16$ sur $0^m,25$ par devant, contre $0^m,20$ sur $0^m,25$ près de la pièce des tourillons, qui a souvent $0^m,30$ de côté, en carré, et dans laquelle ils sont engagés par de doubles tenons. Autrefois, on les engageait aussi par devant dans un battant, qui reposait sur le chevet, mais l'expérience a fait reconnaître que les tenons pourrissaient et se brisaient très-vite, en sorte que les longerons périssaient toujours par là, et maintenant on place à 2 ou 3 décimètres de leur extrémité une moise de $0^m,20$ en carré, reliant les longerons à la moise à l'aide de forts boulons à clavette ou à écrou, de $0^m,03$ de diamètre. C'est alors aux bouts de cette moise que se placent les pitons, servant de points d'attache aux chaînes, pitons également affermis par deux boulons et un étrier contre la moise. Ils portent en dehors un bout arrondi, autour duquel la chaîne se meut, puis un bout taraudé, avec écrou, pour l'empêcher de se dégager (*pl. IV*, *fig.* 3).

Les tourillons sont d'ordinaire coudés, de manière que le centre du tourillon, déterminant l'axe de rotation, se trouve dans le plan du tablier du pont. Les coussinets sont scellés dans la maçonnerie ou fixés sur le chapeau de la culée. (*Pl. IV*, *fig.* 11.) Les équignons sont solidement reliés avec l'essieu, au moyen de trois boulons à clavette et de deux étriers. La partie encastrée de l'équignon a au moins $0^m,60$ de longueur.

Le plancher du tablier est redoublé en bois blanc comme aux ponts fixes. D'autres fois on ne le redouble qu'au milieu, sur 1 mètre de largeur; mais pour empêcher la dégradation des madriers en chêne par le frottement des roues, on les couvre de bandes de fer, de $0^m,05$ à $0^m,06$ de large et de 7 à 8 millimètres d'épaisseur, sur $0^m,75$ à $0^m,80$ de longueur, de chaque côté du redoublement, relevées en crochet aux deux extrémités, placées tant plein que vide, et fixées par des crampons qui traversent les madriers. Dans les pays de montagne, où les transports se font par charrettes attelées en flèche, c'est le milieu du pont qui est garni en fer, et les côtés sont redoublés en bois blanc. On remplace les garde-fous par des chaînes légères accrochées au tableau et aux chaînes du pont, en sorte qu'elles suivent le mouvement. Souvent, on les accroche aux lisses du pont dormant; mais cette dernière disposition est tout à fait vicieuse, en fournissant un moyen facile de venir couper les chaînes du tablier, ou même de s'introduire sous la porte, malgré le relèvement du pont-levis, si le tablier ne s'applique pas exactement contre le tableau.

Pour les tabliers des grands ponts, qui pèsent 3,000 kilog. à peu près, on donne au fer des mailles de 15 millimètres d'épaisseur. Il semble que pour les ponts à flèche, où les chaînes ne s'enroulent pas, et où la tension s'exerce toujours dans le sens de la longueur des chaînons, le poids total pourrait être sensiblement diminué, en substituant une chaîne d'arpenteur aux chaînes ordinaires à mailles oblongues, et quand on porterait alors le diamètre des chaînons à $0^m,02$, ce qui serait quatre fois plus que suffisant, il en résulterait encore une notable économie, tant sur la chaîne même que sur le contre-poids et l'effort à faire pour la manœuvre.

Quand on veut former un passage secondaire pour piétons (*voir* la 17^{me} leçon), au moyen d'un pont-levis à flèches, on peut n'employer qu'une seule flèche munie de petites traverses aux extrémités pour attacher les chaînes. Les deux chaînes antérieures sont même quelquefois réduites à une seule près de la flèche, avec deux branches réunies par un arc en fer à environ 2 mètres au-dessus du sol.

L'effet préjudiciable des flèches des ponts-levis pour la défense ayant été reconnu, il fallait chercher d'autres moyens de parvenir au même but. Vauban employa beaucoup, sur les fronts à fossés secs, les ponts-levis à bascule inférieure. Dans cette combinaison, le prolongement des longerons du pont-levis en arrière de l'essieu, avec les entretoises qui les relient, forme contre-poids au tablier (*pl. IV, fig. 2, b*), et il

ne s'agit plus, en théorie, que de vaincre le frottement sur les tourillons pour effectuer la manœuvre. Aussi cette disposition est-elle appliquée dans plusieurs de nos places, où le niveau de l'eau n'empêche pas le mouvement du contre-poids. Il s'en faut pourtant qu'elle soit exempte d'inconvénients. D'abord se présente la difficulté de soutenir le plancher au-dessus de la cage derrière l'essieu, car faire porter ce plancher sur le prolongement des longerons, en arrêtant le mouvement par des supports latéraux ou leviers coudés, dont la manœuvre doit précéder celle du pont, comme on l'a fait quelquefois, c'est s'exposer à voir les voitures tomber dans cette cage à la moindre négligence des hommes de garde; de plus, c'est subordonner le mouvement du pont à la manœuvre préparatoire des leviers coudés, autre désavantage, la rapidité de la manœuvre, en cas de besoin, étant une des conditions de la bonté d'un système de fermeture. Si on soutient le plancher au-dessus de la cage par des longerons *ad hoc*, ils ne pourront être reliés par devant, à moins de mettre la bascule en contre-bas, d'où naissent d'autres défauts graves, que nous examinerons tout à l'heure, et l'ensemble aura fort peu de stabilité. Mettant la bascule en contre-bas, le centre de gravité du système ne coïncidera plus avec le centre de rotation, et le pont ne pourra être amené et maintenu dans une position rapprochée de la verticale qu'au moyen de l'application d'une grande force, le poids de la bascule agissant avec le poids du tablier, du même côté du point d'appui, pour le faire descendre. Veut-on placer le tourillon plus bas, pour rapprocher ainsi l'axe de rotation du centre de gravité, on est forcé de laisser en arrière de l'essieu une place vide, afin de rendre libre le mouvement de la partie de l'essieu supérieure au plan des tourillons, vide qu'on remplit alors au moyen d'une pièce mobile, dite *clef*, destinée à être enlevée ou repliée avant de lever le pont, et l'on retombe dans l'inconvénient de la manœuvre préparatoire; encore le déplacement des tourillons ne peut-il jamais être assez considérable pour détruire complétement le défaut signalé; enfin, l'escarpe devant la cage doit être très-mince ou fort en saillie, pour que le mur n'arrête pas le mouvement de la bascule. N'oublions pas une autre difficulté de construction, celle de donner une force suffisante aux longerons, malgré l'essieu qui les coupe, quand le prolongement des longerons sert de bascule, ou de placer les longerons et la bascule dans un même plan, sans trop affaiblir l'essieu, en y engageant toutes ces pièces à tenons et mortaises; et nous avons déjà vu le désavantage inséparable de la disposition du tablier et de la bascule dans des plans différents.

Ces difficultés semblent invincibles lorsqu'il s'agit des ponts-levis principaux devant les portes, et nous ne voudrions appliquer les bascules inférieures qu'aux communications entre les dehors, spécialement aux ponts sur palées, parce que là il n'est plus question de cage à établir, qu'il n'est pas aussi important de ramener le tablier jusque contre le tableau, et qu'aussi l'équilibre est plus facile à obtenir.

Le capitaine Lagrange a proposé en 1843, une nouvelle disposition, qui semble obvier à tous les inconvénients que nous avons signalés. Il substitue des contre-poids en fonte, placés latéralement au-dessus du tablier à la bascule inférieure, ce qui lui donne la faculté de porter les centres de gravité sur la droite passant par les tourillons et de supprimer la cage. Fidèle à nos principes, nous attendrons l'expérience de quelques applications heureuses avant de nous prononcer définitivement sur le mérite de cette invention, quelque rationnelle qu'elle nous paraisse. On vient tout récemment (1863) d'appliquer un système analogue aux portes de l'agrandissement de Lille. Le front d'attaque de cette place, a été organisé aussi, en partie, sur les principes du front d'études de l'école de Bruxelles, et nous signalons ce fait avec une satisfaction d'autant plus vive que nous considérons le corps du génie français, comme particulièrement habile dans la guerre de siége, et bien placé, par conséquent, pour apprécier la valeur militaire d'un dispositif d'ouvrages de fortification.

Les moyens de manœuvrer ces ponts sont assez variés. Aux ponts devant les portes on n'applique souvent que le poids de deux ou quatre hommes, lesquels se suspendent aux chaînes de manœuvre fixées à l'extrémité de la bascule. Il faut, en ce cas, ménager à côté de la porte une poterne avec rampe ou escalier, afin de donner aux hommes de garde le moyen de descendre dans la cage lorsque le pont doit être manœuvré. Parfois, on se contente d'un petit escalier coupé dans l'épaisseur d'un des pieds-droits de la porte. On voit combien cette disposition préliminaire porte obstacle à la prompte manœuvre du pont, et peut devenir préjudiciable à la sécurité de la place. Aussi, dans d'autres endroits, se sert-on de rouages, qui se manœuvrent sous la voûte, au niveau du passage. Une roue dentée (*pl. IV, fig. 2, b*), fixée à demeure sur l'extrémité de la bascule, engrène dans une lanterne, placée sur le même axe qu'un volant ou grande roue à pitons, à la circonférence de laquelle les hommes appliquent leur force. Aux grands ponts, on place un engrenage semblable de chaque côté; mais il est à observer que, si les hommes ne travaillent pas d'égale force, c'est-à-dire n'im-

priment pas une vitesse égale aux roues, le mécanisme recevra des secousses très-préjudiciables à sa durée, tandis que, lorsque la force n'est appliquée que d'un côté, son effort tend à faire gauchir la bascule, ce qui déplacerait le centre de gravité et troublerait l'équilibre de tout le système. Enfin, on ne doit pas perdre de vue que l'on perd en vitesse ce qu'on gagne en force, et la rapidité éventuelle de la manœuvre n'est nullement indifférente. Ces rouages ne sont à recommander, par conséquent, que lorsque le niveau des sources, trop rapproché de celui du passage, ne permet pas la construction d'une cage d'une profondeur suffisante, et aux ponts peu considérables, où la force des pièces de bois formant bascule peut être très-grande par rapport à l'effort exercé sur elles pendant la manœuvre.

Dans une de nos places, on a eu la singulière idée de faire une fusion des deux systèmes de ponts à bascule, plaçant les flèches à hauteur d'appui et les faisant servir de garde-fous, tandis qu'on supplée au défaut de la bascule supérieure par le poids du prolongement des longerons du tablier. Comme dès lors les flèches, dans leur mouvement descendant, coupent le tablier en arrière de l'essieu, il a fallu placer deux grandes clefs longitudinales dans ces coupures, ce qui nécessite une manœuvre préliminaire pour pouvoir lever le pont, tandis que les flèches ont néanmoins trop de longueur pour être dérobées aux vues de la campagne dans leur position verticale. En effet, prenons que les flèches aient $3^{m},50$ en avant de l'essieu et que leurs tourillons soient placés à $1^{m},50$ au-dessus des passages, évidemment l'extrémité des flèches dépassera encore de 2 mètres, la crête d'un glacis de 3 mètres de relief au-dessus du niveau du chemin couvert, en sorte que cette malencontreuse invention réunit comme à plaisir les défauts des deux systèmes, sans avoir complétement aucun de leurs avantages.

Lorsque les ponts-levis sont légers, par exemple, ceux qui servent à la communication des réduits pour des gardes d'infanterie, et que l'équilibre entre le tablier et le contre-poids peut être parfaitement établi, on se contente parfois d'un poteau assemblé à angle droit sur le longeron extrême, relié au tablier et arc-bouté sur le longeron par des liens en fer, portant à son sommet un anneau avec une chaîne. L'effort de traction d'un ou, au plus, de deux hommes, suffit pour déterminer le mouvement, et la chaîne de manœuvre donne le moyen d'arrêter le tablier dans la position verticale, en l'engageant dans un crochet fixé sur les longerons du pont dormant.

Ajoutons encore quelques mots sur les contre-poids. L'inconvénient

attaché à l'emploi d'une clef rend très-désirable le rapprochement du centre de gravité et du centre de rotation, donc le placement de la bascule au même niveau que le tablier. Pour parvenir à contre-balancer le poids du plancher, des verrous et autres armatures, le meilleur sera de fixer à l'extrémité du prolongement des longerons des masses en fonte, de même équarrissage, garnies de branches en dessus et en dessous, pour être encastrées et boulonnées dans les longerons, et on rend ceux-ci solidaires par une barre de fer plate, allant d'un côté de la bascule à l'autre et traversée par les boulons de tous les longerons. Seulement, il ne faut pas que le poids des masses de fonte soit assez considérable pour faire courber les bois, puisque dès lors le centre de gravité se déplaçant, l'équilibre ne serait plus le même dans toutes les positions.

Les bascules inférieures ne peuvent pas s'adapter, au surplus, dans les places où le niveau des eaux est constamment ou à certaines époques très-rapproché de celui du passage, ainsi qu'il arrive aux lieux où la marée se fait sentir, et quelques ingénieurs ont alors eu recours aux ponts tournants, à l'instar de ceux employés dans les constructions civiles. Ils obtenaient ainsi l'avantage de pouvoir allonger la partie mobile au delà des dimensions usitées, sans que la manœuvre fût en prise aux vues et aux feux directs de l'ennemi. Malgré cet avantage incontestable, une pareille disposition nous paraît peu militaire, la surface exposée aux feux verticaux devenant très-grande, en même temps que la moindre avarie met le pont hors de service, et la manœuvre devant se faire à découvert, défauts dont les suites pourraient être de la plus grande conséquence, si ces ponts se trouvaient sur les communications principales d'une forteresse attaquée par un ennemi entreprenant.

Dans quelques localités, vous pourrez encore rencontrer d'autres dispositions moins généralement connues, dont l'expérience a révélé les défauts, mais qu'on laisse subsister par la raison seule qu'elles existent. Nous mentionnerons les ponts supportés par des roulettes, et qu'on fait avancer ou reculer longitudinalement dans des rainures à l'aide d'une tige en crémaillère et d'un engrenage ou d'une vis sans fin ; les ponts à tourillons mobiles, qu'on déplace en entier à l'aide d'un mécanisme quelconque, en sorte qu'en changeant la position des points d'appui, l'action de la gravité suffit pour baisser ou relever le tablier ; les ponts à bascule extérieure, dont le tablier descend dans le fossé, lorsqu'on ôte les appuis qui soutiennent son chevet et les clefs qui

retiennent la bascule au niveau du passage de la porte sous la voûte. Les deux premiers sont rendus trop facilement fixes, par un dérangement de leur manœuvre compliquée; le dernier expose à trop de dangers les voitures en temps ordinaire, pour qu'on puisse approuver l'application de pareilles manœuvres à des portes de ville; mais ce sont des expédients qu'il est bon de connaître, afin d'en tirer parti dans des cas exceptionnels, où les manœuvres habituelles produiraient des désavantages graves, et pour la communication avec des ouvrages isolés, tels que réduits ou retranchements. Les ponts roulants ont une culasse et une volée. Celle-ci est destinée à couvrir le fossé et fait corps avec la culasse qui doit avoir une grande prépondérance, sur la volée. Le mouvement de recul ne peut se faire qu'après avoir soulevé ou écarté par un mouvement latéral, un tablier mobile placé derrière la culasse. (*Voir* pl. IV, fig. 6, un pont roulant de la dernière espèce qu'on vient de construire à la nouvelle enceinte d'Anvers.)

20me LEÇON.

SUITE DES PONTS-LEVIS.

SOMMAIRE.

Ponts à courbes et à contre-poids variables. — Pont de Bélidor ou à sinusoïde, sa théorie, son tracé, sa construction, ses défauts. — Corrections qu'on peut y faire. — Ponts à la Dobenheim; leur construction; leurs défauts. — Inconvénients généraux des ponts à chaînes; moyens de les atténuer. — Pont à barres rigides, de Delille; théorie; tracé de la courbe; défaut de cette méthode pour les grands ponts. — Cas particulier applicable aux ouvrages de campagne. — Pont à spirale, de Derché; sa théorie, ses avantages. — Pont à la Poncelet; sa théorie; détails de construction; avantages et inconvénients. — Changements proposés dans la forme du contre-poids. — Conditions générales de l'établissement d'un pont-levis militaire. — Lisses d'appui mobiles; construction, manœuvre.

Pour les ponts-levis dont nous avons parlé avec détail dans la leçon précédente, l'équilibre une fois établi entre le tablier et le contre-poids est censé rester constant, dans toutes les positions, les poids du tablier et de la bascule étant invariables, ainsi que le rapport entre

leurs bras de levier. Cependant l'équilibre peut aussi s'obtenir, en faisant varier ce dernier rapport, pourvu que l'action du contre-poids varie également, mais en sens inverse, en sorte que les quantités de mouvement produites à chaque instant des deux côtés du point d'appui restent égales; de même encore le contre-poids ou son bras de levier peuvent être constants, pourvu que l'autre facteur de la puissance croisse ou diminue suivant une loi telle que le produit reste toujours égal à la résistance. Ce sont ces considérations qui ont présidé à la disposition des manœuvres de pont-levis dont il reste encore à vous entretenir.

Bélidor, dans sa *Science des ingénieurs*, après avoir signalé une partie des défauts des pont-levis à flèche et des ponts-levis à bascule inférieure, proposa de leur substituer celui à *sinusoïde*, nom de la courbe sur laquelle il fait rouler des contre-poids cylindriques, reliés au chevet du tablier par des chaînes passant sur des poulies placées dans le tableau de la porte. Ces contre-poids doivent être assez pesants pour faire équilibre au tablier du pont-levis dans la position horizontale, en sorte qu'il n'y avait que le frottement à vaincre pour que le mouvement s'ensuivît. Et comme, lorsque le tablier se lève, son bras de levier va en décroissant avec la distance entre les perpendiculaires passant par le centre de gravité et les tourillons, il forme la surface courbe qui doit supporter le contre-poids d'une suite de plans, dont l'inclinaison au-dessus de l'horizon décroît dans la même proportion, afin de détruire, par la résistance de ces plans, une plus grande partie de la pesanteur du contre-poids. Or, les distances entre les verticales passant par le centre de gravité et les points d'appui du tablier sont les *sinus* des angles successifs formés par la droite qui joint le centre des tourillons au centre de gravité et la verticale passant par le centre des tourillons, et la force avec laquelle un corps qui se meut sur un plan incliné tend à descendre est proportionnelle au *sinus* de l'angle que le plan incliné fait avec l'horizon. De là le nom de *sinusoïde*, donné par l'auteur à la courbe résultant de la section de la surface par un plan vertical, courbe qui n'est autre chose qu'une *épicycloïde* dont les cercles générateurs sont égaux.

La courbe parcourue par le contre-poids peut s'obtenir de plusieurs manières. Nous indiquerons une des plus simples, proposée par Bélidor lui-même, ainsi que le raisonnement sur lequel la méthode est fondée.

Pour qu'il y ait équilibre constant autour du point d'appui pendant le mouvement d'un levier de la deuxième espèce, il faut que les che-

mins parcourus verticalement dans un même temps par les poids dont il est chargé soient en raison inverse de ces poids ou dans un même rapport avec leurs bras de levier. Si donc le levier monte de *A* en *D* (*pl. IV, fig. 4*), et qu'on nomme *Q* le poids du tablier et *P* le contre-poids, le chemin parcouru par ce contre-poids devra être égal à sin. $DBA\frac{Q}{P}$, en prenant sin. *DBA* dans un cercle dont le rayon est la distance du centre de gravité du tablier à l'axe des tourillons.

La valeur de *Q* est donnée par les dimensions, le poids spécifique et la position des matières qui composent le tablier; celle de *P* se conclut de *Q* et de la position du point *F*, c'est-à-dire de la poulie autour de laquelle la chaîne roule, *P* étant à *Q* comme *BC* à *BI;* le sinus de l'angle *DBA* peut être trouvé graphiquement ou par le calcul. Il est donc fort aisé de déterminer les distances *HL*, *HN*, représentant les longueurs verticales parcourues par le centre du contre-poids pendant le mouvement du tablier de *A* en *D* et en *E*, et il y aura un point sur les coordonnées *LM*, *NO* qui appartiendra à la courbe cherchée. La position de ce point se trouve ensuite, en mesurant la différence entre les longueurs de chaîne *FA, FD, FE,* qui dépassent le point *F*, les distances *GM, GO* étant nécessairement égales à la longueur *GH*, plus la partie de la chaîne que le contre-poids a entraînée dans son mouvement au delà du point *F*. Il suffit donc d'ajouter la différence entre *FA* et *FD* à la quantité *GH,* puis, du point *G,* de recouper l'ordonnée *LM* avec un rayon de cercle égal à la somme de ces deux longueurs, pour obtenir un premier point de la courbe, puis d'ajouter à *GH* la différence entre *FA* et *FE*, de recouper du point *G*, avec un rayon égal à cette somme, l'ordonnée *NO*, pour obtenir le point *O*, et ainsi pour tous les autres points de la courbe, laquelle sera d'autant plus exacte, qu'on aura multiplié davantage les constructions pour les points intermédiaires.

Cette construction n'est pourtant pas rigoureuse, car elle admet que les points *F* et *G* sont invariables, ce qui n'est pas exact; elle suppose en outre que la distance *BC* est le plus grand bras de levier possible de la force *Q*, et cela doit arriver rarement, le point d'attache *A* ne se trouvant pas d'ordinaire dans un même plan horizontal avec *B*. De plus, quand on procède à l'application, la courbe trouvée étant celle que parcourt le centre des contre-poids, il faut calculer le rayon des deux cylindres dont le poids total fera équilibre avec le tablier dans la position horizontale, poids qui ne peut être moindre que la moitié de celui

du tablier et qui deviendrait très-considérable si les localités obligeaient de diminuer beaucoup la hauteur *FB* ou de reculer la position du point *F*. On mène alors une parallèle à la courbe primitive, à la distance du rayon du cylindre, mais il est évident que la courbe ainsi engendrée n'a plus rigoureusement, quant au mouvement, les mêmes propriétés que la première. Habituellement, on forme la surface courbe en pierre de taille, supportant deux bandes de fer à rebord, servant de guides au contre-poids, et on ferme en madriers les cages ménagées à droite et à gauche du passage. Les pitons d'attache des chaînes doivent déborder le pont-levis suffisamment pour que les chaînes soient dans un plan vertical au tableau, correspondant exactement au milieu des contre-poids, et l'écartement des pieds-droits de la voûte, sur la longueur de la courbe, est augmenté de la double profondeur d'une cage.

Nous avons dit que Bélidor avait fait abstraction des frottements. Pour les vaincre, il propose d'attacher, aux deux côtés du pont, des chaînes de manœuvre passant par-dessus des poulies placées également dans le tableau, mais plus bas et plus près du passage que celles des contre-poids, afin que les hommes de garde puissent les saisir. Si ce savant ingénieur avait été chargé lui-même d'appliquer ses idées, il aurait reconnu une autre omission de plus grande conséquence : c'est celle du poids des chaînes de contre-poids et de manœuvre, poids qui fait partie de la force *Q* lorsque le pont est baissé, et passe successivement dans la force *P* à mesure que le tablier se lève. Il en résulte que, si le contre-poids fait équilibre au pont et aux chaînes dans la première position, il y aura excédant de force, donc accélération vers la fin du mouvement, d'où résultent des chocs très-nuisibles et la nécessité d'employer une grande puissance pour baisser le tablier. Si, au contraire, le contre-poids est calculé sur le tablier seul, le même effort sera exigé au commencement de la manœuvre pour contre-balancer le poids des chaînes et les frottements. De plus, les contre-poids à droite et à gauche du passage n'étant pas solidaires, si, par une application inégale de force ou par vétusté, le pont vient à gauchir, le mouvement des deux contre-poids ne se fera plus également, et il naîtra des frottements latéraux qu'on aura beaucoup de peine à vaincre. Pour remédier à ce dernier défaut, on a proposé de relier les deux contre-poids par un essieu commun, sur lequel on placerait deux grandes poulies entourées de chaînes sans fin, au moyen desquelles les manœuvres auraient lieu et qui remplaceraient avantageusement les petites chaînes de Bélidor.

Cette correction serait utile, quoiqu'elle ne soit pas elle-même exempte d'inconvénient, comme nous le dirons plus tard. Quant au défaut d'équilibre dans les diverses positions, il ne peut être aussi facilement corrigé, la courbe qui supporte les contre-poids devenant d'une construction très-compliquée, lorsqu'on veut porter en compte les diminutions et les augmentations que les forces P et Q subissent à chaque instant. Le poids des chaînes, suivant les dimensions que nous vous avons indiquées dans la leçon précédente, monte à environ 6 kilog. par mètre courant. Pour un pont de 4 mètres de longueur, dont la poulie F est placée à 4 mètres au-dessus du tablier, le poids des deux chaînes ira à près de 70 kilog. Si on y ajoute la force nécessaire pour vaincre des frottements souvent très-considérables, d'après les différentes causes d'inexactitude que nous avons signalées, on ne s'étonnera pas qu'il faille quatre et parfois six hommes pour manœuvrer les ponts à sinusoïde, dans les temps de grande humidité ou de grande sécheresse, qui altèrent le plus les conditions d'équilibre, en faveur de la force ou de la résistance, augmentant ou diminuant la quantité d'eau dont les bois sont imprégnés.

Dans beaucoup de nos places, on a exécuté un autre genre de manœuvre de pont-levis, dit *à la Dobenheim*, dont j'emprunte la description au *Traité élémentaire d'art militaire* de Gay de Vernon.

« Dans l'épaisseur des deux tableaux de la porte (*pl. IV, fig. 14*), « et à $0^m,16$ du mur de face, est construite une niche carrée, de « $1^m,10$ de côté et de $0^m,35$ de profondeur. Chaque niche est des- « tinée à recevoir une poulie de fer coulé, ayant $0^m,90$ de diamètre, « $0^m,15$ d'épaisseur et $0^m,12$ de gorge. Les centres des deux poulies « sont placés sur une ligne horizontale, élevée à environ $3^m,80$ « au-dessus du tablier : les plans verticaux perpendiculaires à cette « horizontale, et qui passent par les centres des poulies, doivent passer « aussi par les gâches d'attache du tablier; ils se nomment *plans de « manœuvre*. Les poulies tournent autour d'un axe de $0^m,05$ de dia- « mètre, dont une des extrémités porte sur une crapaudine logée dans « le fond de la niche, et dont l'autre porte sur un œil pratiqué dans « une forte plaque de fer, solidement fixée et scellée sur le devant de « la niche.

« Le pont-levis se manœuvre avec deux chaînes, composées d'an- « neaux de $0^m,025$ de grosseur et de $0^m,070$ de longueur, sur $0^m,040$ « de largeur en dedans. Ces chaînes, attachées au tablier, à la manière « ordinaire, passent par un créneau au travers du tableau de la porte,

« pour se rendre dans la niche et sur la poulie dont il vient d'être « parlé. Les chaînes tirent le tablier par les procédés suivants :

« Une barre de fer, de même longueur que le tablier et de $0^m,054$ « sur $0^m,027$, s'attache par un guinguerlon au bout de la chaîne, « distant de la poulie de $0^m,13$ à $0^m,16$. L'autre extrémité *G* de la « barre porte un œil, qui est traversé par un boulon scellé dans le « mur et autour duquel elle peut tourner librement, en se tenant « constamment dans le plan de la manœuvre : le point de rotation *G* « est placé de manière que dans la position initiale *FG* la barre soit « un peu inclinée et fasse un angle presque droit avec le bout de la « chaîne.

« A $0^m,32$ du point *G* est un autre boulon *J*, fixé comme le premier « dans le mur, et autour duquel tourne une seconde barre de fer, « semblable en longueur à la première. Une chaîne *FH* unit les deux « barres : elle a pour longueur la corde d'un arc de 45°, dont le rayon « est égal à la longueur des barres.

« Les barres sont percées de trous horizontaux qui reçoivent des « clavettes; elles sont chargées avec des blocs cubiques de fer coulé, « d'environ $0^m,26$ de côté : ces blocs pèsent environ 150 kilog. et « sont percés de trous rectangulaires.

« Les barres étant dans leur position initiale, on les charge chacune « depuis un bloc jusqu'à quatre; mais ces blocs sont placés de ma- « nière qu'il y ait équilibre dans la machine lorsque la deuxième « barre est verticale.

« Le pont-levis se manœuvre en appliquant à la deuxième barre « une puissance capable de surmonter les frottements : celle d'un « homme appliquée de chaque côté est suffisante, et comme, à « mesure que le tablier se lève, son moment diminue, de même les « moments qui proviennent de la pesanteur des blocs diminuent gra- « duellement : ainsi lorsque le tablier s'est élevé à la hauteur de 45°, « la barre *JH* est devenue verticale, et alors l'effort de la barre *FG* « est suffisant pour achever le mouvement.

« Le système des barres et des blocs qui remplaçent les flèches et « la bascule se loge dans un enfoncement d'environ $0^m,40$ pratiqué « dans les profils du passage de la porte : on établit une barre *RS*, « sur laquelle glissent les barres de manœuvre, afin d'empêcher le « frottement des blocs contre le mur. On place aussi deux lisses « *ML*, *NO*, pour faciliter la manœuvre. »

Si nous examinons la théorie de ce pont, nous verrons que l'équi-

libre n'existe que dans deux positions, et que dans toutes les autres il sera rompu, tantôt en faveur du poids, tantôt en faveur de la résistance, d'où doivent résulter des accélérations et des ralentissements du mouvement et des déperditions de force; que le frottement sur la poulie sera énorme, puisque le tablier et le contre-poids pèsent également sur son axe; que le contre-poids, vu le mode défavorable d'application, devra être plus grand qu'avec la sinusoïde; qu'enfin le poids des chaînes d'attache n'est pas considéré dans les conditions d'équilibre. Et comme la disposition *à la Dobenheim* exige autant de place derrière le tableau que celle de Bélidor, elle lui est, à notre avis, inférieure sous tous les rapports, hors celui d'un simplicité grossière, qui permet à l'homme le moins instruit et le moins calculateur de la mettre en œuvre.

On reproche, en général, aux ponts-levis à chaîne, de donner lieu à des frottements et à des résistances considérables, provenant : 1° du frottement qui s'exerce à l'articulation ou au point de contact de deux chaînons successifs; 2° du frottement produit par la pression de chaque chaînon sur la partie antérieure de la gorge de la poulie, à l'instant où une de ces extrémités venant à se poser sur cette gorge, l'autre continue à tourner jusqu'à ce que le chaînon s'y trouve appliqué en entier; ensuite la variation de longueur des bras de levier de la résistance et de la puissance, appliquées aux deux extrémités de la chaîne, provenant de ce que les maillons ne sont pas infiniment petits et forment naturellement un polygone autour de la gorge de la poulie, et enfin, l'effet du renversement des chaînes sur la poulie, qui se fait tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et qui produit des chocs et des soubresauts très-propres à diminuer les forces vives du système.

Une partie de ces inconvénients peut être évitée en donnant beaucoup de soin à la confection des chaînes, plaçant les chaînons bien perpendiculaires les uns aux autres, et en entaillant la gorge de la poulie de manière à loger les maillons verticaux sans les toucher. Plus les maillons pourront être larges et courts, mieux on atteindra le but. Avant de placer les chaînes, il faut les essayer, les chargeant, par exemple, d'un poids double de la tension qu'elles sont destinées à supporter, afin de prévenir les graves accidents que la chute imprévue d'un contre-poids entraînerait.

On ne doit pas apporter moins de soin à la construction des poulies, dont l'anneau doit être en fonte douce bien arrondie. Dans les grands ponts-levis, on ne saurait donner moins de $0^m,25$ à $0^m,35$ de rayon

aux poulies destinées à recevoir les chaînes du tablier (*pl. IV, fig.* 5).

Ordinairement, on emploie des coussinets de fonte verte ou cuivre pour supporter les axes des poulies, mais il vaut mieux les faire en racine de bois durs, tels que le buis et le gaïac. Ces coussinets bouillis dans l'huile de lin ou dans le suif, après avoir été bien desséchés à l'air ou dans un four, s'usent moins vite que le cuivre et produisent un frottement qui n'est pas la trentième partie de la pression. Ces coussinets doivent être composés de deux pièces, emboîtant le tourillon de la poulie et liées entre elles par des étriers surmontés d'un chapeau. L'axe des poulies pour les grands ponts devra avoir $0^m,04$ de diamètre sur les coussinets, le reste de l'axe ayant au moins $0^m,06$ à $0^m,07$ en carré. Moyennant toutes ces précautions, on peut parvenir à rendre les frottements des plus grands ponts-levis à chaînes assez faibles pour être vaincus par la force d'un seul homme.

Néanmoins le préjugé contre ces ponts a donné une grande vogue au pont-levis du capitaine Delille, qui n'employa dans sa manœuvre ni chaînes d'attache ni poulies. Nous en avons fait nous-même une application avec succès.

Dans ce système, les contre-poids sont réunis au tablier par des verges de fer, c'est-à-dire par des barres inflexibles (*pl. IV, fig.* 12). Ces verges tournent librement autour des pitons d'attache du tablier et autour de l'axe qui relie les contre-poids et les rend solidaires. Les contre-poids, de forme cylindrique, roulent sur des surfaces courbes, lesquelles en détruisant en partie l'action de la pesanteur, mettent le système en équilibre autour de l'axe des tourillons, quelle que soit la position du tablier. Les frottements sont vaincus au moyen de deux roues de manœuvre, fixées à demeure sur l'axe des contre-poids et faisant corps avec lui, enveloppées de chaînes sans fin. La seule difficulté de ce mécanisme si simple est la détermination de la courbe que les contre-poids doivent suivre pour satisfaire aux conditions du problème. Voilà comment on y parvient.

Soit AC (*pl. IV, fig.* 9), la position primitive du tablier, l sa longueur, P son poids, l' la distance de son centre de gravité au point d'appui, D la longueur de la verge AO, et P' le poids du contre-poids. En appelant p la force verticale qu'il faudrait appliquer au point d'attache A pour soutenir le tablier, s'il ne s'appuyait plus que sur ses tourillons, on aura $P : p = l : l'$ ou $p = \frac{P\,l'}{l}$.

Ainsi, en considérant le tablier comme une droite rigide, on peut

substituer à son poids un autre poids connu p, agissant au point d'attache A. Supposons la courbe déterminée, le tablier arrivé en CM et la verge en MM'. Prenons l'horizontale AC pour axe des abscisses, et la verticale CD pour axe des ordonnées; appelons a et b les coordonnées du point M, et x et y les coordonnées du point M'. En supposant le poids p concentré au point M, et le contre-poids au point M', on peut réduire la question à la considération de deux points matériels M, M', soumis aux forces verticales p et P', et réunis par une verge inflexible, astreints à se mouvoir, le premier sur le cercle AM, le second sur la courbe cherchée. On aura, par le principe des vitesses virtuelles, $P' dy + p\, d\, b = 0$, d'où $dy = -\frac{p}{P'} db$, et, en intégrant, $y = C - \frac{p}{P'} b$. . . . . (A).

Pour déterminer la constante C, observons qu'à l'origine du mouvement, lorsque le tablier est horizontal, $b = 0$, et qu'alors le contre-poids est au sommet de la courbe, qui est un point donné. Soit h sa hauteur au-dessus du plan du tablier; cela suffit pour fixer la position de ce point, puisqu'on connaît d'ailleurs la longueur D de la verge. On aura donc dans ce cas $h = C$, et l'équation (A) deviendra

$$y = h - \frac{p}{P'} b. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (B).$$

Si maintenant on suppose le tablier arrivé à la fin de son mouvement, on aura alors $b = l$, et le contre-poids sera au point le plus bas de sa course : appelons h' la hauteur à laquelle il se trouvera au-dessus du plan CA, nous aurons donc :

$$h' = h - \frac{p}{P'} l \text{ ou } h - h' = \frac{p}{P'} l \text{ ou } P' = \frac{p}{h - h'} l.$$

Ainsi, connaissant le poids du tablier, la distance du point d'attache à l'axe de rotation et les hauteurs au-dessus du plan CA, de l'origine et de la fin du mouvement du contre-poids, on pourra en conclure le poids à donner à ce contre-poids pour qu'il y ait équilibre, et, en général, lorsque les localités obligeront à donner des valeurs particulières à quatre de ces cinq quantités, l'équation fournira le moyen de déterminer la cinquième.

L'équation $y = h - \frac{p}{P'} b$ suffit avec les conditions connues du mou-

vement pour tracer la courbe parcourue par le contre-poids. En effet, $\frac{p}{p'}$ est le rapport numérique de poids connus : appelant n ce rapport, l'équation (B) devient $y = h - nb$, c'est-à-dire que pour avoir une ordonnée y de la courbe correspondante à l'ordonnée b du cercle décrit par le point d'attache, il faudra retrancher nb de h. On peut obtenir nb graphiquement. Pour cela décrivez du point C, comme centre, avec un rayon CR, dont le rapport avec CA soit égal à n, un cercle RS; prolongez CM jusqu'en N, et abaissez l'ordonnée NI, qui représentera nb. Ainsi en retranchant cette longueur de $OE = h$, et menant par le point G, EG étant égal à la différence, l'horizontale GM', elle contiendra le point cherché de la courbe; mais ce point devant se trouver aussi à l'extrémité de la verge, c'est-à-dire sur l'un des points de l'arc KL décrit du point M, comme centre, avec un rayon MM' égal à D, le point d'intersection de l'horizontale $M'G$ et de l'arc KL est évidemment celui que l'on cherche, et on déterminera de la même manière tous les autres points de la courbe.

Lorsque $n = 1$, l'équation devient $y = h - b$, on en tire $y + b = h$, ou bien, $\frac{y+b}{2} = \frac{h}{2}$. Ainsi dans toutes les positions de la verge, la quantité $\frac{y+b}{2}$, qui exprime la hauteur du milieu de cette verge au-dessus du plan horizontal du tablier, est constante et égale à la moitié de la hauteur de l'origine de la courbe au-dessus du même plan (*pl. IV*, *fig.* 10). Il est évident que, pour ce cas particulier, on pourra construire la courbe par un mouvement continu, une des extrémités de la verge étant astreinte à suivre l'arc de cercle AD, tandis que son milieu restera sur une même droite horizontale. Il est à remarquer encore que, pour les ponts-levis de petite dimension, on pourra, selon l'observation du lieutenant-colonel Bergère, supprimer entièrement la courbe des contre-poids et manœuvrer le pont-levis en établissant les contre-poids solidaires aux extrémités des verges, et en faisant mouvoir le milieu de ces verges sur un plan horizontal, placé à moitié de la hauteur de l'extrémité supérieure de la verge. C'est ce qu'on a fait dans une de nos places fortes, où l'on a fait porter le milieu de la verge sur l'essieu de deux roues ordinaires, roulant sur des poutrelles ou des massifs de maçonnerie garnis de bandes de fer, formant un peu saillie au-dessus du sol du passage. Les roues servent en même temps et avec avantage de roues de manœuvre. Il suffit de

les avancer ou reculer pour faire monter ou descendre le pont. On voit qu'un pareil dispositif est éminemment propre à être adapté aux fortifications passagères, rien n'étant plus aisé à trouver que ce qu'il faut pour la construction d'un mécanisme semblable (*pl. IV, fig.* 13).

Le rapport $n = \frac{p}{p'}$ peut devenir plus petit que l'unité; mais ceci ne change en rien la construction; seulement l'arc $R'S'$, qui donne les ordonnées nb, tombe alors en dedans de l'arc AD.

Pour les grands ponts, on construit les courbes de la manière que nous avons indiquée à l'occasion de la sinusoïde. Il sera prudent de composer les contre-poids de plusieurs rondelles séparées, afin d'obtenir plus facilement un équilibre presque exact, en y ajoutant ou en retranchant la quantité nécessaire. Dans l'application dont nous étions chargé, nous avons fait l'essieu en fer, afin d'avoir moins de poids à partager entre les deux cylindres, et d'obtenir ainsi une courbe plus rapprochée de la courbe géométrique; mais il y a un grave inconvénient attaché à cette disposition : c'est que, quelques précautions qu'on prenne, l'essieu fléchit sous son propre poids et sous celui des poulies de manœuvre. Dès lors celles-ci s'écartant du plan vertical, tandis que la partie libre des chaînes de manœuvre continue à affecter cette position, les chaînes tendent incessamment à sortir des poulies, et lorsque cet accident arrive, la manœuvre devient fort difficile. Sous ce rapport, il sera donc préférable de faire l'essieu en bois avec des équignons en fer forgé. D'un autre côté, il est fort intéressant que les cylindres qui roulent sur les courbes aient un petit rayon, car l'équation d'équilibre repose sur l'hypothèse que le contre-poids est un point matériel, et la courbe réelle s'écartera d'autant moins de la courbe géométrique que le rayon de la roulette sera plus petit. Or, plus l'essieu sera pesant, moins il faudra y ajouter pour compléter le contre-poids : à cet égard, un essieu en fer sera meilleur, et on pourrait peut-être diminuer le désavantage qui en résulte, en lui donnant la forme du solide d'égale résistance.

L'expérience a encore révélé quelques autres inconvénients plus légers. Ainsi les poulies et les chaînes de manœuvre étant entraînées par le mouvement des contre-poids et descendant avec eux, les chaînes traînent dans la boue vers la fin du mouvement, elles se rouillent, par leur roideur elles tendent à sortir des poulies, tandis que les hommes ne savent plus où mettre les mains. Un équilibre complet au commencement du mouvement n'est pas avantageux, les secousses des voi-

tures réagissant alors trop fortement sur le mécanisme du pont et disloquant les armatures. Il vaut mieux donner une prépondérance au tablier, le grand bras de levier de la puissance fournissant ce moyen de la vaincre avec facilité au commencement du mouvement, et la répartition plus égale du poids des barres contribuant à rendre l'équilibre plus exact à mesure que le mouvement avance.

Les barres sont faites de deux pièces, dont l'une porte une vis, l'autre un écrou ; de cette manière, on peut toujours corriger les dérangements de l'équilibre, provenant des dilatations ou des contractions des barres, en plaçant le contre-poids exactement à l'origine de la courbe, comme l'équation le suppose.

Une manœuvre de pont-levis, inventée par le capitaine du génie français Derché, est exempte de ces désavantages, mais a, en revanche, ceux inhérents aux ponts à chaînes et à poulies. L'idée fondamentale en est aussi simple qu'ingénieuse. Les chaînes d'attache du pont (*pl. IV*, *fig.* 7 et 8) s'enroulent sur des tambours circulaires ou *treuils*, tandis que les chaînes des contre-poids sont déroulées des spirales dont l'origine se trouve au centre de l'essieu des tambours, et les bras de levier des contre-poids décroissent dans la même proportion que la tension des chaînes d'attache qui maintient en équilibre le tablier à mesure qu'il se lève. Une roue de manœuvre à chevilles ou des poulies de manœuvre avec des chaînes sans fin, servent à l'application de la force qui doit vaincre les frottements et le poids des chaînes. Grâce à sa simplicité, cette manœuvre a parfaitement réussi partout où elle a été appliquée ; elle peut l'être dans toutes les localités où le niveau des sources n'oblige pas à placer le contre-poids à une hauteur excessive et tant que le passage en arrière du tableau reste direct sur la longueur nécessaire à l'emplacement des tambours.

Le calcul d'ailleurs en est facile. Quand la partie antérieure de la poulie de renvoi est sur la verticale des tourillons du tablier ; quand le point d'attache des chaînes est sur la droite qui passe par les tourillons et par le centre de gravité du tablier, la longueur extérieure des chaînes reste toujours proportionnelle à la tension, propriété qui rend très-aisée la détermination des bras de levier des contre-poids. Ceux-ci sont cotés sur la fig. 8. La valeur constante de la perpendiculaire *ab* s'obtient en divisant par la longueur initiale de la chaîne extérieure le carré du rayon du treuil, supposé égal au bras de levier initial du contre-poids, comme dans la fig. 7. Les extrémités des perpendiculaires *ab*, sont autant de points de la spirale.

Lorsque la surface des eaux est éloignée du sol ou que les fossés sont secs, les tambours peuvent être placés avec leur essieu au niveau du passage, ce qui permettra l'application directe de la force motrice à la circonférence des tambours et dispensera de l'addition des poulies de manœuvre ; on rendra l'équilibre à peu près parfait dans toutes les positions, en faisant entrer la diminution du poids des chaînes d'attache dans le calcul de la longueur de la spirale.

La considération de la direction constante du passage sur une longueur donnée n'est pas sans importance, car elle pourrait empêcher l'application de la manœuvre la plus parfaite à l'issue d'un passage tournant ; même pour les portes ordinaires, comme la hauteur est limitée, les manœuvres que nous avons décrites jusqu'ici nécessitent presque toutes la construction de voûtes surbaissées sur l'étendue qu'elles occupent, et ces voûtes sont bien moins en état de résister au choc des bombes que les voûtes en plein cintre. Le colonel du génie Poncelet a proposé une manœuvre de pont-levis qui, à cet égard, a d'immenses avantages sur toutes les autres, et qui a été exécutée dans plusieurs places.

Dans ce mécanisme (*pl. IV*, *fig.* 5), le contre-poids est lié immédiatement aux chaînes d'attache du tablier et consiste lui-même en une chaîne plate, dont l'extrémité inférieure est fixée à un crochet scellé dans le tableau. Chaque élément de la chaîne plate fait équilibre à ce que le tablier perd pendant qu'il parcourt l'espace nécessaire pour que cet élément, en descendant, cesse de peser sur les chaînes d'attache et soit supporté par le crochet scellé dans le mur. Le bras de levier du contre-poids est donc invariable, mais le poids lui-même décroit de quantités égales à la diminution de la tension exercée par le tablier sur les chaînes d'attache ; en rendant les éléments très-petits, en fractionnant la chaîne de contre-poids en plusieurs branches disposées de manière que les milieux des éléments d'une série correspondent, par rapport au point fixe, aux extrémités des éléments d'une autre série, on obtient un très-grand nombre de positions dans lesquelles l'équilibre est parfait ou l'excès de résistance très-minime. Il ne reste donc que les frottements à vaincre, ce qu'on obtient à l'aide de poulies de manœuvre et de chaînes sans fin, semblables à celles que nous avons déjà décrites.

Le calcul en lui-même est d'une extrême simplicité. Il est facile de se rendre compte de la tension exercée par le tablier suivant les chaînes d'attache dans chaque position, par conséquent aussi du poids que la

chaîne de contre-poids doit conserver pour y faire équilibre. Or, cette chaîne étant composée d'éléments égaux dont on peut augmenter le nombre, il n'est pas moins aisé de supputer le nombre de ces éléments qui, à chaque partie du mouvement, doivent cesser de peser sur les chaînes d'attache. Nous ne nous occuperons donc pas de ce calcul, préférant vous donner les prescriptions nécessaires à l'établissement matériel de manœuvres pareilles.

Nous remarquerons d'abord que la longueur de la chaîne contre-poids doit être la moitié de la partie des chaînes d'attache qui passe sur les poulies pendant le mouvement du pont ; que lorsque la poulie *b* a sa partie antérieure dans la verticale des tourillons *a*, les quantités dont la tension diminue sont proportionnelles aux longueurs de chaînes enroulées, donc aux quantités dont la chaîne contre-poids se raccourcit ; que lorsque le point d'attache des chaînes du tablier ne se trouve pas dans le même plan que le centre de gravité du tablier et l'axe des tourillons, il restera à la fin du mouvement, lorsque le tablier est placé verticalement contre le tableau, une force qui tendra à le faire descendre et qui exigera un contre-poids constant au delà de la poulie ; ce contre-poids pourra être les armatures au moyen desquelles les chaînes plates tiennent aux chaînes d'attache.

Ceci entendu, nous dirons que pour un pont-levis du poids de 3,000 kilog., M. Poncelet a composé sa chaîne contre-poids de masselottes, de 205 millimètres de longueur, 100 millimètres de largeur et 60 millimètres d'épaisseur, pesant environ 8 kilog., formées d'un rectangle de $0^m,105$ et de deux demi-cercles de $0^m,05$ de rayon, traversées et reliées par deux boulons à clavettes de $0^m,027$ de grosseur, avec un jeu de $0^m,0005$. Le premier boulon, cependant, reliant la chaîne avec l'armature supérieure, a eu $0^m,035$. Plaçant la poulie de renvoi avec le point d'attache des petites chaînes dans la verticale des tourillons, il commence par établir sa chaîne à masselottes d'une épaisseur uniforme, pour faire toujours équilibre à l'effort du tablier, sauf à charger ensuite les premiers boulons de quelques rondelles accessoires, afin de contre-balancer le poids variable des chaînes d'attache. Il compose son contre-poids de 4 chaînes à masselottes, deux à chaque système de poulies, et combine leurs longueurs de manière que dans deux une masselotte devienne horizontale, lorsque dans les deux autres les masselottes successives forment l'angle de 60°, afin de compenser l'inégalité de tension existant dans ces positions diverses.

Si l'on avait un pareil pont à établir, après avoir déterminé par un

calcul approximatif le poids des chaînes à masselottes et l'avoir réparti sur la longueur des chaînes d'attache, on commencerait par placer le pont dans la position verticale, en le soutenant par des étais et sans autre contre-poids que les chaînes d'attache avec les armatures des chaînes à masselottes. On reconnaîtrait le poids qu'il faut ajouter pour que l'on n'ait plus à retenir le tablier, et que cependant il soit prêt à quitter de lui-même la position verticale ou même à y revenir lorsqu'on l'en écarte infiniment peu. Ce sera là le poids du nombre de masselottes dont le premier boulon devra être chargé. On opérerait de même, après avoir fait descendre le pont de la double distance entre deux boulons, et ainsi de proche en proche, jusqu'à ce que le pont viendrait à toucher son chevet. De cette manière, on s'assurera de l'équilibre complet ou presque complet dans toutes les positions, sauf à le corriger au bout de quelque temps, lorsque l'influence de l'atmosphère aura donné au tablier le poids moyen qu'il doit conserver, correction très-facile, pourvu qu'on ait pris la précaution de laisser aux boulons quelques centimètres de longueur de plus que celle rigoureusement exigée par l'épaisseur des masselottes et des anneaux qui les séparent, car, afin de diminuer les frottements, on aura soin d'intercaler entre les masselottes sur le même boulon des anneaux minces de cuivre, comme des anneaux de rideau ordinaires.

Pour empêcher les flottements, il sera utile de donner à la chaîne à masselottes une longueur telle, qu'il reste une ou deux rangées de masselottes dans la branche retroussée de la chaîne lorsque le tablier est abattu.

L'observation que nous avons faite tout à l'heure sur l'égalité de rapport entre la longueur de la chaîne d'attache et la tension exercée par le pont, dans un cas spécial, a suggéré à d'autres ingénieurs l'idée de prendre pour contre-poids, dans les terrains aquatiques, un prisme ou cylindre droit, d'une hauteur égale à la longueur de la chaîne d'attache et d'une pesanteur spécifique égale à celle de l'eau, et s'immergeant à mesure que le tablier se lève, idée peu applicable, vu les variations du niveau des sources. D'autres encore, trouvant la chaîne à masselottes d'une construction trop assujettissante, ont proposé de la remplacer par des cylindres ou des cônes creux, s'enchâssant les uns dans les autres et se déposant successivement sur les rebords de la cage dans laquelle le contre-poids est logé, de manière à ce que les diminutions de tension correspondent à l'action décroissante des contre-poids. Ces constructions nous paraissent aussi assujettissantes que celle de la chaîne à

masselottes, l'équilibre ne sera exact que dans un petit nombre de positions, et bien plus difficile à rétablir s'il venait à être troublé ; enfin, la manœuvre serait fort compromise si une force quelconque chassait le contre-poids hors du plan vertical. Nous ne voyons donc pas en quoi ces changements seraient des améliorations.

On ne peut pas nier que le mécanisme décrit plus haut ne soit sujet à beaucoup d'inconvénients. L'exécution de la chaîne à masselottes, ainsi que le placement des poulies et des chaînes, exige une précision difficile à obtenir pour éviter des frottements et des arc-boutements qui rendraient le mouvement ultérieur impossible ; la rouille et la poussière suffisent pour produire le même effet, si les chaînes ne sont pas soigneusement renfermées et les ponts manœuvrés tous les jours. De plus, la sujétion du travail élève le prix du contre-poids et rend ce genre de pont-levis fort cher. Or, comme dans ce genre de machines un équilibre exact dans toutes les positions est à peine un mérite, puisque, par exemple, dans la position horizontale du tablier, il est préférable qu'il y ait excès de résistance pour éviter les battements sur le chevet au passage des voitures, comme, dans la position verticale, tendance à redescendre, pour empêcher le choc contre le tableau qui résulterait d'une accélération, nous croyons qu'excepté dans les circonstances spéciales que nous avons indiquées, cette manœuvre ne mérite pas la préférence sur celle de Derché et n'a même guère d'avantage sur la sinusoïde de Bélidor, en comprenant pour celle-ci dans la valeur du contre-poids la moitié du poids des chaînes d'attache. Remarquons que lorsque le mécanisme admet l'emploi des poulies de manœuvres, la force des hommes s'applique si avantageusement, qu'il est toujours très-facile de contre-balancer l'excès qu'une des deux actions équipondérées pourrait acquérir sur l'autre, et de maintenir ainsi un mouvement égal, sans chocs ni secousses.

Au surplus, M. Poncelet, en répondant aux critiques de quelques ingénieurs, a fait remarquer que la non-réussite du système exécuté peut dépendre des erreurs commises dans le dispositif général, dans la pose des poulies et des contre-poids à chaînes, ainsi que de l'imperfection des détails, et il signale comme vices principaux à éviter, vices qui se rencontrent, en effet, trop souvent : 1° le défaut de jeu dans les articulations ; la mauvaise exécution des boulons et des trous qui les reçoivent ; 2° le trop grand rapprochement des deux branches d'une même chaîne de contre-poids ; 3° la mauvaise disposition des poulies et des axes de manœuvre ; 4° l'excentricité et la solidarité de ces axes ; 5° la

trop grande saillie des poulies antérieures sur le nu des pieds-droits ou des tableaux battants des passages; 6° l'absence complète de manœuvre dans les systèmes. D'après l'expérience acquise, 3 à 4 millimètres de jeu aux boulons des chaînes de contre-poids, 5 à 6 millimètres entre les rangs de masselottes, 8 à 10 millimètres entre les arrondissements consécutifs des masselottes d'un même rang doivent suffire. Il doit y avoir 6 à 7 centimètres d'intervalle entre les deux branches pendantes et reployées de chaque chaîne. Le jeu des tourillons des poulies de renvoi des chaînes du tablier peut être réduit à 1 ou 2 millimètres, si les coussinets sont en bois gras et recouverts de demi-coussinets pareils. Il doit y avoir 2 centimètres de jeu entre ces poulies et les joues de leurs créneaux. La gorge des grandes poulies de manœuvre doit être angulaire, profonde de 8 à 10 centimètres sur 4 d'entrée.

Plusieurs autres combinaisons existent ou peuvent être imaginées, mais les considérations auxquelles nous nous sommes livré à l'occasion de celles que nous avons décrites vous permettront toujours de juger leur mérite comparatif. Simplicité, solidité, économie et, au besoin, rapidité dans la manœuvre, voilà les qualités qu'une bonne manœuvre de pont-levis militaire doit nécessairement présenter. Et moins le mécanisme à l'aide duquel on les obtient occupera d'espace, plus il sera recommandable.

Nous n'avons pas parlé des lisses d'appui ou garde-corps des ponts à contre-poids. Voici la description d'une lisse mobile, très-ingénieuse, montant et s'abaissant avec le tablier, telle qu'elle a été exécutée au château de Béfort.

De chaque côté du passage et dans l'intervalle qui sépare horizontalement le tablier de la chaîne d'attache, on a scellé deux consoles en fer *A* (*pl. IV, fig.* 17), de la hauteur du garde-corps; à l'extrémité *a* de chacune d'elles s'attache, par une charnière, une tige *ab*, qui va s'engager par le crochet *b* sur le retour de la lisse du pont dormant, laquelle est à cet effet percée d'un œil; la tige *ab* peut aussi se mouvoir autour du point *a*, dans le plan de la console.

En arrière du crochet et en dedans du passage, au point *c*, est suspendue une tringle *cd*, qui a pour objet de maintenir la lisse dans sa position horizontale quand le pont est baissé, et de rendre son mouvement dépendant de celui du tablier. Formée de deux barres jumelles, cette tringle est traversée à son extrémité inférieure, par un piton *d*, tenant au tablier. Quand le tablier se lève, le piton glisse dans la tringle conductrice et soulève ensuite l'extrémité de la lisse mobile, en la for-

çant à quitter son point d'appui. Quand on baisse le pont, la tringle, puis l'action de la pesanteur, ramènent la lisse à sa position première.

La longueur de la console *a* est égale à la hauteur du garde-corps, afin que la lisse puisse se loger sous la porte.

Le garde-corps a coûté à Béfort 220 francs. Appliqué à un pont *à la Poncelet*, il n'a pas nécessité une augmentation dans la chaîne à masselottes; la lisse en fer plat de $0^m,020$ et $0^m,035$, la tringle en barres jumelles de $0^m,02$ carrés.

La nécessité d'éviter à la fois les courbes trop prononcées et les pentes trop fortes, dans la construction des *chemins de fer*, ne permet que bien rarement d'établir les stations ou gares à l'intérieur des forteresses, sans perturbation des propriétés défensives des ouvrages. Si la gare a de l'importance, il convient de multiplier les voies, pour en faciliter les accès et pour favoriser les continuelles allées et venues des convois, des locomotives, etc.; or, cela ne peut se faire qu'en donnant une largeur exceptionnelle aux ouvertures à ménager alors dans les remparts, ce qui vient ajouter une nouvelle complication au problème. Afin cependant de le résoudre le moins mal que possible, lorsqu'on a dû renoncer aux combinaisons ayant pour objet l'organisation des gares en dehors de l'enceinte, on tâchera :

1° De placer les points d'entrée et de sortie des voies sur les fronts les moins attaquables;

2° En tout cas, de choisir les rentrants des fronts, tels que les milieux des courtines, bien protégés par les parties saillantes et flanquantes;

3° De n'établir les voies ni sur de hautes levées ni dans des tranchées profondes dont il serait souvent peu praticable de bien battre les couverts, d'enfilade, de revers et de flanc;

4° Quand on ne peut éviter ces couverts, de les diminuer soit en délardant les talus, soit en les étendant en glacis;

5° De tenir le niveau des voies de plain-pied avec le terre plein des chemins couverts, ou, par exception, avec le fond des fossés, si une vallée ou un ravin venant couper la place détermine la direction du chemin de fer;

6° De voûter, s'il se peut, les passages dans les remparts, en construisant autant de voûtes accolées qu'il y a de voies distinctes;

7° De barrer les passages à l'aide de grilles solides en fer, ou même d'y préparer des coupures maçonnées et remblayées, pour pouvoir aisément interrompre la communication par un déblai rapide, en temps de

siége, et par la création d'un parapet en terre, auquel la coupure maçonnée servira alors de fossé revêtu ;

8° De construire les tabliers des ponts fixes sur les fossés avec des poutrelles en fer faciles à démonter et d'avoir des ponts mobiles, à leurs extrémités voisines de l'escarpe ;

9° D'éclairer les couverts par des ouvrages additionnels, s'il y a lieu, c'est-à-dire si l'enceinte ou les dehors ordinaires ne peuvent le faire convenablement ;

10° La gare sera quelquefois placée à la gorge d'un grand ouvrage extérieur, tel qu'une couronne simple ou double, etc. Si le chemin de fer, pour y aboutir ou s'en éloigner, court parallèlement ou obliquement devant les fronts de l'enceinte, on doit s'attacher avec un soin tout particulier à éviter ou à corriger les couverts qu'il pourrait présenter.

Nous tombons d'accord, en ce qui concerne ces détails, avec M. le général Noizet, l'auteur distingué des *Principes de fortification,* ouvrage récemment publié à Paris et qui renferme un riche fonds d'instruction solide sur toutes les parties de l'art.

La fig. 15 de la pl. IV, indique le système de communications adopté pour la nouvelle enceinte d'Anvers. On remarquera qu'il est double et symétrique par rapport à la capitale des grandes caponnières. C'est une garantie qu'on a jugée nécessaire contre les accidents auxquels les communications des fossés pleins d'eau sont sujettes en temps de siége. Les ponts mobiles sont des ponts roulants, avec une manœuvre préalable sur le côté. Le passage du grand fossé consiste, en grande partie, en une digue en terre, qu'on n'a pu profiler en double caponnière, parce qu'on aurait masqué le feu rasant des casemates.

21me LEÇON.

CONSTRUCTIONS HYDRAULIQUES ET MANOEUVRES D'EAU.

SOMMAIRE.

Règle pratique pour l'épaisseur des batardeaux ; inconvénients qu'elle entraîne. — Méthode pour calculer l'épaisseur d'un batardeau dont les extrémités sont immuables. — Remarques sur les fondations. — *Chaux et mortiers* suivant les *conditions générales* récemment arrêtées par le Département de la guerre. — Application de la pierre de taille dans les batardeaux. — Dimensions des dames. — Communications entre les divers biefs, suivant que l'écoulement doit être constant, périodique ou accidentel, lent ou rapide ; déversoirs ; clapets ; vannes horizontales ou verticales ; écluses à poutrelles, à vannes, à portes tournantes, à portes en éventail. — Conditions générales des écluses militaires. — Batardeaux éclusés ; détail des vannes. — Portes d'eau ; grilles.

Les manœuvres d'eau dont nous vous avons si souvent entretenus exigent des constructions particulières, dont nous ferons l'objet de cette leçon.

Lorsque dans les fossés d'une place l'eau doit être maintenue sur les fronts divers à des niveaux différents, il faut ériger aux points de séparation des clôtures qui empêchent l'eau du bief supérieur de se déverser dans le bief inférieur : ce but est atteint par les batardeaux. Soient : *abcd* la paroi mouillée, trapézoïdale, d'un bâtardeau dans un fossé non revêtu ; $m = ab$, la base supérieure du trapèze mouillé ; $n = cd$, la base inférieure ; h la charge d'eau ou distance verticale entre m et n ; enfin P la pression en tonneaux métriques. On aura $P = \frac{h^2(m + 2n)}{6 \sin. d}$, si la paroi forme l'angle d avec l'horizon. Le centre de pression sera à la profondeur $D = \frac{h(m + 3n)}{2(m + 2n)}$.

Pour faire varier le niveau du fluide suivant les circonstances, et, au besoin, dessécher entièrement les fossés susceptibles de manœuvres d'eau, il faut se ménager les moyens d'accélérer ou d'empêcher l'écoulement, c'est-à-dire pratiquer des ouvertures closes par des fermetures mobiles, dans les séparations d'abord érigées. Les écluses et les écluselettes sont construites dans cette intention.

Dans le *Cours de construction*, vous avez trouvé avec les formules analytiques, la règle pratique adoptée pour l'épaisseur des batardeaux, auxquels on donne sur la retraite des fondations, au niveau du fond du fossé, une épaisseur égale à la hauteur d'eau qu'ils doivent soutenir. A partir de là, on élève les parois avec un talus d'un sixième de la hauteur pour base, jusqu'à $0^m,25$ ou $0^m,30$ au-dessus du niveau de l'eau, où on les couronne d'une cape en dos d'âne, dont les pans forment un angle droit. Il est bien entendu que, s'il y avait de l'eau des deux côtés et que celle du bief inférieur ne pût descendre au-dessous d'un niveau donné, comme lorsqu'un batardeau sépare le lit d'une rivière du fossé d'une place, la différence de hauteur entre les deux surfaces doit être prise pour la hauteur qui règle l'épaisseur du batardeau, en sorte que celui-ci aura pour épaisseur, au niveau de l'eau dans le bief inférieur, l'excès de hauteur de fluide dans le bief supérieur. On emploie aussi, selon Poncelet, la formule suivante pour l'épaisseur moyenne x d'un batardeau : $x = 0{,}865\, h \sqrt{\frac{1000}{p}}$, étant h, la hauteur de la charge d'eau et p le poids du mètre cube de la maçonnerie. En appliquant cette formule avec les données $h = 6^m$ et $p = 2{,}500^k$, il viendrait $x = 0.548^k$ $x = 3^m,30$ à très-peu près. Cette épaisseur est celle des batardeaux à parements verticaux, ou dans le cas d'une inclinaison au-dessous de $^1/_5$, l'épaisseur à $^1/_9$ de la hauteur à partir du pied. Les maçonneries moyennes donneraient $x = 0.6\ h$.

D'autres ingénieurs, adoptent cette règle pratique, que l'épaisseur des batardeaux doit être égale à celle des murs de quais, et à celle des bajoyers des écluses $= {}^1/_3\ h$, à la moitié de la hauteur h des murs avec un parement incliné de $^1/_6$ à $^1/_{10}$, l'épaisseur n'étant toutefois jamais moindre que 1 mètre, ou si le batardeau était exposé aux coups de l'artillerie, il faudrait lui donner une épaisseur égale à la hauteur mesurée entre le pied et la base du dos d'âne. Les règles pratiques, de même que les formules analytiques, font abstraction de la longueur du batardeau et ne considèrent que le profil, ce qui conduit parfois à des résultats absurdes. Ainsi dans plusieurs places, où la séparation des biefs se trouve en capitale du front et où la manœuvre a lieu au moyen de poutrelles entre les piles en maçonnerie du pont au milieu de la courtine, les parties fixes de la retenue ont reçu les dimensions données pour les batardeaux par la formule ci-dessus, en sorte qu'on assimile la résistance opposée par un mur de 4 mètres d'épaisseur à sa base, sur $2^m,70$ d'épaisseur à la partie supérieure, 4 mètres de hauteur et 6 mètres de

longueur entre les points d'appui immuables, à celle d'une poutrelle de $0^m,22$ d'équarrissage sur la même longueur. Nous devons donc rappeler ici le raisonnement que nous avons fait sur la manière de calculer la résistance des murs contre la poussée des terres, raisonnement parfaitement applicable à la poussée de l'eau, qui ne peut produire un mouvement sans détacher le batardeau de ses fondations et de ses points d'appui latéraux, en le brisant en trois endroits. Il serait fort désirable que des expériences directes fissent connaître de quelle résistance les maçonneries sont capables dans des circonstances semblables. A défaut, nous croyons qu'on pourrait se servir des formules qui servent à déterminer l'épaisseur des voûtes et des plates-bandes, en raison du poids dont elles sont chargées, et on pourrait augmenter l'analogie en cintrant les batardeaux entre leurs extrémités du côté où la pression doit avoir lieu. Il est plus que probable qu'en employant cette méthode, on remplacerait des batardeaux de 3 mètres d'épaisseur moyenne par des murs de $0^m,65$ ou $0^m,80$, suivant la distance entre les points d'appui.

La profondeur des fondations doit être également proportionnée à la hauteur de la charge, car les filtrations auront d'autant plus de puissance qu'elles seront chargées d'une plus forte colonne d'eau. Pour 4 mètres à $4^m,50$ de hauteur de pression, on donne ordinairement $1^m,60$ de profondeur de fondation. La nature du fond doit nécessairement influer sur cette dimension, qui sera plus grande dans les terrains mous et remplis de sources, que dans les terrains solides et compactes, la résistance offerte par les pilots contre la translation ne pouvant équivaloir à la butée et au frottement que des terres franches présentent.

Faisons observer à cet égard que, lorsque les extrémités des batardeaux s'engagent sous des revêtements d'escarpe ou de contrescarpe, qui reposent sur des pilotis, les revêtements doivent être soutenus en ces points par un plus grand nombre de pilots que partout ailleurs, puisqu'un enfoncement de $0^m,02$ ou $0^m,03$, qui serait peu dangereux pour le reste du revêtement, s'il avait lieu avec régularité, entraînerait nécessairement des lézardes dans la maçonnerie du batardeau, à cause de l'inégalité de charge, et toute la construction est bientôt bouleversée dès que l'eau sait se faire jour quelque part, son action incessante désunissant et rongeant avec rapidité la maçonnerie la plus solide. On prévient ces accidents au moyen de parafouilles en béton.

Les batardeaux se construisent en mortier hydraulique. Suivant la remarque faite tout à l'heure sur le danger des filtrations, qui croît avec la profondeur à laquelle ces filtrations se manifestent, les fonda-

tions sont établies en mortier hydraulique de première qualité, les parois en mortier de seconde qualité, sur une épaisseur de $0^m,60$, tandis que la masse du corps du batardeau peut l'être en mortier de troisième qualité.

Quand on construit en briques, qui s'imbibent toujours plus ou moins d'eau, on revêt souvent les parois en pierre de taille, surtout la base, où la pression est plus forte, spécialement sur la face d'amont, et on fait aussi en pierre de taille toutes les arêtes, afin de n'employer que des briques entières. Nous avons déjà exprimé notre opinion sur ce mélange de matériaux hétérogènes, et nous croyons que cette pierre de taille serait mieux employée à garantir les faces du batardeau de l'action successive de l'humidité et de la chaleur, à la ligne de la flottaison des deux côtés, sur une hauteur assez considérable pour comprendre les limites des eaux d'été et d'hiver, la brique étant rarement assez solide pour résister longtemps à l'action dissolvante des variations de dilatation.

Les batardeaux sont chargés d'une dame (*fig.* 3 et 5, *pl. VI* de la 3^me^ partie), cône ou cylindre en maçonnerie, assez haut au-dessus de l'arête de la chape pour qu'on ne puisse le franchir ni l'escalader, assez gros pour qu'on ne puisse l'embrasser et s'en servir comme support pour passer d'un côté à l'autre, ce qui suppose au moins un diamètre de $1^m,40$. Quand le batardeau conserve une épaisseur suffisante au pied de la cape pour que ce dernier but soit atteint, on prolonge les lignes de talus du batardeau et on en forme les génératrices de la surface conique, qu'on termine à $2^m,50$ ou 3 mètres au-dessus de l'arête du dos d'âne, par une calotte sphérique, quelquefois en briques, plus souvent en pierre de taille.

Les moyens de communication entre les biefs successifs diffèrent suivant que l'écoulement doit être constant, périodique ou accidentel, instantané ou continu. Lorsqu'un ruisseau est introduit dans les fossés d'une place et les remplit d'eau jusqu'à une certaine profondeur avant de se rendre dans la rivière qui le reçoit, le premier cas a lieu, et alors les batardeaux qui maintiennent l'eau doivent être accompagnés de déversoirs (*fig.* 2 et 6, *pl. VI* de la 3^me^ partie) pour évacuer le trop plein. Si les niveaux diffèrent peu et si la quantité d'eau fournie par le ruisseau, chaque seconde, est minime, on se contente de couper la cape du batardeau sur la longueur nécessaire, revêtant en pierre de taille ses profils, ainsi que la paroi en aval au-dessous de la chute, et dallant en pierre de taille le fond du déversoir. Quelquefois aussi on

prolonge celui-ci, au moyen d'une dalle soutenue par des corbeaux, jusqu'au delà de l'aplomb de l'arête inférieure du batardeau. En tout cas, il sera prudent de construire un radier à l'endroit correspondant au fond du fossé, afin de prévenir l'affouillement des palplanches ou du parafouille qui doivent empêcher les filtrations par-dessous les fondations.

Lorsque la section du cours d'eau est plus considérable, une chute perpendiculaire deviendrait trop dangereuse, et, pour prévenir les affouillements, le radier devrait s'étendre au loin, en même temps que sa construction deviendrait fort coûteuse, à cause de l'effort qu'il aurait à supporter. Alors on a recours au déversoir ordinaire, radier incliné au dixième environ, dont la surface est revêtue en pierre de taille et le pied assuré par des palplanches ou un parafouille contre les affouillements, sans compter le faux radier en fascinage par lequel on l'appuie d'habitude. Cependant, il est à observer qu'un pareil déversoir n'est pas un obstacle à la communication à travers le fossé, et que la sûreté contre l'escalade fournie par des fossés pleins d'eau n'existe pas au point où le déversoir est établi. Aussi lui préfère-t-on en général, dans les constructions militaires, une retenue en bois, dans le genre de l'écluse à poutrelles, dont nous vous avons donné la description dans la 13^{me} leçon de la 3^{me} partie de ce Cours. Seulement, la clôture est placée à demeure et engagée des deux côtés dans les rainures des bajoyers. Il est rare qu'on donne plus de 5 mètres de portée aux pièces de bois, dont l'épaisseur varie de 0^{m},13 à 0^{m},22, suivant l'espacement des bajoyers et la charge d'eau. Un radier général relie tous les bajoyers et les passages et doit être accompagné d'un faux radier, d'une longueur proportionnée à la vitesse que l'eau acquiert dans sa chute. Les parties de la retenue attenantes à l'escarpe et à la contrescarpe conservent le profil d'un batardeau ordinaire, pour rendre la traversée du fossé d'autant plus difficile.

Mais il y a fort peu de cours d'eau dont le profil soit constant, et dès lors il faut aussi se ménager les moyens d'augmenter ou de diminuer l'orifice d'écoulement, suivant les quantités variables que le ruisseau fournit. A cet effet, on établit des éclusettes à vannes ou à poutrelles (*fig.* 2, 4 et 5, *pl. VI* de la 3^{me} partie). En plaçant un nombre plus ou moins grand de ces dernières, on ouvre ou on ferme la communication, tout comme en levant ou en baissant les premières; mais elles ont cet avantage, que s'il survient une crue subite, l'eau surabondante trouve dès le premier moment un débouché, dont le profil croît avec la hauteur d'eau, tandis que l'ouverture laissée par la vanne ne change

pas, et quoique la quantité d'eau écoulée augmente à cause de l'accroissement de pression, il s'en faut de beaucoup que ce soit dans une proportion égale. De plus, la vanne ne garantit pas un niveau constant dans le bief d'amont. Enfin, les poutrelles tiennent moins de place et peuvent être manœuvrées avec moins de forces. Il devient, par cela même, plus facile de les soustraire à l'action des feux ennemis. En revanche, l'écoulement par-dessous la vanne fatigue beaucoup moins le radier, vu la direction du mouvement de l'eau, et la manœuvre se fait avec plus de rapidité dans les deux sens, ce qui les rend préférables dans bien des occasions.

Lorsque les crues peuvent devenir très-considérables en peu d'instants, comme il arrive aux ruisseaux coulant dans un vallon encaissé, qui s'élèvent parfois subitement de 5 à 6 mètres après des pluies d'orage, les deux méthodes précédentes ont le grave inconvénient de faire dépendre la conservation des retenues, et souvent la sûreté des habitants, de la vigilance d'un éclusier. Nous avons vu des accidents très-graves et des pertes énormes résulter d'une seule heure de sommeil. Le moyen de les prévenir consiste dans l'emploi de retenues mobiles dont l'ouverture augmente avec la pression de l'eau. Telles sont les vannes à axe horizontal (*pl. IV, fig.* 16). On espace les bajoyers, construits comme les bajoyers d'écluse, de 2 à 3 mètres. La vanne en charpente tourne autour d'un essieu placé à la hauteur voulue pour que la pression de l'eau, dès que celle-ci atteint une certaine hauteur, fasse basculer la vanne et l'amène, de la position verticale, à une position inclinée, plus ou moins voisine de l'horizontale. A cet effet, on échancre les bajoyers suivant la courbe que les vannes doivent suivre en s'abattant. Donnant un surcroît de pesanteur à la partie inférieure des vannes, elles tendront incessamment à se redresser, et la pression de l'eau parfera la clôture dès que le fluide sera suffisamment écoulé pour ne plus peser que faiblement sur la partie supérieure. En rendant une partie de la cloison dormante, on sera en même temps assuré de conserver en amont des vannes une profondeur d'eau aussi grande qu'on le veut.

Dans cette construction, il sera utile sous tous les rapports de donner beaucoup de solidité à la vanne mobile, et de rendre sa pesanteur spécifique sensiblement plus grande que celle de l'eau, afin de diminuer l'effet qui s'exerce sur l'essieu lorsque la vanne est inclinée et immergée. On coupe la partie inférieure en biseau sous un angle de 45°, laissant seulement quelques millimètres de largeur à la tranche

inférieure, pour éviter que des gravois, en s'introduisant entre les deux surfaces, ne portent obstacle au mouvement, et on supplée à la solidité que ce délardement fait perdre, en revêtant le biseau de fer. On garnit de même les côtés de la vanne, afin de couper plus facilement les herbes et branchages que l'eau pourrait amener et qui, en s'arrêtant contre les rainures, empêcheraient les vannes de se fermer.

Lorsque l'écoulement est périodique, on peut employer un moyen plus simple encore. Ainsi, dans les places bâties près de la mer ou le long des fleuves, en un point assez rapproché de leur embouchure pour que les marées s'y fassent sentir, on évacue pendant le reflux, au moyen d'un clapet, suspendu à un axe horizontal, les eaux douces qui se sont accumulées pendant le flux. Tant que la marée est haute, la pression extérieure suffit pour le tenir fermé, empêcher l'introduction de l'eau salée et l'élévation de niveau dans le fossé qui en résulterait, tandis qu'à marée basse, la pression intérieure devenant plus forte, le clapet s'ouvre et l'évacuation suspendue reprend son cours. Cette manœuvre peut aussi avoir lieu en sens contraire et le clapet servir à maintenir dans les fossés à marée basse l'eau que la marée haute y a introduite. La seule précaution à prendre dans son application est de donner à la charpente du clapet la force nécessaire pour supporter, sans se briser ou se courber, la pression à laquelle elle doit pouvoir résister.

Quand l'écoulement doit être instantané, comme lorsqu'il s'agit de déverser en peu de minutes une masse d'eau considérable dans un fossé tenu sec jusqu'alors, c'est-à-dire d'exécuter une manœuvre d'eau pour s'opposer à un passage de fossé ou escarper le pied d'une brèche, les ouvertures doivent être nécessairement plus grandes, en même temps que les fermetures très-exactes, afin que le fossé en aval puisse servir aux communications jusqu'au moment où on juge avantageux de les rompre, et on emploie les écluses, soit à portes tournantes (*fig.* 1, *pl. VI* de la 3^{me} partie), soit à vannes, soit enfin à éventails ou couplées (*fig.* 42, *pl. I* de la 3^{me} partie). Leur construction dans les travaux de fortification ne diffère en rien de celle usitée dans les travaux civils, les considérations militaires influant sur leur emplacement, mais fort peu sur leurs dimensions, et c'est au cours de construction que nous devons vous renvoyer pour les détails; seulement, nous établirons les conditions auxquelles une bonne écluse militaire doit satisfaire, afin de vous diriger dans le choix des divers moyens à employer, suivant les circonstances locales.

Le grand intérêt qu'a l'assiégeant de ravir à l'assiégé la défense produite par les manœuvres d'eau l'engagera à diriger contre les retenues et les écluses tous les moyens de destruction dont il dispose. Elles doivent donc être également à l'abri des feux verticaux et des feux directs. De là la nécessité de réduire les écluses aux dimensions en largeur que des voûtes à l'abri de la bombe peuvent couvrir, c'est-à-dire à 8 mètres tout au plus. Elles doivent agir rapidement, afin d'ôter à l'ennemi le temps de se mettre en mesure contre leurs effets, et la quantité d'eau écoulée étant en rapport direct avec la largeur des orifices, ceux-ci doivent avoir toute la largeur compatible avec la solidité de l'ensemble. Enfin, la manœuvre doit être simple et présenter peu de surface, puisqu'on diminue ainsi sensiblement la chance d'être atteint par les projectiles ou de voir l'écluse mise hors de service par des commotions. Nous ferons encore observer, que, pour éviter les remous et les contre-courants, qui tendent à diminuer la vitesse de l'écoulement, il faut que les écluses se trouvent, autant que possible, perpendiculaires sur la direction que le courant doit suivre, et qu'elles doivent rester dans la possession de l'assiégé aussi longtemps que leur jeu peut contribuer à la défense.

Il résulte évidemment de là que, la plupart du temps, il sera convenable de partager l'orifice d'écoulement en plusieurs parties séparées, dont la surface réunie doit néanmoins être plus grande que celle d'une écluse unique, à cause de la contraction de la veine, mais qui seront plus faciles à mettre à l'abri de la bombe, et moins exposées au boulet, les voûtes pouvant être établies avec un rayon plus petit; les portes tournantes et les écluses à poutrelles soutenues par un poteau-valet seront préférables aux écluses à portes busquées, et à plus forte raison aux écluses à éventail, tant qu'il s'agira d'écluses de chasse, à moins que les manœuvres ne dussent avoir lieu dans les deux sens, cas qui ne se présente guère que dans les places voisines du littoral et dans les ports de mer; pour remédier aux filtrations, il conviendra d'accompagner les portes tournantes et les poutrelles d'une seconde clôture analogue, par exemple, en plaçant des portes busquées en amont de l'écluse de chasse; pour de simples retenues, deux rangées de poutrelles, séparées par un intervalle de 2 mètres à $2^{m},50$, qu'on peut combler de terre ou de fumier pendant le siége, seront la clôture la plus solide, et il sera utile de joindre cette précaution aux autres, quand il s'agira de garantir une écluse importante, qui ne doit agir qu'à une époque déterminée du siége et qui pourrait être mise hors de service, auparavant, par des coups plongeants.

La sûreté de la manœuvre oblige à laisser sur un des deux bajoyers ou sur tous les deux, suivant les circonstances, un passage de 1 mètre à 1m,25 de largeur, recouvert par la même voûte, plaçant la naissance assez haut pour qu'un homme de taille moyenne puisse circuler au-dessous, et prévenant les accidents par un léger garde-corps, soutenu par des montants en fer. Quand cet élargissement cause trop d'inconvénients, on y supplée par une galerie en bois, supportée par des corbeaux de fer ou suspendue à la voûte, mais ces bois, toujours environnés d'émanations humides, ont besoin d'un fréquent entretien.

La condition de la sûreté des communications et de la conservation des retenues jusqu'aux dernières périodes du siége est difficile à concilier avec celle de la position des écluses sur le courant même des eaux. En effet, ce courant doit suivre l'axe des fossés, et dès lors les écluses doivent se trouver perpendiculairement aux escarpes, dont elles diminuent la hauteur, et elles restent en prise aux projectiles qui arrivent dans le sens de la longueur des fossés. Afin de les dérober à ce dernier danger, le plus avantageux est de les rapprocher du saillant des ouvrages, où la hauteur des contrescarpes les abrite dans les deux sens, mais là aussi la manœuvre est le plus compromise lorsque le saillant du chemin couvert est couronné par les approches de l'assiégeant, c'est-à-dire au moment même où les écluses doivent produire leur plus grand effet. Cette considération est d'un tel poids, que nous n'hésiterons pas à préférer, pour le fossé capital, l'emplacement sur la capitale du front, et pour les demi-lunes celui sous les glacis de contrescarpe à l'extrémité des faces. Cependant, quand la quantité d'eau dont on dispose n'est pas très-considérable, pour ce dernier ouvrage, la retenue peut consister en un batardeau construit en capitale du front, afin que ses deux faces soient parfaitement flanquées, et la manœuvre être placée derrière le massif au saillant, où la quantité de maçonnerie à couper pour l'atteindre la met suffisamment à couvert des projectiles ennemis. Il faut alors avoir soin de placer la galerie par laquelle on y communique au-dessous du niveau auquel les boulets de la batterie de brèche peuvent atteindre, ou la percer à partir de l'intérieur de la demi-lune, passant sous le rempart. Une pareille disposition au saillant des bastions ne serait pas à recommander, parce qu'il faut éviter soigneusement de multiplier les creux sous le rempart du corps de place, dont la ruse ou la trahison pourraient profiter pour pénétrer dans la forteresse sans en détailler les ouvrages.

La position des écluses en capitale du front, entre le réduit de la demi-

lune et la tenaille, est très-favorable à la rapidité et à la force de la manœuvre, l'eau étant lancée avec toute son impétuosité contre les travaux de l'assiégeant dans le fossé de la face du bastion; mais elles sont exposées aux feux des contre-batteries, et l'ennemi, maître du réduit de demi-lune, peut empêcher leurs manœuvres et même détruire la retenue à laquelle elles empruntaient leur force. Le premier inconvénient peut être pallié en les plaçant sous une voûte recouverte par un double glacis, à l'instar de la communication en capitale du front moderne, mais avec des plans plus allongés. Cette galerie servirait en même temps à la communication avec le réduit de demi-lune, lorsqu'on trouverait à propos de tenir de l'eau dans les fossés; pourtant il est évident qu'une pareille disposition n'admet que les manœuvres les plus simples, comme les poutrelles et les vannes. Elle ne remédie d'ailleurs pas au second défaut signalé, auquel on ne peut parer qu'en plaçant les écluses entre la tenaille et la courtine, comme nous l'avons dit dans une leçon précédente; mais là encore elles pourront difficilement être voûtées, à moins de reculer la courtine et de l'éloigner des bajoyers, assez pour n'avoir pas de surprise à craindre; ensuite la vitesse du courant diminuera d'une manière sensible dans tous les angles droits et aigus qui briseront sa direction.

Observons qu'il ne faut jamais se reposer sur l'eau qui s'appuie contre une retenue, pour la garantir des feux de l'ennemi. En effet, les projectiles pénètrent à plusieurs décimètres sous la surface sans perdre beaucoup de leur vitesse initiale, et dès qu'ils parviennent à écrêter le mur ou la digue formant retenue, l'action du fluide qui passe par l'ouverture tend à l'agrandir rapidement, en entraînant les matériaux que le choc du boulet a détachés. Puis la chute de l'eau déchausse les fondations, les affouillements se forment, deviennent de plus en plus considérables, et bientôt la pression seule suffit pour détruire jusqu'au fond la retenue entamée par l'artillerie.

Les vannes horizontales décrites plus haut conviennent très-bien pour les écluses de chasse, puisqu'elles livrent passage au fluide sur toute leur largeur, et que les portes tournantes peuvent également servir pour des retenues qui s'ouvrent d'elles-mêmes sous la pression d'une crue. Il suffit, quant à ces dernières, de ménager à la hauteur convenable une vantelle, capable de fournir à l'écoulement habituel des ruisseaux. Cette vantelle établit la différence de surface entre les deux parties, de manière que le côté dans lequel elle est placée soit le plus petit, quoique le plus large, en sorte que tant qu'elle n'est pas couverte

la pression de l'eau suffise pour tenir la porte fermée. Mais lorsqu'une crue trop abondante élève rapidement le niveau, la surface pressée de cette partie devient plus grande que la surface de l'autre côté du pivôt, et dès lors la porte doit s'ouvrir d'elle-même.

Lorsque les écluses sont placées dans le corps d'un batardeau, on garantit souvent la sûreté de la manœuvre en ménageant une galerie dans l'épaisseur de la maçonnerie de la partie attenante à l'escarpe. Quand elle n'a pas d'autre but, on la réduit aux moindres dimensions possibles, $0^m,85$ de largeur sur $1^m,90$ ou 2 mètres de hauteur sous clef, la plaçant de manière à ce que la chape du batardeau serve en même temps de dos d'âne à la voûte de la galerie et que le sol soit peu au-dessous du niveau le plus élevé que les eaux puissent atteindre, puisque sans cela elles pourraient y pénétrer par les ouvertures laissées pour les manœuvres, lorsque la profondeur en aval augmente. L'épaisseur du batardeau devenant, à cause de la galerie, fort supérieure à ce que la pression du fluide exige, il suffira de donner aux parois une épaisseur convenable, en remplissant l'intervalle d'argile bien damée, sauf à relier les deux faces de distance en distance par des murs de refend, et à entourer d'un massif de maçonnerie les passages laissés à l'eau.

On peut alors tailler en biseau une partie de l'épaisseur du batardeau, afin de favoriser l'écoulement et de diminuer la contraction de la veine par la forme de l'orifice, ce qu'on cherche à obtenir par l'addition de murs en aile, lorsque la maçonnerie n'a que la solidité exigée par la pression de l'eau. La première construction est préférable, en ce que ces murs en aile offrent des points d'appui à ceux qui entreprendraient de longer le batardeau sur la retraite des fondations. Aussi les supprime-t-on souvent, dans des eaux peu profondes, malgré l'avantage incontestable qu'ils procurent, et en tous cas, il est bon de les tenir courts en roidissant le talus extérieur.

Les vannes verticales sont faites en madriers de $0^m,05$ à $0^m,08$, fortement cloués sur une pièce de bois de $0^m,10$ et $0^m,15$, ou contre une tige métallique, dont la partie supérieure est dentelée, pour être saisie par un engrenage. La tige en fer peut avoir $0^m,04$ et $0^m,12$. L'engrenage se construit suivant la force dont on compte pouvoir disposer pour la manœuvre. Quand la tige est en bois, elle est percée de trous de $0^m,03$ de diamètre pour recevoir des chevilles en fer, et on manœuvre la vanne à l'aide d'une chevrette. On ne donne guère aux vannes des batardeaux que 1 mètre à $1^m,40$ de largeur, préférant accoupler les

vannes, pour manœuvrer chacune avec une force moindre, les dimensions de la galerie limitant extrêmement les moyens qu'on peut employer. Les rainures dans lesquelles les vannes se meuvent sont en pierre de taille. A défaut, on encastre dans la maçonnerie en briques (qui s'userait très-vite par le frottement) un cadre en bois de chêne, de $0^m,12$ et $0^m,16$ d'équarrissage, solidement boulonné. Si le radier de la partie en amont n'est pas élevé au-dessus de la partie en aval, ce que l'on évite quelquefois pour n'avoir pas de chute sous la voûte, on encastre également un seuil de $0^m,16$ et $0^m,20$, en bois de chêne, surmontant le niveau du radier de $0^m,05$, pour diminuer les filtrations. Dans le cas de vannes accouplées s'appuyant à un même montant, qui dès lors a, au moins, $0^m,20$ d'équarrissage, il convient d'accompagner ce montant d'un bout de cloison de $0^m,40$ à $0^m,50$ de longueur, en amont et en aval, ou du moins de deux pièces taillées en biseau, formant avant-bec, pour diminuer la contraction de la veine.

On cherche parfois à rendre les batardeaux défensifs, lorsqu'ils traversent des fossés non ou imparfaitement flanqués, tels que ceux des lunettes jetées en avant du chemin couvert et tirant leur défense des galeries de contrescarpe. Alors le batardeau qui met ces galeries en communication avec l'intérieur de l'ouvrage peut servir en même temps à donner un flanquement très-rapproché sur ses deux faces. De même, lorsque le batardeau sépare un fossé d'eau dormante du lit d'une rivière au saillant d'un demi-bastion, il peut être utile de créneler la face vers la rivière, car dans le fort de l'été et quand les eaux sont les plus basses, l'assaillant pourrait tenter de tirer parti de l'angle mort formé par la rencontre du batardeau et de l'escarpe. Il est évident qu'en pareil cas, le creux du batardeau doit devenir assez large et assez haut pour permettre le maniement des armes des hommes placés le long d'une ou des deux parois, c'est-à-dire avoir $1^m,35$ ou $2^m,20$ de largeur, au *minimum*, et $2^m,20$ de hauteur sous clef. Cette galerie sera citernée et les créneaux, placés à $1^m,50$ au-dessus du sol, se trouveront au-dessus du niveau le plus haut que les eaux puissent atteindre. Comme le batardeau sera plus que suffisamment fort contre la pression, rien n'empêchera de couper des arceaux en décharge dans les parois, pour permettre aux hommes de se placer immédiatement contre le mur. Si le batardeau ne sert pas de communication, une dame élevée sur la partie pleine empêchera l'approche de la partie creuse. Quand la galerie du batardeau creux a son débouché dans un chemin couvert ou sur le terre-plein bas d'un ouvrage en première ligne, on doit couvrir et

protéger ce débouché au moyen d'un corps de garde voûté et crénélé.

Nous avons peu à ajouter à ce que nous avons dit des portes d'eau dans nos précédentes leçons. La largeur de l'issue laissée aux bateaux varie suivant la dimension de ceux usités dans le pays, mais ne s'écarte d'ordinaire pas loin de 6 mètres, et on leur donne une hauteur semblable au-dessus du courant, pour faciliter le passage des embarcations chargées de bois, de foin ou d'autres denrées légères. Il convient de donner aux voûtes une longueur égale à l'épaisseur du rempart qui l'avoisine, afin de prolonger le parapet en terrassement au-dessus (*pl. III, fig.* 23). Ceci se fait rarement, et on préfère, par économie, assurer la circulation par un parapet en maçonnerie, mais par cela même on accroît la faiblesse d'un point déjà faible. Les barreaux des grilles par lesquelles on ferme à demeure les passages latéraux ont habituellement $0^m,027$ à $0^m,035$ d'équarrissage. Les barreaux de la porte grillée peuvent être réduits à $0^m,02$ de côté, avec deux ou trois traverses de $0^m,05$ et $0^m,008$ dans lesquelles les barreaux sont percés suivant leur diagonale, puis deux liens en écharpe, contre lesquels les barreaux sont rivés. Les grilles sont supportées en bas par un pivot et sont appendues en haut à un gond scellé dans la maçonnerie. On encastre les hajoyers à la profondeur nécessaire pour loger la crapaudine et recevoir la grille lorsque les vantaux sont ouverts.

Il est sans doute inutile d'ajouter que le revêtement devant les passages latéraux repose sur des décharges dont la clef est au niveau des plus hautes eaux, afin de ne pas obstruer l'écoulement, et cependant de limiter l'ouverture autant que la localité le permet.

Si l'on doit faire varier la hauteur de l'eau dans les fossés des sites aquatiques, il est indispensable de garantir de l'érosion les talus en terre le long desquels le courant passera, et, encore plus, ces mêmes talus aux points où le courant change de direction; sans aucun doute, le plus sûr sera toujours de revêtir l'escarpe et la contrescarpe jusqu'à la hauteur à laquelle l'eau peut s'élever; mais si on veut éviter cette construction dispendieuse, au moins conviendra-t-il de l'employer aux saillants que le courant contourne et aux arrondissements de contrescarpe contre lesquels il vient se briser. Souvent cependant on économise ces maçonneries et on les remplace par des perrés ou des fascinages, consistant en plusieurs lits de fascines, placés contre le talus et reliés par des terres. On commence par placer une première tune au pied du talus, et on lui donne $0^m,30$ à $0^m,40$ de hauteur; contre elle s'appuient les têtes des fascines, placées perpendiculairement et cou-

chées contre le talus. Une seconde couche se place dans le même sens, les têtes à $0^m,45$ plus haut, puis une troisième, suivant la hauteur du talus à couvrir, et un dernier lit, portant les têtes en haut et placé à la hauteur de la berme, sert de recouvrement. Des tunes, espacées de $0^m,60$, formées de piquets enfoncés à $0^m,40$ d'intervalle et perpendiculairement au talus, achèvent ce revêtement, qu'on couvre parfois de grosses pierres, lorsque le courant est très-violent, comme celui du coursier d'un moulin ou d'une écluse de chasse; mais le bois, n'étant pas constamment immergé, finit par se décomposer, le fascinage exige un entretien continuel, et de temps à autre une reconstruction très-coûteuse, en sorte que, malgré l'augmentation de la première mise, la contrescarpe maçonnée exige encore moins de dépense à la longue.

Ce revêtement en fascinage peut aussi être remplacé par un lit de saucissons, par un lit de branchages déliés arrêté par des tunes, par des claies, et même, simplement, par de la paille entrelacée ou du chaume, toutes constructions assez usitées dans les places vers l'embouchure des grands fleuves. Il est cependant évident qu'à ces matériaux éphémères s'appliquent plus fortement encore les raisons que nous venons d'alléguer contre un fascinage complet avec perré, et que, pour des ouvrages permanents, des constructions plus durables seront sans contredit à préférer.

22me LEÇON.

MÉTRAGE DES OUVRAGES PROJETÉS.

SOMMAIRE.

Métrage des terrassements en déblais. — Bases de l'évaluation des prix. — Classement des terres suivant la difficulté de la fouille; méthode pour métrer des couches hétérogènes. — Terres remaniées. — Transports à la brouette, longueur des relais et leur inclinaison. — Formule pour trouver le nombre de relais suivant la position des centres de gravité. — Transports au tombereau, longueur et inclinaison des relais. — Métrage des fascinages, perrés, gazonnements, maçonneries de fondation, nettes maçonneries et maçonneries de voûte, couronnements en briques de champ, pavés, carrelages, enduits, blanchissages et rejointoiements. — Métré de la charpente; grosse charpente, charpente de sujétion, pilots et palissades, planchers, menuiseries et couvertures. — Mode d'évaluation des métaux, de la peinture, du goudronnage, des plantations, des meubles et ustensiles de caserne. — Prescription pour l'évaluation des épuisements. — Manière de conduire les terrassements, déblais, fascinages et remblais. — Construction des revêtements; règles graduées pour l'observation des assises; angles et chaînes en pierre de taille; construction par plombées; précautions pour la maçonnerie des voûtes. — Distribution des terres. — Vérification du tracé et du défilement.

Nous avons dit que la durée de la construction était moins importante que son coût, sauf dans quelques cas exceptionnels. L'une et l'autre cependant sont à considérer, et pour les connaître, il est urgent de savoir calculer la quantité de matériaux de chaque nature qui entrent dans les divers ouvrages, ainsi que leur prix, tant d'achat que de mise en œuvre. On obtient la première donnée par le métrage, la seconde par l'analyse des prix. Le cours de construction vous enseigne cette dernière : nous allons nous occuper de l'autre.

Les terrassements se mesurent toujours en déblais, c'est-à-dire qu'on cube la quantité de terre à extraire pour creuser les fossés et préparer la place aux maçonneries, tant de fondation que de nette maçonnerie, au-dessous du niveau du terrain naturel, et non celle à remblayer au-dessus pour compléter le profil des remparts et des parapets. La raison en est évidente, car, d'un côté, les bords restants de l'excavation facilitent à chaque instant la vérification des profondeurs auxquelles le

déblai doit être poussé : de l'autre, il ne peut exister d'erreur sur les quantités que les déblais produisent, puisque leur densité est connue à l'avance, tandis que la différence du tassement et du damage pourrait en introduire de considérables dans les quantités de terres entrées dans un même profil. Notez que l'intérêt de l'entrepreneur serait de mettre les terres le plus légèrement possible, afin d'en employer d'autant moins, alors que le terrassement sera d'autant mieux fait que le remblai sera plus compacte et plus dense, pour diminuer le tassement et la poussée. Or il faut, tant que l'on peut, éviter de mettre en opposition les intérêts de l'entrepreneur et ceux du gouvernement qui l'emploie ; c'est le vrai moyen de se garantir de fraudes, qu'il est facile de punir quand on les découvre, mais très-difficile d'empêcher, et dont les suites compromettraient parfois la stabilité et la durée des constructions permanentes. Quant à la manière de métrer les déblais, elle est la même que celle que nous vous avons déjà précédemment enseignée, savoir qu'on divise, au moyen de plans sécants, en corps susceptibles d'être calculés rigoureusement, ou, au moins, suffisamment approximés pour que l'erreur, si elle existe, devienne insensible. Ceci n'offre aucune difficulté, tant qu'il s'agit de solides terminés par des plans ou des surfaces de révolution, mais exige du tact et de l'intelligence, si l'on veut opérer avec rapidité sur des corps limités par des surfaces irrégulières, comme la nature les présente souvent. Le plus expédient est, d'ordinaire, de cuber à part et par approximation tout ce qui se trouve en dehors des plans fictifs, par lesquels on suppose qu'un solide inscrit, à surfaces planes et géométriques, est terminé, puis de calculer rigoureusement ce solide ; limitant ainsi l'erreur possible à un petit nombre de mètres, sans influence sur la balance générale des déblais et remblais.

Les terres présentant plus de difficulté dans l'extraction, suivant leur degré de cohésion, on donne des prix différents à la fouille des terres légères, qui s'enlèvent au louchet seul, aux terres fortes qui exigent un homme à la pioche, pour détacher la quantité de terre qu'un autre charge pendant le même temps sur les brouettes, à la petite rocaille ou roc feuilleté, dans lequel deux hommes travaillant à la pioche sont nécessaires contre un homme chargeant à la pelle, puis aux terres vaseuses ou extraites hors de l'eau, parce que, quoique la fouille en soit aisée, l'état de demi-fluidité dans lequel elles se trouvent fait retomber dans la fosse une grande partie des déblais que le travailleur soulève, en sorte que le cube extrait ne représente pas le travail réellement fait. On donne encore des prix séparés aux bancs de

rocher qui s'exploitent par la mine et aux sables secs, aux uns à cause de l'excès de travail, aux autres à cause de leur manque de cohésion, qui dispense de tout effort pour les détacher, et même de l'emploi de louchets ou d'autres instruments acérés, des pelles en bois, comme celles avec lesquelles on remue les grains, pouvant suffire. Cette différence de prix est cause qu'on doit cuber séparément chaque espèce de terre, chose parfois fort difficile lorsque les couches sont inclinées, et, surtout, lorsqu'elles varient de puissance. On peut même dire que, dans le dernier cas, le problème est insoluble rigoureusement à l'avance, à moins que la loi de ces variations ne soit constante, ce qu'il est déjà malaisé de constater. Quand la puissance des couches reste la même, ou quand la loi de la variation est connue, on obtient leur cube en déterminant par trois sondages, faits aux extrémités des déblais et à des points d'une hauteur connue au-dessus du plan de comparaison, leur inclinaison par rapport à ce plan et leur puissance en chacun de ces points, d'où l'on peut conclure avec facilité leur position et leur puissance à chaque point du déblai, donc leur cube. Il s'agit simplement, les plans supérieurs et inférieurs de chaque couche étant connus par trois points, d'en construire l'échelle de pente et les horizontales, la différence de cote entre deux horizontales, aux points où leurs projections se couvrent ou se croisent, indiquant l'épaisseur de la couche en ces points.

Soit *ABCDE* (*pl. IV*, *fig.* 1) une colline de sable mêlée de strates de grès, et *abcd* un fossé qui doit être ouvert à travers la colline ; il s'agit de calculer combien de mètres cubes de sable et de grès il faudra extraire pour arriver à la profondeur voulue. On pratiquera trois sondages aux points *b*, *e*, *d*, dont la cote est connue, et on reconnaîtra par ce moyen à quelle profondeur on rencontre la première et la deuxième couche de grès et combien de puissance ces couches ont aux points marqués. Supposons qu'au point *b* cette couche se trouve à $5^m,00$ au-dessous du sol, ou à $15^m,00$ au-dessus du plan général de comparaison, qu'au point *e* on la rencontre à la cote 14 et au point *d* à la cote 13. Il sera aisé de déterminer sur la direction *de* un point *n* ayant même cote que le point *b* et donnant, par conséquent, la position de l'horizontale 15 et de l'échelle de pente qui lui est perpendiculaire. La cote de chaque point du plan supérieur de la couche pourra alors être trouvée en abaissant une perpendiculaire sur l'échelle. Par une opération pareille, on reconnaîtra la position de la surface inférieure, d'après les épaisseurs trouvées aux trous de sondage. Il ne restera donc plus qu'à partager le rectangle, *abcd* en triangles, dont la projection horizontale sera la section perpendiculaire

aux arêtes d'un prisme triangulaire vertical, section qu'on multipliera par le tiers de la somme des épaisseurs reconnues aux sommets du triangle ou des longueurs des arêtes, en sorte que le cube sera rigoureusement déterminé, et on le déduira du cube total du fossé pour obtenir la quantité de sable que le solide contient. Le roc offre parfois le double avantage de fournir, par son déblai, des matériaux propres à la construction des maçonneries et de diminuer le cube de celles-ci, en leur procurant une base naturelle très-solide. Mais il faut beaucoup de circonspection pour éviter les mécomptes sous l'un et l'autre rapport : tantôt les matériaux tirés à grands frais d'un sol dur n'ont aucune valeur ; tantôt le roc sur lequel on a bâti, se délite sous l'action de l'air, de l'eau et des gelées, ou il glisse sur des lits de glaise savonneuse et s'éboule avec les murs et les terrassements qu'il soutient ; quelquefois même ces résultats suivent tous deux à la fois la fausse appréciation de la qualité réelle du terrain et une trompeuse apparence d'économie.

Le métré des terres vaseuses offre rarement de la difficulté, parce qu'elles sont presque toujours limitées par le niveau des eaux de source ou de l'étiage, formant plan horizontal. Il peut arriver cependant que le plan du niveau des sources soit incliné, comme lorsqu'on s'établit sur la déclivité d'un coteau dont les couches inférieures sont imperméables, tandis que les supérieures sont susceptibles de se délayer dans l'eau, et alors il conviendrait d'employer également, pour cette espèce de terres, la méthode de cubage que nous venons d'indiquer plus haut.

Mais dans l'estimation des terrassements, on ne compte pas seulement les terres à extraire, il faut aussi avoir égard aux terres à remanier, c'est-à-dire à celles qu'on doit enlever pour la facilité des constructions, puis remettre en place, ou mettre en dépôt avant de les transporter à leur emplacement définitif. Il est inutile de dire que toute l'industrie de l'ingénieur doit être employée pour diminuer ces remaniements, qui retardent l'achèvement de l'ouvrage et occasionnent des dépenses en pure perte ; mais il est impossible de les éviter tout à fait, les parois des excavations ne pouvant se soutenir pendant la construction sous le même talus que les maçonneries par lesquelles on se propose de les revêtir. Il faut donc tenir compte des terres mises en dépôt, puis transportées à leur emplacement définitif ; ces terres, quelle que soit leur nature, sont comptées, quant à la fouille, pour la seconde fois comme terres légères, la première fouille ayant déjà détruit leur cohésion.

On compte aussi comme terres légères les terres fortes *prises au-dessus de la main,* c'est-à-dire attaquées par le côté, sans creuser. La facilité qu'on trouve à détacher de grandes masses à la fois et de prendre les terres par la tranche, sans être forcé de les diviser par le fer, compense la difficulté qu'un surcroît de ténacité pourrait présenter.

Le prix des déblais varie non-seulement suivant la difficulté de les détacher ou fouiller, mais encore d'après la distance horizontale et verticale à laquelle on doit les transporter. Il est d'expérience que la quantité de travail qu'un homme peut produire dans sa journée, ou le poids qu'il peut transporter à une certaine distance, est beaucoup plus considérable quand il fait alterner ses efforts que lorsqu'ils sont continus. D'après cette donnée expérimentale, on a partagé le chemin à parcourir en un certain nombre de parties, de longueur variable, suivant que ce chemin est horizontal ou en rampe, et l'on charge les terrassiers de transporter une brouette pleine à la distance d'une de ces subdivisions, puis de revenir à vide à leur point de départ. Chacune de ces subdivisions s'appelle un *relais*, et l'expérience en a réglé la longueur à 30 mètres, quand le chemin à parcourir est de niveau, à 20 mètres quand la montée est au $^1/_{12}$, ce qui est l'inclinaison la plus favorable pour les transports de cette espèce. Ces longueurs sont telles d'ailleurs que le temps requis pour le double parcours, suffit au chargement d'une brouettée de 60 à 70 kilogrammes de terre ordinaire par un bon pelleteur. Lors donc qu'il s'agit d'évaluer le nombre de relais auquel une partie des déblais doit être transportée pour former un remblai d'un profil donné, on commence par mesurer la distance horizontale et la distance verticale entre les centres de gravité des déblais et des remblais, et l'on compare la quantité de relais résultant de la distance, en mètres, divisée par 20, à celle donnée par la différence de hauteur divisée par $1^m,66$. Si la dernière excède la première, c'est la dernière seule qui servira à régler le prix, alors qu'il faudrait tenir compte aussi de la première, si la quantité de relais en hauteur, multipliée par 20 mètres, n'égalait pas la distance horizontale qui se trouve entre les deux centres de gravité. Supposons, par exemple, que le centre de gravité du déblai soit à $4^m,80$ au-dessous du terrain naturel, tandis que celui du remblai se trouve à $3^m,50$ au-dessus, et que la distance horizontale entre les deux soit de 60 mètres. La différence de niveau, étant de $8^m,30$, me donne 5 relais de $1^m,66$ de hauteur, et quoique la distance horizontale ne comprenne que 3 relais de 20 mètres, j'évaluerai à 5 relais la longueur moyenne du transport, puisque le rouleur

devra parcourir une distance horizontale de 100 mètres sur une rampe au $^1/_{12}$, pour racheter la différence de niveau, ou employer plus d'effort, s'il suit un chemin plus court. Si, au contraire, dans un déblai d'avant-fossé, le centre de gravité du déblai n'était qu'à $1^m,50$ au-dessous du sol et celui du remblai du glacis à $0^m,80$ au-dessus, tandis que la distance horizontale irait à 60 mètres, on serait obligé de compter 2,46 soit $2\ ^1/_2$ relais, en se réglant sur la longueur parcourue en rampe, plus la longueur parcourue en plaine. On se sert pour ce calcul de la formule $N = \frac{D}{1.66} + \frac{A - \frac{D}{1.66} \times 20}{30}$, où D est la distance verticale et A la distance horizontale entre les centres de gravité, et N le nombre de relais à parcourir. L'influence du second terme est d'ordinaire très-faible dans les travaux de fortification, mais il ne peut jamais devenir négatif, puisqu'il faut toujours compter un relais par $1^m,66$ de hauteur, ou, en d'autres termes, le nombre N ne se compte jamais moindre que $\frac{D}{1.66}$. La formule revient à $N = \frac{18\,D + (A - 12\,D)}{30}$, dans laquelle il faut négliger les valeurs négatives du terme $(A - 12\,D)$. Il est avantageux de se servir de *planches de roulage* en bois d'orme ou en bois blanc : celles-ci sont les moins glissantes. Quand on remanie les terres à la pelle, de gradin en gradin, pour éviter les rampes, on met aussi un relais par $1^m,66$ de hauteur verticale. Au surplus, on n'emploiera le dernier mode de travail que dans le cas d'absolue nécessité, parce qu'on ne peut éviter qu'une partie des terres projetées ne retombe et n'augmente d'autant la masse à déblayer.

Lorsque la distance devient fort longue, comme de 200 à 400 mètres, l'emploi des hommes serait désavantageux, et il est préférable de les remplacer par des chevaux attelés à des tombereaux, une journée de cheval attelé, avec son conducteur, équivalant moyennement quant au prix, à trois journées d'ouvrier, et la distance à laquelle les terres doivent être transportées laissant le temps nécessaire pour charger un tombereau pendant que l'autre va et vient, en sorte que ni les chevaux ni les terrassiers ne doivent attendre, mais donnent dans leur journée tout l'effet utile possible, ce qui n'a pas lieu tant que la distance est plus courte. On paye quelquefois au relais le transport par tombereau, donnant 30 mètres ou 400 mètres à la longueur du relais, mais cette prescription par analogie est fausse, en ce que les chevaux ne se relayent pas. Comme le temps employé à la charge est perdu

pour le transport, la valeur de ce dernier, pour une même longueur, diminue à mesure que la distance totale s'accroît. Il faut donc établir les prix selon les distances totales et nullement d'après un nombre de relais, qui en réalité n'existe pas. L'inclinaison des rampes pour ces transports ne doit pas dépasser le $^1/_{20}$.

Si les distances ou les différences de niveau ne donnent pas un nombre rond de relais, on les fractionne par $^1/_2$ et par $^1/_4$, et on détermine les prix en proportion.

On conçoit que si le lieu de la fouille était placé de manière à ce que, après avoir parcouru une longue distance en plaine, il fallût gravir un talus, au moyen de rampes, au lieu de suivre un plan doucement incliné, la formule ci-dessus ne serait pas applicable; on devrait alors ajouter le nombre de relais résultant de la distance horizontale à ceux donnés par la hauteur moyenne à laquelle il faudrait s'élever.

On emploie encore, pour les mouvements de terre dans les positions difficiles que présentent souvent les réparations et corrections aux fortifications existantes, des transports par machines, telles que les moulins à bourriquet, les écureuils, etc. Les bases générales que nous venons de poser y sont également applicables, et ce n'est que par une comparaison avec les calculs établis sur ces bases qu'on peut déterminer si l'effet de ces machines offre un résultat avantageux ou nuisible.

Les fascinages se toisent au mètre cube ou au mille de fascines. Ce dernier mode n'est convenable que lorsqu'on a calculé à l'avance la quantité de piquets, de verges et de gaules qu'exige l'emploi d'un millier de fascines et qu'on l'a compris dans le prix, puisque sans cela l'évaluation devrait contenir en articles séparés, ces piquets, etc., et s'allongerait inutilement.

Les perrés et blocailles, dont l'épaisseur est toujours spécifiée au devis, se mesurent au mètre carré. Le cube occupé par ces perrés, de même que celui des fascinages, doit être ajouté aux déblais, puisque ces revêtements, ordinairement employés pour garantir les talus en terre de l'érosion des eaux courantes, nécessitent l'enlèvement de la partie de ces talus qu'ils sont destinés à remplacer.

Les gazonnements à plat ou à queue se payent également au mètre carré, mais on ne déduit pas leur cube, lorsque les gazons sont coupés sur le terrain même des ouvrages, puisqu'alors ils entrent dans le calcul des déblais et devraient être soustraits également des deux côtés. Si, au contraire, l'entrepreneur fournit les gazons, leur cube vient en déduction, suivant leur épaisseur, de la quantité de déblais à faire

pour fournir au remblai, et on doit y avoir égard en établissant la balance.

Les maçonneries se divisent en maçonneries de fondation, nettes maçonneries et maçonneries de voûte; chaque espèce se subdivise en maçonnerie de briques, de moellons bruts, épincés, piqués ou par assises réglées et de libages, suivant la nature des matériaux que le pays présente, de pierre de taille, unie ou de sujétion. Souvent encore, on fait des prix différents pour la pierre de taille des dimensions usitées dans le commerce et pour celles que les décorations architectoniques des édifices réclament. Enfin, chaque subdivision se subdivise de nouveau, suivant l'espèce de mortier par lequel les éléments de la maçonnerie sont réunis.

La maçonnerie de fondation, quelle que soit la nature des matériaux employés, se mesure au mètre cube, parce qu'il n'y a point de façon de parement.

La nette maçonnerie se paye également au mètre cube, quand elle est en moellonage, mais on mesure à part le parement, qui exige une main-d'œuvre particulière et se paye suivant son développement, donc au mètre carré. On ajoute au prix de cette main-d'œuvre les frais résultant des échafaudages, dont la dépense augmente avec la hauteur et la longueur des murs plus qu'avec l'épaisseur, en sorte que l'entrepreneur est plus équitablement indemnisé en proportionnant la rétribution à la surface plutôt qu'au cube du mur.

Les murs en briques sont travaillés en liaison au parement, ce qui exige un surcroît de main-d'œuvre. De là provient qu'on mesure souvent ces murs au mètre carré, en affectant des prix à diverses épaisseurs de maçonnerie. Il est cependant plus rationnel de les payer suivant leur cube; pour la quantité de matériaux qu'ils consomment, et de mesurer séparément la plus-value du parement, suivant sa surface ou au mètre carré.

Les maçonneries de voûte sont mesurées au mètre cube, en ajoutant à la valeur des matériaux et à la plus-value de la main-d'œuvre le coût des cintres à l'aide desquels ces voûtes sont construites. Cependant, pour les voûtes en briques, on peut remarquer que la dépense des cintres, couchis et faux-cintres, est la même pour les voûtes de toutes les épaisseurs, en sorte qu'il paraît plus équitable de faire un prix séparé pour le premier rouleau, dans lequel on tiendra compte de la sujétion de la main-d'œuvre aussi bien que du goût des cintres et couchis, frais proportionnels à la surface de la voûte, donc à estimer au mètre carré, tandis qu'on payera au mètre cube le restant de l'épaisseur.

Dans la maçonnerie en moellons, les arêtes des pénétrations de voûtes et arêtes hors d'équerre se font habituellement en pierre de taille, laquelle est cubée à part et payée à un prix plus élevé. Il n'en est pas de même dans les maçonneries en briques, mais les retours hors d'équerre, ainsi que les pénétrations de voûtes, donnant lieu à un travail très-assujettissant, qui oblige à user les briques par le frottement ou à les scier, manipulations dans lesquelles on en casse beaucoup, on doit établir un prix particulier et métrer séparément les arêtes de ces pénétrations, en mesurant leur longueur développée ou les métrant au mètre courant.

La pierre de taille se mesure d'abord au mètre cube, en prenant pour les dimensions de chaque pierre celles du bloc hors duquel la pierre, prise sur son lit de carrière, a pu être taillée : c'est ce qu'on appelle *toiser au grand carré de carrière*. Il en résulte qu'on mesure pleines les feuillures et les gorges que la pierre de taille peut présenter. Ensuite on mesure au mètre carré le parement vu de la pierre, en développant toutes les lignes rentrantes, courbes et brisées, que le profil présente. Comme nous l'avons dit plus haut, dans ces diverses opérations, on applique des prix différents aux pierres des dimensions ordinaires ou de sujétion. Quant aux seuils, montants de portes et de fenêtres, et marches d'escaliers droits, ces pierres se trouvant partout dans le commerce, avec des dimensions fixes en largeur et en épaisseur, on peut les mesurer au mètre courant, et c'est même le moyen le plus sûr pour n'en payer que le prix marchand, moins élevé que celui proportionnel au cube. Les marches d'escalier en vis se payent comme pierres de sujétion.

Il est bien entendu que le cube réel de la partie des pierres de taille engagée dans la maçonnerie ordinaire doit être mesurée à part et déduit du cube de cette maçonnerie. D'habitude, on cube à part les fondations et la nette maçonnerie, mais on comprend dans celle-ci la maçonnerie de voûte, ainsi que les maçonneries en briques et en pierre de taille. Puis on mètre séparément chacune de ces espèces de maçonnerie et on déduit leurs cubes du cube total, en sorte que la différence indique combien de mètres cubes la nette maçonnerie comprend. Au moyen du métré des parements, on tient compte à l'entrepreneur de la sujétion que chaque vide, pour embrasure, créneau, rigole, etc., occasionne, et on est en droit de déduire le cube de ce vide du cube de la maçonnerie. Souvent aussi on mètre les maçonneries avec les vides qu'elles renferment, puis on déduit ces vides, dont le cube exact est d'ordinaire plus facile à obtenir que celui de leur enveloppe, en ayant égard aux vides.

Les couronnements en briques de champ sur des murs de revêtement exigent une augmentation de main-d'œuvre proportionnelle à leur surface et sont métrés au mètre carré.

Il en est de même des pavés en briques de champ et de plat et des carrelages en carreaux de terre cuite ou de pierre de taille, ciselée ou polie. D'ordinaire, le prix du mètre carré comprend la valeur de la matière dont le pavé est composé. Si donc ce pavé est supporté par une voûte et a été compris dans le cube primitif, il est naturel que son cube, d'après son épaisseur, doive en être déduit.

Les chapes, enduits, crépissages, blanchissages et rejointoiements exigent une dépense proportionnelle aux surfaces qu'ils couvrent et à la valeur des matières employées. Leur métré doit se faire, par conséquent, au mètre carré, et différer suivant l'espèce de mortier dont on les forme. Il convient encore d'établir des prix divers suivant que le rejointoiement et les enduits se posent sur des maçonneries vieilles ou nouvelles, la quantité de mortier et de main-d'œuvre exigée n'étant pas la même dans les deux cas.

Quand les plafonds sont accompagnés de corniches et de moulures, qui augmentent la main-d'œuvre, on développe les lignes courbes ou brisées de ces ornements et l'on ajoute leur longueur aux dimensions qui servent à calculer la surface.

Les pavés de grès et autres, ayant une épaisseur constante, suivant l'espèce de pierres employées, on les mesure au mètre carré.

Les pilots étant employés en grume, même autant que possible avec leur écorce, et n'exigeant d'autre main-d'œuvre que celle de la tête et de la pointe, égale pour tous, on les évalue à la pièce. Parfois le prix est fixé par mètre courant, mais alors il faut prescrire une longueur *maximum*, sans quoi l'entrepreneur ou le gouvernement pourrait être considérablement lésé, et en définitive, c'est toujours le gouvernement sur lequel les faux calculs retombent. Nous avons vu comprendre dans le prix des pilots au cube celui de leur battage, conclu d'après quelques expériences faites sur le lieu même; mais nous croyons que c'est une véritable erreur, tant à cause des dimensions variables des pilots que de l'inégalité de résistance qu'ils rencontrent suivant leur forme et nullement d'après leur cube, un bois noueux, également épais partout, s'enfonçant bien plus difficilement qu'un arbre de même longueur et de même volume, de droit fil et allongé en cône, quoiqu'il y ait tout lieu de croire que la résistance et la durée du dernier ne seront pas aussi grandes que celles du premier.

Les palissades s'évaluent également à la pièce, pour fourniture; mais on fait un prix pour le mètre courant de palissadement, qui comprend le prix des palissades, celui du liteau, de la cheville, du déblai de la rigole, enfin de la main-d'œuvre de l'appointement, du percement, de la mise en place des palissades et du remblai de la rigole.

La charpente pour grillages, ventrières, plateaux et autre charpente de fondation se mètre au mètre cube, mesurant (comme pour toute espèce de charpente) le cube de bois mis en place, sans augmentation pour les encastrements, embrèvements, traits de Jupiter, tenons et mortaises, etc., le prix comprenant la valeur du déchet moyen que ces assemblages occasionnent et du surcroît de main-d'œuvre qu'ils exigent.

On mesure ensuite séparément la charpente ordinaire et la charpente de sujétion. La première comprend tous les bois, de $0^m,10$ à $0^m,30$ d'équarrissage, qui entrent dans la composition des fermes des toits, gîtages de planchers, bascules de ponts-levis et autres gros ouvrages du même genre. On considère comme charpente de sujétion les charpentes pour portes de ville, barrières, limons d'escalier, etc., où la valeur du bois est dans un moindre rapport avec celle de la main-d'œuvre. Ce mode de métrer n'est pourtant pas exact, et il serait plus juste de compter à part le bois qui entre dans la charpente, puis la main-d'œuvre, suivant le genre d'assemblage. On mesurerait, par conséquent, la charpente au mètre cube, pour avoir la valeur du bois employé (valeur qui varie considérablement suivant que les dimensions rentrent dans ou s'éloignent de celles usitées dans le commerce, un arbre tournant de moulin coûtant, suivant sa grosseur, 10 ou 20 fois autant que la même quantité de bois en pièces de $0^m,16$ et $0^m,22$), et on porterait en compte, séparément, le temps employé et le bois perdu dans la confection des assemblages droits ou biais, pour proportionner le prix à la difficulté.

Les planchers se mesurent au mètre carré. Outre les différences de prix suivant l'essence du bois, on les fait varier selon que les planches sont blanchies d'un ou de deux côtés, assemblées à joints carrés, à grain d'orge ou à languette et rainure, puisque chaque façon exige une quantité différente de bois et de main-d'œuvre. Les madriers de $0^m,08$ d'épaisseur et au-dessus sont considérés comme charpente et métrés au mètre cube. On mesure les palplanches à part, à cause de la grande quantité dont elles se pénètrent et de la déperdition de bois qui en résulte, en sorte que leur prix doit être différent. Leur battage se fait

au mètre cube, établissant le prix suivant les circonstances locales, et c'est sans inconvénient, la résistance qu'elles rencontrent étant proportionnelle à leur largeur, donc à leur cube, les longueurs et les épaisseurs restant constantes.

On mètre également au mètre carré toutes les menuiseries, portes battantes, fenêtres, contrevents, persiennes, marches d'escalier, etc., les prix comprenant la valeur du bois, le déchet, la main-d'œuvre, la colle, les clous et autres fournitures.

Il en est encore de même des couvertures. Le prix des couvertures en ardoises comprend les voliges sur lesquelles elles sont clouées; celui des couvertures en pannes, la valeur des lattes auxquelles elles sont accrochées. Il semblerait que les chevrons, comme charpente, devraient être métrés au mètre cube; mais leurs dimensions étant constantes et leur valeur établie dans le commerce suivant leur longueur, l'usage a prévalu de les métrer au mètre courant.

Les métaux s'évaluent généralement au poids; il n'y a d'exception que pour les objets fort légers, qui empruntent toute leur valeur à la main-d'œuvre, tels que les serrures, gâches, espagnolettes, fiches et autres menus produits de la serrurerie. Ceux-ci sont comptés à la pièce, pose comprise. La pose entre aussi dans le prix du kilog. de fer forgé ou coulé, de toutes dimensions. Les chéneaux et tuyaux de conduite en tôle, fer-blanc ou zinc, sont métrés au mètre courant.

La peinture, le calfatage, brayage et goudronnage sont métrés au mètre carré. On donne un prix différent à ces enduits quand on passe plusieurs couches sur le même endroit, parce que la seconde et la troisième n'absorbent pas autant de matière que la première.

La valeur des cordages est estimée au kilogramme.

Les plantations sont comptées par pied d'arbre planté, tout compris.

Beaucoup d'autres objets, formant un tout séparé, sont calculés également à la pièce. Ainsi, on fait un prix pour une guérite, une table de caserne ou de corps de garde, un banc, un râtelier d'armes, une tablette au chevet des lits, etc. D'autres sont estimés au mètre courant, comme les mangeoires, les râteliers d'écurie, les planches à pain, les porte-manteaux. Nous n'avons pas besoin de nous en occuper ici, ces objets devant faire partie du *Cours de construction*, au chapitre de la Rédaction des analyses.

L'article le plus difficile à bien estimer et, en même temps, le plus important de nos évaluations, dans plusieurs de nos places, ce sont les

épuisements. D'ordinaire il est impossible de calculer, même approximativement, le nombre et l'espèce de machines dont on aura besoin pour tenir les fondations à sec. Tout ce qu'on peut faire est d'ajouter à la somme calculée pour la valeur des travaux à exécuter, une somme assez forte pour frais imprévus, laquelle n'est payée à l'entrepreneur qu'autant qu'il en justifie l'emploi, par des ordres écrits du commandant du génie, et d'insérer dans le devis un tarif, suivant lequel seront payées les journées d'ouvriers occupés aux épuisements et les journées des diverses machines, hollandaises, pompes, vis d'Archimède ou chapelets, dont l'abondance des sources exige l'emploi. Dans les grands travaux, il est utile de porter la valeur de ces frais imprévus entre 5 et 10 p. c. de l'évaluation totale, suivant qu'on prévoit plus ou moins de difficultés, l'importance de cette somme n'étant jamais préjudiciable lorsque son application est rationnelle et légitime.

Voyons maintenant quelles sont les précautions à prendre dans la conduite des ouvrages.

Nous avons dit dans une leçon précédente que la fouille des fondations suivait immédiatement le tracé des revêtements, et c'est la méthode qu'il convient de suivre lorsqu'on établit les revêtements en décharge, parce que le dessous de chaque voûte présente une issue par laquelle les terres du fossé peuvent être conduites dans la masse des remparts, tant que le mur de masque n'est pas formé. Il en résulte l'avantage que le terrassement derrière le revêtement se faisant plus lentement, le tassement est progressif et la poussée diminue d'une manière sensible. Lorsque les revêtements sont, au contraire, pleins, comme ils formeraient obstacle au passage des terres, on déblaye les fossés avant d'élever les murs et l'on met en dépôt toutes les terres qui doivent reposer contre ou dessus. Vous voyez que cette dernière méthode occasionne un remaniement considérable. Il ne serait nullement impossible d'en éviter une partie, en élevant d'abord le revêtement à moitié ou aux deux tiers de sa hauteur, et transportant alors la totalité des déblais sur la longueur de la maçonnerie exécutée, pendant qu'on élève le revêtement sur une partie attenante. De cette manière, une bonne part des terres serait de suite conduite à place, sans compromettre la solidité des constructions et sans faire de longs détours. Dans l'un et l'autre cas, il faut avoir égard à la quantité de terres à remanier et à la distance qu'il faudra leur faire parcourir.

Les anciens ingénieurs, sans doute dans l'intention de prévenir ou de diminuer la poussée, prescrivaient d'entremêler le remblai derrière les

revêtements de lits de fascinages, par exemple, à chaque mètre de hauteur, de former, sur une largeur égale aux $^2/_3$ ou aux $^3/_4$ de la hauteur du mur, à partir de son parement intérieur, un lit de fascines de 0^m,33 d'épaisseur, convenablement relié par des piquets et des clayonnages. Cette disposition ne pouvait être que très-avantageuse. D'un côté, le bois enterré et préservé des alternatives d'humidité et de chaleur se décomposait lentement et seulement au bout d'une longue suite d'années; de l'autre, son élasticité opposait un grand obstacle à la poussée, dont d'ailleurs sa légèreté diminuait l'effort. D'après ce que nous avons dit de l'augmentation de force que les murs empruntent à la cristallisation des mortiers, on conçoit aussi que le remplacement de ce bois par les terres dans le profil, au bout d'un long laps de temps, ne pouvait plus produire aucun mauvais effet, et que, d'après cela, la stabilité du mur, au moment de la construction, devenait proportionnellement plus grande. Cependant, le renchérissement progressif des bois a fait renoncer à l'emploi de ces fascinages, et l'on n'y a plus recours que lorsque le peu de ténacité des terres devant les fondations rend la butée insuffisante et oblige de diminuer à tout prix la composante horizontale de la poussée.

Afin néanmoins d'atteindre le même but, autant que possible, sans faire la même dépense, on conduit les remblais par couches réglées, de 0^m,25 à 0^m,30 d'épaisseur, au plus, les damant fortement, avec des dames du poids de 12 à 15 kilog. Quand le transport des terres se fait par tombereau, on favorise encore beaucoup le tassement, en déplaçant successivement l'ornière des voitures, la portant sur tous les points du remblai, mais de préférence le long des murs, le poids des roues et le piétinement des chevaux contribuant plus que tout autre moyen à rendre les terres compactes.

Quant à la construction des revêtements, le pied des murs étant exactement tracé, on élève aux angles, et de distance en distance, des règles sur lesquelles la hauteur des assises est indiquée, afin de pouvoir vérifier à chaque instant si l'épaisseur des joints n'excède pas la quantité prescrite, défaut auquel les maçons sont volontiers sujets, parce que, travaillant à la tâche, ils cherchent à avancer leur ouvrage autant que possible, et l'emploi de joints fort épais est un des moyens qui leur sont les plus familiers, au grand préjudice de la stabilité des murs, qu'un grand tassement et surtout un tassement inégal, expose à se lézarder. Nous disons que les maçons travaillent à la tâche, quoique le devis instructif prescrive expressément d'exécuter toutes les maçon-

neries à la journée ; mais dans des travaux étendus, c'est ce qu'il est presque impossible d'obtenir, aussi bien des entrepreneurs que des ouvriers ; ceux-ci, quand ils sont bons, préférant toujours de beaucoup être rétribués en raison de leur habileté, en sorte qu'en forçant à l'observation du règlement au pied de la lettre, on n'obtient d'autre résultat que de faire déserter tous les bons ouvriers et de conserver les paresseux et les maladroits. Il est donc plus sage de fermer les yeux à cet égard, veillant en même temps avec soin à ce que le désir d'avancer n'engage pas les ouvriers à négliger la façon de l'ouvrage, ce qui n'est pas difficile en y regardant de près et en punissant sévèrement les moindres fautes.

Lorsque les revêtements se font en moellons bruts ou par assises réglées, on fait les angles en pierres de taille, d'une épaisseur proportionnée à celle des bancs des carrières dont elles sont extraites. Si le moellon est posé par assises réglées, on fait en sorte que deux ou trois assises correspondent à la hauteur d'une assise en pierres de taille, souvent encore on forme, de distance en distance, comme de 10 en 10 mètres, des chaînes en pierres de taille qui montent jusqu'à la tablette, et on relie les contre-forts au mur plein en plaçant à différentes hauteurs de longues pierres, dites *clefs*, engagées par la moitié de leur longueur dans le contre-fort et par l'autre moitié dans le mur. L'emploi de la pierre de taille est un mal nécessaire dans cette espèce de maçonnerie, car le manque de liaison des moellons rendrait sans cela les angles d'une faiblesse extrême, et cependant le tassement du moellonage et de la pierre de taille étant différents, il en résulte presque toujours des lézardes dans le sens de l'épaisseur du mur, en sorte qu'après un temps plus ou moins long, tout le parement en pierres de taille se détache, *souffle*, suivant l'expression usitée, et finit par tomber tout d'une fois dans le fossé. C'est ce que nous avons vu arriver dans vingt places, et alors il devient extrêmement difficile de bien relier un nouveau parement, les mêmes causes reproduisant les mêmes effets.

La maçonnerie s'élève par plombée, c'est-à-dire qu'on élève aux angles et dans le milieu, à des distances telles que le cordeau puisse se tendre entre deux points successifs sans fléchir, des dés de maçonnerie, de $0^m,40$ à $0^m,50$ de hauteur, dont on fait correspondre les assises exactement aux divisions marquées sur les règles ; puis ayant posé ainsi la limite des erreurs, on remplit avec plus de rapidité le reste de la surface du mur. Il ne faut jamais permettre que les ouvriers fassent les

parements de devant et de derrière d'abord, et remplissent ensuite ces espèces de coffres, car cela donnerait lieu à beaucoup de fraudes, et d'ordinaire le mortier ne serait pas prodigué dans ces creux, d'où résulterait que le mur manquerait de liaison au milieu; mais à moins que l'épaisseur du revêtement ne force à travailler des deux côtés à la fois, ce qui ne peut arriver que pour les murs de $2^m,50$ et au-dessus, il faut les obliger à maçonner constamment contre le premier parement établi et à finir par le second, ce qui permet de voir à chaque instant la maçonnerie par la tranche en même temps que par-dessus, et rend ainsi les fraudes plus difficiles.

Dans les maçonneries en briques, la liaison doit être l'objet d'une attention particulière, et non-seulement la liaison au parement, qui s'observe très-bien d'habitude, comme attirant de suite la critique, mais la liaison intérieure, qui se perd sous la main d'ouvriers négligents et fait, cependant, une grande partie de la force des murs, ainsi qu'il appert des lézardes, lesquelles suivent, presque partout, la direction des joints. Il est donc d'une haute importance que le plan des joints, dans toutes les directions, soit le plus grand possible, et c'est ce qu'on obtient par l'exactitude de la liaison.

Souvent on prescrit de couvrir les maçonneries de mortier liquide à chaque *débauchée* de l'ouvrage (c'est ainsi qu'on appelle les intervalles pendant lesquels les ouvriers prennent leurs repas), afin de bien remplir les joints qui ne l'auraient pas été suffisamment en les maçonnant. Ce procédé, néanmoins, est plus nuisible qu'utile, lorsque le mortier est sujet à prendre vite, car en séchant il forme un enduit sur lequel le mortier nouveau a beaucoup de peine à prendre. Aussi est-il souvent facile de reconnaître l'assise à laquelle les maçons se sont arrêtés à la manière dont une plombée entière se sépare des maçonneries inférieures. Cette prescription ne doit donc pas être considérée comme absolue, et, quand on la suit, il faut avoir grand soin de faire enlever le mortier desséché, à la reprise des travaux, avant de laisser poser une nouvelle assise.

La maçonnerie de voûte s'établit sur les cintres, dont les couchis portent également la division des assises. En outre, chaque maçon doit être muni d'une fausse équerre, coupée suivant le joint, pour s'assurer, à chaque instant, que le voussoir est bien placé en coupe, c'est-à-dire suivant la direction du rayon. Ici, il ne faut pas permettre qu'on travaille par plombées, au moins de plus de deux éléments de la voûte, mais faire compléter chaque assise sur toute sa longueur. On empêchera

par là que les maçons ayant trop relevé un ou plusieurs voussoirs, en grossissant le joint outre mesure à l'extrados, ne compensent leur erreur en grossissant de même le joint du voussoir suivant à l'intrados, négligence dont la suite inévitable serait qu'au décintrement, le voussoir trop serré à l'intrados s'écraserait sous la pression qui porterait sur son arête seule, tandis que l'autre subirait le même sort à l'extrados, en sorte que si cet effet avait lieu sur une assise entière, la stabilité de la voûte se trouverait gravement compromise, comme nous en avons vu des exemples frappants.

Nous avons déjà dit qu'on donne aux cintres un surhaussement proportionnel au tassement présumé de la voûte, donc à son diamètre et à la quantité d'éléments qui la composent. D'ordinaire on obtient ce surhaussement par l'épaisseur inégale des couchis, tandis que le cintre est établi rigoureusement, suivant la forme qu'on veut obtenir. Souvent encore, on le forme à l'aide d'une couche de sable et de mortier, étendue à la truelle au-dessus de couchis égaux, et cette méthode, un peu plus lente, est peut-être la meilleure, parce qu'on peut obtenir ainsi plus exactement la forme elliptique que l'intrados doit avoir avant le décintrement.

Quand le remblai approche de la hauteur de la tablette, c'est le moment de vérifier le tracé et le défilement des parapets. On établit alors des profils perpendiculaires à chaque face, en se réglant sur le haut du revêtement. On les coupe à la hauteur voulue, ou plutôt on place un morceau de bois transversal à la hauteur de la ligne de feu, et l'on s'assure que les terre-pleins aux angles rentrants et les paliers des rampes sont parfaitement couverts, comme aussi que les plongées découvrent l'intérieur des ouvrages avancés et le terrain extérieur. Cette vérification est indispensable pour rectifier les erreurs qui auraient pu se glisser dans la construction ou dans le défilement graphique.

Disons quelques mots de la manière dont les mouvements de terre s'opèrent.

Les terres du fossé capital doivent fournir au remblai du rempart de l'enceinte, de la tenaille et du glacis autour du bastion. Comme le centre de gravité de ce dernier remblai est beaucoup moins élevé, on peut partager le déblai en deux parties, par un plan horizontal, et prendre pour l'enceinte la partie supérieure, laissant l'inférieure pour le glacis, afin d'avoir un nombre presque égal de relais partout. Dans les mêmes vues, la partie entre la tenaille et la demi-lune étant horizontalement plus distante de l'enceinte que du glacis, on peut désigner cette partie

pour fournir les terres aux glacis. La distribution, au reste, est de peu d'importance, car le résultat final ne différera guère dans les deux cas. Lorsque le déblai se fait à la brouette, on laisse dans le fossé, de 30 en 30 mètres, une rampe au $^1/_{12}$, par laquelle on monte les terres. En donnant 10 mètres de largeur aux ateliers, une rampe pareille suffit pour trois. Parfois ces rampes sont perpendiculaires au revêtement, d'autres fois en partie perpendiculaires, puis avec des retours, à gauche et à droite, formant marteau. Les talus étant en terre, elles sont appliquées contre, et souvent, en ce cas, on les fait en charpente, les soutenant à l'extérieur par des montants, auxquels on relie des traverses engagées par un bout dans les terres. Quelquefois aussi on laisse un massif de terre formant rampe, mais toujours faut-il que la largeur soit telle que trois files de brouetteurs puissent y passer en même temps, ce qui, avec les bords, exige $3^m,50$ à 4 mètres de largeur; elle doit être un peu plus grande à la fin du relais, où les hommes échangent les brouettes pleines contre les vides : 5 mètres seront suffisants.

Les talus des excavations sont conduits par gradins de $0^m,50$ de hauteur et de largeur, comme nous l'avons expliqué dans la fortification passagère, avec cette différence que, quand il s'agit de fouilles derrière un revêtement projeté, on n'a pas besoin de mettre les gradins en dehors du plan du talus, tandis qu'il faut veiller scrupuleusement à ce qu'on ne l'entame pas quand il s'agit du talus des terrassements. Il vaut mieux, dans ce dernier cas, laisser un décimètre de gras, qu'on recoupe après en dressant les talus, et qu'on remonte par une petite rampe appliquée, seulement de la largeur d'une planche de roulage, que de s'exposer à former des creux et à devoir plaquer des terres contre le terrain naturel, pour compléter le talus voulu, ces terres ne tenant jamais bien.

Lorsqu'on approche du niveau des sources, on partage le fond du fossé en cases plus ou moins grandes, suivant l'abondance des eaux, et on les sépare par de petites digues, en laissant sur les bords une partie de la terre à enlever; ensuite on approfondit chaque case séparément, en rejetant, à la pelle, dans une case voisine, l'eau à mesure qu'elle se reproduit. En même temps, on établit au pied d'un des talus une rigole, par laquelle l'eau ainsi accumulée est amenée vers les machines d'épuisement, qui l'élèvent et la versent hors des travaux. Quand on s'est approfondi d'un mètre environ sur toute la surface du fossé, on change la rigole de côté, en abaissant son niveau d'autant, et l'on enlève le massif qui supportait celle qu'on abandonne. Quant aux séparations

entre les différentes cases, appelées *petits batardeaux*, les dernières sont fort difficiles à extraire au louchet, et on doit d'ordinaire avoir recours à la drague.

Le Cours de construction vous ayant enseigné les règles à suivre dans la conduite des travaux, nous nous bornerons à ces courtes observations pratiques, pour ne pas nous engager dans des détails qui n'appartiennent pas directement au sujet dont nous traitons.

23me LEÇON.

CONFECTION DES DEVIS. — SERVICE DU GÉNIE.

SOMMAIRE.

Manières différentes d'exécuter les travaux, par économie ou par entreprise, leurs avantages et leurs inconvénients. — Entreprises *à forfait* et *au métré*. — Confection des devis ; distribution des matières ; objet des divers articles. — Mode d'adjudication usité en Belgique, manière de rédiger les adjudications. — Service du génie dans les places, en temps de paix ; analyse des prix ; journal d'attaque et de défense ; surveillance des travaux ; rapports avec les divers corps constitués. — Service du génie, en temps de guerre, pour les officiers attachés aux divisions en campagne et pendant les siéges.

Les constructions permanentes s'exécutent de deux manières, par économie ou par entreprise. Dans le premier mode, l'officier du génie traite directement avec les ouvriers, achète ou fait confectionner les matières premières, et paye séparément les matériaux et le temps employé pour la mise en œuvre ; dans le second, un entrepreneur s'engage à fournir et à confectionner ces objets ou à les mettre en œuvre, suivant les prescriptions et sous la surveillance de l'officier du génie. Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients, qu'il s'agit d'apprécier.

Il semblerait d'abord que lorsque l'officier du génie traite directement avec l'ouvrier et le fournisseur, on épargne le salaire de l'entrepreneur ou son bénéfice sur le coût des travaux, et que, par conséquent, cette manière de travailler devrait être la plus écono-

mique. Cela peut arriver, en effet, lorsque, à défaut de concurrence, soit par la quantité des travaux à exécuter à la fois, soit par une coalition entre les intéressés, l'État serait forcé de traiter avec un seul entrepreneur ou une seule compagnie, qui ne manqueraient pas d'exiger un bénéfice disproportionné avec leurs risques et leur travail, mais nullement tant qu'ils se bornent à une rétribution modérée, pour n'être pas évincés par des rivaux moins exigeants. Cela tient à plusieurs causes : d'abord, aux frais de surveillance. Dès que vous n'avez plus l'entrepreneur comme intermédiaire entre la direction des travaux et l'ouvrier, il faut y suppléer par des employés temporaires chargés de la surveillance de détail, dont l'officier ne peut pas s'occuper constamment sans négliger d'autres devoirs. Ces employés seront chers, car il faut les distraire de leur profession habituelle, et ce déplacement leur cause un préjudice dont ils doivent être indemnisés; ils seront peu affectionnés, puisqu'ils savent qu'ils seront congédiés à la fin des travaux et qu'on ne les emploie que par nécessité; ils ne presseront pas l'achèvement, alors qu'avec cet achèvement leur traitement cesse. Ils n'ont donc aucune raison pour défendre les intérêts du trésor, et ils en ont, au contraire, pour lui nuire. Les ouvriers, de même, sachant qu'ils travaillent pour le gouvernement, être collectif, qu'ils ne voient pas, et pour lequel ils ne peuvent avoir d'attachement personnel, n'y vont qu'avec mollesse et lenteur, s'efforçant de gagner le bout de leur journée avec le moins de mal possible et d'allonger d'autant la durée de l'ouvrage. En vain l'officier du génie chercherait-il à changer cet état de choses, entravé qu'il est par les liens de la légalité, enchevêtré dans le texte des règlements, dont il ne peut s'écarter sans encourir les odieuses accusations de malversation et de péculat. Ainsi il ne pourra pas différencier les prix des journées suivant l'habileté des ouvriers, sans qu'on l'accuse d'arbitraire et sans s'exposer à voir attribuer ses préférences aux plus vils motifs. Il ne peut pas accorder de gratifications à ceux qui s'en rendent dignes par leur zèle ou leur adresse, à moins d'aller contre la lettre des règlements, car la rubrique *gratification* ne se trouve sur aucun modèle d'état de payement. Il lui est défendu d'intéresser l'ouvrier à l'avancement de l'ouvrage, en le faisant travailler à la tâche, vu que les règlements ne prévoient d'autre mode de travail qu'à la journée. De là il résulte qu'en fort peu de temps les bons ouvriers désertent l'atelier, où les maladroits et les paresseux restent, nouvelle cause de lenteur, donc d'augmentation de dépense. D'un autre côté, les difficultés pour obtenir les matériaux au plus juste

prix sont fort grandes. Nous savons, par notre expérience personnelle, que les entrepreneurs et les fournisseurs s'entendent pour que le gouvernement ne trouve aucun bénéfice à se passer des premiers, de crainte peut-être que l'envie ne lui prenne de se passer aussi des derniers, en sorte que toute fourniture faite à l'État coûte 10 à 15 p. c. plus cher que lorsque des entrepreneurs achètent. Dans notre état social, dès qu'il s'agit d'argent, le gouvernement est l'ennemi commun, contre lequel tout le monde se ligue, pour l'empêcher de connaître la véritable valeur des choses. Aussi quelque moyen qu'on mette en œuvre pour se procurer des renseignements exacts, il est toujours à prévoir qu'on sera trompé; encore sera-t-on habile si l'on parvient à s'assurer qu'on est trompé, tant les fausses évaluations sont données avec adresse et ensemble. On ne peut pas nier, d'ailleurs, qu'il semble préférable à un fournisseur d'avoir affaire à un entrepreneur, négociant comme lui, justiciable des mêmes tribunaux, en cas de contestation, que de traiter directement avec le gouvernement, dont il ne peut attraire les agents personnellement, s'il se croit lésé, et contre lequel les condamnations ne sortent pas d'effet. Enfin, il faut bien admettre aussi que les officiers du génie, liés par la lettre des règlements, incessamment sous le coup des plus graves accusations, s'ils négligent la moindre formalité, n'apportent pas dans la direction pécuniaire des ouvrages la même intelligence et la même ardeur qu'un entrepreneur, dont c'est le but principal et l'intérêt direct, alors que l'ingénieur n'a aucune part dans les économies qu'il procure, et s'attire, au contraire, la malveillance de ceux dont sa rigidité réduit les gains. Dans une pareille position, environné d'écueils, l'attention de l'officier doit bien plus se porter sur les formalités nécessaires pour mettre sa responsabilité à couvert et garantir ses transactions de critique, que sur les moyens de construire avec le moins de dépense, et, préoccupé de sa propre défense, il est conduit à considérer comme secondaire celle des intérêts du trésor, nouvelle cause de cherté. Notez que nous supposons à l'officier toutes les connaissances et toute l'expérience nécessaires pour défendre ces intérêts, mais combien se trouvent dans ce cas? Occupés de beaucoup d'autres objets d'étude, chargés de détails administratifs, préoccupés des combinaisons relatives à l'attaque et à la défense, il est plus que probable que tous ne seront pas rompus aux mille pratiques dont se compose la conduite économique des travaux, ni initiés aux innombrables ruses que les ouvriers mettent en œuvre pour tromper ceux qui les emploient, et certain qu'ils ne le seront pas autant qu'un entrepreneur,

dont c'est la seule et unique affaire, et cette considération serait suffisante pour expliquer comment les travaux entrepris sont habituellement moins chers, donc pour justifier l'usage de confier la surveillance des ouvriers et la conduite des ouvrages à un constructeur de profession; cependant il en est une autre, plus puissante à nos yeux : c'est de soustraire l'officier à la nécessité de prévoir longtemps à l'avance les objets les plus minimes que la bonne exécution des travaux réclamera, bagatelles par le prix et par la place qu'ils occupent, mais néanmoins utiles et souvent indispensables. Or, si l'ingénieur les a négligés ou s'il s'est trompé dans l'évaluation des quantités requises (comme il arrivera quatre-vingt-dix-neuf fois sur cent, dans des constructions un peu étendues), il doit ou laisser les travaux en souffrance, par le manque de ces objets, jusqu'à ce que leur acquisition ait été autorisée, ou commettre une irrégularité, en se les procurant sans observer les garanties de publicité dont toutes ses transactions doivent être environnées, chose qui n'est jamais à conseiller et qu'aucun zèle ne justifie, parce que l'habit dont il est revêtu ne souffre pas l'ombre d'une tache, et que cependant il lui sera très-difficile de se soustraire à des imputations vagues et à d'odieux soupçons, s'il n'observe pas, en toute occasion, toutes les formalités prescrites par les règlements. La jeunesse est confiante, et le désir de bien faire, la conscience de la pureté de ses intentions peuvent facilement induire un officier à se compromettre, en allant au delà de ses instructions, parce qu'il sent l'utilité de suppléer à leur silence. C'est ce qu'il faut éviter à tout prix et, principalement pour ce motif, il est urgent de ne jamais travailler par économie et toujours par entreprise.

Les entreprises se font à forfait, c'est-à-dire *in globo*, moyennant un prix convenu avec un entrepreneur, ou *au mètre*, c'est-à-dire d'après un bordereau de prix établis et consentis d'avance pour chaque unité *d'espèce, de volume, de superficie, de longueur ou de poids* des ouvrages à exécuter. Dans ce dernier mode de travail, l'entrepreneur fournit la matière première et la main-d'œuvre, mais sans être astreint à des quantités fixes (quoique une limite supérieure soit d'ordinaire fixée, dans les travaux étendus), ni à terminer la construction dans un temps donné. Il n'est pas, non plus, responsable des fautes d'exécution autres que celles résultant de la qualité des matériaux ou de la main-d'œuvre, les officiers du génie traçant, nivelant et dirigeant les ouvrages, dont les détails sont élaborés suivant l'avancement des travaux. Dans le premier mode, au contraire, les dimensions, dans les

trois sens, de l'ouvrage à construire, ainsi que de toutes ses parties, sont arrêtées à l'avance, et l'entrepreneur est responsable des erreurs commises sur ces dimensions, comme de la qualité des matériaux employés et de la main-d'œuvre; enfin, on lui prescrit le temps dans lequel l'ouvrage qu'il entreprend doit être terminé, et il encourt une pénalité s'il ne parvient pas à satisfaire à toutes les conditions qu'il a acceptées.

Il résulte de là que lorsqu'on entame des constructions neuves sur une grande échelle, l'entreprise au mètre cube donne l'avantage de pouvoir mettre la main à l'œuvre dès qu'on a terminé l'analyse des prix des diverses matières, terrassements, maçonneries, charpentes, etc., que la construction exige, et lorsque les principales dimensions ont été arrêtées. Ainsi, on peut faire creuser les fondations, ouvrir des trous de sonde, battre des pilots d'essai, etc., avant même que le tracé des ouvrages à construire soit bien déterminé, et si, pendant la construction, des changements sont reconnus être utiles, ils s'opèrent sans difficulté et sans retard, parce qu'il est indifférent à l'entrepreneur quelle forme on donne aux ouvrages, pourvu qu'ils soient exactement cubés. Ce dernier avantage est considérable pour l'officier chargé des projets, car il est fort malaisé de combiner tous les détails sur un plan, longtemps d'avance, sans commettre de légères erreurs, qui entraîneraient cependant de graves inconvénients si on ne les corrigeait dans l'exécution. L'autre ne l'est pas moins lorsque les circonstances réclament une grande rapidité dans l'exécution, d'autant que ce n'est pas caver bien haut que d'évaluer à trois ans le temps nécessaire pour élaborer convenablement un plan de place forte dans tous ses détails, de manière à former un tout parfaitement coordonné. Si, pour éviter un retard aussi considérable, on adjuge les diverses parties à mesure que leurs détails ont été arrêtés, les premières mises en construction deviennent des conditions pour l'établissement des dernières, conditions souvent impossibles à remplir, ou auxquelles on ne peut satisfaire qu'au moyen de sacrifices onéreux, employant des palliatifs plus ou moins heureux, mais qui ne vaudront jamais un projet fait d'un seul jet.

En revanche, dans ce mode d'entreprise l'État ne trouve aucune garantie relativement au coût des ouvrages ni au temps dans lequel ils seront en état de servir, puisque des changements successifs, introduits dans le projet primitif, majoreraient considérablement la dépense, et que ces mêmes changements reculeraient indéfiniment l'époque à

laquelle on présumait d'abord que les travaux seraient terminés. Il est à noter que la facilité de réparer les erreurs commises peut engager souvent des officiers peu scrupuleux à entamer l'exécution d'un projet avant qu'il ne soit suffisamment mûri, et une première faute commise entraîner des corrections très-dispendieuses. La nécessité de coordonner tous les ouvrages d'une forteresse donnera fréquemment, à une première erreur, une influence funeste sur toute la durée des travaux, et les exemples remarquables à l'appui de cette assertion ne nous manqueraient pas au besoin.

Une autre considération en faveur des entreprises à forfait, c'est que leur direction et leur surveillance exigent un personnel beaucoup moins nombreux que celles des travaux au mètre cube, puisque l'entrepreneur et ses employés sont autant d'agents préposés aux détails du tracé, du nivellement et du métré des ouvrages, occupations qui, dans l'autre méthode, incombent aux officiers du génie et absorbent une grande partie de leur temps. Suivant les règlements adoptés en France, où ce mode d'exécution est suivi, on doit inscrire sur les registres d'attachement les dimensions de chaque pierre de taille employée et la dessiner en regard. Les ferrures, les objets de serrurerie et de menuiserie sont également représentés, avec leurs dimensions et la note du poids de chaque substance métallique mise en œuvre. Aussi voit-on employer, pour des corrections à exécuter aux fortifications existantes ou pour de simples extensions d'ouvrages, plus d'officiers qu'on n'a pu en mettre chez nous pour la construction de grandes places entièrement neuves, et nous avons vu autant d'officiers réunis pour l'établissement d'une seule forteresse que l'arme du génie en compte, en Belgique. Aussi, quoique ce mode d'exécution présente incontestablement plus de garanties contre les fraudes et les erreurs, n'est-il guère applicable dans les petits États, et ce raisonnement militerait encore contre l'exécution par économie, si ceux que nous avons fait tantôt ne suffisaient pas pour le faire rejeter.

En Belgique, les travaux sont ordinairement adjugés à forfait. Le devis prescrit toutes les dimensions des ouvrages, la qualité des matériaux pour la maçonnerie, la nature de la chaux et les localités d'où elle doit provenir, l'espèce de sable et les carrières dont on doit le tirer, la composition des mortiers et le dosage des matières employées à la confection des mortiers hydrauliques Il indique les carrières dans lesquelles on peut prendre les pierres de taille et les pavés. Pour chaque ouvrage en charpente, il règle l'essence de bois à employer et leur

assemblage, comme pour la forgerie et la serrurerie, les dimensions et le poids de chaque ferrure, avec la manière de la poser; puis les couleurs à appliquer sur les bois et la ferrure, la composition de ces couleurs et le nombre de couches, l'espèce d'arbres et d'épines dont les remparts doivent être plantés, l'époque de cette plantation et les précautions à prendre pour préserver les jeunes plants des atteintes des insectes et des animaux, etc., etc. Il existe pour une grande partie de ces objets des prescriptions, contenues dans les *Conditions générales concernant la fourniture des matériaux et l'exécution des travaux, applicables à toutes les entreprises relatives au service du matériel du génie.* Ces conditions générales arrêtées le 20 avril 1849, par le Département de la guerre et que nous avons déjà eu occasion de citer, sont toujours obligatoires. Cependant, si quelque circonstance particulière rendait des exceptions nécessaires, on devrait soigneusement indiquer les articles ou parties d'articles dont on entend dévier. Nous avons déjà dit que tout changement à un devis approuvé était fort difficile et presque toujours dommageable; en effet, dans un traité à forfait, une partie ne peut déroger aux conditions convenues qu'avec l'assentiment de l'autre, et cette autre partie, qui est l'entrepreneur, fait toujours acheter son consentement par quelques sacrifices. De là l'hésitation des chefs à accorder l'autorisation nécessaire pour convenir des changements les plus indispensables; de nombreuses lettres sont préalablement échangées, et le résultat définitif est, le plus souvent, pour le gouvernement une perte de temps et d'argent.

Pour la même raison, il faut indiquer avec scrupule au devis tous les détails de construction de chaque objet, n'oubliant ni la profondeur d'une feuillure ni la longueur d'un rivet, faute de quoi vous aurez de la peine à obtenir de l'entrepreneur qu'il exécute ces détails avec le soin convenable; ce qui exige de la main-d'œuvre, donc de la dépense, est toujours superflu pour lui.

D'ordinaire un devis compte 8 à 9 articles. Le premier contient l'indication sommaire de l'ouvrage mis en adjudication, soit une certaine étendue de fortifications, contenue entre les limites clairement indiquées, soit une écluse sur telle eau, à tel endroit, soit un bâtiment destiné à tel ou tel usage. Il indique aussi le point de repère auquel se rapporte le plan général de comparaison employé pour coter les diverses hauteurs.

L'article 2 est consacré à la description détaillée de l'ouvrage, partagée en autant de paragraphes qu'il y a de parties séparées, le corps de

place, le fossé capital, la demi-lune, son réduit, etc. Chaque partie doit être décrite soigneusement, commençant par les fondations, les fondations artificielles, s'il y a lieu, la maçonnerie des fondations, la nette maçonnerie, la charpente, la menuiserie, la forgerie, la peinture, les terrassements et les accessoires. La clarté est recommandée autant que la concision, et il vaut même mieux employer quelques feuilles de papier de plus, que de laisser des sous-détails, quelque minimes qu'ils puissent être, à l'arbitraire des entrepreneurs ou des surveillants, cet arbitraire ouvrant la porte à des vexations ou à des transactions également nuisibles au service de l'État. Souvent cependant on abrége considérablement ces écritures, en joignant au devis les dessins de tous les sous-détails, et on renvoie alors l'entrepreneur à ces plans; bien entendu qu'en ce cas, les dessins doivent être faits avec tout le soin possible et ne rien laisser à deviner, de l'appareil des maçonneries ou de l'assemblage des charpentes; mais comme on est presque toujours également forcé de construire les sous-détails avec soin, pour pouvoir en faire une description exacte, il suffira de mettre des croquis au net, travail moins long et bien moins fastidieux que celui de la description minutieuse des mêmes objets.

L'article 3 est relatif aux matériaux à employer; il désigne les carrières, les fours à chaux, les briqueteries, etc., qui doivent les fournir.

L'article 4 prescrit la manière dont ces matériaux doivent être mis en œuvre; c'est principalement dans cet article qu'on spécifie les points sur lesquels il faudra s'écarter des conditions générales, et le mode à suivre pour l'emploi des matières, mastics, enduits, machines, etc., dont l'usage n'a pas été prévu par ces conditions.

L'article 5 fixe le temps de la durée de la construction et la pénalité à encourir, par jour de retard, si l'entrepreneur ne satisfaisait pas à son engagement. Les conditions générales, n'ayant que l'entretien ou quelques grosses réparations en vue, ont stipulé une amende de 1 p. °/₀ par jour de retard. La disproportion entre le tort causé et la peine est cause que cette disposition n'est jamais appliquée à des ouvrages de quelque importance, dont la construction se répartit sur plusieurs années successives, l'interruption forcée résultant de la mauvaise saison étant si longue, qu'en maintenant la disposition du règlement au pied de la lettre, non-seulement l'entrepreneur ne toucherait rien du prix de ses travaux, mais il resterait redevable du double ou du triple du montant envers le trésor. L'exorbitance d'une pareille mesure est cause qu'elle

n'est jamais appliquée, soit que l'officier chargé de la réception, par un accord tacite, délivre les derniers certificats de payement comme si l'ouvrage avait été terminé en temps utile, soit que le département de la guerre fasse remise de l'amende encourue et signalée. Mais rien n'est plus préjudiciable à la force d'une convention que l'insertion de conditions inexécutables, et il vaut bien mieux stipuler une amende modérée, en rapport avec le coût total de l'ouvrage et l'importance de son achèvement à jour fixe, que de comminer une peine trop grave pour ne pas blesser l'équité, et dès lors sans application possible. Il est même encore préférable de régler d'avance l'époque de l'achèvement des parties successives, la fondation, les pieds-droits, etc., et d'y attacher une pénalité qui, dès lors, n'étant pas excessive, devient réelle et peut être mise en vigueur. — Cette dérogation des conditions générales doit être clairement expliquée et bien spécifiée. Il est superflu d'ajouter qu'il faut donner un temps suffisant aux entrepreneurs, en raison de la quantité de matériaux et d'ouvriers qu'ils peuvent se procurer sans sacrifices extraordinaires, puisque c'est l'État qui paye en définitive les exigences de ses serviteurs, et qu'on retomberait d'ailleurs dans les conditions impossibles à remplir, qui énervent toute la force d'un contrat.

L'article 6 stipule le mode de payement, qui se fait toujours chez nous suivant l'avancement des travaux, en travaux terminés et sans égard aux approvisionnements. Encore considère-t-on comme payement la délivrance d'un certificat de réception payable endéans les deux mois, en sorte qu'un pareil laps de temps s'écoule avant que l'entrepreneur ne touche l'argent. C'est une disposition administrative à laquelle nous sommes obligés de nous soumettre, mais qui est, au fond, très-onéreuse au trésor, parce qu'elle augmente considérablement les avances de l'entrepreneur et l'intérêt des capitaux engagés, et, comme nous l'avons déjà observé plusieurs fois, c'est toujours au bout du compte, l'État qui solde tous les faux frais, puisque l'entrepreneur établit son calcul en conséquence. C'est une raison de plus pour scinder le payement en beaucoup de termes, afin de diminuer d'autant un préjudice que nous ne pouvons pas empêcher.

Dans l'article 7, on détermine le montant des *frais imprévus :* c'est ainsi qu'on appelle les dépenses provenant de changements, d'additions et de corrections approuvées par le directeur, qui ne pouvaient être prévues lors de la confection du devis. Pour des constructions neuves, il faut consacrer à ces objets une somme assez considérable, comme de 5 à

10 p. c. du total de l'estimation, diminuant le rapport à mesure que ce total augmente. Ainsi, par exemple, lorsqu'il monte à un demi-million, les 5 p. c. seront déjà un *maximum*. La nature des travaux entre ici en grande considération, car on peut mieux prévoir les accidents à survenir dans l'exécution de simples terrassements que lorsqu'il s'agit de maçonneries, avec fondations artificielles, épuisements et autres ouvrages pareils. Les épuisements se payent presque toujours sur cette somme ou, du moins, stipule-t-on, dans l'incertitude, qu'ils seront imputés sur les frais imprévus, lorsqu'ils exigeront au delà de l'emploi d'un nombre de machines spécifiées. Afin de régler l'emploi de cette somme, on insère dans l'article 7 un tarif des prix à payer pour les divers ouvrages, par mètre cube ou mètre carré. Plus ce tarif est étendu, moins on court risque d'avoir des discussions avec l'entrepreneur, à qui ce tarif sert en même temps de guide dans l'évaluation du coût total de son entreprise.

Nous avons aussi inséré dans nos devis une stipulation empruntée au cahier des charges de l'administration des ponts et chaussées, portant que si des changements étaient apportés au projet primitif pendant l'exécution, de manière à ce qu'il en résultât une augmentation ou une diminution notable dans le cube des constructions à faire, le montant de l'entreprise serait majoré ou diminué d'une somme égale au produit du nombre de mètres cubes ou carrés retranchés ou ajoutés par les prix portés au tarif pour chaque nature d'ouvrage. Cette disposition, raisonnable au fond, devrait cependant être modifiée par une autre, qui limiterait le rapport de la diminution ou de l'augmentation facultative au restant de l'ouvrage, parce qu'il est très-difficile de calculer tous les prix du tarif si exactement, que l'entrepreneur ne soit lésé par quelques-unes et déraisonnablement avantagé par d'autres, en sorte que l'ingénieur, en dirigeant les changements dans l'un ou l'autre sens, resterait maître d'avantager ou de nuire sensiblement à l'entrepreneur, chance qu'il n'est utile de faire courir ni à l'entrepreneur, ni à l'ingénieur lui-même, déjà exposé à assez de tentations pour qu'on ne les augmente pas sans grande nécessité. D'ailleurs l'entrepreneur est tenu à s'approvisionner, à monter son personnel et son matériel suivant l'importance de son entreprise, et des changements inattendus le prendraient au dépourvu, ou lui laisseraient sur les bras des matériaux inutiles, et pour toutes ces considérations, nous croyons très-rationnel de limiter étroitement la faculté laissée aux officiers du génie, quant à ces changements.

L'article 8 est relatif aux frais d'adjudication, de copie, de timbre, d'enregistrement, qui tombent à la charge de l'adjudicataire, disposition fiscale très-déraisonnable, puisque c'est toujours l'État qui paye ces frais, lesquels ne rentrent néanmoins au trésor qu'après avoir été rognés et diminués du denier de recette des divers employés, mais qui n'est pas de notre ressort. Il suffit que vous sachiez que l'entrepreneur est tenu de rembourser les frais de location de l'endroit où l'adjudication a lieu, ceux d'insertion, d'impression et d'affiche des annonces placardées et insérées dans les journaux, enfin les frais de copie de cinq exemplaires du devis, dont deux sur timbre. En y ajoutant les droits d'enregistrement, il faut compter sur 2 $^1/_2$ p. c. du montant de l'adjudication pour couvrir cette dépense.

Un 9e article déclare applicables aux ouvrages mentionnés les conditions générales de toute espèce d'entreprise, arrêtées par disposition du département de la guerre, sauf les exceptions expressément spécifiées dans le devis.

Les adjudications ont lieu aux criées ou aux enchères. Celui qui les préside, le directeur ou le commandant du génie, fixe une somme pour laquelle l'entreprise est offerte aux amateurs, ordinairement prise à 20 ou 25 p. c. au-dessous du taux de l'évaluation, comme une limite que les rabais ne sauraient atteindre, et on l'augmente par des enchères successives, jusqu'à ce qu'un des concurrents crie : *Moi*. Celui-là, comme le moins exigeant, est déclaré adjudicataire, pourvu qu'il présente des garanties de capacité et que sa solvabilité soit corroborée par celle de deux cautions solidaires, sauf encore l'approbation du ministre de la guerre.

Avant de procéder aux criées, on recueille néanmoins les soumissions des amateurs, et la soumission la moins élevée devient une donnée pour établir le prix auquel l'entreprise est ensuite offerte. De plus, si personne ne prend avant que le taux de cette soumission ne soit atteint, le soumissionnaire est déclaré adjudicataire. Il est fort rare cependant que les choses se passent ainsi, le prix exigé par soumission étant d'ordinaire beaucoup plus élevé que celui qu'on obtient aux enchères.

Si deux amateurs criaient *moi* en même temps, on recommencerait les criées, afin de faire profiter le trésor de la concurrence.

Il arrive fréquemment que les entrepreneurs se coalisent pour forcer le gouvernement à adjuger à un prix très-élevé et se partager le bénéfice produit par cette extorsion. Avec un peu d'adresse, il est facile de s'en apercevoir, ceux qui veulent se retirer formant presque toujours

des demandes exorbitantes pour mieux faire ressortir la modération de leur complice; mais il y a un moyen bien simple de déjouer ces ruses, c'est de provoquer l'improbation de l'entreprise, et de renouveler l'adjudication jusqu'à ce qu'on la prenne à un prix raisonnable, en rapport avec l'estimation, car les coalisés en seront pour leur temps et leurs frais de déplacement. Or, comme c'est le gain qu'ils ont en vue, ils se dégoûteront vite d'un jeu où il n'y a que des pertes à essuyer. — D'un autre côté, l'ingénieur doit accueillir toute réclamation fondée, car soit inexpérience, défaut de connaissance des localités ou préoccupation, il peut fort bien avoir négligé ou perdu de vue quelque cause de dépense et fait ainsi son estimation trop bas.

Quand l'ingénieur est convaincu qu'au taux de l'entreprise l'adjudicataire se constituerait en perte, il ne faut pas que le désir d'une vaine économie le porte à faire approuver cette adjudication déraisonnable, car il peut être sûr d'avance que les intérêts de l'État seront lésés dans l'exécution, bien plus que l'épargne pécuniaire ne leur sera avantageuse. En effet, les entrepreneurs ne sont pas des gens désintéressés, en état de faire des sacrifices au profit de la nation, mais d'utiles intermédiaires entre l'administration et l'ouvrier, qui travaillent pour une rétribution. Si l'un d'entre eux entreprend à un prix trop bas, sciemment, c'est qu'il a l'intention de tromper le gouvernement ou ses fournisseurs. Dans la première hypothèse, une surveillance scrupuleuse aura bien de la peine à découvrir toutes les fraudes qu'il tentera, et, sans cesse en guerre avec l'administration, il n'y a sorte de chicanes et de tromperies auxquelles il n'aura recours pour bonifier ou se défaire d'une mauvaise affaire; dans la seconde, l'État se verra entraîné dans un dédale de procès, et le moindre préjudice qui pourrait en résulter, est de voir languir et même stater l'ouvrage, qu'on aura bien de la peine à faire reprendre par un autre. Ce prétendu bon marché n'est donc pas dans les véritables intérêts du gouvernement, à qui il importe d'avoir des ouvrages bien conditionnés, exécutés en temps utile, et non de conserver quelques écus dans le trésor, en ruinant ceux qui travaillent pour lui. Toute peine mérite salaire, et il est juste qu'un entrepreneur loyal, actif et intelligent, trouve dans le bénéfice à faire sur son entreprise le dédommagement du temps et la récompense des capacités qu'il y consacre.

Les frais d'adjudication sont avancés par le garde-magasin d'artillerie, car, dans aucun cas, un officier du génie ne peut être chargé de comptabilité en deniers. L'instruction pour le service du corps du génie

le prescrit en termes formels, et c'est une des stipulations auxquelles il faut se tenir à la rigueur. Peut-être serez-vous surpris de nous voir recommander expressément l'exécution d'un article de l'instruction, alors que tous sont obligatoires également, en sorte qu'il semble au moins superflu de corroborer une de ces dispositions par une injonction spéciale; mais c'est que nous savons par expérience combien d'occasions se présentent où le maniement des affaires administratives se complique d'un maniement de deniers, si l'on n'a pas soin de repousser, par un refus formel de s'en charger, cette double responsabilité, et, également par expérience, combien cette irrégularité peut entraîner de désagréments pour celui qui a la faiblesse de l'accepter. Le maniement de l'argent salit toujours, plus ou moins, ceux qui le touchent, et l'uniforme ne supporte pas la moindre maculature.

En temps de paix, le service du génie dans les places consiste dans la surveillance des fortifications et des bâtiments militaires. Cette surveillance comprend l'entretien et les améliorations, c'est-à-dire les réparations ordinaires pour maintenir les maçonneries, les terrassements et les communications en bon état, puis les changements qu'il conviendrait d'y faire, afin de les mettre en rapport avec le but qu'on s'est proposé dans la construction des divers ouvrages. Suivant l'instruction pour le service des corps, déjà mentionnée, la conception des projets des constructions neuves et des améliorations importantes appartient exclusivement au directeur des fortifications, qui peut, si bon lui semble, charger le commandant du génie dans la place d'élaborer les détails du projet, comme ce dernier peut demander ce travail à un des officiers sous ses ordres. Une des premières occupations d'un officier du génie, à son arrivée dans une place, sera donc de se mettre au courant de tous les objets qui peuvent le mettre à même d'élaborer un projet et de former une analyse des prix, suivant les matériaux et le mode de construction usités dans le pays, afin d'être à même de remplir dignement cette partie de ses devoirs.

Mais comme il est militaire avant tout, il commencera par une reconnaissance détaillée de la place, tant en dedans qu'en dehors, afin d'en reconnaître le fort et le faible. Bornons-nous à mentionner ici cette reconnaissance, que nous détaillerons lorsque nous traiterons de la défense des places. C'est d'après elle que l'officier rédige son mémoire sur la place, combine les moyens d'attaque et de défense et finit par en faire le journal de siége. L'instruction n'impose ce devoir qu'aux commandants du génie, cependant chaque officier, quel que soit son

grade, pouvant être appelé à remplir ces fonctions, il est utile de se préparer à accomplir un devoir aussi important par des exercices dans lesquels les erreurs n'ont pas les mêmes conséquences. En temps de guerre, ce soin va naturellement avant tous les autres, et un officier doit étudier avec soin les propriétés de chaque front en particulier, afin d'en tirer le plus grand parti, si la direction de la défense de ce front ou d'une partie de ce front venait à lui être confiée.

En temps de paix, il se trouvera sans doute chargé de suite de la surveillance d'une certaine étendue de travaux en construction, et il est fort possible qu'après avoir rêvé des projets de places neuves, des plans de campagne peut-être, ce service lui paraisse fastidieux, de peu d'importance et entièrement indigne des connaissances plus relevées dont on lui a fait un devoir d'orner son esprit. Ce serait une grave erreur. Aucun service n'est indigne de lui, s'il s'en acquitte avec scrupule, et celui qui considère comme au-dessous de sa dignité de surveiller avec soin les réparations d'un corps de garde, ne sera probablement jamais propre à diriger la construction d'une forteresse, parce que cette même présomption lui soufflera toujours qu'il est au-dessus des fonctions qu'on lui fait remplir. C'est le véritable moyen de n'être jamais bon à rien et de se perdre dans des rêveries sans application, car de la perfection des détails dépend en grande partie l'excellence de l'ensemble. Gardez-vous donc avec soin de ces prétentions déplacées, remplissez avec zèle, avec ponctualité les moindres devoirs qu'on vous impose, et soyez persuadés que vous en serez récompensés, d'un côté par la bienveillance de vos chefs, de l'autre par la connaissance d'une multitude de petites choses très-essentielles à la bonne exécution des grandes. Rarement ou jamais vous suivrez avec attention les manipulations d'un ouvrier sans observer quelque bonne méthode à suivre, quelque défaut à corriger, et c'est ainsi que vous acquerrez l'expérience, qui vous rendra aptes, plus tard, à diriger vos camarades et, par conséquent, à exercer le commandement.

Quant à la conduite à tenir envers les entrepreneurs, deux choses sont principalement à recommander : l'observation scrupuleuse du contrat que vous et lui devez faire exécuter, et l'équité dans les décisions que vous aurez à porter sur les points douteux ou obscurs. Il ne faut jamais souffrir qu'on s'écarte des dimensions ou de la qualité des matériaux, telles qu'elles sont prescrites, parce que vous n'avez pas le droit de consentir à des changements, même quand ils vous paraîtraient avantageux, sans l'assentiment écrit de vos chefs; mais il ne

faut pas pousser cette exactitude jusqu'à la dureté, ni abuser des expressions vagues d'un devis pour exiger une égalité de dimensions que les matériaux du pays ne comportent pas et sur laquelle l'estimation n'a pas été basée. Ce scrupule excessif tourne en définitive au détriment de l'État, car il est bien évident que nous avons en vue ces bagatelles qui contribuent à la beauté du coup d'œil et non à la durée de l'ouvrage, à la belle apparence et non à la solidité. Or, l'intérêt de l'État n'est pour rien dans la satisfaction d'amour-propre que donne à un constructeur une façade en pierres de taille d'une nuance parfaitement égale, ou un assemblage de briques de même couleur et sans bavures, tandis qu'il se trouvera compromis si pour obtenir cette égalité de couleur, ce choix de briques, vous forcez l'entrepreneur à faire des dépenses ruineuses, car une fois prévenu, il haussera ses prix pour se prêter à vos exigences, sans essuyer de préjudice, la rigueur que vous déployez effrayera les concurrents, et finalement c'est le trésor qui fera les frais de votre vanité satisfaite.

Évitez soigneusement dans vos relations avec les entrepreneurs tout ce qui sent la colère, la passion. Celui qui n'est pas maître de lui-même est peu digne de diriger les autres. Soyez fermes et calmes ; ne donnez jamais un ordre sans y avoir mûrement réfléchi, ne le retirez jamais, à moins de motifs de la plus grande gravité. Montrez-vous indulgents pour les erreurs, impitoyables pour les fraudes. Les conditions générales mettent à cet égard entre vos mains de puissants coercitifs, la démolition des malfaçons et des amendes pour chaque fraude. Si vous découvrez une erreur provenant du fait d'un ouvrier, contentez-vous de la faire redresser ; mais si vous acquérez la conviction que l'intention s'y trouvait de tromper sur la quantité ou la qualité des objets à fournir, frappez l'amende sans hésiter, et, une fois appliquée, ne la remettez plus, de quelque prétexte que la mauvaise foi se couvre. Soyez persuadé que si vous persistez avec calme dans votre résolution, les tentatives pareilles cesseront très-vite ; car, comme chaque punition enlève le bénéfice de dix tromperies réussies, et qu'au fond c'est seulement le bénéfice qu'on cherche, on ne tardera pas à préférer celui obtenu légitimement, pour minime qu'il puisse être, aux gains de la fraude, avec les chances de perte qu'ils entraînent. La bienveillance de l'officier surveillant est d'ailleurs une des plus sûres garanties de réussite pour un entrepreneur, et la mauvaise foi avérée, en détruisant la confiance, lui cause un préjudice incalculable, auquel son intérêt, bien entendu, lui défend de s'exposer.

Les relations de service des officiers du génie entre eux et avec les autres corps constitués sont extrêmement simples. Quant à la conduite des travaux, les officiers, dans une place, reçoivent les ordres uniquement du commandant du génie et celui-ci de son directeur. Ce n'est que sous le rapport de la police et autres consignes générales qu'ils obéissent au commandant de la place et autres autorités supérieures. Cependant ces autorités peuvent, dans un cas pressant, disposer d'un officier du génie, leur inférieur en grade, mais moyennant un ordre spécial, par écrit, et sous leur responsabilité personnelle. L'officier donne alors immédiatement connaissance à ses chefs de l'ordre auquel il a dû obtempérer.

Sitôt qu'une place est investie ou même dès qu'on la met en état de défense, on constitue un conseil de défense, dont le commandant du génie est membre de droit; les autres officiers reçoivent ses ordres et les font exécuter.

Les officiers du génie attachés aux divisions en campagne concourent avec les officiers d'état-major pour l'exécution des reconnaissances et la direction des mouvements des troupes. On les charge de préférence du tracé et de la construction des ouvrages de fortification passagère, de la destruction des ponts et autres communications et du rétablissement de ceux endommagés par l'ennemi, ainsi que de la construction des ponts sur pilotis et sur chevalets, considérés comme ouvrages permanents et non comme ponts militaires, dont l'établissement est dévolu à l'artillerie.

C'est principalement dans l'attaque des places que le rôle des officiers du génie grandit. S'il est question d'un siége, ils se réunissent en brigades, chargées chacune de la direction d'une marche d'attaque. Le commandant en chef du génie rédige le projet d'attaque, lequel est soumis à la sanction du général en chef et doit être approuvé par lui. Dès lors le tracé et la construction de toutes les approches leur appartiennent, ainsi que la direction de tous les travaux du siége, hors la construction des batteries, que l'artillerie exécute, mais dont l'emplacement et la composition, en bouches à feu de diverses espèces et de divers calibres, sont indiqués par eux. Ils règlent le nombre de travailleurs journellement employés, en font la demande à l'officier général ou supérieur major général de tranchée, les reçoivent contre reçu des mains des officiers d'infanterie et les placent suivant l'occurrence. Il en est de même pour les matériaux, dont ils déterminent les quantités et qu'ils font confectionner par des travailleurs civils et militaires. S'il est ques-

tion d'une attaque de vive force ou d'un assaut, ils marchent à la tête des colonnes et en dirigent les mouvements. Enfin, lors d'une capitulation, ils sont envoyés dans la place, avec des officiers d'artillerie et un commissaire des guerres, pour constater l'état des défenses et des bâtiments militaires au moment de la reddition. Nous reviendrons, au surplus, sur tous ces points d'une manière détaillée, lorsque nous ferons l'application de toutes nos leçons précédentes à l'attaque et à la défense des places.

Il nous reste à vous donner un dernier conseil relativement à tous ces services : c'est qu'il est extrêmement utile pour un officier du génie de tenir un journal exact, et heure par heure, de ses occupations et des observations auxquelles elles ont donné lieu. Il y marque les ordres qu'il a reçus, avec les démarches faites pour leur exécution, les lettres qu'il a reçues et expédiées, les mandats de payement délivrés et autres actes administratifs, les occupations successives de sa journée, les études auxquelles il s'est livré, les faits d'expérience recueillis dans la conduite des travaux, enfin tout ce qui peut justifier à ses propres yeux et à ceux d'autrui l'emploi de son temps. Outre l'excellent effet moral d'un pareil journal, il est encore particulièrement utile comme répertoire, pour retrouver une quantité d'idées et de faits, qui sans cela s'effacent de la mémoire ou n'y laissent que des traces incomplètes, et qu'il est pourtant essentiel de pouvoir retrouver plus tard, avec toutes les circonstances qui s'y rattachent, lorsqu'on veut les coordonner pour fonder quelque vérité ou détruire quelque erreur. Sa tenue journalière est, par cela même, une habitude précieuse, qu'il faut se hâter d'acquérir et se garder de laisser perdre.

§ IV.

FORTIFICATION IRRÉGULIÈRE.

24me LEÇON.

DÉFENSE DES CÔTES.— CHANGEMENTS AUX FORTIFICATIONS EXISTANTES.

SOMMAIRE.

Défense des ports et côtes. — Prescriptions de Napoléon pour les batteries de côte. — Position des batteries par rapport à la marche des vaisseaux et au niveau de la mer. — Observations sur le tir à boulets rouges et sur l'effet des projectiles creux. — Fourneaux à rougir les boulets. — Tours servant de réduits aux batteries. — Forts détachés pour la défense des rades, redoutes modèles. — Conditions de l'établissement des forts détachés. — Application aux postes en pays de montagnes et à ceux destinés à la défense des digues. — Application des mêmes principes à la restauration d'anciens remparts et aux corrections à faire aux places existantes.

L'application au terrain nous a présenté diverses hypothèses dans lesquelles il ne serait guère praticable de suivre, pour le tracé, les prescriptions de la fortification régulière, comme lorsqu'il s'agit d'occuper un terrain très-accidenté ou de tirer parti d'ouvrages existants. D'ailleurs, des places régulières sont calculées pour résister à des attaques régulières, et ce serait mal appliquer les forces de l'État, que de déployer des moyens surabondants là où l'on n'a que les tentatives d'une multitude mal armée ou des efforts violents, mais peu durables, des coups de main d'une petite quantité d'hommes, à redouter. Les principes que nous avons posés sont sans doute si généraux et si fondamentaux qu'ils seront partout d'application, et que la fortification sera d'autant mieux entendue qu'on les observera plus fidèlement ; mais les formes que nous avons indiquées, comme les meilleures contre des attaques en règle, peuvent être sensiblement modifiées dans d'autres circonstances, et nous consacrerons cette leçon à rechercher les moyens de tirer parti des localités dans des terrains très-accidentés, d'améliorer

d'anciens remparts et de fortifier des points isolés, lorsque la force de la garnison ne permet pas de donner aux ouvrages le développement *minimum* prescrit pour la fortification bastionnée.

La défense des ports militaires ou marchands, des rades foraines ou intérieures, des rades de relâche, des mouillages, des plages de débarquement et des côtes en général, donne lieu à une série de constructions qui se range dans la dernière catégorie. Quand une côte est abordable sur beaucoup de points, vouloir en défendre l'accès par une ligne continue serait se jeter dans une extension d'ouvrages qu'aucune armée ne pourrait garnir, et qui, dès lors, ne serait propre qu'à inspirer une fausse sécurité, car à quoi servent des remparts lorsqu'ils ne sont pas défendus? Les fortifications que l'Ordre de Malte avait érigées dans cette île en sont un exemple. Les habitants en état de porter les armes ne formaient, réunis aux troupes, qu'un total de 10,000 à 12,000 combattants, et, sans parler des travaux de défense des îles de Goze et de Cumin, il y avait à Malte, outre Valette et ses dépendances, plus de 60 postes (batteries, redoutes, tours, fortins, retranchements) sur un développement de côtes de 120 kilomètres. Il aurait fallu au moins 30,000 hommes pour garnir tous ces ouvrages. Les chevaliers, il est vrai, comptaient sur les secours de toutes les nations de l'Europe et peut-être la multiplicité des points fortifiés du littoral eût-elle primitivement pour objet de faciliter le débarquement des partis alliés et de leur fournir, dès l'abord, des points d'appui.

La sûreté des ports dépend, en majeure partie, de l'impossibilité dans laquelle on place l'assiégeant d'en battre l'entrée et d'interrompre la communication par mer; mais la portée de nos bouches à feu est si grande, qu'une enceinte continue devrait être immense pour produire cet effet, même en supposant la place sise sur une partie droite du littoral, bien plus quand elle se trouve au fond d'une anse ou golfe. Les villes maritimes contiennent d'ailleurs des approvisionnements très-précieux et très-combustibles, et il importe de tenir l'ennemi hors de portée de bombardement, c'est-à-dire à une très-grande distance, but qu'il serait également presque absurde de vouloir atteindre autrement que par une série d'ouvrages avancés. Du côté de la mer, ceux-ci occupent les points les plus saillants du rivage. Il est aussi du plus haut intérêt de fortifier les îles et îlots avoisinants. *Marcouf, Pelée, Brehat, Sept-Iles, Ouessant, Glenans, Groix, Belle-Isle, Noirmoutiers, le Pilier, Yeu, Ré, Oléron, Aix, Enet*, et, dans la Méditerranée, *Brescou* et les *îles d'Hyères, Bregançon* et *Sainte-Marguerite*, etc., sont autant de

postes avancés pour la défense du littoral de la France. La *Corse* forme un système à part, ayant la place de *Corte* comme point central de liaison entre les côtes occidentale et orientale. Dans tous ces cas, il faut des ouvrages permanents, comme l'objet qu'on a en vue dans leur construction, d'un petit développement, parce qu'on ne peut consacrer beaucoup de monde à leur défense, et cependant fermés de toutes parts, puisqu'ils sont susceptibles d'être attaqués sur tous les points du périmètre, conditions auxquelles des fronts bastionnés ordinaires ne sauraient satisfaire. Une batterie de côte ordinaire est une batterie-barbette, avec un épaulement en terre, revêtu à l'intérieur jusqu'à $0^m,60$ sous la crête, tracé perpendiculairement à la direction moyenne du tir ou brisé en plusieurs parties remplissant chacune la même condition. L'épaulement en une simple ligne droite, s'emploie chaque fois que l'angle des directions extrêmes du tir ne doit pas dépasser 90 degrés, amplitude du tir d'une pièce en barbette. Les tracés curvilignes gênent le service de l'artillerie. Voyons comment Napoléon Ier a envisagé cette question et les prescriptions qu'il a données dans ses mémoires :

« Il y a, dit-il, trois espèces de batteries de côte. Celles de la pre-
« mière sont destinées à défendre un port ou une rade où peut mouiller
« une escadre; celles de la seconde classe, à défendre un port mar-
« chand ou une rade où peuvent mouiller seulement les bâtiments de
« commerce; enfin celles de troisième classe, dont le but est de pro-
« téger le cabotage. Les batteries de première classe doivent être
« composées de 12 pièces de 36, 4 pièces de 16 ou de 18 en bronze,
« avec un gril à boulets rouges, 4 mortiers de 12 pouces à la Gomer :
« total, 20 bouches à feu, indépendamment de 8 pièces de campagne,
« 3 de 6, 3 de 12 et 2 obusiers pour défendre la gorge et la plage
« voisine et flanquer les batteries. Ces batteries doivent avoir à la gorge
« une tour du modèle n° 1, armée de 4 caronades de 24 ou de 4 pièces
« de 12 sur la plate-forme, et contenant un logement pour 60 hommes,
« un magasin de vivres capable de contenir le biscuit, la farine, les
« légumes, le vin, la viande salée, l'huile, le tabac, pour 120 hommes,
« pendant 20 jours; un magasin à poudre, capable de contenir les
« poudres et gargousses pour 4,000 coups de canon, ou 200 coups par
« pièce; un petit atelier pouvant contenir une forge, le charbon, les
« outils, les fers, les pièces de rechange, pour réparer les affûts. Cette
« tour doit avoir 2 étages, au moins $7^m,80$ de haut, un fossé, une
« contrescarpe, un chemin couvert avec places d'armes, dans l'une
« desquelles un puits ou citerne.

« Les batteries de deuxième classe doivent être composées de « 4 pièces de 24, 2 de 16, 1 gril, 2 mortiers; total, 8 bouches à feu, « indépendamment de 2 pièces de campagne au moins; elles doivent « avoir une tour du modèle n° 2, qui porte 2 caronades de 18 sur sa « plate-forme ou 2 pièces de 16, et qui contient un logement pour « 24 hommes, un magasin aux vivres pour 48 hommes pendant « 10 jours, un magasin à poudre pour 1,600 coups, un petit atelier « sans forge, mais contenant les pièces de rechange en fer et en bois, « pour la réparation des affûts; un fossé sans contrescarpe avec chemin « couvert, puits ou citerne. Les batteries de troisième classe doivent être « composées de 2 pièces de 18, indépendamment d'un obusier à grande « portée; elles doivent avoir une tour du modèle n° 3, à un étage, por- « tant sur sa plate-forme un obusier ou une petite pièce, et contenant « un logement pour 10 hommes, un magasin de vivres pour 20 hommes « pendant 10 jours, un magasin à poudre pour 400 coups. Cette tour « ne doit avoir ni fossé, ni chemin couvert, ni la batterie de gril à « rougir les boulets.

« 1° Les pièces de campagne attachées aux batteries sont pour leur « défense du côté de terre, et pour la défense des anses et plages contre « les débarquements;

« 2° Les tours sont placées au moins, celles n° 1, à 120 mètres de « la plate-forme; celles n° 2 à 80; celles n° 3 à 40;

« 3° Les pièces sont éloignées l'une de l'autre de 8 à 12 mètres, à « moins que les localités ne s'y opposent;

« 4° Les parapets sont en terre au-dessus des genouillères; la « maçonnerie ne doit pas être plus élevée;

« 5° La plate-forme des mortiers est séparée par une traverse des « pièces de canon;

« 6° La batterie à boulets rouges est séparée également par une « traverse;

« 7° La batterie de 12 pièces sera partagée en deux par une tra- « verse et, si les localités s'y prêtent, les deux plates-formes seront sur « deux plans de niveau, différents de 14 à 16 mètres;

« 8° On construira trois plates-formes pour 2 mortiers, et 4 pour « 2 mortiers à plaque;

« 9° On fait une traverse parallèle à la batterie, à 10 mètres du « heurtoir, pour 4 pièces de canon; cette traverse a 8 mètres de lon- « gueur sur 2 mètres de hauteur et 3 mètres de largeur; derrière elle « on met les 16 gargousses, 4 par pièce. Ces gargousses sont dans les

« gargoussiers ou dans une caisse de bois; à mesure de la consomma-
« tion, on les remplace du magasin de la tour;

« 10° Vis-à-vis des plates-formes de mortier, on fait, paralléle-
« ment à l'épaulement et à 10 mètres, une traverse de 4 mètres pour
« 2 mortiers; on place par derrière 4 bombes par mortier, que l'on
« remplace, à mesure de la consommation, par le magasin de la
« tour;

« 11° Le gril ou four à boulets rouges est placé à 1 mètre, au plus,
« du revêtement intérieur, vis-à-vis un merlon, au lieu d'une pièce;
« il est ainsi à l'abri des boulets et des accidents du feu;

« 12° On place plusieurs tonneaux ou gabions pleins de terre; on
« construit des traverses rondes en gazon, de 0m,65 de diamètre (sans
« doute au sommet) pour servir d'abri aux canonniers contre les éclats
« des bombes et obus;

« 13° Le tir à boulets rouges a lieu avec des pièces en bronze, de
« calibre de 12 ou au plus de 18; le boulet doit être rouge-cerise;

« 14° Les gargousses sont de 1 1/2 ou 2 kilog. de poudre, au plus,
« pour tirer à boulets rouges; pour une pièce de 18, on met deux gar-
« gousses l'une sur l'autre, chacune de 1 1/2 kilog.; pour le 24, de
« 2 kilog.; pour le 36, trois gargousses de 2 kilog. On a grand soin de
« les faire entrer dans l'âme sans frottement; si la poudre touche les
« parois de l'âme, il y a accident. »

Nous vous avons trop souvent prévenus contre l'abus des prescriptions absolues pour craindre que vous preniez celle-ci à la lettre, à cause du nom du grand Napoléon, et que vous puissiez croire qu'il faut composer nécessairement une batterie de côte de 20, de 8 ou de 3 bouches à feu. Sa force se règle sur l'importance de l'objet à atteindre, la largeur de la passe, la direction du tir par rapport à la marche des navires, ainsi que sur le nombre de pièces dont l'ennemi peut se servir contre la batterie, et nullement d'après des stipulations arbitraires. Les règles que nous venons de poser doivent être considérées comme des données générales. En France même, elles ont été modifiées par la commission de 1841, qui distingue trois importances de batteries, de 4, 8 et 12 pièces, moitié canons de 30 et moitié obusiers de 0m,22; elle y joint, selon l'occurrence, des mortiers à plaques de 0m,32, et pour la plate-forme des réduits, 2 obusiers de 0m,12; les traverses parallèles à l'épaulement de la batterie, et toutes celles qui en masqueraient l'intérieur aux créneaux des réduits sont supprimées. Ceux-ci, peuvent loger 20, 40 et 60 hommes, dans des cadres de 0m,70 garnis

de literie. Les magasins à poudre, mis seuls à l'abri des bombes, peuvent contenir 34, 67 et 100 barils de 100 kilog. Une citerne reçoit les eaux de pluie de la plate-forme.

Il est d'expérience que les batteries placées latéralement à la marche des vaisseaux produisent fort peu d'effet, d'abord par la mobilité du but, laquelle est si grande, que le peu de secondes qui s'écoulent entre l'instant où l'avant du vaisseau arrive dans l'alignement du rayon visuel du pointeur et celui où le projectile est porté à la distance du but, lui suffisent pour dépasser la trajectoire de toute la longueur du bâtiment; ensuite, à cause du peu de résultat des coups dirigés contre les flancs du bâtiment, toutes les défenses à bord étant disposées sur cette direction. Enfin, en pareil cas, le vaisseau oppose à l'artillerie de terre une artillerie très-supérieure en nombre, et rend presque toujours le tir de la première incertain, parce qu'il est difficile d'obtenir un pointage bien exact des canonniers sous la pluie de fer qui les couvre. Aussi dans la défense d'une passe, comme à l'embouchure d'un fleuve, place-t-on toujours les batteries le plus perpendiculairement possible à l'axe du chenal, afin de battre les vaisseaux pendant plus longtemps, de diriger les coups dans le sens le plus dangereux pour leurs voiles et mâtures, et, enfin, pour n'avoir à contre-battre que leurs pièces de chasse du gaillard d'avant. Si ces mêmes batteries les enfilent de l'arrière à l'avant, lorsque les vaisseaux les ont dépassées, comme il arrive lorsqu'elles sont établies au sommet d'un coude, elles seront le plus redoutables pour les navires et, par conséquent, le plus avantageusement placées.

Une question très-délicate est de savoir à quelle hauteur au-dessus du niveau de la mer elles doivent se trouver. Plus on les élève, moins elles ont à souffrir de l'artillerie de l'ennemi, mais plus aussi on diminue la chance de toucher un but rapproché, les coups fichants ayant bien moins de champ et d'ailleurs ne ricochant pas ou ricochant très-haut, moins aussi elles auront d'action contre les débarquements, par lesquels l'ennemi cherchera à paralyser les batteries de côte. Plus on les rapproche du niveau de la mer, plus leurs coups rasants sont dangereux, soit de premier bond, soit par ricochet, tant contre les vaisseaux de haut bord que pour les canots et péniches; mais plus aussi la batterie aura à souffrir du feu ennemi, et surtout à redouter le feu des hunes; on indique pour *minimum* 7 à 8 mètres, pour *maximum* 15 à 30 mètres. Au reste, la hauteur des batteries de côte doit dépendre de la distance à laquelle les principaux bâtiments peuvent en approcher, et

par conséquent des tirants d'eau de ces bâtiments. Nous dirons, à ce sujet, que les vaisseaux de guerre de 74 à 120 canons ont un tirant d'eau de 7m,50 à 9 mètres; les frégates de 44 à 60 canons un tirant de 6 à 7 mètres; les bâtiments de 24 canons un tirant de 5 mètres; ceux de 16 canons un tirant de 4 mètres, et ceux de 10 canons un tirant de 3 mètres.

Quand les localités s'y prêtent, il y a un bon moyen de concilier les exigences diverses, c'est de placer les pièces sur deux plans différents, suivant la prescription de l'empereur. Alors la batterie basse servira à combattre les descentes et les embarcations plates, la batterie haute luttera avec avantage contre l'artillerie des vaisseaux, et la tour servant de réduit, garantira les deux batteries des attaques à revers. On ferme d'ailleurs les batteries à la gorge par un parapet précédé d'un fossé, et si le développement ne permet pas de donner à ce retranchement une forme flanquante, on l'appuie aux faces de la tour, mais sans couper le glacis de celle-ci, afin de ne pas compromettre la conservation de l'ouvrage d'où dépend la sûreté de tout le reste. La batterie basse doit être voûtée, pour la couvrir contre les feux plongeants; mais à la batterie supérieure, cette précaution devient inutile, vu sa position. En pays plat on peut atteindre le niveau voulu pour celle-ci, en établissant son épaulement en terres sur la plate-forme d'un bâtiment voûté servant de caserne ou de magasin. Il y en a des exemples en Hollande.

Quoique l'instruction de Napoléon indique des fours à rougir les boulets ou des grils dans toutes les batteries importantes, il ne faut pas s'attendre à un bien grand effet du tir de ces projectiles contre les vaisseaux, et c'est avec raison que la commission de 1841 y a renoncé. En effet, il est reconnu que si les boulets rouges traversent le bois, ils n'y mettent pas le feu, à cause de la rapidité du contact, en sorte qu'ils agissent alors comme les boulets froids. Il ne sont pas plus redoutables lorsqu'ils frappent en plein un bois assez épais pour ne pas être traversé, l'action de leur chaleur se bornant à carboniser le combustible jusqu'à une petite profondeur, puis, privés d'oxygène, ils cessent de brûler. Il n'y a que ceux qui percent une pièce jusqu'à la surface intérieure ou latérale, mais sans traverser tout à fait, qui pourraient l'enflammer; encore, à moins de circonstances fâcheuses et accidentelles, un pareil incendie est-il facile à éteindre, parce qu'il n'y a aucun danger à approcher du corps comburant (siége de Gibraltar, 1782). Sous tous ces rapports, l'action des projectiles creux est tout autrement

formidable. Lancés avec une faible vitesse initiale, ils ont plus de chance de s'arrêter dans les murailles ou les cloisons d'un bâtiment, qu'un boulet. La grandeur de leur diamètre rend les coups à fleur d'eau ou un peu au-dessous de la flottaison bien plus dangereux pour la submersion, et s'ils s'arrêtent dans la muraille et y font explosion, ce danger croît dans une proportion effrayante, comme on s'en est convaincu aux expériences de Cherbourg. S'ils pénètrent et éclatent dans l'intérieur, les éclats seront extrêmement meurtriers pour les marins entassés dans un espace resserré, et les matières incendiaires qu'ils contiennent, rejaillissant sur des objets très-combustibles, spécialement sur les munitions placées en approvisionnement, occasionneront bientôt un incendie, le plus grand péril qu'un vaisseau ait à redouter. Ce sont ces considérations qui pendant la dernière guerre maritime avaient fait mettre des mortiers de la plus grande dimension dans toutes les batteries de côte, malgré l'incertitude de leur tir contre un but aussi petit et aussi mobile qu'un vaisseau, l'extrême danger que leurs bombes faisaient courir, en traversant plusieurs ponts et faisant explosion à l'intérieur, suffisait pour les rendre très-redoutables, au point que jamais une escadre n'a mouillé dans une rade à portée des mortiers. Les canons à la Paixhans, qui lancent les projectiles creux horizontalement et à ricochet, ont considérablement accru la force des batteries de terre et le péril des vaisseaux; nous ne croyons pas qu'une batterie armée de pareilles bouches à feu aurait jamais à soutenir une lutte réglée contre eux : que serait-ce, si elle l'était de gros canons rayés, à projectiles explosifs, comme on en introduit aujourd'hui partout dans le service. Ainsi l'établissement de fours à réverbère peut devenir superflu, d'autant que de simples grils produiront, en cas de besoin, le même effet, quoique avec plus de temps et plus de combustible. Nous donnons toutefois pl. V, fig. 4, un modèle de fourneau à l'aide duquel un boulet peut être porté au rouge-cerise en 28 minutes.

Les tours indiquées dans l'instruction de Napoléon Ier, sur les batteries de côtes sous les nos 1, 2 et 3, comme devant servir de réduit, sont des tours carrées en maçonnerie, entourées d'un fossé et prenant $5^{m},80$ de commandement sur la campagne. Les dimensions du no 1 (*pl. V, fig. 1*) sont de 16 mètres de côté sur la retraite des fondations, $8^{m},70$ de hauteur au-dessus du fond du fossé, deux étages dont l'inférieur sert de magasin et le supérieur de logement à la garnison. Ce dernier est voûté à l'épreuve et couvert d'une plate-forme maçonnée, portant quatre pièces sur affûts de côte, placées dans les angles et abritées par

un parapet en maçonnerie, de 1^{m},60 de hauteur et d'épaisseur. Le fossé a 8^{m},50 de largeur, et les terres qui en proviennent sont employées à former un chemin couvert avec glacis et places d'armes centrales autour du réduit. La communication a lieu au moyen d'un pont dormant avec pont-levis, flanqué de deux pièces de 6, sur affût marin, placées au premier étage et tirant à travers des embrasures. Quant aux détails, l'étage inférieur est partagé en quatre parties par des murs de refend, dont l'une sert de magasin aux poudres et est précédée du magasin d'artillerie; un troisième compartiment forme le magasin aux vivres, tandis que le quatrième, au-dessus de la citerne, sert de vestibule et de petit atelier. La communication entre les divers étages a lieu au moyen d'escaliers coupés dans l'épaisseur du mur et placés au-dessus l'un de l'autre. Au premier étage se trouve un lit de camp pour 60 hommes, divisé en deux parties.

L'approche de la tour est interdite par des créneaux dont le mur du premier étage est percé, et par des mâchecoulis formés par la saillie du mur du parapet, au milieu de chacun des quatre côtés. En ces points le parapet est réduit à 0^{m},30 d'épaisseur seulement. La fig. 5, pl. V, montre le détail d'un mâchicoulis du réduit de la fig. 2.

Nous avons fait plusieurs changements à ces tours dans l'application. Pour remédier au manque de flanquement, nous avons ajouté à chaque angle une guérite en maçonnerie, au-dessous du niveau de la crête du glacis, ayant deux créneaux sur chaque face; on y parvient par des galeries coupées sur la diagonale de la tour, renforcée en ces points par un arrondissement cylindrique supportant une calotte sphérique. Ces renforts ont servi, en outre, à fortifier le mur dans lequel l'escalier est percé, car dans le modèle, toute la voûte repose sur un mur de 0^{m},30 à l'origine de l'escalier, et ce serait risquer beaucoup, si la construction se faisait en matériaux susceptibles d'écrasement.

Afin d'éviter l'affaiblissement des parapets à l'endroit des mâchecoulis, nous avons remplacé cette défense par des mâchecoulis obliques, coupés dans l'épaisseur du mur au-dessous du niveau du premier étage, ne conservant sur la plate-forme que celui au-dessus de la porte. L'économie produite par cet évidement balance l'augmentation résultant de la construction des guérites.

Les deux autres modèles diffèrent seulement par les dimensions, le n° 2 ayant 10^{m},60 à sa base, le n° 3, 9^{m},80; mais toutes ont la même hauteur. Il y a encore deux modèles de tours voûtées, mais non à l'épreuve, destinées à servir de réduits sur des points où l'artillerie

ne saurait être amenée, ou dans des localités où le poids des maçonneries épaisses ne saurait être supporté par des terrains d'alluvion. A la suite du travail de la commission de 1841, on a adopté en France, en 1846, trois modèles de tours-réduits et trois modèles de corps-de-garde, dont nous avons déjà indiqué la capacité ; les voûtes d'arête des anciens modèles y ont été remplacées par des voûtes en berceaux, qu'on n'a jugé utile de construire à l'abri des bombes que dans la partie destinée à l'approvisionnement de poudre. Les murs de face ont une épaisseur proportionnée, pour chacun, aux coups qu'il peut avoir à supporter. Les tours doivent être éloignées de 30 à 40 mètres au moins des batteries (*pl. V, fig.* 2), afin que les artilleurs n'aient pas à redouter les effets repercutants des projectiles ennemis, qui viendraient frapper les tours. Lorsque les républicains se furent emparés, dans la nuit du 18 au 19 décembre 1793, des batteries de l'Éguillette et de Balaguier, qui défendaient le goulet entre la grande et la petite rade de Toulon, ils firent avancer des pièces de 24 et des mortiers pour armer ces batteries, d'où ils espéraient canonner la flotte coalisée, le 19 avant midi. Mais le commandant de l'artillerie du siége (Napoléon) jugea impossible de s'y établir, parce qu'elles étaient en pierre et qu'elles avaient à leur gorge une grosse tour, si près des plates-formes, que tous les boulets ennemis qui auraient frappé la tour seraient retombés sur les canonniers avec les éclats et les débris de maçonnerie. On préféra placer des bouches à feu sur les hauteurs derrière les batteries, ce qui força de remettre au lendemain l'ouverture du feu et diminua sensiblement les pertes qu'éprouva la flotte combinée. En terrain aquatique, l'impossibilité de redoubler les étages oblige d'occuper plus de superficie, et c'est alors qu'on remplace les tours par des corps de garde voûtés. Si le site était dominé de près, on supprimerait la plate-forme des réduits en relevant un peu, en même temps, l'étage crénelé.

Sur les bancs, les hauts-fonds, les roches isolées en mer, les pointes du littoral, les jetées, etc., où l'espace manque pour des ouvrages en terre, qui y seraient d'ailleurs promptement rasés par les vagues, on construit, souvent en leur préparant une base d'enrochements artificiels, des batteries ou des forts en maçonnerie, analogues à ce que montrent les figures 2 de la planche X et 4 de la planche XI de la 3^{me} partie (2^{e} volume du Cours). Les formes arrondies des batteries en maçonnerie sont motivées par l'avantage de mieux résister aux coups de mer et à ceux des projectiles ennemis. Toutes les embrasures doivent être fermées avec de solides volets. Les plus basses ne peuvent être à moins

de 5 mètres au-dessus de la marée haute. Souvent les voûtes inférieures sont entièrement closes du côté de la mer et servent simplement comme abris et comme magasins. Cherbourg, Cronstadt, Sébastopol, offrent de beaux modèles de ces sortes de batteries casematées, surmontées ou non de plate-formes à ciel ouvert et à barbettes, dont l'épaulement est en terre ou en pierres. Les Anglais, à Portsmouth, et pour la défense de la rade de Spithead, ont projeté la construction de tours ou batteries casematées, entièrement en fer doux, de 10 pouces d'épaisseur.

S'il s'agit de couvrir l'entrée d'un port, la construction de batteries ordinaires serait insuffisante, car l'ennemi préluderait au siége par l'enlèvement de ces batteries. C'est pour des positions pareilles qu'ont été recommandées les *redoutes modèles*, redoutes carrées bastionnées, revêtues en maçonnerie, dont il y a deux numéros. Le premier a 96 mètres de côté, $9^m,40$ de relief au-dessus du fond du fossé, 8 mètres d'escarpe et $4^m,20$ de commandement sur la campagne. Il est entouré d'un fossé avec contrescarpe maçonnée, jusqu'au niveau du terrain naturel, et d'un chemin couvert avec places d'armes centrale et glacis (*pl. V, fig.* 3). L'escarpe supporte un parapet de 6 mètres d'épaisseur, et un terre-plein de 10 mètres permet de placer de l'artillerie partout; mais les bastions, petits et étranglés, ne peuvent pas porter beaucoup de bouches à feu, et le flanc découvert offre encore bien moins une défense suffisante pour le fossé, que son relief l'empêche de battre. On a donc dû casemater les flancs, chaque casemate percée d'une embrasure pour canon et de deux créneaux. Une communication curviligne entre les deux flancs sert en même temps de magasin. Enfin, les courtines, également casematées sur toute l'épaisseur du rempart, fournissent le logement à la garnison, tout en donnant des feux dans le fossé, ce qui oblige à excaver le centre de la redoute jusqu'à $0^m,30$ au-dessus du fond du fossé, pour donner de l'air et de la lumière à ces habitations. Elle est destinée à contenir 500 à 600 hommes.

Le n° 2, qui doit recevoir 300 hommes, est bâti suivant les mêmes idées, en sorte que les dimensions seules diffèrent, le côté extérieur ayant 66 mètres.

Le genre de construction de ces forts, leurs fossés secs et l'établissement des casemates sous le niveau du terrain naturel, annoncent assez que des ouvrages pareils supposent un horizon élevé, des côtes escarpées, de hautes falaises ou des dunes. Ils auraient un défaut capital, si on voulait les appliquer sur une côte basse; c'est leur peu de commandement au-dessus du terrain naturel, bien plus faible que le *minimum*

fixé pour les batteries de côte. En effet, loin d'être à l'abri du feu des hunes, ils seraient commandés même par le canon du tillac des vaisseaux de haut bord. Le relief nous paraît aussi trop faible pour des fortifications en plaine ; il les rendrait très-difficiles à défiler, et même les coups rasants seraient funestes à l'affûtage. On a prétendu que les partisans *les plus absolus* du tracé bastionné préfèrent à celui-ci le tracé polygonal pour les forts et fortins. L'emploi fréquent de ceux que nous venons de décrire dans le pays le plus militaire de l'Europe, répond catégoriquement à cette observation. Quant à nous cependant, nous croyons que les forts polygonaux, munis de caponnières aux angles, seront souvent d'une application plus avantageuse que les forts bastionnés proprement dits, tant pour la défense des côtes qu'en pays de montagnes ou même en plaines.

On a aussi allégué l'impossibilité d'appliquer le tracé bastionné aux côtés de polygone extérieur qui ont moins de 250 mètres ; le modèle cité prouve encore l'inanité de cette assertion. Un ouvrage polygonal, avec des caponnières aux saillants, appartient d'ailleurs en réalité au type bastionné ; car il n'exige par front que deux batteries flanquantes. Mais, dit-on, les flancs casematés de forts pareils ont le défaut de tirer l'un sur l'autre. Il n'en serait ainsi que s'ils tiraient parallélement à la courtine (supposée en ligne droite) et horizontalement. Si le défaut signalé avait quelque fondement, il suffirait pour le corriger de briser la courtine en dehors, suivant la direction des lignes de défense, en ayant soin d'employer alors des casemates à feux rasants.

Quand il s'agit de s'assurer par des ouvrages analogues la possession d'un terrain fort accidenté, la rapidité des pentes empêche de donner un développement étendu à des parapets tenus au même niveau ; car on ne peut descendre vers la plaine sans s'exposer à des vues d'enfilade et de revers, ni couper de traverses une petite surface sans morceler la défense. Ces exigences diverses obligent à se borner à l'occupation des points culminants, en reliant les ouvrages par des lignes moins susceptibles de défense, mais servant à assurer la communication. Déterminer d'avance la forme la plus convenable serait chose impossible, tout dépendant des localités, et nous nous bornerons à poser les conditions de leur établissement, laissant à l'intelligence de chacun le soin de les concilier ou de s'en écarter le moins possible.

La première est sans doute d'atteindre le but qu'on s'est proposé dans la construction, soit qu'il s'agisse de la possession du terrain même, soit de concourir à la possession d'autres points par l'action mutuelle

des ouvrages. Ainsi, lorsqu'on voudra se rendre maître d'un défilé : pont, digue ou gorge en pays de montagnes, il ne faut pas se laisser détourner de choisir l'emplacement qui le bat le mieux, par le désir d'entourer quelques habitations à proximité, ou par les difficultés du site. Au moins ne doit-on renoncer à cet emplacement que lorsqu'on a reconnu l'impossibilité de les vaincre. Cette prescription semble d'une naïveté extrême, et cependant combien de fois ne s'en est-on pas écarté ! Elle n'influe, au reste, pas seulement sur l'emplacement, mais sur la direction des principales lignes, qu'on doit placer presque perpendiculairement aux lignes de tir des feux les plus efficaces pour l'objet qu'on a en vue. Si on veut défendre les accès d'une position centrale (*voir* le plan de Coblentz, *fig.* 4, *pl. VIII* de la 3^me^ partie), il faudra que les feux des ouvrages détachés sur les parties culminantes du terrain environnant se croisent partout sur les routes, les chemins, les plaines, les pentes dont l'ennemi pourrait profiter pour les approches.

La deuxième est que tout ouvrage permanent doit être à l'abri des attaques de vive force, par la hauteur de ses escarpes ou par la largeur et la profondeur des fossés pleins d'eau. Il faut s'astreindre d'autant plus rigoureusement à cette règle dans la fortification des points isolés, que leur faible garnison est moins en état de faire valoir les défenses et de balancer l'inégalité du nombre. Par la même raison, les issues doivent être limitées au plus strict nécessaire et placées de manière à rendre les entreprises contre elles presque impossibles.

En troisième lieu, il faut attacher le plus grand prix aux dispositions qui préservent les défenseurs et le matériel, puisque la garnison n'aurait pas le moyen de réparer les dégradations souffertes. De là, la nécessité de couvrir soigneusement les maçonneries par des terrassements, celle de défiler toutes les parties de la surface inscrite, de multiplier les casemates et les abris voûtés, et d'empêcher les tentatives de destruction par la mine, au moyen du flanquement exact du pied des murs. Nous avons déjà fait observer qu'on facilitera une partie de ces exigences en occupant les points culminants du terrain. En effet, le défilement en deviendra plus aisé et l'on pourra se dispenser de multiplier les traverses. L'action du boulet sera moins à craindre, et même le ricochet deviendra parfois impossible ou inoffensif, et on obtiendra de hautes escarpes, avec un grand commandement sur le terrain environnant, sans dispendieux remblais pour les couvrir, et sans devoir recourir à deux feux étagés pour en défendre le pied. Si l'on avait à se garantir de vues dangereuses sur une seule direction, on chercherait à les inter-

cepter par la construction d'un réduit en parados, servant en même temps de caserne et de magasin, et c'est presque toujours une disposition recommandable, puisqu'on ne peut se passer d'abris voûtés à cause de l'exiguïté de la surface inscrite, et que dès lors il faut chercher à en tirer le plus grand parti. Seulement, il faut que la surface vue de ce réduit soit elle-même garantie par une masse de terre d'une épaisseur suffisante.

Si, sur quelques parties du développement, le terrain n'offrait pas d'emplacements favorables à l'artillerie de l'attaquant, circonstance qui se présentera fréquemment dans de pareilles localités, on ne manquerait pas d'en profiter, en proportionnant les défenses aux armes, c'est-à-dire qu'on remplacerait par des murs minces, élevés et non terrassés, les lourds revêtements habituels. Les créneaux et les mâchecoulis ajoutés aux embrasures faciliteraient un flanquement exact. Ainsi, la figure 3, planche X de la 3me partie offre l'exemple d'une tour proposée pour un site montueux totalement hors d'atteinte de l'artillerie ennemie. Les tours à la Montalembert, figure 4, pourraient être employées dans les cas analogues ou même encore, comme à Posen, sur un terrain environné d'inondations. Cependant, il faut étudier le terrain avec soin et dans tous ses détails pour se fier à l'efficacité des obstacles qu'il présente, et surtout ne pas se reposer sur la roideur des pentes ou l'aspérité des rochers, car il y a bien peu d'obstacles de ce genre véritablement insurmontables à l'industrie, secondée par un grand concours de forces. Nous ne considérons comme garantie certaine qu'une différence de niveau très-sensible, qui s'étend au delà de la portée du canon, au moins dans la limite des directions où celui-ci peut être utilement employé. Quant à des chemins impraticables à l'artillerie, l'expérience a montré qu'il n'y en a point qui ne puissent être rendus viables à force de temps et de bras. (Siége de Murviédro, l'ancienne Sagonte.)

Les communications doivent être assurées et faciles, et c'est un quatrième point; mais il est à observer que ces facilités ne doivent pas compromettre la sûreté; leur largeur sera proportionnée au nombre d'hommes auquel elles doivent servir. Aussi, quoique les rampes soient préférables aux escaliers, en général, vaudra-t-il souvent mieux appliquer des escaliers que des rampes, afin d'opposer un obstacle de plus aux attaques en masse; si on se sert des dernières, il ne faut pas négliger de les interrompre par des hahas, dont la manœuvre sera placée sous le feu à bout portant de quelque ligne de la fortification, d'une casemate ou d'une batterie inaccessible.

Enfin la dernière condition, et peut-être la plus difficile à remplir, c'est l'action des fortifications sur le terrain environnant, c'est-à-dire qu'il faut battre tout le terrain extérieur, de feux efficaces, pour que l'ennemi ne puisse pas se glisser entre les ouvrages, les isoler et les détruire les uns après les autres, ou arriver inaperçu jusqu'au pied des glacis et commencer son attaque par les dernières batteries usitées dans une approche régulière. Quand on occupe plusieurs points, il est parfois possible d'arriver à ce résultat, faisant flanquer par l'un les approches de l'autre et réciproquement, leur éloignement favorisant l'action des feux plongeants, mais c'est rare lorsqu'il s'agit d'un ouvrage isolé, la courbure du sol en dérobant toujours quelques parties aux vues des parapets. D'ordinaire, on est obligé d'employer plusieurs enceintes, dont les inférieures éclairent les pentes, et sont protégées contre les revers et les enfilades par les supérieures. On est ainsi entraîné dans un développement d'ouvrages très-coûteux et souvent hors de proportion avec les faibles moyens de défense qu'on se propose d'y consacrer : il faut donc sacrifier une partie des avantages qu'on espérait obtenir; mais toujours est-il essentiel de bien connaître les limites des surfaces non battues, afin d'en apprécier les effets sur la conduite de l'attaque et de combiner la défense d'après cette donnée.

Nous ne nous engagerons pas dans la discussion de tous les cas particuliers; seulement nous en examinerons un, qui est d'un intérêt spécial pour notre pays, la défense des digues. Ici évidemment il s'agit d'ouvrages d'un très-petit développement et sans flanquement mutuel possible. On a voulu y appliquer les tours modèles, dont nous avons parlé plus haut, et l'instruction le dit expressément, mais il y a à cet égard plusieurs observations à faire. La première, c'est que le chemin couvert ne garantirait pas le parapet en maçonnerie, d'où partent les seuls feux d'artillerie que la tour puisse fournir, en sorte que l'extinction de ces feux suivrait rapidement l'établissement de l'ennemi, et qu'il ne faudrait pas quatre jours d'attaque, au lieu de quinze que l'approvisionnement fait supposer; en second lieu, les terrains endigués, bas et aquatiques, sont peu propices à des dispositions de magasin en contre-bas du sol, et il faudrait citerner tout l'étage inférieur, ce qui deviendrait extrêmement coûteux; enfin la tour n'offre pas une ligne de feu plus étendue que celle de l'établissement de l'ennemi sur la crête et les talus de la digue, et cet avantage est cependant un de ceux qu'on peut le plus facilement s'assurer, dans un pareil terrain. Nous croyons qu'il vaudrait mieux prendre un plus grand développement, en retran-

chant un étage, placer les magasins à l'intérieur et couvrir les pièces par un parapet en terrassement. L'eau dont on dispose suffira toujours pour mettre à l'abri d'escalade, du moins en été, et si elle gèle en hiver, il ne sera pas impossible de rompre les glaces de fossés qui n'ont pas un grand développement.

Quand le cours d'eau qui longe la digue n'est pas navigable et quand sa largeur et l'inondation riveraine sont si étendues que les maçonneries n'aient rien à redouter des effets de l'artillerie, autre que celle de la digue même, l'emplacement le plus favorable sera sans doute sur la crête de la digue, les fronts prolongés jusqu'au delà du pied des talus. De cette manière, on s'assurera la supériorité du feu, mais la dépense augmentera par la nécessité de remplacer la digue par des batardeaux, devant et derrière l'ouvrage. On le construira en un point où la digue se prolonge des deux côtés en ligne droite aussi loin que la portée des armes, afin de découvrir parfaitement les deux talus, ou, si de pareilles parties ne se trouvaient point, on la placerait de préférence sur une courbe convexe du côté du cours d'eau ; le talus de ce côté moins élevé au-dessus de l'eau et plus roide, offrant moins de facilité à l'ennemi pour s'établir et pour convertir la digue en parapet contre la tour.

Si le cours d'eau était un fleuve capable de recevoir des batteries flottantes, ou si sa largeur et celle des inondations n'excédaient pas la distance à laquelle l'artillerie peut agir avec efficacité contre des maçonneries, il faudrait, au contraire, établir la tour au bas de la digue du côté du polder, et l'environner d'une enceinte en terrassement, dérobant l'escarpe maçonnée aux vues du dehors. Cette enceinte deviendra alors ouvrage principal, et la tour un simple réduit, borné à son action intérieure ; mais lorsque le peu d'hommes destinés à la défense de ce point rend nécessaire de les renfermer dans le réduit, dont l'artillerie devra battre le terrain environnant, on le placera au sommet d'une courbe concave, afin qu'au delà d'une certaine limite le canon découvre les deux talus, et que l'enveloppe serve à éclairer le talus extérieur dans la partie que la crête de la digue dérobe aux vues du réduit.

Ces ouvrages peuvent devenir offensifs, lorsqu'ils sont placés à la tête des digues, en assurant le débouché sur un terrain propre aux manœuvres de toutes les armes. Ils prennent alors le caractère de tête de pont, et ce serait sous ce point de vue qu'il faudrait les considérer.

Les batteries cuirassées, presque indispensables désormais dans la marine, ne me semblent pas appelées à un rôle équivalent dans la fortification ordinaire, tant à cause de l'excessive dépense que parce que

l'ennemi pourra ordinairement en éluder les effets. Les coupoles tournantes seront en général d'une meilleure application que les batteries fixes. Mais les unes et les autres pourront souvent être employées, avec grand avantage, pour la défense des côtes et des fleuves navigables, quand il s'agit de défendre une passe obligée. Alors, les frais d'installation seront compensés par l'importance du but à atteindre, et par la certitude de le réaliser en temps de guerre. Quant aux coupoles en particulier, leur efficacité comparative s'y trouvera quadruplée, quelquefois même décuplée, par la faculté de multiplier les coups, dans un court espace de temps, sur des objets mobiles et animés d'une vitesse considérable.

La pl. VI représente quelques projets dûs à des officiers anglais ou belges (*voir* la légende des planches à la fin de ce volume). Ces divers ouvrages seraient-ils capables de produire des effets utiles proportionnés aux frais que nécessiterait leur construction? C'est ce que je n'ai pas la prétention de juger *à priori*. Les premières épreuves de guerre, si des fortins modelés sur ce type ont quelque jour à résister à une attaque sérieuse, démontreront plus nettement et plus sûrement leur véritable valeur militaire, que la plus habile phraséologie. Vouloir établir cette valeur sur les simples données fournies par des expériences de polygone, c'est, à mon avis, méconnaître les trois quarts au moins des conditions qui influent sur la solution du problème de la fortification.

Au nombre des circonstances où il est souvent convenable de s'écarter des formes de la fortification régulière, nous avons énuméré celle dans laquelle on aurait à restaurer une ancienne place. En effet, quand on rencontre une vieille enceinte en bonne maçonnerie, flanquée de tours et environnée d'un fossé, il est dur d'effacer à grands frais des ouvrages susceptibles de défense, moyennant quelques modifications, pour établir sur leurs ruines un tracé plus moderne. L'importance de la place doit ici guider l'ingénieur. Le désir de faire du nouveau ne doit pas l'engager à sacrifier ce qui existe, ni l'envie de faire une faible économie, en conservant ce qui est, le porter à se départir des conditions indispensables à une bonne défense. Nous n'hésitons pas à convenir, qu'à nos yeux, ces vieilles fortifications sont presque toujours un embarras plutôt qu'un avantage, et qu'il serait convenable de les considérer comme de simples accidents du terrain, qu'on efface s'ils gênent; mais souvent le temps presse et il s'agit d'utiliser ce qu'on a sous la main, afin de ne pas être débordé par les événements. Ici encore

il faut tenir en vue les principes généraux, la sécurité contre un coup de main, assurée par de hautes escarpes ou de larges et profonds fossés. Souvent les hautes murailles existent (*voir* le plan de Cologne, pl. VIII, fig. 5, de la 3me partie), mais le flanquement est défectueux; alors l'industrie de l'ingénieur s'exercera principalement sur les moyens de le leur procurer, soit en perçant des embrasures dans quelque partie retirée, soit en ajoutant une partie saillante. A défaut de flanquement par le canon, on se créera un flanquement de mousqueterie, au moyen de murs de ronde ou même de mâchecoulis, suivant les procédés que nous avons déjà indiqués dans la fortification passagère, sauf les modifications que la permanence des ouvrages exige. Si les murs n'étaient pas assez forts pour supporter la poussée d'un rempart et la surcharge d'un parapet, on les renforcerait en jetant des voûtes entre leurs contre-forts; ou bien, on les renforcerait à l'intérieur au moyen de murs en mortier de terre grasse, en pierre sèche ou en simple pisé. L'utilité de ces dernières constructions ne se bornerait pas à diminuer la poussée, mais à rendre les brèches plus difficiles à ouvrir, surtout si le pisé avait une grande épaisseur, parce qu'au bout de quelque temps, la terre grasse forme une masse très-compacte et très-tenace, dans laquelle les boulets ouvrent des trous sans causer d'éboulements; enfin, on peut aussi former des revêtements en fascinage derrière le mur, et ces revêtements offriront encore un escarpement suffisant pour forcer l'ennemi à des dispositions nouvelles, lorsque l'effet de ses batteries aura fait crouler le mur d'enceinte.

A cause de la faiblesse même de ce mur, il devient important d'avancer vers la campagne une nouvelle série d'ouvrages, dont les terrassements dérobent la vue des maçonneries en arrière aux batteries éloignées. Autant que possible, on entourera ces ouvrages de fossés pleins d'eau, afin d'en faciliter la surveillance, et en les séparant, pour être défendus successivement, on les disposera de manière à intercepter tous les feux qui, de leur contrescarpe, seraient dirigés contre l'enceinte, devenue réduit central. Ensuite, on s'assurera la possession des rentrants et des saillants de cette contrescarpe au moyen de places d'armes entourées d'un glacis et soutenues par des réduits à l'épreuve, afin de créer des communications avec la campagne, en même temps qu'on établira de bonnes communications entre les divers ouvrages. Si nous y joignons encore la recommandation de défiler les remparts et de se préparer des abris à l'épreuve, vous verrez que tout ce que nous venons de dire n'est qu'une amplification des règles posées précédemment.

Ajoutons-y encore la réflexion, que l'ennemi ne tire pas sur ce qu'il ne voit pas, et qu'il n'est pas indispensable de couvrir une communication par un parapet à l'épreuve, pourvu qu'on puisse intercepter les vues par une haie, une rangée d'arbres touffus et même des toiles soutenues par des perches, cet expédient ayant été tenté plusieurs fois et toujours avec un plein succès.

Les défauts les plus habituels des vieilles places bastionnées sont, un défilement vicieux, un flanquement imparfait, des maçonneries vues en tout ou en partie, des ouvrages étranglés, le manque de locaux à l'épreuve, enfin une découverte incomplète du terrain environnant. On essayera de remédier à la fois au premier et au dernier de ces défauts par des changements apportés à la position des lignes de feu, en s'aidant, au besoin, des abris voûtés ou blindés qui serviront à corriger le quatrième et le cinquième. On obviera au second par la construction de casemates sous les flancs de l'enceinte ou de la tenaille, si l'on ne peut y parvenir en relevant le fond des fossés en glacis, sans causer d'autres défauts plus graves encore, comme des escarpes d'une hauteur insuffisante. Quant au troisième, il sera presque impossible de le détruire autrement que par la construction d'ouvrages au delà du fossé. L'interposition de contre-gardes a déjà été recommandée, et quand les localités s'y prêtent, c'est un expédient qu'on peut utilement employer pour intercepter les vues par le fossé de la demi-lune, rétrécissant le fossé capital, prolongeant la contre-garde jusqu'au prolongement de la face de la demi-lune, et la réduisant à la simple épaisseur d'un masque dans cette partie, afin de pouvoir tirer sa défense du flanc de l'enceinte. Mais comme cette addition diminue le rentrant devant le bastion, elle entraîne l'addition de lunettes ou demi-lunes extérieures en capitale du front, afin de mettre obstacle au couronnement simultané des trois saillants. Vous voyez à quelle extension d'ouvrages on se trouve conduit, extension qui commande une augmentation de garnison et de matériel, toujours regrettable. Sous ce rapport, il serait préférable de détacher les bastions pour en former des contre-gardes, dont dès lors on pourrait diminuer la hauteur d'escarpe sans inconvénient, pourvu que celle du corps de place restât à l'abri d'escalade, procurant à cette enceinte un flanquement, par la construction de tours bastionnées en capitale. Des traverses au droit du fossé de la demi-lune seraient toujours d'un bon effet, mais les brèches dans les contre-gardes n'auraient pas les suites graves des brèches dans les bastions non retranchés. Il va sans dire que l'addition d'une tenaille, revêtue en partie ou entièrement en terrasse-

ment, doit garantir les maçonneries de la courtine et compléter le masque pour empêcher les retranchements d'être tournés.

Enfin, une considération importante et qu'il ne faut jamais perdre de vue, c'est qu'il est très-probable que la garnison des places se composera désormais, en grande partie ou en totalité, de gardes civiques ou autres corps de citoyens armés, la mobilité des armées ne permettant pas d'affaiblir les forces actives, en jetant des garnisons suffisantes de troupes réglées dans toutes les places que l'ennemi peut menacer à la fois. Cette réflexion doit rendre très-retenu dans l'addition d'ouvrages extérieurs et dans l'adoption de toute disposition défensive, qui pour être mise en valeur, exige une garnison vigoureuse et aguerrie.

Plus est grande la probabilité qu'on devra défendre les ouvrages de fortification avec des troupes inexpérimentées, sous des chefs également sans expérience, et plus il devient nécessaire d'opposer à l'ennemi de nombreux et sérieux obstacles matériels. C'est donc alors surtout que les murs de revêtement seront indispensables. La possibilité d'endommager ou d'ébrécher ces murs, de près ou de loin, par l'artillerie ou par la mine, n'infirme point cet important principe ; car la défense contre l'assaut d'un ouvrage revêtu, même quand il y a brèche, sera toujours beaucoup moins précaire, moins périlleuse et plus sûrement efficace, si elle est bien dirigée, que dans l'hypothèse où le même ouvrage serait dépourvu de revêtement.

§ V.

INFLUENCE DES PLACES

SUR LA DÉFENSE DES ÉTATS.

25me LEÇON.

ORGANISATION DES FRONTIÈRES.

SOMMAIRE.

Organisation des frontières chez les anciens; camps permanents, colonies militaires. — Données topographiques, statistiques, militaires et politiques exigées pour l'établissement d'un système de défense. — Classification des contrées sous le rapport topographique. — Défense d'un pays de plaine, basée sur les eaux ; défense d'un pays de montagnes, dépendant de la possession des défilés ; défense d'un pays varié, par l'occupation de positions successives; défense d'une frontière maritime, bornée à celle des rivières navigables, des ports et rades.— Influence du climat.— Considérations statistiques; modifications résultant de la fertilité des provinces frontières, du nombre et de l'espèce d'hommes, des fabriques d'armes et des moyens de transport. — Considérations militaires. — Idées des divers auteurs. — Systèmes de Cormontaigne, de Rogniat, de Sainte-Suzanne, de Duvivier et de Machiavel. — Opinion du grand Frédéric, de Napoléon, de Wellington et de l'archiduc Charles; prescriptions de ce dernier. — Préceptes déduits des faits et des raisonnements.

Après avoir vu comment les forteresses devaient être établies suivant les diverses circonstances locales et les besoins de la défense d'un point isolé, tâchons d'apprécier leur action réciproque et leur influence sur la force militaire des États; examinons, en un mot, comment la défense d'une frontière doit être organisée, suivant la forme du pays, sa richesse et la puissance militaire et politique de l'État auquel elle appartient, pour pouvoir y conduire la guerre avec avantage dans les diverses hypothèses des guerres offensives et défensives : question ardue, hérissée de difficultés de toute espèce, envisagée en différents temps sous les aspects les plus opposés, et qui, par sa nature et son

étendue, semble plutôt le sujet des méditations des chefs de l'État, que des officiers d'une arme spéciale, mais sur laquelle il importe d'arrêter les idées, tant pour prémunir contre des sophismes trop répandus, qu'afin de faciliter l'appréciation du rôle que chaque place est appelée à jouer.

La fortification des frontières, comme celle des places, a varié suivant les armes des combattants et la constitution de la guerre. Lorsque les armées n'étaient pas alourdies par un matériel immense, quand chaque localité où se trouvait du bois et du fer leur présentait les moyens de fabriquer et de recompléter leurs armes, tant qu'un rempart en terre, hérissé de pieux, a constitué une place forte et exigé un siége en forme, des troupes qui portaient à dos pour plusieurs jours de vivres pouvaient passer partout, n'étaient astreintes à aucune direction déterminée, et en peu d'heures créaient des places fortes, pour abriter les malades et les blessés ou attendre, à l'abri d'attaque, les renforts et les convois de leur pays. Contre des armées aussi mobiles, il ne pouvait exister de barrières sûres que celles fournies par la nature, les mers, les grands fleuves et les chaînes de hautes montagnes, ou bien il fallait former des lignes continues, d'un profil assez respectable pour arrêter le flot de l'invasion et donner à l'armée défensive le temps de se réunir en face de l'agresseur. Telles étaient les murailles élevées en Écosse par les Romains contre les Pictes, *Alexandri severi vallum*, de 12 lieues de longueur, à la hauteur d'Édimbourg, et *Adriani vallum*, de 16 lieues à la hauteur de Newcastle ; telle est encore la fameuse muraille de la Chine, de 400 à 500 lieues de longueur, qui couvre le cœur de l'empire chinois contre les incursions des tartares Mongols et qui se termine à l'Est par une barrière de pieux de 180 lieues d'étendue. Comme les mêmes causes produisent toujours les mêmes effets, tel est le système de fortification proposé dernièrement par le général Rogniat, pour la défense de l'Algérie contre les déprédations des hordes arabes. Quand un obstacle naturel suppléait aux défenses artificielles, on établissait en arrière, à la distance convenable, à portée des principaux accès, des camps volants (*alata castra*) ou permanents (*exploratura castra*) ou des colonies militaires, dont les habitants, astreints au service militaire, étaient toujours prêts à prendre les armes, afin de se porter au devant de l'ennemi en rase campagne et de le rejeter au delà de la frontière. On érigeait des citadelles sur des sommités, en pleine campagne, comme fit Agricola en Angleterre ; on construisait des tours et des forts le long des routes militaires. On entourait, en outre, de murs toute agglomération

d'habitations, ville, bourg ou village, pour soustraire les biens des habitants au pillage et leurs personnes à l'esclavage ou à la mort, en même temps que pour offrir un asile aux cultivateurs des campagnes environnantes. La seule considération qui semble avoir présidé au choix de l'emplacement de ces camps, était la facilité de les pourvoir d'eau et de bois et d'y réunir des vivres, en les plaçant sur le cours d'une rivière, à peu de distance d'une forêt et à proximité des terres cultivées. Les écrivains militaires de l'antiquité, comme Polybe, César, Végèce et Frontin, ne mentionnent pas d'autres motifs que ces circonstances locales, et la nécessité de contenir des alliés douteux ou, encore, d'être à portée de quelque peuplade plus remuante, plus belliqueuse ; mais nulle part on ne trouve de traces d'une action réciproque ou d'une combinaison entre les points fortifiés.

L'historien Sismondi (chute de l'empire romain) fait remarquer que cet empire en déclin résista longtemps aux invasions par la seule influence de ses frontières naturelles; grands fleuves, comme le Rhin et le Danube, le Tigre et l'Euphrate ; hautes montagnes, comme le Caucase, l'Atlas; mers, comme le Pont-Euxin et l'Océan ; déserts, comme l'Arabie et les sables d'Afrique, etc. Dans son ensemble, et en y comprenant la Mongolie, l'empire chinois est protégé à l'Est par la mer et sur toutes ses autres frontières par de hautes chaînes de montagnes. C'est à cette circonstance sans doute qu'il faut attribuer, en partie du moins, la durée de son existence, dont l'origine remonte aux premiers âges du monde.

Pendant le moyen âge, et jusqu'au XVII^e^ siècle, la gendarmerie et les chevaliers, qui constituaient la force principale des armées, n'avaient pas une organisation propre à des siéges ou à la défense des places, et les frontières étaient couvertes seulement par les armées. Les murs des villes offraient bien des obstacles presque insurmontables, mais leur action était bornée à la surface enceinte. Aussi les contrées les mieux pourvues de défenses naturelles, par exemple, la populeuse Italie, étaient-elles aussi rapidement conquises, malgré le nombre de leurs villes fortifiées, que subitement évacuées, lorsque l'effet du climat et l'action du temps avaient fait fondre les armées envahissantes. La fortification des frontières se bornait à l'établissement d'une série de postes d'avertissement, consistant presque toujours en tours érigées sur les côtes, à la tête des ponts, ou sur les hauteurs culminantes des montagnes, et destinées à donner l'alarme lorsqu'un agresseur se présentait.

La constitution féodale divisait d'ailleurs l'Europe en un nombre infini de petits États confédérés et nuisait à l'exécution des mesures d'ensemble, que la défense de toute ligne étendue suppose. Ce n'est que lorsque l'établissement des armées permanentes eut concentré le pouvoir entre les mains du chef de l'État et miné celui de ses grands vassaux, qu'on vit des princes assez puissants pour coordonner la construction simultanée de plusieurs forteresses avec l'ouverture des routes et la disposition des communications fluviales. C'est donc alors seulement que les ingénieurs purent porter leurs vues au delà de la défense des points isolés et les étendre aux combinaisons que présente une frontière entière. Aussi, les premiers auteurs qui s'en soient occupés datent-ils du commencement du XVIII^e^ siècle ; encore les modifications introduites dans l'état politique et militaire des peuples, depuis cette époque, ont-elles apporté d'immenses différences dans la manière dont la question doit être envisagée actuellement. Les armées sont infiniment plus lestes et plus manœuvrières, le pouvoir plus centralisé et surtout plus national. Presque toutes les guerres, de dynastiques sont devenues nationales, et nous ne tarderons pas à voir quelle influence cette considération politique a sur la direction à donner à l'attaque et à la défense. Occupons-nous d'abord de celles tirées de la situation topographique, statistique et militaire de la contrée.

Les considérations topographiques se rapportent à la nature du sol, montueux ou plat, coupé par des cours d'eau, marécageux, sec, boisé ou découvert.

Les considérations statistiques ont pour objet la fertilité ou la stérilité du pays, sa population, les moyens de subsistance et de transport qu'il présente, la nature des constructions, etc.

Dans les considérations militaires, on compare la force absolue et relative des frontières, suivant la nature et la configuration du sol, le rapport entre les ressources en hommes et en machines de guerre exigées pour leur défense et celles de l'État à qui cette frontière appartient, l'emplacement des forteresses sur la limite du pays ou dans son intérieur, l'importance qu'il convient de leur donner, la force des garnisons, la possibilité de les remplacer par des colonies militaires ou des camps retranchés.

Les considérations politiques se tirent de la position du gouvernement envers le peuple et des relations entre l'État et ses voisins.

Chaque espèce de terrain offre à l'attaque et à la défense des avantages spéciaux, et la fortification sera d'autant mieux établie qu'elle

tirera plus de parti du sol, pour utiliser les uns et neutraliser les autres. Nous allons examiner les ressources qu'on peut tirer de la situation topographique, en suivant Bousmard, qui a consacré tout un livre de son excellent ouvrage à cet important sujet, et auquel nous aimons à rendre hommage, quoique nous ne puissions nous rallier à son opinion sur plusieurs points de la question qui nous occupe.

Sous le point de vue topographique, on distingue quatre espèces de frontières, les pays de plaine, les pays de montagne, les pays coupés et ondulés, et les frontières maritimes.

Dans les pays de plaine, le seul obstacle que la nature présente à la marche d'une armée envahissante consiste dans les cours d'eau qui les coupent en divers sens. Le but de la fortification sera donc d'utiliser cette défense naturelle, en s'assurant les moyens de gonfler les rivières et les ruisseaux, de tendre des inondations et de resserrer, par leur moyen, le terrain praticable pour le mouvement des masses armées, d'établir des communications libres et faciles derrière les lignes de défense et d'interrompre celles qui sont devant, enfin de conserver des passages sur les cours d'eau infranchissables et la faculté de se porter en pays ennemi, tout en fermant ces passages à un agresseur et lui interdisant l'accès vers l'intérieur de l'État.

A cet effet, si une rivière coule parallélement à la frontière, on établira des places fortes à cheval sur son cours, formant tête de pont sur les deux rives, de préférence aux points où d'autres cours d'eau, rivières navigables ou gros ruisseaux, viennent s'y embrancher, en face des îles qui se trouvent dans le fleuve principal, avec des têtes de pont dans ces îles, qui sont les localités les plus favorables pour tenter un passage. Si les rivières navigables sont perpendiculaires ou obliques à la frontière, on maîtrisera leur cours par plusieurs places fortes échelonnées, les communications par eau étant tellement avantageuses pour l'alimentation des armées, le transport de la grosse artillerie et des magasins de toute espèce, que l'ennemi choisira sans aucun doute, de préférence, leur direction pour ligne d'opération. Lorsque deux cours d'eau sont perpendiculaires à la frontière et parallèles, on cherchera une position avantageuse entre les deux, la couvrant par des lignes appuyées aux places fortes, par lesquelles on a maîtrisé la communication fluviale; et si l'intervalle était de plusieurs marches, on occuperait le sommet du plateau, indiqué par les sources des ruisseaux qui coulent en sens opposé, et on y construirait une forteresse, qui couvrirait les lignes ou à laquelle celles-ci s'appuieraient. Cet emplacement

serait encore plus sûrement déterminé, s'il existait entre ces deux rivières un canal à point de partage, alimenté par une troisième rivière ou de gros ruisseaux. Ce seraient alors les écluses au point de partage qu'il faudrait entourer de fortifications, pour pouvoir déverser les eaux à volonté dans l'un ou l'autre bassin, afin d'y renforcer les obstacles préparés à la marche de l'ennemi. Ces obstacles seront d'autant plus puissants, que, dans des terrains pareils, la pente des eaux étant faible, il est facile de leur donner une grande profondeur, et qu'en disposant convenablement le profil des digues, par lesquelles on doit les contenir sur une partie de leur cours, on crée d'excellents retranchements, l'eau qui les précède les rendant inabordables. Vous vous rappelez, sans doute, ce que nous avons dit des lignes continues dans nos leçons sur la fortification passagère, et de l'exception faite quant aux inconvénients de leur application, en faveur des terrains de plaine, coupés de cours d'eau et précédés d'inondations.

L'ingénieur chargé de la défense d'une pareille frontière s'attachera donc de préférence à l'étude de sa constitution hydrographique. Il reconnaîtra soigneusement la pente des eaux, ainsi que les accroissements qu'elles reçoivent à différentes époques, et, d'après les niveaux des terrains avoisinants, il combinera les moyens de les convertir en bassins inondables, par des digues et des écluses. Il tracera en même temps les communications terrestres et fluviales, qui donneront à l'armée défensive la faculté de circuler rapidement et à couvert, parallélement derrière la ligne adoptée, comme aussi d'y arriver des places de dépôt, situées plus près du cœur de l'État; et il avisera aux moyens de limiter les accès de l'ennemi, en le forçant à suivre certaines directions. Après avoir ainsi disposé son terrain, il entourera de fortifications permanentes les nœuds des communications établies, les points d'intersection des routes et des canaux et les écluses d'inondation, donnant plus de force et de développement à celles qui maîtrisent la navigation vers l'intérieur du pays.

Comme la défense la plus énergique consiste dans une offensive bien dirigée, on occupera également en force et on fortifiera avec soin les têtes de défilé, qui donneraient à l'armée défensive la faculté de passer sur le territoire ennemi. Ce seront encore ici les arêtes entre deux bassins hydrographiques qu'on choisira de préférence, puisque les affluents des rivières ne présenteront pas près de leur source des masses d'eau capables d'entraver des mouvements d'armée, à moins que ces sources n'alimentent des marais, comme il arrive fréquemment, les

eaux ayant d'ordinaire une pente plus faible vers leur source qu'à un ou deux myriamètres au-dessous, en quel cas, ce seront les points voisins du rétrécissement du lit des affluents qu'il faudra disposer offensivement.

Les passages à travers de vastes forêts et les défilés des pays de marais doivent aussi être occupés par des places fortes, et il en est de même des plateaux qui, comme celui de Langres vers la frontière orientale de la France, donnent naissance à plusieurs rivières importantes et forment la clef de leurs vallées; car, il y a toujours grand danger à laisser l'ennemi s'établir sur une position d'où il menace la contrée environnante dans différentes directions.

Si la frontière à fortifier se trouvait en pays de montagne, on se dirigerait suivant les mêmes principes, en substituant seulement l'obstacle résultant de l'escarpement et du peu de viabilité des routes, à celui qu'on tirait de l'eau dans les terrains aquatiques. Ainsi on choisira une vallée longitudinale, parallèle à la frontière ou faisant avec sa direction un angle fort aigu; cette vallée sera la ligne défensive. On étudiera ensuite avec soin toutes les vallées transversales, les cols, les routes et les sentiers qui donnent accès dans cette vallée, surtout ceux qui, coupant la base défensive, se prolongent vers l'intérieur du pays, et on interceptera par des fortifications permanentes les débouchés les plus importants, tandis qu'on se repose, pour l'occupation des accès secondaires, sur les travaux de campagne, à exécuter au moment de la guerre. Il est à observer que la nature des matériaux de construction, suppédités par de pareils terrains, les roches et les pierres dures, donne cependant un caractère de permanence aux travaux les plus éphémères, en sorte qu'il devient facile de convertir les redoutes et les lignes en fortifications inexpugnables, par l'addition de réduits maçonnés et casematés. A Rivoli, Alvinzi fit marcher une colonne par la rive gauche de l'Adige. Elle était commandée par Wukassowich et forte de 6 bataillons. Arrivée sur la Chiusa, elle y fut arrêtée tout court par 30 hommes en garnison dans ce fort et ne servit à rien. (Napoléon, *Mémoires,* tome IV, p. 334.) Comme en plaine, les points les plus importants, qui réclament les fortifications les plus développées, sont ceux où plusieurs vallées se réunissent ou se coupent, puisque leur occupation donnera le moyen de prévenir l'ennemi sur tout autre point de la ligne et couvrira à revers les autres vallées, si l'agresseur était parvenu à pénétrer dans l'une d'entre elles. Comme en plaine, les routes transversales, qui donnent accès vers l'intérieur du pays, doivent être occu-

pées par plusieurs places successives, pour que la chute d'une seule n'assure pas à l'ennemi la possession de tout le défilé, possession d'autant plus importante qu'il sera plus difficile de la lui ravir, s'il vient à s'en emparer. Enfin, il faut également conserver ici les moyens de faire diversion et d'arrêter tout court un ennemi déjà vainqueur, en l'attaquant dans ses propres foyers, et c'est à quoi serviront des places établies sur le versant des montagnes, à l'issue des vallées vers le pays voisin; mais on doit prendre garde de les compromettre, en les avançant assez loin pour que l'ennemi puisse intercepter leurs communications, par un corps souvent peu nombreux, porté sur quelque position importante, facile à défendre et difficile à emporter, telle que les pays de hautes montagnes en offrent fréquemment. Cette nature de sol étant peu fertile, il est encore indispensable de placer au pied de la chaîne à l'intérieur une ou plusieurs grandes places de dépôt, dans lesquelles on puisse accumuler, sans danger, les subsistances et autres approvisionnements dont l'armée chargée de la défense du pays de montagne aura besoin.

Mais si la frontière présente un pays varié, de hauts coteaux séparés par des ondulations larges et des pentes douces, coupés de routes en sens divers, couverts de bois peu étendus, de villages et d'habitations éparses, comment parviendra-t-on à y établir une ligne de défense, comme celle que nous venons de décrire dans les paragraphes précédents? Nous convenons de bonne foi que nous n'y voyons aucun moyen, ces lignes présentant trop de points accessibles pour les occuper tous simultanément, en sorte qu'en voulant trop entreprendre on ne réussirait à rien. Ce n'est pas néanmoins une raison pour renoncer à se défendre, ni pour rejeter les ressources que les fortifications présentent; mais les considérations qui président à leur emplacement sont moins simples, et il faut étudier avec plus de soin encore tous les détails et tous les accidents du terrain, pour saisir ceux qui sont favorables à la défense et en tirer le meilleur parti. L'objet qui attirera d'abord l'attention, ce sont les routes, surtout les routes de fer ou pavées ou empierrées, seules toujours viables, et les cours d'eau navigables, comme étant les moyens de communication que les armées sont forcées de suivre. On cherchera à reconnaître les positions qui commandent les plus importantes d'entre elles, ainsi que les moyens de passer avec sûreté et rapidité de l'une à l'autre; ces positions deviendront certainement les pivots des mouvements des armées, et il s'agira de s'en assurer la possession par des constructions permanentes. Les fortifications corrigeront

ce que les positions ont de défectueux et en créeront souvent, en donnant un appui au flanc ou au dos de l'armée défensive, là où les autres circonstances locales, la disposition des hauteurs, la pente des eaux, ou seulement l'étendue des plateaux, n'auraient point permis, sans cela, de s'établir. La bonté des positions étant relative et dépendant surtout des forces qui doivent les occuper, les considérations topographiques seront ici subordonnées à beaucoup d'autres, qui influeront plus qu'elles sur le choix des points à fortifier.

Quant aux frontières maritimes, les principales données topographiques seront les embouchures des cours d'eau navigables, les ports, les rades intérieures ou foraines, soit isolées ou couvrant des ports, les plages de débarquement et les mouillages, sans négliger les îles près des côtes, qui sont un objet de la plus haute importance, pour empêcher l'ennemi d'y former des dépôts, et pour faciliter les manœuvres de la marine. Il faut, de toute nécessité, empêcher l'ennemi de remonter les fleuves et, pour cela, choisir près de l'embouchure des points avancés, caps ou promontoires, qui interceptent directement ou obliquement la direction des chenaux principaux, afin de les battre suivant leur longueur. Les batteries qu'on dispose sur ces emplacements avantageux doivent être fermées à la gorge, pour n'avoir rien à craindre d'un débarquement, et contenir un réduit casematé, tour ou redoute maçonnée, dans laquelle la garnison peut se retirer au besoin; souvent alors elles se transforment en forts ou fortins, très-utiles surtout à l'entrée des rades intérieures, dont ils battent le goulet de feux croisés (*voir* la fig. 7, pl. VI, de la 3e partie). Quelques batteries, placées à portée des mouillages, suffisent pour en rester maître, car jamais armée navale ne jettera l'ancre sur un point où les projectiles de la côte peuvent l'atteindre; mais il faut d'autres moyens pour couvrir les arsenaux de constructions maritimes et les grands ports de commerce; comme nous l'avons vu dans une leçon précédente, ces ports, ces arsenaux, détermineront la position des places fortes. Il suffira d'ordinaire de leur donner une enceinte à l'abri des coups de main. Mais il conviendra quelquefois de l'entourer d'une ou de deux lignes de forts détachés, afin d'empêcher que l'ennemi ne les bombarde après un débarquement. On établira ces places de préférence sur des sites élevés, pourvu qu'il y ait de l'eau en abondance, afin que les fortifications n'aient pas à souffrir des feux d'une artillerie supérieure et ne soient pas commandées par la mousqueterie des hunes. Sur les fleuves navigables à une grande distance dans l'intérieur du pays, pour des bâtiments de haut bord, une

seule place ne serait pas suffisante, et il faudra les redoubler, de crainte qu'une armée de débarquement ne prenne le fleuve pour ligne d'invasion, sa marine supérieure lui assurant la liberté des communications et la largeur du cours d'eau la mettant à l'abri des opérations sur un de ses flancs, ce qui lui permettrait de s'avancer avec plus de hardiesse. Ceci serait indispensable surtout si le cours du fleuve suivait la direction des frontières à deux ou trois marches dans l'intérieur, puisque l'armée navale combinerait alors ses mouvements avec ceux de l'armée de terre, et celle-ci marcherait avec confiance, sûre de retrouver une nouvelle ligne d'opération à quelque distance de sa base, si la première venait à être interceptée. C'est aussi d'après cette considération qu'on appuie par plusieurs places successives l'extrémité d'une frontière qui aboutit à la mer, le soutien d'une flotte maîtresse de la mer étant un des plus énergiques qu'une armée offensive puisse espérer. En 1707, l'armée victorieuse du prince Eugène de Savoie assiégea Toulon, avec le concours d'une escadre anglo-hollandaise, qui menaça la place du côté de la Méditerranée.

Enfin, il faut occuper par des ouvrages permanents, des places fortes ou des forts, les îles qui se trouvent à peu de distance de la côte et qui ont des ports; car si l'ennemi venait à s'en emparer, il en ferait des places de dépôt, d'où il menacerait incessamment le littoral, en même temps qu'il intercepterait le cabotage, commerce d'un si haut intérêt pour les provinces maritimes; et quoique les petits débarquements, les extorsions et les pillages qui les accompagnent, ne puissent guère avoir d'influence sur l'issue d'une guerre, quoique, sous le point de vue militaire, les expéditions transatlantiques aient fort peu de chances de succès, il importe fort à la conservation de la tranquillité et de la prospérité intérieures de prévenir ces courses et ces déprédations, à quoi l'occupation permanente des îles contribue puissamment.

On a fait une remarque très-importante au sujet des invasions maritimes : c'est que si la navigation à vapeur les a rendues plus redoutables, les chemins de fer, par compensation, et la télégraphie électrique, sont de puissants auxiliaires pour les déjouer.

Nous croyons devoir borner ici les considérations topographiques, les autres faces de la question devant nous ramener encore le même sujet, mais sous un autre aspect; car la distinction n'est pas tellement tranchée, qu'on puisse traiter la question militairement sans revenir à la topographie de la frontière, ou se livrer aux considérations statistiques, en les séparant complétement de celles qui sont du ressort de la poli-

tique, et ainsi des autres données du problème, en sorte que nous retrouverons plus tard ce que nous aurions négligé à présent.

Cependant, il en est encore une de la plus haute importance et que, par cette raison, nous devons mentionner spécialement : c'est le climat. Seul il suffit parfois à la défense d'une frontière, ou, du moins, il donne aux ouvrages les moins respectables un degré de force tel, qu'ils peuvent repousser les plus formidables invasions. Ainsi dans les chaînes de hautes montagnes et sur les plateaux très-élevés au-dessus du niveau des mers, le froid et la neige bornent le temps pendant lequel les communications sont libres à quatre ou cinq mois de l'année, et si les fortifications ont une force suffisante pour arrêter une armée pendant ce laps de temps, il est évident que la mauvaise saison forcera l'agresseur à se retirer, avant d'avoir pu surmonter les obstacles qui lui sont opposés et se fixer sur le sol. Nous n'entendons pas seulement par là des forteresses capables de soutenir un siége de quatre à cinq mois, puisqu'il est bien évident que l'armée d'invasion n'osera jamais dépasser la chaîne de montagnes, si elle n'est pas sûre de terminer son expédition pendant la courte durée de la campagne et de s'emparer de tous les points qui entraveraient la liberté des communications pendant le long hiver. Dans les contrées tropicales, c'est la chaleur, au contraire, qui paralyse les mouvements agressifs une grande partie de l'année et ne laisse aux travaux guerriers que quelques heures de chaque jour. Dans plusieurs pays, surtout vers l'embouchure des fleuves qui traversent des plaines fertiles et coulent sur un fond argileux, les émanations des résidus qu'ils déposent à la marée montante, successivement trempés par les eaux de la mer et exposés à une grande chaleur, sont si délétères, qu'il suffit de retenir quelque temps l'ennemi sur un pareil terrain et de l'exposer à cette pernicieuse influence, pour le détruire plus sûrement que par le fer et par le feu. Le siége de Hulst, en 1794, coûta aux républicains français 18,000 hommes, enlevés par les fièvres, tandis que le feu des assiégés n'en atteignit que 700 environ. Un séjour de deux mois en Zélande, en 1809, détruisit l'armée expéditionnaire anglaise, quoiqu'elle n'eût guère trouvé d'ennemis à combattre. Je pourrais citer encore l'armée française à Saint-Domingue, en 1800-1801, détruite par la fièvre jaune, en une seule saison, et bien d'autres. Il est évident que l'assistance d'un pareil auxiliaire dispense de beaucoup d'autres secours.

Par contre, le froid et la chaleur peuvent prêter aux attaques un surcroît de force contre lequel il convient de se précautionner. Ainsi

serait-on fort imprudent de se fier à la défense produite par une inondation, dans un pays où la rigueur du climat solidifie la surface de l'eau pendant plusieurs semaines, ou dans lequel la chaleur évapore en peu de jours celle répandue sur les terres. Dans la fameuse campagne d'hiver, de 1794-1795, les Hollandais virent aplanir, par la gelée, la formidable barrière qu'opposent, en toute autre saison, leurs rivières redoublées et les inondations qu'elles alimentent. En 1812, l'empereur Napoléon se serait peut-être arrêté à Smolensk, jusqu'à l'organisation complète des provinces polonaises, si rapidement conquises, s'il n'avait prévu que le Borysthène et la Duna abriteraient mal ses cantonnements pendant l'hiver de la Russie; et il serait facile de trouver des exemples, où la chaleur a joué le même rôle que le froid dans ceux que nous venons de citer. Vous jugez combien cette circonstance topographique doit, par cela même, modifier les principes que nous avons posés, sur la fortification des frontières en pays de plaine et en pays coupé, puisqu'elle renverse tout ce que nous avons dit, relativement aux obstacles qu'un emploi habile des eaux courantes permet d'opposer à la marche de l'ennemi, et l'influence qu'elle exerce également sur la fortification des chaînes de montagne, suivant leur élévation et le temps qu'elles restent praticables.

Les considérations statistiques se lient étroitement à celles que nous venons de développer, la fertilité et la stérilité des contrées dépendant en grande partie de leur climat. Un pays fort chaud ou très-froid est rarement productif, et sa population croît d'ordinaire avec sa richesse.

Mais des forteresses mal munies d'approvisionnements de guerre et de bouche, ayant une faible garnison et sans espoir d'être secourues, ne produiraient pas l'effet qu'on pourrait s'en promettre. Si la contrée est aride, peu peuplée et dépourvue d'industrie, on se procurera fort difficilement les approvisionnements requis, et il sera parfois tout à fait impossible de réunir une armée de secours proportionnée aux masses envahissantes. Pour rendre permanente l'action des fortifications, le système de défense des frontières doit être basé sur les ressources ordinaires de l'État et ne pas exiger des sacrifices, qui ne tarderaient pas à les épuiser. Or, la statistique fait connaître ces ressources; elle énumère la quantité de grains, de fruits, de bestiaux et d'autres produits que présente le pays, surtout dans le voisinage des places fortes, et ce qu'il faut en distraire pour les semailles et la subsistance des habitants; de plus, combien la population fournit annuellement de jeunes gens au recrutement et leur répartition entre les diverses pro-

fessions. Il serait imprudent de compter sur les ressources du commerce extérieur, pour l'approvisionnement des forteresses et la subsistance de l'armée, puisque les événements politiques pourraient tarir cette source au moment même où l'on voudrait y avoir recours. Il faut donc baser le calcul des approvisionnements disponibles sur les denrées emmagasinées et sur la partie de la production qui excède la consommation habituelle des indigènes. Il n'est pas à prévoir que l'excédant d'une seule année suffira, mais il est également imprudent de laisser les forteresses, en temps ordinaire, sans approvisionnement quelconque, surtout dans les contrées peu productives et sur l'extrême frontière, puisqu'une invasion subite, qui ravirait les moyens d'en compléter la garnison et les magasins, la livrerait sans défense aux mains de l'agresseur. En outre, il est à remarquer que l'approvisionnement simultané de toutes les forteresses d'une frontière exigerait une dépense fort considérable et priverait l'État d'une bonne partie de ses ressources pécuniaires, à l'instant même où tant d'autres besoins urgents en réclament l'emploi.

Nous avons déjà vu, d'ailleurs, que l'armée doit être proportionnée au nombre d'hommes que la nation peut y consacrer annuellement, sans s'épuiser et sans porter atteinte à l'agriculture et à l'industrie, puisque des efforts trop soutenus seraient suivis d'un anéantissement complet. Il serait peu judicieux de compter, pour la compléter, sur des mercenaires, toujours prêts à abandonner celui que la fortune ne favorise pas. A leur tour, le nombre des forteresses et la force de leurs garnisons doivent se proportionner à la force de l'armée. Si ces garnisons étaient si multipliées ou les places si étendues, que leur garde absorbât la totalité ou une grande partie des hommes en état de porter les armes, il est hors de doute que les points non fortifiés (et ce sera toujours la majeure partie du pays) resteraient sans défense quelconque. De plus, les forces mobiles, partagées en tant de fractions isolées, paralysées dans leurs mouvements par les fortifications mêmes dont la garde leur est confiée, opposeraient bien moins de résistance à l'ennemi, que si, réunies en rase campagne, elles eussent conservé la faculté de se porter tout entières à sa rencontre.

Le nombre d'hommes en état de porter les armes ne peut pas être calculé simplement sur la quantité de jeunes gens qui atteignent annuellement un âge fixé ou se trouvent contenus entre certaines limites, comme 20 à 30 ans ; le genre de vie, la profession habituelle et l'industrie spéciale à chaque contrée doivent entrer en ligne de compte. Les artisans des villes sont, en général, paresseux, mous et asservis aux

aises de la vie. Les ouvriers des fabriques, vivant beaucoup renfermés, s'étiolent par privation d'air et s'émacient dans des travaux continuels qui n'exigent pas un grand développement de forces musculaires ; aussi sont-ils faibles et hors d'état de résister à des fatigues prolongées. Cependant tous ceux qui ont fait la guerre savent que la force des armées et le succès de leurs manœuvres dépendent, en grande partie, de l'aptitude des soldats à supporter, sans altération de leur vigueur, et l'intempérie des saisons, et les marches longues et répétées, et la privation ou l'excès de nourriture et la privation du sommeil. Ce sont, par cela même, les cultivateurs qui semblent seuls propres à former des troupes solides, encore faut-il distinguer. Plus le sol est aride, plus il exige de sueurs et de fatigues pour produire une mince récolte, mieux le laboureur est rompu au travail et son corps endurci contre l'intempérie de l'air. C'est peut-être le vrai motif pour lequel les montagnards ont toujours formé des troupes excellentes, surtout en infanterie. Les habitants des plaines élèvent beaucoup de chevaux et, habitués à les manier, sont plus aptes à fournir des cavaliers que des fantassins. — Les habitants du littoral se livrent à la pêche maritime et à la navigation, mais des marins sont facilement convertis en très-bons soldats, cette activité, cette souplesse et ce mépris du danger, que leur rude profession réclame, étant des qualités précieuses dans le maniement des armes et les opérations de la guerre. — Ce n'est que sur ces parties de la population qu'on doit raisonnablement compter, pour les mouvements d'armée, dans une guerre prolongée. Les autres pourront bien se porter avec enthousiasme au-devant du péril, et, animés d'une passion puissante, déployer pendant quelques jours une grande énergie, une audace intrépide ; mais le courage qui n'est pas fondé sur la conscience de la force faiblit bientôt ; les fatigues, et surtout la privation de leurs jouissances habituelles, attiédissent les plus zélés, dispersent les moins ardents, et l'armée perd plus de sa force par la quantité de malingres et de traînards qui désertent les drapeaux, qu'elle ne l'eût fait par l'absence d'un nombre d'hommes de moitié plus considérable, le moral de ceux qui restent étant ébranlé par l'abandon de leurs camarades. Il y a pourtant moyen de tirer parti de ces hommes amollis, pourvu qu'on ait le temps de les endurcir et de les aguerrir peu à peu, et c'est à quoi les forteresses servent merveilleusement. Tant qu'elles ne sont pas formellement attaquées, on peut proportionner le service au degré d'instruction des troupes et les habituer insensiblement aux fatigues et aux dangers de la guerre, sans crainte

des suites funestes que leur inexpérience et leur manque d'énergie entraîneraient en rase campagne.

Nous ne parlons pas du caractère plus ou moins belliqueux des nations, parce que tout homme bien conduit et stimulé par des motifs empruntés à sa manière de voir et de sentir devient capable des mêmes efforts, sa constitution physique différencie alors seule sa valeur militaire. Cependant, un bon capitaine fait entrer pour beaucoup la considération de l'esprit de ses soldats dans la combinaison de ses plans de campagne, et quoique des hommes convenablement électrisés agissent bien pendant quelque temps suivant des directions opposées à leur manière d'être habituelle, toute force continue triomphe à la longue d'une force d'impulsion, et le caractère national doit certainement être considéré comme une cause permanente.

L'effet de nos armes à feu est si supérieur à celui des armes improvisées par l'enthousiasme ou le désespoir des populations, que la surprise, d'un côté, et une volonté déterminée, de l'autre, ont seules pu parfois faire pencher la victoire en faveur de ces dernières. L'approvisionnement en armes à feu et en munitions de guerre, les moyens de les confectionner et de les réparer, c'est-à-dire les manufactures d'armes, les fonderies et les poudreries, seront donc des considérations de la plus haute importance dans la combinaison du système de défense à adopter.

Il en est de même des moyens de transport; la constitution actuelle de la guerre ne permet pas aux armées de se mouvoir sans traîner à leur suite d'énormes approvisionnements, en munitions de guerre et en projectiles. Pour combiner un plan de campagne, il faut, par conséquent, avoir égard aux moyens de transport que le pays présente, connaître la nature des communications, la construction des voitures, le mode d'attelage, la charge qu'elles peuvent porter et leur vitesse. D'après ces données, on estimera le temps nécessaire à la formation des magasins, à leur transport, et la distance à laquelle on pourra s'en éloigner sans compromettre l'armée. Le général Lloyd considérait un éloignement de 25 à 30 lieues comme une cause certaine de désastre. Depuis, l'expérience a prouvé qu'une armée supérieure pouvait se porter en avant à 6 à 8 marches, lorsqu'elle opérait en pays fertile, mais seulement dans des opérations décisives et de peu de durée, comme pour contraindre l'ennemi à une bataille ou poursuivre les suites d'une victoire, mais que le relâchement de la discipline, la perte des traînards et l'affaiblissement de l'armée étaient les conséquences inévitables d'un mode de subsistance basé sur la maraude, le pillage et les éventualités de la guerre.

De toutes ces considérations, il résulte que la fertilité des provinces frontières a la plus grande influence sur le système de défense à adopter, surtout par rapport à l'entretien des armées. Dans une guerre méthodique, les opérations se régleront toujours, en grande partie, sur la possibilité de se procurer sur tous les points des vivres et des fourrages. Le grand Frédéric disait : « Une armée est un édifice dont le ventre est « le fondement. » Un pays fertile, quelle que soit d'ailleurs sa constitution topographique, aura donc beaucoup plus de chances de devenir le théâtre de la guerre, qu'un pays sec et aride, bientôt épuisé, et où l'armée envahissante ne peut subsister que par ses propres moyens, et par cela même la fortification de la frontière doit être autrement conçue. Si les contrées peu productives ont une grande surface, leur stérilité sera un obstacle plus puissant contre une invasion que plusieurs rangées de forteresses, la faim devant faire justice du téméraire qui oserait le dédaigner (invasion du Portugal, en 1807). Les désastres de la retraite de Russie en seront toujours aussi une épouvantable preuve. Jamais armée plus belle, plus éprouvée ne s'est vue sous le soleil ; elle ne manquait ni de chefs expérimentés ni d'administrateurs habiles, pour tirer tout le parti possible des ressources du pays conquis ; elle était conduite par un des plus puissants génies qui aient laissé leur trace sur la terre, et cependant jamais ruine ne fut plus complète, jamais destruction plus effroyable, seulement pour avoir trop compté sur la fortune et négligé d'assurer la subsistance des hommes et des chevaux.

Les considérations militaires mettent en œuvre les données recueillies par la topographie et la statistique, et coordonnent toutes les ressources d'un pays, afin de les faire concourir vers un seul but, la défense égale de l'État, sur toutes les directions, en les répartissant à chaque frontière, d'après son importance et les dangers auxquels elle est exposée. Le cercle qu'elles embrassent est donc bien plus vaste et les combinaisons si multipliées, lorsqu'on en fait varier les éléments, qu'il semble impossible de les renfermer dans le cadre des règles fixes. Nous n'avons pas cette prétention, et nous tâcherons simplement de déduire quelques principes de l'examen des divers systèmes proposés par les écrivains militaires les plus estimés.

On attribue à Cormontaigne un projet pour la fortification des frontières en plaine rase, par conséquent sans aucun égard aux circonstances topographiques et statistiques qui le feraient nécessairement modifier dans l'application. Dans ce système, la défense repose sur trois lignes concentriques de places fortes, disposées en quinconce ; celles de la

première ligne sont espacées de 5 à 6 lieues au plus ; la seconde ligne est à 8 ou 9 lieues de la première, et les places ont aussi cette même distance pour intervalle, en sorte que leur nombre est la moitié de celui des places de première ligne ; les troisièmes, plus reculées de 10 à 12 lieues et espacées d'autant entre elles, sont de moitié moins nombreuses que les places de seconde ligne. La première ligne sera formée de places de troisième classe, ayant 6 à 8 fronts et de 2,400 à 3,500 hommes de garnison ; la seconde, de places de deuxième classe, ou de 8 à 10 fronts, avec 4,000 à 5,000 hommes de garnison. En troisième ligne sont des places de première classe, de 12 à 20 fronts, contenant des garnisons de 8,000 à 12,000 hommes. L'auteur suppose que l'ennemi ne pourra franchir la frontière, en passant entre toutes ces forteresses, puisque les garnisons de deux places de première ligne n'auront qu'une demi-marche à faire pour se rencontrer à mi-chemin et intercepter tous les convois dirigés dans l'intervalle, sans perdre la faculté de retourner coucher dans leurs garnisons respectives. Cet espacement doit suffire pour empêcher l'agresseur de pénétrer dans l'intérieur de l'État, avant d'avoir enlevé trois ou quatre de ces places, ce qui est l'occupation d'une campagne entière, une ou deux places de seconde ligne, et c'est assez de besogne pour une seconde campagne ; enfin, au moins une place de troisième ligne, dont le siége absorbera une troisième campagne entière. Ce n'est donc qu'au bout de trois ans que le chemin vers le cœur de l'État sera ouvert, et sans doute un délai aussi long aura donné à la nation attaquée le loisir de réunir toutes ses ressources, et à ses alliés le temps d'intervenir. Voilà le système qui a servi de base aux idées développées par Saint-Paul dans son *Traité complet de fortification;* mais il y a ajouté encore des forteresses de 4 à 6 fronts, destinées simplement à intercepter quelques communications et munies d'une garnison de 1,200 à 1,800 hommes ; puis les lignes continues, appuyées aux places fortes. Il supplée toutefois à ces lignes, dans les terrains de hautes montagnes, par les aspérités du sol ; dans les terrains marécageux, par des inondations ; mais la défense de l'État repose toujours uniquement sur les places frontières, et les trois lignes de places fortes sont le type suivant lequel la défense doit être ordonnée.

Lorsqu'en 1814 et 1815, la destruction des armées françaises par le fer et le feu ennemi, et plus encore par les maladies, suites de fatigues excessives imposées à de jeunes conscrits, laissa les places fortes des frontières abandonnées à elles-mêmes, on vit les armées alliées dépas-

ser, sans s'arrêter, les lignes redoublées de ces masses inertes et porter la guerre au cœur de l'État, où le sort des batailles et la prise de la capitale en décidèrent le succès. Napoléon, Wellington, Jomini sont d'avis que ces invasions ne prouvent rien contre les places fortes; cependant, il se fit alors une forte réaction contre le système de Cormontaigne, et même un des inspecteurs généraux du génie, le général Rogniat, écrivit qu'il fallait démolir les petites places frontières et les remplacer par trois lignes de places de première classe, ayant au moins 10,000 hommes de garnison, espacées de 15 à 20 lieues, en tout sens, et environnées de fortins, destinés à servir d'appui à des champs de bataille proportionnés à nos grandes armées modernes. Alors l'armée défensive se retranchant sous la place la plus menacée, en rendrait le siége impossible ou très-difficile et empêcherait, en même temps, l'ennemi de pénétrer dans l'intérieur du pays avant de l'avoir dépostée, en menaçant ses communications. Le général Sainte-Suzanne alla plus loin : il ne voulait conserver des places fortes que celles susceptibles de recevoir 16,000 à 20,000 hommes de garnison, les espaçant de 30 à 40 lieues, et les répartissant sur toute la surface du pays, afin que partout l'armée défensive pût trouver des appuis. En 1826, le capitaine du génie Duvivier, préconisant la concentration absolue, proposa, pour la France, l'érection d'une *place unique* d'un immense développement, au confluent de la Loire et de l'Allier.

D'un autre côté, l'archiduc Charles dans ses *Principes de stratégie*, soutint la grande utilité des places fortes, tant sur la frontière que dans l'intérieur du pays, et démontra la nécessité de fortifier les capitales, pour ôter aux guerres d'invasion leur plus grande chance de succès. Il se rapproche de la classification de Cormontaigne, quant à l'importance des places et à la force de leurs garnisons; mais trop expérimenté pour ne pas voir que ces garnisons multipliées absorberaient ou paralyseraient la plus puissante armée, il veut combiner l'organisation des frontières avec l'armement de toute la population virile. « Ces deux grandes mesures, dit-il, sont inséparables et devenues aujourd'hui de toute nécessité pour les États qui ont à cœur de conserver leur indépendance. » L'emplacement des forteresses n'est d'ailleurs pas déterminé chez lui par une simple relation géométrique, mais par les considérations topographiques, analogues à celles que nous avons développées plus haut.

Enfin Napoléon, dans ses remarques sur l'ouvrage du général Rogniat, l'a vivement relevé et a soutenu la supériorité de la fortification de

l'extrême frontière, en l'appuyant toutefois par la construction de quelques grandes places centrales et surtout par la fortification de la capitale.

Nous avons déjà signalé (page 463, tome I^er^), la faiblesse des longues lignes de fortification passagère ou mixte, et le danger de les appliquer en pays de plaines à moins que le front de la position ne fût restreint à l'étendue de celui de l'armée qui doit l'occuper. Tous les bons esprits, reconnaissent aujourd'hui ces principes. Nous vous avons cité, comme un remarquable exemple de l'abus en ce genre, les lignes que Louis XIV, fit élever en Belgique, entre Anvers et Huy, au commencement de la guerre de la succession d'Espagne. La guerre toute récente du Danemark en fournit un spécimen nouveau. Toutefois, gardez-vous de confondre avec ces dispositifs une ligne de forteresse permanentes, qui seraient établies sur des points convenablement choisis d'une frontière. C'est de celle-ci, non de l'autre, que Napoléon a voulu parler. Les deux systèmes n'offrent en réalité aucune similitude, et leurs propriétés militaires sont essentiellement divergentes, soit au point de vue de l'offensive, soit de la défensive.

Si de l'autorité des écrits nous passons à celle des faits, pour voir jusqu'à quel point les théories ont influé sur la pratique, nous trouvons que les mêmes puissances, dont les armées avaient dédaigné les places françaises, ayant à combiner un système de défense pour brider les idées ambitieuses de la France, ont couvert la Belgique de forteresses et en ont bâti d'autres sur les directions principales suivies par les armées dans les guerres de la révolution : c'est particulièrement à Wellington qu'il faut attribuer le système des places belges. La France, à son tour, ayant réuni en comité ses plus grandes illustrations militaires, pour chercher les meilleurs moyens de prévenir le retour des calamités de 1814 et 1815, a résolu de fortifier divers points des routes principales qui vont de la circonférence au centre (Langres) d'améliorer les fortifications de plusieurs places frontières, loin de les démolir, et de les appuyer à l'intérieur, en entourant de remparts les grands siéges de sa puissance et de son industrie, Paris et Lyon. La Russie, enfin, ne se reposant plus sur son étendue ni sur son climat, a érigé des places fortes sur divers points de son immense territoire, pour servir d'appui à ses armées et de pivots à leurs manœuvres, en choisissant les nœuds des grandes communications terrestres et fluviales, comme Dunabourg et Varsovie.

Cet accord unanime des hommes d'État et des grands capitaines nous

dispensera d'une discussion approfondie des deux systèmes en présence. Le projet de Cormontaigne se rapproche de ceux de Rogniat et de Sainte-Suzanne, en ce que ce sont de simples abstractions géométriques, dont l'application mènerait droit à l'absurde, si elle avait lieu d'une manière absolue, sans considérer les obstacles naturels du terrain que ces auteurs eux-mêmes, sans doute, n'entendent pas négliger. On n'a qu'à voir de quelles immenses ressources on se priverait, par l'abandon de plusieurs millions d'habitants, en basant sur les idées du dernier la défense des provinces fertiles, et à quoi serviraient les places fortes du premier dans une contrée aride, pour se convaincre que ces prescriptions abstraites, relatives au nombre de lignes, à leurs intervalles et à la force des places, sont de pures spéculations, souffertes par le papier, mais qui ne laissent rien dans l'esprit, dès qu'il faut procéder à leur application. Mieux vaudrait encore revenir au paradoxe de Machiavel et faire consister simplement les remparts de l'État dans les bras de ses citoyens, et c'est aussi à cela qu'on se trouve conduit en pressant les raisonnements des deux généraux et ceux du capitaine du génie Duvivier. L'utilité seule qu'on peut attendre des places fortes doit en régler l'emplacement, la grandeur et le nombre.

Nous allons donc recourir au raisonnement pour arrêter nos idées sur ces deux points, après vous avoir fait connaître toutefois en quels termes le grand Frédéric combat, dans l'*Anti-Machiavel*, l'opinion de l'écrivain italien sur les forteresses en général.

« Les armées et les forteresses sont d'une utilité égale pour les princes; car, s'ils peuvent opposer leurs armées à leurs ennemis, ils peuvent sauver ces armées sous le canon de leurs forteresses, en cas de bataille perdue; et le siége que l'ennemi entreprend de ces forteresses leur donne le temps de se refaire et de ramasser de nouvelles forces, qu'ils peuvent encore, s'ils les amassent à temps, employer pour faire lever le siége à l'ennemi.

« Les dernières guerres de Flandre, entre l'Empereur et la France, n'avançaient presque point à cause de la multitude des places fortes; et des batailles de 100,000 hommes, remportées sur 100,000 hommes, n'étaient suivies que par la prise d'une ou de deux villes; la campagne d'après, l'adversaire, ayant eu le temps de réparer ses pertes, reparaissait de nouveau, et l'on remettait en dispute ce que l'on avait décidé l'année auparavant. Dans des pays où il y a beaucoup de places fortes, des armées qui couvrent deux milles de terre feront la guerre trente années et gagneront, si elles sont heureuses, pour prix de vingt batailles dix milles de terrain.

« Dans des pays ouverts, le sort d'un combat ou de deux campagnes décide de la fortune du vainqueur et lui soumet des royaumes entiers. Alexandre, César, Gengis-Kan, Charles XII, devaient leur gloire à ce qu'ils trouvèrent peu de places fortifiées dans les pays qu'ils conquirent; le vainqueur de l'Inde ne fit que deux siéges en ses glorieuses campagnes; l'arbitre de la Pologne n'en fit jamais davantage. Eugène, Villars, Marlborough, Luxembourg étaient de grands capitaines, mais les forteresses émoussèrent en quelque sorte le brillant de leurs succès. Les Français connaissaient bien l'utilité des forteresses, car, depuis le Brabant jusqu'au Dauphiné, c'est comme une double chaîne de places fortes; la frontière de la France, du côté de l'Allemagne, est comme une gueule ouverte de lion, qui présente deux rangées de dents menaçantes, qui a l'air de vouloir tout engloutir.

« Cela suffit pour faire voir le grand usage des villes fortifiées. »

Le but de leur construction peut être offensif ou défensif; offensif quand elles nous servent à porter la guerre sur le territoire de l'ennemi, défensif quand elles doivent l'empêcher de pénétrer sur le nôtre. Il est évident que les premières doivent être placées sur l'extrême frontière et que leur périmètre devra être proportionné à la force de l'armée d'invasion présumée, puisqu'elles sont destinées à contenir les dépôts et les magasins qui alimenteront cette armée. La perte de ces dépôts et de ces magasins paralyserait tous les mouvements, et il faut éloigner, autant que possible, la chance de les voir tomber aux mains de l'ennemi, en donnant aux ouvrages une très-grande force.

Les places purement défensives n'auront besoin ni d'un aussi grand développement ni de lignes aussi redoublées, car destinées à arrêter l'ennemi et à l'empêcher de passer outre avant de s'en être rendu maître, ou bien encore à le forcer de s'affaiblir par de forts détachements, pour les observer et assurer ses communications, elles auront produit une grande partie de leur effet, si elles l'entraînent à entreprendre un siége, opération toujours fort longue et ruineuse. Ces places doivent-elles être accumulées sur la frontière ou distribuées sur toute la surface du pays? Cette question sera résolue différemment, suivant la constitution topographique des contrées frontières et la puissance de l'État auquel elles appartiennent, car si la nature du pays offre de tels obstacles aux communications, qu'un ennemi ne saurait, sans témérité, se fier à celles qui ne sont pas interceptées par les places fortes, il sera très-avantageux de limiter le théâtre de la guerre aux extrémités du territoire, laissant les habitants du restant se livrer à leurs travaux

habituels avec sécurité et amasser ainsi de nouvelles ressources pour la continuation de la guerre. Plus les provinces frontières seront fertiles et peuplées, plus leur importance par rapport au reste de l'État sera grande, plus on aura intérêt à les disputer pied à pied, et à empêcher l'agresseur de s'y établir à demeure, plus, par conséquent, les points fortifiés seront nombreux et rapprochés. Si le pays était stérile, très-étendu et coupé de rares communications, il y aurait, au contraire, d'excellents motifs pour élever les forteresses défensives sur les confins du bon terrain, en arrière d'une large zone improductive, cette zone devenant une première barrière difficile à franchir. Lorsque l'armée défensive peut prendre sous les places fortes une position telle qu'un agresseur n'oserait la dépasser et la forcerait malaisément à reculer, celui-ci, obligé de s'arrêter sur la contrée aride, devra faire arriver de son pays tout ce qui est nécessaire à sa subsistance et n'alimentera son armée qu'au prix de sacrifices ruineux ; et quand même l'armée défensive serait hors d'état d'arrêter une invasion, les dangers en deviendront sensiblement plus grands pour l'ennemi, la contrée stérile allongeant de plusieurs marches l'intervalle entre l'armée envahissante et ses dépôts. Aussi n'est-il pas douteux, que si une pareille zone, de 25 à 30 lieues de largeur, faisait partie d'un vaste empire, cette défense naturelle tiendrait lieu et remplacerait même avantageusement plusieurs lignes de forteresses frontières, d'autant qu'on serait mal conseillé d'aller en établir là où le terrain environnant ne fournit pas les produits nécessaires à la subsistance et à l'approvisionnement des garnisons.

Mais même dans ces cas, il faudra échelonner des places fortes sur diverses directions entre le cœur de l'État et l'extrême frontière, la défensive la plus énergique consistant en diversions sur le territoire ennemi. Ces places seront le plus avantageusement placées si, tout en interceptant les communications directes des ennemis et assurant les nôtres, elles appuient, en même temps, les positions de flanc qu'une armée défensive voudrait prendre parallèlement à la ligne d'opération de l'envahisseur. C'est ce que font les places sises à cheval sur les cours d'eau perpendiculaires à la frontière, et sous ce rapport encore, elles attireront d'abord l'attention.

Quelles que soient d'ailleurs les dispositions prises à la frontière, comme les places seules ne peuvent arrêter une armée, et que dans tout combat il faut, sous peine de s'exposer à une destruction complète, se conserver une réserve, sous le rapport militaire, les places avancées

ne dispensent pas de fortifier les points les plus importants de l'intérieur du pays, afin de se préparer des points de ralliement, si la fortune était contraire dans les premières rencontres. Et puisque aucun point n'est plus important que la capitale, centre de l'administration, dépôt des richesses nationales, des capitaux et des produits de l'industrie, ce sera la capitale qu'il s'agira spécialement de fortifier et de rendre inexpugnable. Le même raisonnement est applicable aux villes riches et populeuses, et nous verrons dans la leçon suivante que d'autres considérations amènent aussi à ce résultat.

On a demandé : Est-il préférable de fortifier les villes existantes ou d'élever des places purement militaires, ne contenant que leurs garnisons? Bousmard et Carnot, qui se prononcent pour le dernier parti, allèguent que ces dernières auront beaucoup moins de développement, exigeront, par conséquent, aussi moins de dépense et des garnisons moins nombreuses ; le site pourra être mieux choisi, les approvisionnements, limités aux besoins des combattants, seront bien moins considérables, et la défense ne sera pas entravée par la crainte d'exposer une population nombreuse aux désastres de la guerre, à la famine, à l'incendie et à la mort. Ces considérations sont sans doute d'une grande importance, et malgré cela, la question est oiseuse, car il ne s'agit jamais d'organiser la défense d'un pays à peupler, mais de fortifier un pays existant. Or, les points stratégiques indiqués par la topographie, les nœuds des communications, les confluents des cours d'eau, sont justement les points où la population est agglomérée, l'établissement des villes ayant précédé celui des communications. Il faut donc déplacer la question et dire : Est-il plus avantageux de fortifier régulièrement toute une enceinte ou d'établir une citadelle, en se contentant de mettre la ville à l'abri d'un coup de main? Réduite à ces proportions, elle devient une question de localité, à résoudre différemment, suivant la configuration du terrain. Si, par une citadelle, on peut s'assurer tous les avantages militaires de la position, dominer les communications terrestres et fluviales, obtenir des locaux suffisants pour des dépôts et des magasins, offrir des appuis et des débouchés aux manœuvres d'armée, il sera sans doute souvent expédient de borner la fortification régulière à quelques fronts, tout en entourant la ville de remparts d'un profil assez respectable pour les mettre hors d'insulte, et les rendre même susceptibles d'une défense vigoureuse, lorsqu'ils seront convenablement garnis. Dans beaucoup d'autres cas, au contraire, une citadelle ne défendrait que le terrain qu'elle occupe, et il devient indispensable de fortifier toute l'enceinte

de la ville, pour que la place produise l'effet demandé et que la dépense ne soit pas en pure perte. Nous voulons donc bien convenir, en principe, que les places militaires seraient préférables, mais nous ajouterons qu'elles ne conviendront presque jamais à la fortification d'une frontière, et comme c'est le but qu'on a en vue, peu importe la supériorité qu'elles auraient sous d'autres rapports.

26me LEÇON.

SUITE DE L'ORGANISATION DES FRONTIÈRES.

SOMMAIRE.

Discussion sur les places militaires. — Colonies militaires et camps permanents. — Rapports entre le nombre et la grandeur des places fortes et la force des armées; observation relative à l'artillerie. — Effet des camps retranchés. — Résumé des considérations militaires. — Considérations politiques. — Rapports du peuple avec son gouvernement. — Rapports de l'État avec ses voisins; leur influence sur le système à adopter. — Résumé de toutes les considérations précédentes.

Outre les motifs que nous avons déjà indiqués, la construction des places purement militaires aurait, dit-on, pour effet, de conserver l'esprit militaire dans l'armée, et de la préserver du goût pour les aises de la vie, que contractent naturellement les habitants paisibles. Ainsi, le général Rogniat a proposé de créer des camps permanents, véritables places mixtes, de 12 fronts de tour, dans lesquelles un corps d'armée aurait ses dépôts, ses magasins et ses ateliers, et qui serviraient à l'habitation ordinaire des troupes, pour les exercer continuellement aux manœuvres et empêcher que la discipline et la religion du drapeau ne s'altèrent dans le contact fréquent des soldats avec les bourgeois. Cette raison n'est pas plus valable que les autres, vu la constitution actuelle de l'Europe; car quoi qu'il soit bien vrai qu'en donnant un seul but à l'existence des soldats, en tendant constamment leurs idées vers les moyens de l'atteindre, on parviendra à rendre l'armée plus belliqueuse et plus manœuvrière, il ne l'est pas moins qu'en agissant ainsi on la séparera de la population, qu'on obtiendra une force militaire redoutable et un instrument puissant entre les mains d'un conquérant, puis-

que le frein de la discipline et l'obéissance aveugle au général seront les seules lois auxquelles elle sera habituée à se soumettre, mais non une armée nationale, prête à se dévouer pour le salut de ses concitoyens. Loin de là, peut-être la trouverait-on disposée à tourner ses armes contre eux, si l'appât de la gloire ou du butin l'y engageaient. L'histoire fourmille d'exemples pareils, et l'insurrection de l'armée française du Rhin, en 1815 (elle s'empara de la ville de Strasbourg et ne voulut s'en dessaisir que lorsque sa solde arriérée eut été payée, au moyen d'une contribution forcée sur les habitants), comme toute la révolution militaire des cent jours, ont montré que les mêmes causes sont toujours suivies des mêmes effets.

Il y a plus : il ne suffit pas de réunir des hommes et de les exercer pour en faire de bons soldats, il faut les aguerrir, c'est-à-dire les habituer aux fatigues et aux dangers inséparables des opérations de la guerre; sans cela, au moment même où ils auront besoin de mettre les leçons en pratique, ils ne se trouveront pas la liberté d'esprit nécessaire pour en faire une application judicieuse. Mais comment les habituer aux périls, si vous êtes entourés de placides habitants et de paisibles cultivateurs? Comment les rompre incessamment aux grandes manœuvres, aux évolutions d'armée, les exercer à passer à travers les clôtures et les fossés et à marcher des journées entières dans des terres labourées, si vous devez ménager les moissons et les récoltes? Le premier but ne pourrait être atteint qu'en plaçant le camp à portée de populations hostiles, qu'on devrait contenir par des expéditions continuelles; le second, qu'en l'établissant au milieu de contrées stériles. Dans l'état de civilisation auquel nous sommes parvenus, la première condition ne peut être remplie, pour presque tous les États européens, que dans leurs possessions les plus éloignées, aux confins de l'Asie ou dans les colonies; en satisfaisant à la seconde, l'entretien de l'armée coûterait le double ou le triple de la dépense qu'elle exige, répartie sur la surface du royaume et placée sur les lieux de production même.

Une théorie pareille n'est donc susceptible d'application que dans les pays qui touchent à d'autres contrées à moitié barbares et où la force fait loi, comme sur les frontières orientales de l'Autriche et de la Russie; mais il s'en faut qu'on puisse conclure de là à la supériorité des places militaires, en général, sans égard aux inconvénients qui en sont inséparables.

Nous avons donné dans la première partie de ce Cours quelques aperçus sur le rapport entre la population et la force de l'armée, mais

sous la réserve qu'il n'était question dans ce calcul que de l'armée permanente. En effet, nous venons de voir que, suivant l'opinion de l'archiduc Charles, l'organisation militaire de toute la population virile était une mesure indispensable à l'établissement d'un bon système de défense basé sur les places fortes. Ce n'est pas un motif de rejeter ces places, puisque, suivant l'avis du même capitaine, la fortification permanente des points stratégiques est la seule manière de préparer convenablement la défense d'une frontière, mais un argument très-fort en faveur de cette organisation militaire et de toutes les institutions propres à entretenir chez les citoyens, avec l'amour de la patrie, les goûts belliqueux qui doivent les rendre propres à traduire cet amour en résistance énergique, chaque fois que leur pays sera menacé. Nous ne faisons point allusion ici à la forme du gouvernement, puisque, nonobstant les allégations de quelques théoriciens, concernant l'influence des formes gouvernementales sur les sentiments civiques, nous avons vu les serfs de la Russie et de la Pologne combattre avec autant de dévouement pour l'indépendance de leur pays et l'intégrité du territoire que les républicains de l'Helvétie, mais à ces distinctions, à ces prérogatives, accordées à ceux qui versent leur sang pour la défense de l'État, et qui font abnégation de leurs biens et de leur vie, pour assurer à leurs concitoyens la jouissance paisible de l'une et des autres. Nous ne croirons jamais qu'un pays où le service militaire serait considéré comme un métier (certes le pire de tous, eu égard aux sacrifices qu'il impose et à la rémunération qu'il reçoit) puisse attendre de ses enfants un dévouement bien héroïque et un zèle bien ardent pour les travaux guerriers, lorsque son salut viendra à dépendre de ces travaux et de ce zèle. Cette considération n'échappera pas à l'ingénieur chargé de préparer la défense, et s'il ne peut compter sur d'autres efforts que ceux de l'armée permanente, il réduira non-seulement au *minimum* le nombre des points fortifiés, mais il circonscrira, autant que possible, le développement de chaque place, pour ne pas exténuer l'armée en la morcelant. Est-il, au contraire, sûr du concours des citoyens armés, organisés et dûment exercés, il multipliera les places fortes, les appuis pour les défenseurs, les obstacles pour l'ennemi, et craindra moins d'augmenter le périmètre des places pour améliorer leur défense, les services de la garde civique pouvant suppléer, derrière des remparts, à ceux des troupes régulières.

Nous répéterons ici une observation déjà faite, c'est que, dans les armées qui doivent être renforcées par l'incorporation des citoyens

armés, la proportion des armes spéciales et de la cavalerie à l'infanterie doit être beaucoup plus forte, parce que l'éducation des soldats de ces armes est beaucoup plus longue. Ainsi dans la cavalerie, les hommes, et bien plus les chevaux doivent être habitués, par des exercices soutenus, aux manœuvres d'ensemble. Le service de l'artillerie exige des manipulations de matières dangereuses, des calculs et une justesse dans le maniement des armes, qu'on ne peut attendre de gens qui n'en ont pas fait une étude spéciale et une occupation habituelle. La défense des places fortes reposant en bonne partie sur l'artillerie, il importe d'autant plus aux puissances qui ont beaucoup de points fortifiés, d'avoir des canonniers nombreux et bien exercés. Peut-être pourrait-on suppléer en partie à l'extension qu'on ne peut donner à cette arme d'une manière permanente, en familiarisant toute l'infanterie de l'armée, particulièrement les sous-officiers, avec la manœuvre du canon et le pointage; ils deviendraient ainsi des suppléants utiles ou des auxiliaires intelligents, et ni l'un ni l'autre ne serait à dédaigner au moment du danger.

Les moyens de défense devant se proportionner à ceux de l'attaque, la considération de la composition de l'armée ennemie ne laissera pas d'exercer quelque influence sur le choix du système à adopter. Si la principale force de la puissance limitrophe est en cavalerie, si ses armées traînent à leur suite beaucoup d'artillerie et de bagages, leurs mouvements seront plus lents et elles épuiseront bien plus vite les ressources du pays que si elles se composaient d'une infanterie brave et manœuvrière. Cependant Frédéric le Grand fait observer, avec cette haute sagacité qui le distinguait, qu'il serait imprudent de baser une disposition d'ouvrages permanents sur l'organisation vicieuse des forces ennemies, puisque les abus qui vicient cette organisation peuvent venir à cesser alors qu'il est presque impossible de faire subir des modifications convenables à un système d'ouvrages permanents. Il faut donc toujours caver au plus fort et comprendre au nombre des chances possibles les chances les plus désavantageuses, quelque exceptionnelles qu'elles paraissent.

La conséquence immédiate des raisonnements que nous venons de faire est que, bien loin de pouvoir régler la fortification d'une frontière, le nombre, la grandeur et l'emplacement des places, d'après une simple considération géométrique, l'étendue du territoire à couvrir et la position des forteresses en première ou en seconde ligne, on ne doit pas se flatter de résoudre le problème d'une manière toujours satisfaisante, en

se basant uniquement sur la constitution topographique de la contrée, parce que la bonté de la solution dépend d'une donnée incessamment variable, la force des armées contendantes et leur esprit. Certes, si on pouvait déplacer, étendre ou resserrer à volonté les fortifications, on n'organiserait pas la frontière pour une offensive hardie comme pour une défense passive, de même que les ouvrages d'un point isolé se disposeraient autrement pour des troupes aguerries que pour des gardes civiques. Quels que soient la grandeur et l'emplacement des places, elles seront trop nombreuses et trop étendues quand on manquera de soldats pour en tirer parti; trop petites et trop rares, si elles devaient préserver toute une population des dévastations d'une invasion de barbares, ou suffire aux besoins de ces inondations d'hommes que nous avons vues plusieurs fois depuis un demi-siècle. Et si, revenant à notre définition, nous considérons les places fortes comme des positions avantageuses, il est bien évident qu'elles faciliteront les manœuvres de l'armée, seulement dans le cas où elle aura les forces nécessaires pour les occuper d'une manière convenable; toute position perdant ses propriétés lorsqu'elle est trop étendue ou trop resserrée pour le corps qui s'y place. Aussi de même qu'on dit, en parlant de la fortification des points isolés : « Tant vaut l'homme, tant vaut la place, » puisque tout dépend de l'habileté avec laquelle on sait utiliser les propriétés dont elle est douée, on devrait dire de leur ensemble : « Tant vaut le capitaine, tant vaut la frontière. » Ce que l'histoire constate par de nombreux exemples.

Revenons encore sur une remarque dont l'importance croît tous les jours. Les grandes places exigent de fortes garnisons, et pour tirer parti des avantages que présente un périmètre étendu, il faut employer les retours offensifs et la défense extérieure, donc composer cette garnison en majeure partie de troupes de ligne, seules aptes aux manœuvres nocturnes et aux combats en rase campagne. D'un autre côté, la présence d'une armée est indispensable pour que les places deviennent des obstacles sérieux, et cette armée ne peut pas être tellement nombreuse, que le détachement de plusieurs fortes garnisons ne l'affaiblisse sensiblement. Dès lors, si la constitution topographique réclame l'occupation de beaucoup de points, il faut s'attacher à resserrer l'étendue de leurs fortifications, afin de pouvoir rendre leur profil très-respectable, sans s'engager dans des dépenses exorbitantes, et confier leur garde à des citoyens armés, sans crainte qu'une attaque hardie les enlève en peu d'heures. Ces petites places seules ne satisferaient pas

aux besoins des masses mises en mouvement, mais on parvient à leur faire atteindre aussi ce but par l'addition de *camps retranchés*, appuyés à leurs remparts. Si le camp retranché est bien établi, la possession de la place forte garantira celle de la position; l'armée pourra, par conséquent, l'abandonner ou la reprendre à volonté, sans avoir besoin de s'affaiblir par une garnison, lorsqu'elle agira sur une autre direction, et, en même temps, l'occupation de la position empêchera la place d'être investie et donnera la faculté d'en relever la garnison chaque jour, c'est-à-dire d'en perpétuer presque la défense. Mais, tout terrain autour d'une forteresse n'est pas propre à l'établissement d'un camp pareil. Pour produire l'effet qu'on en attend, il faut que l'armée qui y est postée puisse conserver des communications libres avec l'intérieur et se procurer les subsistances nécessaires, sans épuiser les magasins de la forteresse, au moins pendant un laps de temps plus long que celui pendant lequel l'ennemi peut entretenir son armée dans les mêmes localités, sans quoi, elle se verrait forcée d'évacuer la position après avoir consommé les approvisionnements de la forteresse et de courir les chances d'une bataille avec des forces inégales, laissant, en outre, les magasins de la place vides et la livrant ainsi, avec ses défenses intactes, aux mains de l'agresseur. Il est aussi d'une haute importance qu'une grande partie du développement soit rendue inaccessible par des obstacles naturels, afin de rétrécir le front, de concentrer les forces sur les points attaquables et d'éviter le défaut le plus grave reproché aux lignes continues, qui ne sont que des camps retranchés, développés en ligne droite entre deux points fixes, d'anéantir la résistance en l'éparpillant.

Enfin, un camp retranché doit avoir la profondeur nécessaire pour que les troupes qui y sont établies ne puissent être tourmentées par les batteries ennemies, tirant à toute volée : ce qui, vu l'énorme portée de l'artillerie rayée, exigera désormais que cette profondeur atteigne 1,500, 2,000 ou même 3,000 mètres en terrain découvert. Pour satisfaire à cette condition, les points les plus saillants, les têtes les plus avancées du camp sont occupés par des forts en fortification permanente, dans lesquels on place, à demeure, du canon de gros calibre, ce qui oblige l'ennemi à reporter ses batteries en arrière. Dans les mêmes vues, on couvre une partie du périmètre par des inondations, ou on place le camp au fond d'une vallée, couvrant de retranchements le haut des coteaux qui la forment, et fermant par des forts en fortification permanente les têtes de la vallée. Ces forts décuplent la valeur des

lignes, et susceptibles d'être abandonnés à leurs propres forces, ils peuvent recevoir les gros calibres exigés pour tenir l'ennemi à distance, sans crainte de voir cette artillerie tomber aux mains de l'agresseur, en cas d'une évacuation précipitée.

L'effet d'un camp retranché qui réunit toutes ces conditions est très-grand. L'ennemi peut difficilement l'attaquer de vive force, plus difficilement l'assiéger en règle et jamais le dépasser sans danger, à moins d'une immense supériorité, qui lui permette de faire un détachement assez considérable pour contenir l'armée qui s'y est renfermée, tout en continuant sa marche vers l'intérieur du pays. Il sera le mieux placé (s'il ne s'agit que de la défensive) à quelques lieues de l'extrême frontière, afin que l'ennemi soit obligé de s'éloigner de sa base s'il veut s'établir devant la position. Quand celle-ci aura en même temps pour objet une diversion offensive, il convient, au contraire, qu'elle soit au plus près du territoire ennemi, pour que l'armée d'invasion puisse pousser loin dans le pays de l'adversaire, et cependant conserver des communications faciles avec sa place de dépôt. Au surplus, les conditions topographiques sont si importantes et se rencontrent si rarement réunies, qu'une disposition heureuse du terrain influera sur le choix de l'emplacement plus qu'un éloignement ou un rapprochement de quelques lieues, et vu la grande action que les camps retranchés ont sur la défense d'une frontière, la possibilité d'en établir autour des places sera une considération majeure, dans la valeur comparative des points à fortifier.

Il est presque superflu d'ajouter que les fortifications de la place à laquelle on s'appuie seront disposées de manière à rendre le siége des fronts en dehors du camp aussi difficile, au moins, que l'attaque du reste du périmètre, y compris celle des forts, puisque, sans cela, la destruction des points d'appui entraînerait l'abandon forcé de la position entière.

Nous passons maintenant au côté le plus délicat de la question : les considérations politiques, qui ont pour objet les rapports entre le gouvernement et les sujets, comme entre la nation et les puissances voisines. En indiquant l'influence de ces considérations sur l'adoption d'un système de défense, nous ferons néanmoins l'observation que, les relations politiques étant éminemment variables, c'est un des éléments les moins propres à fonder un bon système d'ouvrages permanents, et qu'il faudra, dans la discussion de la disposition à arrêter, toujours admettre plusieurs hypothèses, et adopter, de préférence, la solution qui répond au plus grand nombre.

Lorsqu'un gouvernement est dirigé plutôt suivant les intérêts d'une classe de citoyens que conformément à l'intérêt général, quand son esprit est en opposition avec celui de la nation, si le poids des impôts et des charges désaffectionne les sujets et les rend indifférents à la forme gouvernementale, comme à la dynastie qui les régit, on ne peut guère s'attendre à leur coopération volontaire aux mesures que réclame une défensive vigoureuse, le joug de l'ennemi ne devant pas être beaucoup plus pesant que celui sous lequel ils gémissent. Dès lors, les ordres les plus énergiques pour compléter les corps, remplir les magasins et préparer des ressources contre les chances malheureuses possibles, restent sans effet, l'inertie publique résistant à toutes les excitations et paralysant tous les efforts pour rendre la guerre nationale. La défense s'affaiblit à mesure que l'ennemi avance, la force militaire diminue en proportion que le danger augmente, jusqu'à ce que l'État, frappé au cœur par la prise de la capitale, tombe entièrement entre les mains du vainqueur et reste abandonné à sa discrétion.

Combien le tableau est différent lorsque la nation est attachée à son souverain et à ses institutions politiques, quand l'amour et la reconnaissance l'identifient avec les lois et les personnes dont la tutelle bienfaisante assure son bonheur! A la moindre apparence de danger, la jeunesse s'empresse de courir aux armes et vient se ranger près de l'armée permanente, dont elle complète les rangs et forme la réserve. Les citoyens aisés détachent volontiers une parcelle de leurs biens, pour remplir le trésor public et défrayer les dépenses que l'armement d'une partie de la population occasionne. Si le péril augmente, si l'ennemi ose envahir le territoire sacré de la patrie, chacun de ses progrès le rapproche de sa perte. Toute la population virile s'organise en corps militaires et prend part au conflit. Chaque perte est immédiatement réparée, chaque homme en état de combattre se dispose à entrer à son tour dans la lice, pour venger ses frères tombés. Les vieillards et les femmes abandonnent leurs foyers, afin de ne pas assister au triomphe de l'étranger détesté; ils emportent leurs biens ou même les détruisent, pour lui ravir les moyens de subsister, préférant ainsi les perdre, à les partager avec lui. Ceux que des liens indissolubles attachent au sol traversé et non soumis, lui font payer par l'espionnage, les faux avis et les bruits alarmants, les ressources qu'il espérait en tirer. Bientôt derrière ses masses, se forment des bandes armées qui infestent ses communications, immolent les traînards, massacrent les maraudeurs, et, sans cesse rôdant autour de ses cantonnements, l'affaiblissent par une guerre

de buissons, plus incommode et plus meurtrière que les combats en règle. Cependant l'armée défensive se renforce à mesure qu'elle se rapproche de ses réserves; elle devient enfin assez imposante pour arrêter l'envahisseur, puis forcer ses bataillons fondus à la retraite. Mais celle-ci est aussi funeste que la marche en avant était dangereuse. Tout ce qui s'éloigne des colonnes, tous ceux dont la fatigue ou la maladie ralentissent les mouvements, tombent entre les mains des cultivateurs irrités et servent de victimes expiatoires à l'offense faite à la patrie. La protection de ses propres frontières peut, à grand'peine, soustraire l'agresseur aux suites de sa téméraire entreprise; il regardera comme un bonheur si l'armée patriote ne le poursuit pas au delà et ne vient revenger par d'autres excès les excès qu'une invasion entraîne.

D'un contraste aussi frappant résulte la nécessité de modifier le système de la défense suivant l'esprit de la nation : est-elle divisée en factions et peu attachée à ses gouvernants, ceux-ci ont le plus grand intérêt à limiter le théâtre de la guerre aux frontières, afin d'ôter aux mécontents de l'intérieur l'appui de l'étranger et de conserver libre l'action ordinaire de l'administration, à laquelle, dès lors, l'habitude garantit l'obéissance. Ils pourraient aussi craindre, en construisant des places dans l'intérieur, de diminuer la soumission de l'armée, en la rendant témoin de l'oppression qui pèse sur le peuple, et de préparer ainsi des appuis à l'insurrection. Dans un tel ordre de choses qui, vu le degré de civilisation auquel l'Europe s'est élevée, ne peut heureusement exister longtemps, sauf dans des pays conquis, ajoutés violemment à des peuples dont ils ne partagent ni les goûts ni les opinions, les défenses intérieures ne consisteront qu'en citadelles, autant destinées à contenir la population des villes considérables qu'à résister aux ennemis du dehors, et les places militaires, les camps permanents seront indispensables pour séparer le peuple de l'armée; encore sera-t-il prudent de composer la dernière d'étrangers et de mercenaires, afin d'éviter le risque de voir les sympathies populaires s'infiltrer dans ses rangs et de trouver un élément de résistance dans ce qu'on croyait être un instrument de domination.

Lorsque l'union des citoyens entre eux et avec leur gouvernement forme un faisceau compacte de toutes les volontés, lie tous les intérêts, fait concourir tous les efforts vers un même but, la fortification des frontières est toujours utile, afin de limiter les envahissements au moindre espace possible; mais la guerre ne se terminant pas par la réussite d'une invasion ou la prise de la capitale, il est utile de pré-

parer sur toute l'étendue du territoire des places de dépôt pour les munitions et les subsistances, en même temps que des points d'appui et de réunion pour les populations armées. Si les circonstances topographiques le rendent préférable, on peut reculer aussi les lignes défensives à plusieurs marches dans l'intérieur du pays, sûr que le terrain abandonné pourra être conquis mais non assujetti, et que la nécessité d'assurer ses communications par de nombreux détachements sera pour l'ennemi une cause permanente d'affaiblissement, plus onéreuse que la possession des ressources qu'on ne peut lui disputer ne lui sera profitable.

Il ne lui suffit pas alors d'observer par de faibles détachements les forteresses intérieures, loin de pouvoir les négliger tout à fait, car elles deviendraient bientôt le centre de gros rassemblements, qui se consolideraient en corps d'armée et menaceraient les flancs et le dos de l'armée d'invasion, au point de la forcer de s'arrêter, puis de revenir contre un ennemi inattendu. Un simple détachement fondrait bientôt dans des combats partiels, où aucun succès n'est décisif, parce qu'en cas de malheur, les habitants rentrent dans leurs foyers et enterrent leurs armes dans les sillons, prêts à les reprendre dès que d'autres tentatives semblables ailleurs appelleront la force prépondérante. Avec cela, la nécessité de se procurer tous les jours des subsistances les armes à la main, les maraudes et les pillages qui en sont la suite, désorganisent en peu de temps l'armée la mieux disciplinée, et quel que soit le parti auquel l'agresseur s'arrête, le dépérissement de ses forces l'obligera bientôt d'abandonner des conquêtes aussi peu fructueuses. Une guerre d'invasion n'a donc guère de chances de succès contre une défense aussi tenace, sans cesse renaissante, et sous ce rapport Machiavel avait parfaitement raison, lorsqu'il avançait que le rempart le plus sûr pour un État consistait dans le patriotisme de ses habitants.

Si les invasions sont peu redoutables pour un pareil État, il résulte des considérations précédentes, un nouveau motif d'en fortifier soigneusement les frontières, car, une guerre méthodique, dans laquelle on ne s'avance qu'après avoir détruit tout élément de résistance à une distance suffisante des flancs, emploierait plusieurs campagnes avant d'avoir triomphé des places fortes redoublées et ouvert une trouée assez large dans la frontière. Dès lors, l'État attaqué a tout le temps nécessaire pour réunir ses ressources, compléter l'organisation militaire des citoyens, recevoir les secours des puissances voisines, nouer de nouvelles alliances, et de se créer ainsi les moyens de rechasser l'agresseur

du territoire envahi. Le patriotisme rendra faciles tous les efforts qu'exigent l'armement de la population et l'approvisionnement des forteresses; ce même patriotisme fera obstiner jusqu'à la dernière extrémité la défense de la moindre bicoque, chaque place coûtera alors plus à l'ennemi que sa conquête ne lui vaudra, et c'est ainsi que, grâce au bon esprit de la nation, s'évanouit l'argument le plus spécieux contre la multiplication des points fortifiés.

Lorsque l'esprit public est hostile, les raisonnements que nous venons de faire se reproduisent, mais naturellement en sens contraire. Si on affaiblit l'armée par de nombreuses garnisons, on n'a aucun moyen de la compléter, la violence et les punitions sévères ne fournissant que de mauvais soldats, empressés de quitter leurs rangs, dès qu'ils le peuvent avec impunité (Napolitains, de 1808 à 1814). Le peuple accueille comme des libérateurs les soldats étrangers qui viennent briser un joug odieux et s'empresse de pourvoir à tous leurs besoins. Les garnisons, en défiance de la bourgeoisie, redoutant l'ennemi intérieur autant que l'extérieur, et réduites à leurs propres forces, ne font qu'une défense molle et sans énergie. Ainsi les places fortes nuisant à la résistance plus qu'elles n'y servent, toute la puissance militaire de l'État se concentre dans une seule armée, qu'un désastre peut détruire, que rien ne saurait renouveler et qui souvent s'épuise par ses propres succès. « Encore une victoire, » s'écriait Pyrrhus, le conquérant épirote, « encore une victoire, et nous sommes perdus. » Adage qui s'est maintes fois vérifié dans les guerres du dernier demi-siècle. Ces guerres fourmillent d'exemples frappants des divers préceptes que nous venons d'énoncer, mais aucun pays n'en a fourni de plus démonstratifs que l'Espagne, dans les invasions de 1808 et 1823, et la France dans les invasions de 1793 et 1815.

Les rapports de puissance entre l'État à fortifier et ses voisins peuvent être considérés dans trois cas différents, qui donnent lieu à des combinaisons multipliées :

1° Quand un État est grand, puissant, fertile et peuplé;

2° Lorsque l'État est grand et puissant, mais peu fertile et mal peuplé en raison de son étendue;

3° Quand l'État est faible, soit par son étendue, soit par sa pauvreté et sa faible population, en comparaison des États limitrophes.

Dans le premier cas, l'addition de défenses artificielles semble superflue, une puissance pareille pouvant lever et entretenir des armées nombreuses, toujours prêtes à se porter où le danger les appelle, et les

seules forteresses à ériger seraient des places de dépôt, contenant les arsenaux de construction, pour confectionner et emmagasiner en lieu de sûreté les machines de guerre et leurs approvisionnements. Cependant ces forces mobiles sont des instruments d'attaque autant que de défense, elles tiendront les voisins en défiance, et, pour se garantir d'une agression sans cesse imminente, ceux-ci lèveront et entretiendront, à leur tour, de fortes armées, et contracteront des alliances contre la puissance menaçante qui, de nouveau, accroîtra ses préparatifs de guerre, pour balancer ceux de la coalition. Poursuivant ainsi de part et d'autre, on tiendra sous les armes une bonne partie de la population, l'agriculture et l'industrie tomberont en souffrance, les peuples s'appauvriront, et l'on encourra un dommage réel pour éviter un dommage possible. Il n'en est pas de même en remplaçant par des fortifications les troupes qu'on licencie, parce que, destinées uniquement à la défense, elles procurent la même sécurité à l'État qui les construit et n'alarment pas ses voisins. Nous disons *la même sécurité*, mais il est évident qu'elle est bien plus grande, parce que l'action des frontières fortifiées est permanente, alors que celle des armées est essentiellement variable. L'homme d'État serait bien imprudent qui, se fiant sur la situation prospère de la nation, négligerait les moyens d'assurer cette prospérité dans l'avenir, aussi loin que ses prévisions peuvent atteindre. Il n'est guère plus possible de calculer à quel degré d'affaiblissement l'État peut descendre, par les dissensions intestines, la corruption des mœurs et la perte de l'esprit militaire, suites ordinaires d'une longue paix et de l'aisance universelle, que de mesurer l'accroissement de puissance dont les États limitrophes sont susceptibles, par l'effet des causes opposées. Un seul homme ne suffit-il pas quelquefois pour changer la face d'une nation? Quelque prospère et florissant que soit donc un État, quelque prépondérance qu'il possède sur ses voisins, il sera d'une saine politique de consolider cette prépondérance et cette richesse par l'adoption d'un bon système de positions fortifiées. Il ne devra sans doute pas être le même que pour une petite puissance, car une nation telle que nous venons de la dépeindre aura des armées nombreuses et ne pourra être attaquée que par des armées également formidables; ses forteresses devront être proportionnées à la grandeur des masses mises en mouvement, dans l'attaque comme dans la défense, et les positions à fortifier seront choisies d'une étendue suffisante pour le nombre présumé des défenseurs, de même que les places de dépôt seront assez vastes pour les approvisionnements nécessaires à de

pareilles multitudes. Il suit évidemment de là que le système des grandes places recevra ses meilleures applications chez les grandes puissances, comme plus en état de fournir les fortes garnisons qu'elles absorbent, sans affaiblir l'armée outre mesure. Nous ne prétendons certes pas que ces États ne doivent avoir que de grandes places; vous savez que nous rejetons tout ce qui est absolu et exclusif; d'ailleurs, il y a bien des localités où un carré produira toujours autant d'effet qu'un dodécagone, quel que soit le nombre de soldats qui l'attaquent, en sorte qu'il serait peu judicieux de prodiguer, par esprit de système, à ces points, des ressources dont on a tant besoin ailleurs; mais il est certain que, lorsqu'une place doit renfermer les magasins d'une armée, recueillir ses malades et ses blessés, et lui offrir, en cas de malheur, une protection puissante, dans ou sous ses remparts, sa surface intérieure doit être mise en rapport avec le nombre d'hommes dont cette armée se compose; et encore, s'il s'agit d'un pivot de manœuvres, que la garnison ne doit pas être si petite qu'un détachement très-faible, relativement à la force des armées, puisse la bloquer ou paralyser l'action de la forteresse. Le but de la construction et les circonstances topographiques doivent être consultées aussi bien que la force présumée des armées, sans perdre de vue notre observation, sur le rapport à établir entre la disposition des ouvrages et l'espèce de défenseurs qu'on compte pouvoir leur donner. Enfin, la considération de la grandeur des ressources dont on dispose et du peu de probabilité d'une attaque simultanée sur tout le périmètre de l'État, engagera à être moins retenu dans l'accumulation des forteresses sur la frontière la plus accessible.

Un pays grand, mais peu fertile et mal peuplé, n'a pas grand'chose à redouter de ses voisins, pour lesquels il n'est pas une proie fort attrayante, et, à son tour, il doit leur inspirer peu de crainte. Le temps nécessaire au rassemblement de l'armée ou à son transport d'une frontière à l'autre, les frais qu'occasionnent ces transports lointains, les précautions à prendre de longue main pour pourvoir à la subsistance des troupes rassemblées, vu le peu de ressources que présentent les contrées frontières, sont autant de garanties pour les États limitrophes, qu'aucune entreprise de quelque importance ne pourra être tentée contre eux sans qu'ils en soient prévenus assez à l'avance pour être à même de préparer leurs moyens de défense; en sorte que l'existence d'une armée nombreuse, dans un pareil État, ne les oblige pas à un déploiement de force analogue. Les deux grands arguments qui militaient en faveur des fortifications dans le cas précédent n'existent donc

plus dans celui-ci, et, hors quelques places de dépôt, l'État pourra se passer de forteresses défensives, la pauvreté du pays offrant un obstacle plus grand aux invasions que la combinaison la plus redoutable de places frontières, d'autant que celles-ci ne pourraient jamais être suffisamment munies. Si pourtant des provinces plus fertiles étaient précédées de contrées arides, et si celles-ci n'avaient pas une largeur telle qu'il fût presque impossible à une armée de les franchir, il conviendrait d'établir un cordon de forteresses sur la limite des provinces riches, pour que cet obstacle, en arrêtant l'ennemi, l'exposât plus longtemps aux suites désastreuses d'un séjour prolongé sur des terrains incultes. Dans la supposition, au contraire, où un pareil État serait maître de quelque lambeau fertile touchant aux possessions des puissances limitrophes, il devrait accumuler sur cette bande de terrain les ouvrages d'art, afin que leur longue résistance fournisse le temps de réunir les troupes dispersées sur une vaste surface et de les faire accourir des frontières éloignées. Sauf ces circonstances, les places défensives seront superflues; mais si l'État nourrit des projets d'agression, les places offensives seront, en revanche, indispensables, puisque la stérilité des frontières empêchera la réunion d'une armée nombreuse avant d'avoir créé des magasins proportionnés à ses besoins; et ces magasins doivent de toute nécessité être renfermés dans des places fortes, si on ne veut courir le risque de voir de longs préparatifs et d'onéreux sacrifices rendus inutiles par l'incursion de quelques simples partisans.

L'indépendance d'un petit État repose principalement sur son attitude militaire. S'il n'a pas assez de force pour rendre sa résistance énergique et sa coopération importante, il sera le jouet de ses voisins plus puissants, ils l'entraîneront dans des guerres ruineuses et placeront le théâtre de leurs conflits sur son territoire. La topographie du pays est à cet égard extrêmement importante. Si les obstacles naturels, les montagnes escarpées, les cours d'eau rapides facilitent la défense et, renforcés par les ouvrages d'art, permettent au souverain d'ouvrir ou d'interdire, à son gré, le passage sur le sol de l'État; si une bonne organisation militaire lui donne le moyen de faire valoir cette situation heureuse, il verra son alliance briguée par les grandes puissances voisines, et on achètera même volontiers sa neutralité. Lorsque, au contraire, le pays est ouvert, fertile, riche, peuplé, coupé en tout sens de bonnes chaussées viables dans toutes les saisons, les plus grands efforts seront à peine suffisants pour le soustraire à la cupidité des États limitrophes

et les empêcher, sous le moindre prétexte, de porter leurs armées sur son territoire, pour les faire subsister à ses dépens. Aucun État n'a un plus pressant besoin de fortifications multipliées, dans aucun une forte organisation militaire n'est aussi indispensable, pour faire concourir toute la population à la défense et donner à la nation un degré de force militaire tel que son alliance soit désirable, son ressentiment redouté. Malheureusement il n'y en a aucun aussi dans lequel l'esprit militaire ait moins de stimulants naturels. L'aisance générale rend le foyer domestique cher; la préoccupation constante du commerce et de l'industrie, le goût du lucre, éloignent le peuple du rude métier des armes, et tout ce qui le distrait de son labeur tranquille est importun au paisible producteur. Les institutions politiques doivent donc avoir pour but principal d'éveiller et d'entretenir les goûts belliqueux, l'esprit militaire, le sentiment de l'honneur, qui font préférer les distinctions personnelles aux jouissanees matérielles, les lauriers verdoyants à l'éclat mat de l'or, et souvent sacrifier la vie même au désir d'acquérir quelque renommée. Si le gouvernement suit une autre direction, le seul parti qui lui reste à prendre est de rechercher l'appui des États voisins et de maintenir son indépendance à l'aide d'alliances puissantes; mais dès lors elle devient nominale; car qu'est-ce, au fond, qu'une indépendance soumise à la continuation de la bienveillance d'un protecteur? Un servage déguisé. Et lors même que, par un chef-d'œuvre de politique, il peut conserver pendant quelque temps sa liberté d'action, en excitant la jalousie mutuelle des grandes puissances, tôt ou tard ces puissances parviennent à s'entendre, et souvent c'est alors la nation faible qui paye, par des tributs ou des pertes de territoire, les frais de leurs arrangements.

Pour éviter ces funestes conséquences, le système de défense d'un pareil État doit être calculé suivant les forces de la nation seule et basé sur ses propres ressources. Il ne pourra reposer sur un grand nombre de forteresses à ouvrages redoublés, faute de garnisons suffisantes pour les défendre; mais autant que possible, toutes les villes doivent être à l'abri d'un coup de main, afin de présenter des refuges aux habitants des campagnes avoisinantes et de mettre en sûreté le produit des riches moissons, ce qui rendra plus difficiles aux envahisseurs les moyens de nourrir la guerre par la guerre. Aux cités les plus importantes par leur position ou leurs richesses, il convient, en outre, de donner une citadelle, sous laquelle les remparts de la ville formeront un camp retranché, et on combinera des mesures pour transformer ces remparts en forti-

fications respectables, par l'addition de retranchements en fortification mixte, si l'ennemi s'attachait particulièrement à la conquête d'un de ces points. La multiplication des points fortifiés sera facile, grâce à la richesse du pays, sans inconvénient, vu l'abondance des approvisionnements et la quantité de bras réunis sur une petite surface ; elle est indispensable, parce que les lignes d'opération et les moyens de se transporter de l'une sur l'autre sont nombreux ; mais toutes ces dispositions seront inutiles, si le civisme des habitants et leur ardeur belliqueuse, secondés par une bonne organisation militaire, ne les portent à animer par une défense énergique et opiniâtre les masses inertes des remparts.

Tout État, cependant, n'est pas susceptible de se défendre par lui-même. Sa situation géographique et topographique peut donner à ses voisins des avantages de position tels, que tous les efforts réunis ne sauraient parvenir à contre-balancer la disproportion des forces. Dans des circonstances aussi malheureuses, il ne restera que le choix de la puissance à laquelle on devra emprunter les ressources qu'on ne trouve pas en soi, et on tâchera, naturellement, d'obtenir pour protectrice celle qui a le moins à gagner et le plus à perdre par l'absorption de l'État dans les États voisins. Le système de fortification à adopter en pareil cas devra être combiné de manière à permettre de recevoir les secours de son allié jusque dans les derniers instants de la lutte et à conserver un reste d'existence tant qu'on prévoit une chance de dégager le territoire envahi, grâce à l'assistance étrangère. Mais ce ne sera pas alors le gouvernement de l'État menacé qui décidera du choix des points à fortifier. Subissant la loi de la nécessité, ce sera à la puissance prépondérante qu'on ira demander ce qu'il faut faire, et il est fort à craindre qu'elle consultera ses intérêts plutôt que ceux de son faible allié. Ces considérations latérales conduisent logiquement, en chaque cas d'application, à des conséquences particulières que nous n'essaierons pas de déduire.

Un État peu étendu a encore plus de motifs qu'une puissance grande et fertile pour tâcher de limiter le théâtre de la guerre et de le borner aux contrées frontières, puisque l'ennemi, en pénétrant dans l'intérieur, paralyserait l'action gouvernementale, désorganiserait l'administration et empêcherait la concentration du peu de moyens dont on dispose et qu'il est si nécessaire, par cela même, de faire agir avec ensemble. Ainsi les places et les lignes entre elles devront être accumulées sur les frontières et défendues avec ténacité. On surveillera

soigneusement le tracé des routes et canaux, pour en tirer le plus grand parti dans la défense, et on portera une attention continuelle sur cet objet, car moins on a de ressources, plus il faut veiller à ne pas les affaiblir. Toute communication terrestre ou fluviale qui, de l'étranger, va à l'intérieur du pays, doit traverser plusieurs points fortifiés, et être reliée en arrière de ces points par des chaussées parallèles à la frontière, afin de pouvoir se porter rapidement au secours des places menacées. On échelonnera les positions pour préparer leur défense successive, et l'on fortifiera avec soin la capitale, afin qu'une résistance prolongée donne aux alliés le temps d'intervenir et, en général, amène une succession de chances parmi lesquelles il y en aura bien quelques-unes favorables. Si les circonstances topographiques ne se prêtent pas à ce genre de défense; si la possession de plaines ouvertes dépend principalement du succès des batailles, que l'infériorité du nombre rendrait imprudent de livrer, il faudra chercher un recours dans des manœuvres rapides, à l'aide desquelles on menace les flancs et les communications de l'ennemi et, souvent, dans des diversions qui reportent la guerre sur son territoire; mais des citoyens armés sont peu propres à ce genre d'expéditions, et l'existence d'une bonne armée permanente, leste et manœuvrière, sera une condition indispensable de l'indépendance de la nation, malgré l'organisation militaire donnée à toute la population virile.

Une grande puissance entourée de plusieurs petites, qui sont avec elle dans des rapports d'infériorité, s'en sert utilement pour se former une ceinture défensive, qui amortit les coups que d'autres grandes puissances voudraient lui porter.

Si un grand État riche touche immédiatement à un grand État pauvre, il aura un intérêt puissant à fortifier ses frontières, son territoire riche excitant incessamment la cupidité du voisin moins favorisé, en sorte qu'il est prudent de mettre obstacle aux tentatives d'envahissement qu'il pourrait faire, en profitant de dissensions intérieures ou d'autres complications politiques.

Si des États riches et faibles touchent à un État grand et pauvre, il est à prévoir que tôt ou tard celui-ci finira par les absorber, et l'organisation militaire la plus judicieuse et la plus énergique les soustraira à grand'peine au sort qui les menace.

Il en est de même des colonies et des provinces séparées de la métropole par la mer ou par de hautes montagnes, impraticables pendant une partie de l'année, et touchant à des États puissants. Les lois de l'attrac-

tion régissent les peuples comme les sphères, et par de grands efforts on peut bien en suspendre, mais rarement en détruire les résultats logiques.

Résumant enfin tous nos raisonnements, nous dirons :

Que le système de défense d'une frontière variera : 1° suivant sa constitution topographique; 2° suivant sa fertilité, sa population et son industrie; 3° suivant le but militaire qu'on se propose, l'organisation et la force de l'armée; 4° suivant l'accord qui existe entre le gouvernement et le peuple, comme suivant les rapports de puissance de l'État avec les États voisins;

Que plusieurs de ces éléments étant variables, la même combinaison permanente ne peut pas correspondre à toutes les hypothèses, c'est-à-dire que la défense d'une frontière ne peut pas reposer sur la fortification seule, mais qu'il y a pour chaque cas des principes suivant lesquels on doit chercher à tirer parti des choses existantes;

Qu'ainsi un État grand et puissant, quoique peu fertile, est suffisamment défendu par son étendue et n'a pas besoin de forteresses défensives, hors celles qui servent de places de dépôt et d'ateliers de construction; qu'il aura donc seulement à construire les places offensives, servant de point de départ pour les opérations à conduire contre les États voisins;

Qu'un État grand, puissant et fertile devra, au contraire, s'enceindre d'une ou de plusieurs lignes de places fortes défensives, en rapport avec la grandeur de ses armées, les établissant sur toutes les lignes d'opération à suivre par l'ennemi dans ses invasions, ces lignes appuyées à l'intérieur par quelques grandes places, répandues sur tout le territoire, contenant les magasins principaux, les ateliers de construction et les arsenaux, et surtout par les fortifications de sa capitale. S'il est environné de plusieurs petits États soumis à son influence, il placera de préférence les places fortes frontières sur leur territoire et les places de dépôt, environnées de camps retranchés, sur le sien;

Qu'un petit État ne devra son indépendance qu'à son importance militaire, laquelle croîtra avec le nombre de ses places fortes, la richesse de ses approvisionnements, la perfection et l'étendue de son organisation militaire; que tout petit État, dans lequel les institutions politiques ne stimulent et n'entretiennent pas l'esprit militaire, ne tardera point à devoir s'étayer de l'alliance de ses voisins puissants et que, dès lors, son indépendance fictive dépendra du caprice de ses protecteurs;

Que, dans la détermination de la grandeur des places, on doit con-

sulter les effets qu'on en attend et les ressources, en hommes et en armes, dont on dispose; que, par cela même, les très-grandes places ne conviennent qu'aux grandes puissances, alors que les petites doivent suppléer par des enceintes à l'abri d'un coup de main et des camps retranchés, appuyés à des citadelles, au développement que les places ne peuvent avoir en fortifications permanentes;

Que, sous le seul point de vue militaire, le nombre et l'importance des forteresses seront déterminés par ceux des points stratégiques, désignant par points stratégiques les positions qui donnent la faculté de prévenir un agresseur dans toutes les directions et de le combattre avec avantage, sans compromettre les chemins de retraite. Si les lignes d'opération sont nombreuses, l'armée ne pouvant se trouver sur toutes en même temps, on devra occuper les positions principales sur chacune par des places fortes, afin de gagner la faculté de passer sûrement de l'une à l'autre; ces places serviront aussi à améliorer les positions existantes et souvent en créeront de nouvelles;

Que les flancs des frontières qui s'appuient à la mer doivent être soutenus par plusieurs places fortes bâties le long ou à peu de distance du littoral, afin de priver un agresseur du puissant secours d'un ravitaillement maritime et de l'appui d'une flotte;

Qu'une frontière maritime n'exige pas un redoublement de places fortes, mais qu'il suffira de fortifier l'embouchure des fleuves, et de s'assurer des rades par des batteries de côte à réduits en maçonnerie;

Que, dans la discussion d'un système de défense, il faut consulter le climat et la salubrité du site, tant pour l'emplacement des fortifications que pour la nature et la force des ouvrages dont on les compose;

Que la fortification des capitales, très-utile dans les grands États, est, dans toutes les hypothèses, d'une indispensable nécessité pour les petits, parce que de leur conservation dépendent l'unité et l'ensemble dans l'application du peu de ressources dont on dispose.

On pourrait encore formuler bien d'autres préceptes, en combinant de diverses manières les considérations énoncées et en multipliant les hypothèses; mais nous croyons en avoir dit assez pour vous guider dans l'appréciation de l'effet qu'on attend de chaque place forte, en particulier, ainsi que du système auquel elles appartiennent, en général, et vous prémunir contre les paradoxes des théoriciens, ce qui est le but principal de l'examen auquel nous venons de nous livrer.

§ VI.

27me LEÇON.

STRATÉGIE.

SOMMAIRE.

Considérations générales. — Définitions ; objectifs, bases d'opération, lignes d'opération ; lignes de communication ; front d'opération. — Principes fondamentaux et abstraits de la stratégie. — Emplacement des points stratégiques dans les différents terrains. — Lignes stratégiques et lignes d'opération, uniques, parallèles, divergentes, convergentes ou concentriques ; leur mérite relatif. — Bases d'opération, étendues, resserrées, réduites à un point ; inconvénients de cette dernière disposition. — Nécessité de fortifier les points de la base d'opération. — Direction de la base d'opération par rapport à la ligne d'opération de l'armée et à la ligne d'opération de l'ennemi. — Rapport entre l'étendue de la base et la longueur de la ligne d'opération ; absurdité de l'application du principe abstrait démontrée par un exemple. — Bases intermédiaires ; leur emplacement, leur direction. — Choix de la ligne d'opération. — Difficultés du concours de plusieurs masses vers un seul but. — Nécessité de couvrir la ligne d'opération dans toutes les circonstances et de se replier plutôt que de se laisser tourner. — Retraites perpendiculaires ou de flanc ; difficulté des mouvements de flanc. — Observations sur cette théorie et inanité des spéculations géométriques. — Stratégie du champ de bataille, exemple. — Conclusion. — Maximes de Napoléon.

Dans la première leçon de ce Cours, nous avons défini la stratégie : « l'art de faire mouvoir les armées et de faire concourir les diverses « masses vers un même but, soit sur un champ de bataille, soit à des « distances plus ou moins éloignées. »

Il suit de cette définition que la stratégie est la science des généraux en chef et, sous ce rapport, il semble que nous pourrions nous abstenir de vous en parler, puisque vous avez certainement encore bien du temps devant vous pour vous en occuper ; mais une foule d'écrivains s'étant mis à raisonner et à déraisonner sur ce sujet, la science est tombée, pour ainsi dire, dans le domaine commun, et il importe de vous familiariser avec les termes techniques et les idées fondamentales, quand cela ne servirait qu'à vous préserver du ridicule d'employer à

tort ou à raison des expressions mal comprises, ainsi qu'il arrive trop souvent aux jeunes gens.

Lorsqu'on veut soumettre la science militaire au calcul, on doit considérer un corps d'armée, division, brigade, régiment ou bataillon, enfin une agglomération quelconque de soldats, comme une unité indivisible, qu'on peut concevoir par la pensée concentrée dans son centre de gravité et agissant à l'instar des poids ou des forces dans la mécanique; en sorte qu'un certain nombre de soldats, armés d'une certaine manière, est censé produire toujours le même effet. Le terrain sur lequel ils doivent agir se convertit en un réseau de triangles rectilignes placés sur une surface plane. Alors la conduite de la guerre se règle par des considérations géométriques de la plus grande simplicité, que nous allons vous exposer, après avoir toutefois défini les termes dont nous devons nous servir.

Toute opération d'armée est *offensive* ou *défensive : offensive* lorsqu'on cherche à nuire à l'ennemi, tant en détruisant ses troupes qu'en s'emparant des pays qui les alimentent ; *defensive,* lorsqu'on se borne à conserver ce qu'on possède et à préserver de destruction sa propre armée et ses magasins. La défense peut cependant agir offensivement, quand, par une diversion, elle détourne l'agresseur de poursuivre ses desseins, comme l'agression défensivement, lorsqu'elle se borne à conserver les positions prises, jusqu'à l'exécution des manœuvres qui préparent ses progrès futurs; mais, dans tous les cas, une opération d'armée a un but qu'on veut atteindre, tel que la possession d'une ville, l'enlèvement d'une position essentielle, etc. Ce but, les stratégistes l'appellent *l'objectif,* scindant cette appellation en *objectif principal* et *objectifs secondaires,* suivant l'importance dont l'obtention de ce but peut être pour la suite des opérations ou l'issue de la guerre. Ainsi une armée envahissant un territoire ennemi peut vouloir s'emparer de la capitale, afin de renverser et de dissoudre le gouvernement. Cette capitale sera *l'objectif principal.* Pour y parvenir, il faudra d'abord s'emparer d'un passage sur une rivière, d'une position centrale, qui permet de prévenir l'ennemi dans toutes les directions et d'empêcher l'agglomération de ses forces. Ce pont, cette position, seront des *objectifs secondaires.* D'un autre côté, si, pour parvenir à cette position et s'y maintenir, il faut s'assurer d'abord la possession d'un défilé, la navigation d'un cours d'eau, dans la manœuvre qu'on fait à cette intention, la position devient l'objectif principal, la tête du défilé; l'écluse du cours d'eau, l'objectif secondaire et ainsi de suite.

La ligne sur laquelle se trouve l'armée lorsqu'elle se met en mouvement pour atteindre l'objectif est sa *base* ou *base d'opération*. Cette base peut être occupée réellement ou seulement former une ligne territoriale, peu importe. Ainsi, lorsque l'empereur Napoléon commença la guerre contre la Russie, en 1812, ayant pour alliés la Prusse et l'Autriche, sa base d'opération s'étendait de la Baltique aux monts Carpathes en Transylvanie, et elle aurait compris tout l'intervalle entre la mer Glaciale et la mer Noire, s'il avait rattaché la Suède et la Turquie à son système, quoiqu'il n'eût certes pas disséminé son armée ni celles de ses alliés sur un pareil développement.

Une base d'opérations n'est pas toujours unique, une armée peut en avoir plusieurs successives. Ainsi une armée française opérant contre l'Espagne a d'abord pour base sa frontière; mais si elle fait des progrès, elle peut choisir une nouvelle base sur l'Èbre, appuyant ses ailes au golfe de Gascogne et à la mer Méditerranée. Si, dans cette position, elle avançait sa gauche, en s'emparant du royaume de Valence, la Sierra d'Estrella deviendrait sa base d'opération de ce côté contre le centre de l'Espagne; ou, pour choisir un exemple plus près de nous, une armée française faisant la guerre à la Prusse aurait pour base d'opération sa frontière entre la Meuse et le Rhin, base qui serait remplacée par le cours du fleuve entre Strasbourg et les frontières de la Hollande, si les premiers succès la rendaient maîtresse des pays sur la rive gauche.

La direction que l'armée se propose de suivre pour arriver de la base à l'objectif est sa *ligne d'opération*. Je dis *direction* et non pas *route*, car une armée considérable marche sur plusieurs routes en même temps, et toute route qui conduit de la base à l'objectif n'est pas une ligne d'opération; mais toute route est une *ligne de communication*, qui devient ligne d'opération lorsque le gros de l'armée ou un corps agissant d'une manière indépendante la suit pour atteindre le but proposé.

Un *front d'opération* est l'étendue d'une ligne qu'occupe l'armée, en avant de sa base, soit en pays ennemi, soit dans son propre pays.

Nous rencontrerons encore bien d'autres termes, dont la signification a besoin d'explication, d'autant que le caractère spécial de toute la science est d'être prodigieusement vague; mais nous aurons soin d'en donner la définition, autant que possible à mesure qu'ils se présenteront.

Voici maintenant les premiers principes de la stratégie, empruntés à l'ouvrage *ad hoc*, généralement attribué à l'archiduc Charles.

« Il est reconnu qu'une force quelconque ne produit d'effet que dans

« un rayon qui lui soit raisonnablement proportionné. Ainsi, le point « sur lequel se trouve une armée n'étend son influence qu'autant que « l'ennemi ne peut le dépasser ni en atteindre un autre, sans courir le « risque d'être prévenu, et sans s'exposer à être arrêté de front ou « inquiété dans ses communications, sur ses flancs ou sur ses der- « rières.

« Par exemple, soit *A* (*pl. V, fig.* 6), le point où se trouve l'armée, « et *B* la position de l'ennemi; *A* couvre alors toute l'étendue et les « derrières de la ligne *CD*, coupée par la perpendiculaire *AB* au « point *A*, où se trouve de chaque côté un angle de 90°; et attendu que « les lignes *BC* et *BD* forment les hypoténuses de deux triangles rec- « tangles, elles sont plus longues que *AC* et *AD;* ainsi chaque mouve- « ment de l'ennemi qui part de *B* pour aller vers la ligne *CD*, peut « être prévenu par l'armée dont la position est en *A*.

« Si la distance *AB* (*pl. V, fig.* 7) entre deux positions diamétrale- « ment opposées est coupée en son milieu *J* par la ligne horizontale *EF*, « alors le point où est la position *A* en couvre aussi toute l'étendue en « arrière, car *A* et *B* en sont également éloignés.

« Si l'ennemi (*pl. V, fig.* 8) est obligé de couvrir le point *B*, et de « faire indispensablement sa retraite sur le même point, la position « prise au point de tangence *A*, couvre tout l'espace situé hors du « cercle qui a pour centre *B*, et pour rayon *AB*, car chacun des points « pris hors du cercle est plus éloigné de *B* que de *A*, ou plus que *A* ne « l'est de *B*.

« L'armée placée en *A* peut, sur un point quelconque, comme *X*, « par exemple, prévenir son ennemi, quand la ligne qui y conduit est « intérieure au triangle équilatéral *BAC* ou *BAD*, et si l'objectif des « opérations de l'ennemi est hors du triangle, comme *Z*, elle peut « attendre son adversaire au point *B*, sur lequel il doit inévitablement « se diriger.

« Lorsque le point *A* (*pl. V, fig.* 9) doit être couvert contre un « ennemi placé en *B*, l'armée ne peut, tant qu'il y reste, se mouvoir « au delà du cercle *CED*, dont *AB* est le rayon, car elle exposerait le « point *A* aux entreprises que l'ennemi pourrait former au point *B*.

« Une armée qui, par exemple (*pl. V, fig.* 10), voudrait du point *A* « se porter par le point *C* sur le point *F*, pendant que son adversaire « se trouverait en *B*, laisserait à découvert le point *A*, ainsi que la « partie *GA*, de sa ligne d'opération *FA;* car *FG* = *GB*, et *B* est plus « près de la partie *GA* de la ligne d'opération, que ne l'est le point *F*.

« Veut-on du point *A* (*pl. V, fig.* 11) se porter par *C* sur *F*, pen-
« dant que l'ennemi se trouve près de *B*? Il faut assez l'éloigner de *B*
« en *X*, pour que *A*, aussi bien que la ligne *FA*, ne soient plus en con-
« tact avec la perpendiculaire *MN*, qui du milieu de la ligne *FX* serait
« dirigée contre la ligne d'opération ; car, puisque *FNX* est un triangle
« isocèle, et que *FN* = *NX*, l'ennemi *X* pourrait encore, à chances
« égales, être prévenu, tant que durerait le mouvement de *A* contre *F*,
« s'il voulait opérer sur la communication *FA*.

« En général, pour la sûreté du point *A* (*pl. V, fig.* 12) et de la ligne
« d'opération *FA*, l'ennemi ne doit jamais être souffert sur le flanc de
« cette ligne, qu'en dehors du cercle dont le centre est *A*, et le
« rayon *FA ;* afin que les perpendiculaires *MN*, tirées au milieu de la
« ligne entre l'objectif *F*, et les positions ennemies *X*, vers la ligne *FA*,
« ne puissent l'atteindre.

« *Comme à la guerre l'ensemble des mouvements ne se calcule pas seu-*
« *lement sur la longueur des lignes, mais sur le temps que l'on met à les*
« *parcourir, l'adversaire rencontre quelquefois des obstacles, tels qu'une*
« *contrée difficile, un fleuve* P, *des forteresses* Q, R, *etc.* (pl. V, fig. 13),
« *qui retardent sa marche contre la ligne d'opération, et rendent par là*
« *son rapprochement moins dangereux. Mais, en général, il ne faut*
« *considérer ces obstacles que d'après les difficultés réelles qu'ils pré-*
« *sentent.* »

Si cette dernière règle ne venait jeter une immense complication dans la question, certes rien ne serait plus simple et plus à portée des conceptions les plus obtuses, que ces principes basés sur la géométrie élémentaire. Nous nous réservons de vous faire sentir le poids de cette réserve quand nous aurons achevé d'exposer la doctrine ; il nous suffit en ce moment de l'avoir signalée à votre attention. Quant aux principes fondamentaux, l'archiduc Charles les regarde comme tellement importants, qu'il déclare « que celui qui opérera d'après ces maximes obtien-
« dra sur l'adversaire qui s'en écartera, une supériorité que ce dernier
« ne recouvrera qu'en faisant de nouveaux sacrifices » et que « le
« grand art consiste à contraindre son ennemi, soit par la force, soit
« par des manœuvres, à s'écarter des principes de la stratégie, sans
« jamais s'en éloigner soi-même. » Il suit de là évidemment, qu'aucune science ne serait plus facile que le commandement des armées, si les applications étaient aussi simples que la prescription. Continuons à les exposer :

« Les points et les lignes stratégiques sont les moyens que présente

« le théâtre de la guerre pour mettre en pratique les maximes de cette « science; l'étude de la marche des opérations et celle des dispositions « défensives, donnent la manière de les mettre à exécution.

« Un point est réputé stratégique, quand sa possession présente un « avantage majeur pour les opérations. Cette possession n'est réputée « définitive qu'autant qu'elle assure la communication qui y conduit; « qu'elle est liée à la probabilité de s'y maintenir; que l'ennemi ne « peut impunément le dépasser; et enfin, que de ce point, on a la faculté « de se porter dans différentes directions.

« Sont réciproquement stratégiques, dans l'offensive, les points qui « doivent être gagnés; et dans la défensive, ceux qui doivent être main- « tenus; mais la nature et la configuration du théâtre de la guerre peu- « vent seuls les déterminer. »

Ainsi, dans les contrées qui présentent plusieurs communications dans la même direction, le point stratégique est nécessairement là où les communications se réunissent, par suite des accidents du terrain, tels, par exemple, que des rivières navigables, des vallées qui se croisent dans les montagnes, etc. Lorsqu'il y a plusieurs communications parallèles, le point stratégique ne peut être qu'où elles sont plus rapprochées entre elles et liées par une ligne transversale.

Dans les pays de hautes montagnes, il y a peu de communications, donc peu de points stratégiques, de même dans les pays coupés par d'étroits contre-forts de montagnes, parce que les communications par les vallées sont parallèles et sans liaison et ne se réunissent qu'au delà des sommités principales. Ils sont nombreux dans les pays de moyenne élévation, les pays cultivés et fort peuplés, et quand ils sont très-rapprochés, la contrée est particulièrement propre à la défensive. Souvent ils n'offrent pas de terrain favorable aux développements tactiques; mais pour se maintenir sur un point, il n'est pas nécessaire de l'occuper; il suffit de prendre une position en avant, en arrière ou sur ses côtés, surtout si l'ennemi ne peut s'emparer de vive force du point à conserver. Quand on a le temps et les moyens, le plus efficace est de s'assurer la possession des points stratégiques par des ouvrages permanents.

On compte dans l'offensive trois espèces de points stratégiques : ceux de la base d'opération, les objectifs et les points intermédiaires.

Dans la défensive, ces points se présentent en rapport inverse. Les premiers protègent les contrées en arrière; les seconds ont pour but d'empêcher l'ennemi d'approcher trop des premiers, soit à force

ouverte, soit par des manœuvres qui menaçent ses communications; les derniers sont intermédiaires entre les autres.

Dans chaque État il y a des points stratégiques qui peuvent décider de son sort, et dont l'occupation rend maître de la contrée et de ses ressources. Ordinairement, il n'y a pas un grand nombre de ces points, souvent même il n'y en a qu'un, et alors il est toujours décisif, de quelque côté que vienne la guerre. Mais les points qui servent aux opérations moins importantes sont d'autant plus nombreux qu'ils ont un but d'utilité différent. Tel, par exemple, assure la possession d'une étendue de pays; tel autre est utile pour faire de simples démonstrations; celui-ci offre une position avantageuse pour gagner du temps, etc. Il y a des points stratégiques intermédiaires, qui, couvrant les contrées que l'on a franchies et assurant la possession de plusieurs communications, ouvrent ainsi un vaste champ aux progrès ultérieurs et donnent les moyens ou d'atteindre le but principal ou de marcher à une entreprise accidentelle, que les circonstances pourraient exiger. Quand une armée se trouve obligée de suspendre momentanément le cours de ses opérations, c'est toujours sur des points stratégiques qu'elle doit séjourner. Jomini considère des lignes et des points stratégiques, *géographiques ou permanents, et de manœuvre ou accidentels;* l'archiduc Charles ne fait pas cette distinction.

Tout point où se réunissent plusieurs communications n'est pas pour cela stratégique. Il ne l'est qu'autant qu'il se trouve sur une ligne stratégique ou qu'il la commande.

Les points et les lignes stratégiques sont inséparables et les uns n'existent pas sans les autres. De toutes les lignes qui lient deux points stratégiques, la seule vraiment stratégique est celle qui forme cette liaison avec le plus d'avantages.

Le premier et le plus grand de tous est celui de couvrir nos propres communications. On l'obtient en formant son armée sur un point stratégique, et on le conserve en la faisant mouvoir sur une ligne stratégique. Le second avantage est de gagner du temps. On l'obtient en choisissant pour ligne d'opération le chemin le plus court d'un point à l'autre, non pas celui qui a le moins de mètres de développement, mais qui exige le moins de temps pour le parcourir. Une ligne n'est stratégique que si elle est, sur toute son étendue, praticable pour toutes les armes et pour le transport du matériel.

Pour établir le calcul du temps nécessaire au trajet des lignes stratégiques, on doit avoir égard aussi aux facilités qu'offrent certains pays,

de pouvoir marcher sur plusieurs colonnes, dans la même direction et, par conséquent, d'être parcourus beaucoup plus vite. On doit également considérer l'avantage qui résulte d'une rivière navigable, dont le cours suit la ligne de communication et facilite le transport de tous les objets nécessaires.

Communément, plusieurs lignes stratégiques conduisent au même point stratégique. On appelle alors, avons-nous dit, *ligne d'opération* celle que l'armée suit ; ce nom la distingue des communications secondaires.

Ordinairement, il n'y a qu'une ligne d'opération, parce qu'il n'y a qu'une ligne qui soit la plus avantageuse. On peut quelquefois cependant en prendre plusieurs pour arriver concentriquement au même but ; surtout lorsque, au début d'une entreprise, on a des forces considérables sur plusieurs points. Par ce moyen, sans doute, la marche des opérations est plus facile, mais elle n'est pas toujours la plus sûre, à moins que l'armée qui s'avance n'ait une supériorité telle, que chacune de ses colonnes soit plus forte que celle de l'ennemi qu'elle peut rencontrer ; qu'elles soient assez rapprochées les unes des autres pour se prêter un secours mutuel, en cas de nécessité ; ou, enfin, que l'adversaire soit hors d'état d'entreprendre quelque chose contre l'une d'elles avant que toutes aient atteint le but de leur manœuvre. Autrement une armée qui s'avance sur plusieurs colonnes est toujours exposée à être coupée par l'ennemi, qui se jetterait entre elles et les battrait les unes après les autres.

Mais les lignes d'opération parallèles ou divergentes sont encore bien plus dangereuses. Les premières n'ont pas assez de liaison, ou, s'il y en a, elle ne sert à rien, parce que chaque ligne tend vers son but particulier. La liaison diminue dans les dernières à mesure que la marche se prolonge, et un ennemi adroit pourrait même céder du terrain à dessein, afin d'accroître la distance entre les colonnes ou corps d'armée ; puis, se dérobant devant l'une, tomber avec toutes ses forces réunies sur l'autre, pour l'anéantir ; puis revenir avec la même supériorité sur la première.

Cette théorie emprunte une extrême lucidité à l'observation de Napoléon, que les flancs étant la partie faible de toute ordonnance, l'emploi d'une seule ligne d'opération présente un très-grand avantage, puisque deux lignes d'opération donnent quatre flancs, et trois lignes d'opération, six flancs, alors qu'une seule n'en offre que deux. Mais cette spéculation mathématique a le sort de toutes les autres, dès qu'il s'agit de

l'application, c'est-à-dire que son observation est entièrement subordonnée aux événements. Aussi voit-on ce grand capitaine agir différemment en diverses circonstances : en 1796, prendre l'offensive sur deux lignes convergentes, suivant les deux bords du lac de Garda; en 1797, se lancer hardiment à 100 lieues de sa base et aller dicter la paix au cabinet de Vienne, du sommet du Simmering, malgré l'attitude hostile des Vénitiens, sur le territoire desquels passait son unique ligne d'opération; en 1800, marcher suivant une seule ligne jusqu'à son arrivée dans les plaines de la Lombardie; puis, forcé par la nécessité de chercher sur diverses directions l'ennemi dont il ignorait la position, en avoir deux parallèles sur les deux rives du Pô; en 1809, partager son armée en deux masses, dont il opère la jonction suivant les vallées du Mein et du Danube, sur le terrain occupé par l'ennemi et à une demi-marche de toutes ses forces réunies, et ainsi de suite, prenant toujours conseil des circonstances et fondant ses immortelles combinaisons sur les forces et sur la conduite de son adversaire, bien plus que sur les théorèmes de la géométrie, malgré leur incontestable vérité.

La base d'opération est formée par une série de points à proximité desquels se trouvent tous les objets nécessaires à l'armée, et assez de débouchés pour les faire transporter sur les diverses directions. Il est donc de toute nécessité que la base, de même que ses communications avec l'armée, soient constamment couvertes par les positions sur lesquelles on s'établira, ou par les mouvements que l'on exécutera par la suite.

Une base d'opération doit, de préférence, reposer sur plusieurs points, parce qu'il est difficile et dangereux de réunir tous les approvisionnements d'une armée dans un seul dépôt, et de n'avoir qu'une route pour les transports. Soit qu'on se porte en avant ou en arrière, il y a plus de facilité pour les manœuvres, plus de choix dans les lignes d'opération, lorsque les objets nécessaires sont répartis sur plusieurs points et qu'on peut se les procurer par différents chemins.

Quelquefois, cependant, le terrain ne présente qu'un seul point pour base d'opération et une seule route pour ligne d'opération et de communication. Ces cas rares ôtent toute possibilité de manœuvrer et astreignent à suivre une direction unique. C'est ce qui arrive dans les expéditions transatlantiques, et c'est la cause efficiente du peu de succès des descentes purement militaires. Le premier besoin d'une armée ainsi projetée sera de se saisir d'un port capable d'abriter la flotte, qui reste son seul moyen de communication avec la mère patrie. Si elle n'y

parvient pas, n'ayant d'autre base que son camp, ni d'autre ligne de communication que la flotte, que les gros temps peuvent tenir éloignée pendant plusieurs semaines ou plusieurs mois, suivant le climat et la nature de la côte, elle court risque d'être entièrement détruite et n'a rien de mieux à faire que de se rembarquer dès que son ennemi a réuni ses forces. Quand même elle y parvient, forcée de s'éloigner de son unique point d'appui pour atteindre le but ultérieur de l'expédition, ce n'est qu'avec les plus grandes précautions qu'elle peut s'avancer, d'ordinaire en suivant la rive d'un cours d'eau navigable, pour entretenir la communication avec la flotte, et si son adversaire évite de se commettre directement avec elle sur un champ de bataille, s'il se contente de menacer ses communications, les mouvements latéraux empêcheront le corps expéditionnaire de s'éloigner, de crainte de voir ses approvisionnements disparaître sans pouvoir les renouveler, et d'avoir à combattre bientôt, non plus pour le triomphe espéré, mais pour la liberté de la retraite.

Les points qui constituent la base doivent être liés entre eux par des communications praticables. Il est bon qu'ils soient sur une ligne de défense avantageuse ou devant elle, afin que l'armée soit à même de les protéger. Dans ce cas, la ligne de défense devient elle-même le front d'opération. Il serait à désirer que ces points fussent fortifiés, afin de pouvoir les abandonner à eux-mêmes, sans crainte de perdre les magasins qui y sont établis et de n'être pas obligé de les défendre par des détachements qui affaiblissent l'armée. Les mouvements d'un général en chef, forcé avant tout de couvrir ses magasins et de détacher des troupes pour les garder, ne seront jamais aussi hardis ni aussi rapides que s'il avait la faculté de s'en éloigner pour quelque temps avec l'assurance de les retrouver.

La direction la plus favorable de la base d'opération est celle qui serait parallèle à la base d'opération de l'ennemi, parce qu'elle est moins susceptible d'être menacée. Par la même raison, la meilleure ligne d'opération est celle qui, partant de notre propre base, conduit perpendiculairement contre la position de l'ennemi, attendu que de cette manière la base en est protégée, malgré son étendue et l'éloignement de l'armée.

On peut observer sur ces dernières propositions, que, vraies lorsqu'on agit défensivement, elles n'amèneraient pas à de grands résultats dans des opérations offensives, l'effet naturel d'une marche dans cette direction étant de rejeter l'ennemi vers sa base, alors que tous les grands capitaines ont cherché constamment les moyens de l'en couper,

afin de le détruire avant qu'il ait pu réparer ses pertes ou trouver un refuge. Le choix de la ligne d'opération dépendra donc, en grande partie, de la supériorité en forces ou en talent qu'on croira avoir sur son adversaire.

Si la base sur laquelle nous opérons est plus étendue que celle de l'ennemi, nous serons moins exposés à être tournés et nos derrières en seront plus sûrs. Il en résulte toute sorte de facilités pour manœuvrer, et une supériorité marquée sur l'adversaire dont les mouvements sont plus limités.

On dit encore que le développement de la base doit être proportionné à la longueur de la ligne d'opération, c'est-à-dire que toutes les fois qu'on veut étendre la dernière, il convient de tenir l'ennemi, par le mouvement même, à une assez grande distance de notre flanc, pour que la base d'opération, prolongée dans la même proportion, soit hors d'atteinte; mais comme une base d'opération n'est pas extensible de sa nature, cela revient à dire qu'une armée ne peut pas s'éloigner au delà d'une certaine distance de sa base. Quelques stratégistes, ayant bien réfléchi sur ce point, ont trouvé que l'armée ne pouvait jamais dépasser le sommet d'un triangle équilatéral, ayant pour côté la longueur de la base d'opération, et ils ont démontré, doctement, d'après cette maxime, que tous les malheurs de la campagne de Russie, en 1812, sont provenus de ce que la distance entre Moscou et Dantzig était plus grande que celle entre Dantzig et Varsovie, en sorte que l'hiver de la Russie n'eût pas sévi contre la grande armée, si l'alliance de la Suède lui eût permis de se retirer dans la direction de la Mer glaciale! L'absurdité de la conclusion montre le danger de ces spéculations mathématiques, quand, par présomption ou par ignorance, on s'avise de les appliquer dans toute leur rigueur.

Si l'on voulait seulement dire par là, que plus une armée s'éloigne de sa base, plus ses communications deviendront difficiles à couvrir, et plus elle courra risque d'être débordée sur ses flancs, dans le cas d'une retraite forcée, c'est ce que personne n'aurait contesté, comme ce n'aurait été nouveau pour aucun militaire; mais si on voulait formuler une règle graphique, analogue aux autres principes fondamentaux de la stratégie, il nous semble qu'il eût été plus rationnel de dire, qu'à mesure qu'une armée s'éloigne de sa base, elle doit étendre son front d'opération et son rayon d'action, ou, en d'autres termes, qu'elle doit augmenter sa puissance en raison de son éloignement, afin que ses communications courent moins de risque d'être interceptées, cette règle n'offrant d'autre difficulté que celle de la mise en pratique.

Afin d'obvier, néanmoins, à l'inconvénient signalé, on prescrit d'établir une nouvelle base dans le pays ennemi, sur le point où le terrain prête un appui aux deux ailes et présente une série de points liés par des communications avantageuses, tant entre eux qu'avec l'ancienne base. Il ne serait pas moins nécessaire que ces points fussent liés avec la ligne d'opération adoptée, et que celui qui forme la clef du pays en arrière fût comme le pivot des mouvements ultérieurs.

Cette seconde base étant destinée à couvrir l'ancienne, il est clair qu'elle doit être également protégée par les positions et les mouvements de l'armée, et qu'elle est pour la nouvelle ligne d'opération dans le même rapport que celle-ci l'était à l'égard de la base primitive.

Si la retraite de l'ennemi a lieu sur le prolongement de notre ligne d'opération ou forme une parallèle avec elle, il n'y a pas d'inconvénient d'établir plusieurs bases d'opération successives, dans une même direction et sur une même largeur, parce que le rapport de l'éloignement entre les deux armées, et par conséquent du pays en arrière, reste le même.

Mais s'il se retire vers les flancs de la ligne d'opération, l'armée victorieuse pourra choisir entre trois partis : 1° donner une autre direction à la ligne d'opération, ce qui exigerait également un changement dans la base, afin de ne pas en exposer la partie la plus rapprochée de l'ennemi; 2° adopter une nouvelle ligne d'opération; 3° enfin, forcer l'ennemi à changer de ligne de retraite et le repousser à une plus grande distance, avant qu'il ait eu le temps de se reconnaître.

Pour donner à la base d'opération offensive et défensive d'un État toute la valeur désirable, il faudrait que chaque ligne frontière d'un État fût appuyée par des places fortes, au centre et aux extrémités. Il serait convenable qu'elle fût toujours en état de défense, si l'armée vient à s'en éloigner par des succès; loin de la négliger, il serait prudent de la mettre dans un état formidable, à mesure qu'on avancerait dans le pays ennemi, afin qu'elle pût servir d'arrière-base en cas d'échec et qu'on fût sûr d'un refuge, si la chance venait à tourner. Sans cette précaution, les succès obtenus n'auront d'autre résultat que de détruire et d'affaiblir l'armée victorieuse. Jomini considère : 1° le *front stratégique* d'une armée; c'est le front des positions réelles; 2° le *front d'opérations,* qui s'étend au delà des extrémités du front stratégique, jusqu'où les armées contendantes pourront se joindre pour combattre; 3° la *ligne de défense,* qui sera la ligne même du front stratégique, ou un peu en arrière. Selon cet auteur, il y a trois espèces de *réserves :* 1° les

réserves tactiques, ou de bataille; 2° les *réserves stratégiques*, réunies sur un point stratégique en arrière de l'armée active; 3° les *réserves nationales* à lever en cas d'urgence.

Toute opération a un objet, un but et s'exécute sur des lignes d'opération qui joignent la base avec l'objet.

Une opération comprend le cours entier d'une guerre ou seulement d'une campagne. Quelquefois encore, elle se borne à l'occupation d'un point stratégique et à l'obtention des avantages qui s'y rattachent. Le choix de l'objet de l'opération n'est pas indifférent, vu qu'il doit porter sur le point dont l'occupation peut procurer un résultat décisif. La fixation de la base doit lui être subordonnée, en ayant égard toutefois à la nature du théâtre de la guerre.

Le choix de la ligne d'opération et du point d'où il faut partir ne dépend pas toujours des avantages naturels de cette ligne, mais souvent de circonstances qui y sont tout à fait étrangères. La position réciproque des troupes, la proximité ou l'éloignement des endroits d'où l'on attend des renforts, l'avantage de couvrir une plus grande étendue de pays par la ligne d'opération qu'on a prise, la nature du terrain traversé par les lignes, comparée à la composition de l'armée dont on dispose, le degré d'importance que l'adversaire attache à telle ou telle ligne, la résistance présumable des points qui la défendent, en un mot, toutes les circonstances qui peuvent avoir de l'influence sur la conduite de la guerre, doivent être calculées d'avance pour décider un choix aussi important.

Les manœuvres combinées sur la réunion de plusieurs masses éloignées sont, en stratégie, beaucoup plus dangereuses qu'en tactique, vu que la distance des lignes est plus grande, et qu'il est, par conséquent, plus difficile de mettre de la précision dans les calculs et de faire tout arriver à point nommé.

Quelque avantage que promette une opération, il ne faut jamais se porter sur un point stratégique, sans être en mesure d'atteindre le suivant avant l'ennemi, et d'assurer ainsi la ligne de retraite. C'est une règle essentielle et qu'il ne faut pas perdre de vue dans les mouvements que l'on entreprend d'un point ou d'une ligne stratégique à l'autre. Le *point décisif en stratégie*, est celui dont l'occupation produit ou augmente le morcellement des forces ennemies, ou celui d'où l'on peut isoler l'ennemi soit de sa base d'opérations, soit de ses réserves, soit d'une armée secondaire.

Le *point décisif d'un champ de bataille* est le centre d'une ligne

ennemie trop étendue ou celle des extrémités par où l'on peut empêcher la retraite de l'ennemi ou l'acculer à la mer, à un lac, à une rivière, à un obstacle quelconque du terrain et, par suite, lui faire éprouver de grosses pertes en hommes et en matériel.

Avant de se porter sur un point décisif, il faut s'être assuré qu'on ne sera point arrêté dans sa marche par les difficultés topographiques, et qu'avant qu'on ait surmonté ces difficultés, l'ennemi n'aura pas eu le temps d'opposer aux colonnes assaillantes des forces égales ou supérieures.

En général, la rapidité des mouvements est indispensable en stratégie. Le gain d'une seule marche est quelquefois décisif, mais il faut savoir le conserver. Il n'est pas difficile de tourner son adversaire; mais le mouvement n'est pas dangereux pour lui, s'il est exécuté avec lenteur et lui laisse le temps de changer de position ou de contre-manœuvrer.

Il y a plusieurs moyens d'arrêter l'effet d'une telle opération, mais leur réussite dépend essentiellement de la vivacité que l'on met à prendre une décision convenable aux forces et aux positions respectives. Ces moyens consistent, tantôt à prévenir l'ennemi vers le point qu'il se propose d'atteindre, tantôt à l'attaquer pendant qu'il est en pleine marche; d'autres fois à se porter sur sa ligne de communication sans exposer la nôtre, ce qui suppose de faux calculs de la part de l'ennemi, puisque géométriquement tout corps tournant est tourné; mais il n'est pas impossible à un général expérimenté de jeter son adversaire dans une pareille erreur, en usant de ruses et de stratagèmes. En effet, certaines démonstrations, la propagation de fausses nouvelles, des ponts rompus, des chemins détruits à propos, le sacrifice de quelques détachements, etc., suffisent pour arrêter sa marche et déjouer ses projets. Au pis aller, il vaut encore mieux se retirer sur un point stratégique, dans une position défensive, que de se laisser tourner.

La retraite d'une armée défensive doit s'opérer sur la ligne d'opération de l'armée ennemie ou sur le flanc de la même ligne, selon la position des points stratégiques qui donnent l'entrée dans une contrée. La défensive s'appuie sur des points stratégiques fortifiés ou non fortifiés. Dans le premier cas, on se borne à les occuper et à établir une réserve en arrière dans une position centrale. Si les vues de l'ennemi sont connues, on se rapproche du point menacé, on y jette garnison et avec le reste des troupes on choisit une position de flanc, pour se porter sur les derrières de l'ennemi, s'il voulait attaquer un autre point.

Si l'on n'a pas de points fortifiés, la défensive est précaire, dépendante du sort des batailles. Si l'ennemi a le choix de plusieurs lignes offensives, la position la plus avantageuse est à la réunion de ces lignes, ou bien au point qui les lie par une communication transversale. Alors s'il manœuvre sur plusieurs de ces lignes à la fois, on peut se porter à la rencontre de chaque colonne avec la presque totalité de ses forces, en arrêtant les autres corps par des démonstrations. Cela s'appelle agir sur des *lignes intérieures* contre des *lignes extérieures*, et la campagne de France, en 1814, est un magnifique développement de cette méthode.

Il ne suffit pas toujours de prendre position sur une ligne stratégique pour la bien couvrir. Il est des circonstances où il vaut beaucoup mieux s'établir à une certaine distance sur le flanc. Pour que la position réponde alors à l'attente, il faut qu'elle soit tactiquement bonne, fortifiée, s'il est possible, par l'art ou par la nature, et en rapport avec le nombre de troupes qui la défendent, comme avec les moyens d'attaque de l'ennemi. Autrement, il serait facile à l'ennemi de la masquer ou de la forcer. Enfin, elle doit avoir des points de liaison sûrs avec la base, pour ôter à l'adversaire le moyen de couper le chemin de retraite, s'il parvenait à s'emparer de la position. Il est aisé de juger par toutes ces conditions que de pareilles positions sont rares et qu'on ne doit se hasarder à les occuper que lorsque leurs propriétés sont bien évidentes.

Il ne doit pas vous avoir échappé qu'en formulant ainsi des règles fixes pour les diverses opérations de la guerre, nous vous exposons une doctrine à laquelle nos idées ont peine à se soumettre, parce que tout ce qui est abstrait est absolu, et que selon nous, rien n'est moins absolu que la conduite de la guerre, compliquée d'une si infinie quantité de données variables. Parmi ces abstractions même il y en a plusieurs de contestables, sans sortir des généralités, et c'est spécialement le cas de la doctrine sur les bases d'opération et de leur rapport aux lignes d'opération. Nous avons déjà fait ressortir son absurdité en l'appliquant à un exemple, mais on peut la combattre aussi par le raisonnement. Ainsi l'établissement de nouvelles bases, à mesure des progrès de l'armée, nous paraît entraîner des difficultés invincibles, car il ne faut pas oublier qu'une ligne géographique n'est pas une base, puisqu'elle ne fournirait pas d'appui aux manœuvres ni de sécurité aux magasins, et qu'il faut de toute nécessité, pour constituer une base, des points fortifiés par l'art ou la nature et reliés par de bonnes communications. Or la marche en avant de l'armée et son éloignement de sa base primitive admettent deux hypothèses : l'armée a entamé l'ennemi et par des vic-

toires l'a forcé de reculer, ou la seule infériorité de forces a décidé sa retraite et il présente toujours un front menaçant. Maintenant l'armée s'arrêtera-t-elle pour former sa nouvelle base, soit par des siéges, soit en fortifiant des points sur ses flancs et son centre en arrière de son front? Mais, dans la première supposition, elle perd le plus grand fruit de ses victoires, en donnant à l'ennemi le loisir de réparer ses pertes et de réunir de nouvelles ressources; dans la seconde, elle abandonne volontairement l'initiative et, au lieu de profiter de sa supériorité pour écraser un ennemi trop faible, elle lui facilite pendant tout le temps nécessaire à l'établissement de sa nouvelle base, c'est-à-dire pendant deux ou trois mois, au moins, les occasions d'engager des actions partielles, dans lesquelles l'initiative lui assure la supériorité du nombre sur le point attaqué, et cet effet sera d'autant plus sûrement produit, que l'armée aura dû étendre son front pour garantir sa nouvelle base. Dans l'un et l'autre cas, ayant affaire à un ennemi actif et entreprenant, on courra des chances qu'on se serait épargnées en poussant sa pointe jusqu'à ce que les forces ennemies soient tout à fait et irrévocablement dispersées. Il est au moins fort douteux que Napoléon fût resté maître de l'Europe, de 1803 à 1812, s'il s'était arrêté en Bavière, en 1805, après la bataille d'Ulm, jusqu'à ce que sa base sur les bords de l'Inn ou de l'Iser fût fortifiée, car dès 1806, il aurait eu contre lui la même coalition des peuples du Nord sous laquelle il succomba en 1813; et si les alliés, en 1814 et 1815, eussent attendu pour marcher sur Paris, le succès des siéges des forteresses de l'Alsace et de la Flandre, croit-on que Napoléon leur eût donné le temps d'établir leurs bases? Nous ne supposons pas non plus que les Russes eussent laissé l'empereur construire paisiblement des places fortes sur la Dwina et le Dnieper après la prise de Smolensk, en 1812, comme les savants stratégistes ont décidé, d'après les événements, qu'il eût été conforme à l'art de le faire, alors qu'un simple temps d'arrêt dans la poursuite, à Witepsk, fut marqué par un retour offensif, peu profitable aux armes françaises. Il est probable que, dans toutes ces conjonctures, une halte prolongée eût amené de tout autres résultats et bien moins glorieux. Et qu'on n'argue pas des désastres de la grande armée, pour dire qu'ils n'auraient jamais pu devenir pires, car si Napoléon était parti des confins de son empire, au lieu de se baser sur les frontières d'alliés peu sûrs (ce qui était une faute politique, mais non un faux calcul militaire), ces désastres eussent été prévenus ou fort atténués, la campagne pouvant alors commencer deux mois plus tôt et la retraite être terminée avant l'invasion des

grands froids. Quand on le peut, au surplus, il faut, *à la fois*, poursuivre ses succès et travailler activement à s'assurer d'une nouvelle base, avec le secours du génie militaire et en faisant des réquisitions d'ouvriers dans les pays envahis.

Observons encore que ces abstractions supposent que la conduite de la guerre doit être toujours la même, et cependant quelle immense différence entre une guerre dynastique et une guerre nationale, entre celle qui a pour but de conquérir un pays, et celle qui se propose de le soumettre! Quelle variété de combinaisons naissent de la composition des armées en armes différentes et en espèces d'hommes, de leur force relative et de leur force intrinsèque! Quel immense changement résulte de la perte d'une bataille, du détachement d'un corps d'élite, même de l'absence d'un seul homme! La première étude d'un général n'est-elle pas celle du caractère de son adversaire, et serait-on bien inspiré de calculer ses manœuvres devant un Frédéric le Grand comme devant un Daun? C'est à présent le moment de vous rappeler la réserve que nous faisions au commencement de la leçon, à l'occasion de la règle, qu'il ne faut pas calculer les distances des points stratégiques d'après le nombre de mètres, mais d'après les obstacles que la marche peut rencontrer. En effet, une place forte, une position, un corps d'armée, n'ont pas toujours la même valeur; c'est de l'esprit qui anime les hommes qu'elle dépend. Nous dirons la même chose du nombre de lieues, car c'est d'après la force physique et morale des troupes qu'on doit supputer la quantité de kilomètres qu'elles sauront franchir, dans un temps donné, sans perdre la faculté de combattre. Voyez les soldats de Frédéric vaincre à Rosbach le 5 novembre 1757, et à Lissa le 5 décembre, et toujours renverser des masses triples; voyez Napoléon conduire à Mantoue, pour vaincre à la Favorite, le 16 janvier 1797, les mêmes hommes qui s'étant battus le 12, en avant de Vérone, avaient vaincu le 14, à Rivoli. Prenez ensuite le compas, comptez combien de marches d'armée il y a entre ces points, et vous devrez révoquer en doute les prodiges que l'histoire atteste, ou convenir de l'inanité des spéculations géométriques pour servir de règle à l'art de la guerre.

Disons-nous pour cela que cet art ne soit pas soumis à des règles, à des calculs? Qui pourrait le croire! Mais ces calculs sont des calculs de chances, de probabilités, résultant de la combinaison d'un nombre considérable de données variables, et variables dans chaque circonstance, à chaque jour, à chaque heure du jour. Vouloir les renfermer dans des bornes étroites, limiter les conséquences qu'on doit en déduire

par des mesures de planimétrie, c'est, d'après l'expression énergique de Napoléon, croire résoudre par une formule du deuxième degré un problème de géométrie transcendante qui ferait pâlir Lagrange ou Laplace, et donner la mesure de sa présomption ou de son ignorance. *La guerre,* a-t-il dit encore, *est, avant tout, une « affaire de jugement. »*

La stratégie véritable ou la direction des armées présuppose, chez celui qui l'exerce, des notions complètes sur la topographie et la géographie du théâtre de ses opérations, une entente parfaite de la tactique, pour apprécier la valeur des positions que la topographie indique; des connaissances étendues dans l'art d'attaquer et de défendre les places, afin de porter en compte, avec quelque approximation, l'effet utile que leur possession peut produire et le temps nécessaire pour surmonter l'obstacle qu'elles présentent; la connaissance de l'administration et de l'art de faire vivre les armées, tant par des magasins que par les ressources du pays, pour juger de la possibilité de faire subsister les corps, sans altérer leur discipline, à de grandes distances et pendant de pénibles manœuvres. Surtout, il doit posséder une grande connaissance du cœur humain, des mobiles à l'aide desquels on remue et on maîtrise les passions des masses, pour les faire courir les yeux fermés, à travers mille dangers, vers le but proposé, et avoir le don de mettre ces mobiles en jeu; faculté, dirons-nous en passant, purement instinctive, organique, comme le sentiment des formes et des couleurs chez un grand peintre, comme celui des accords et des mélodies chez un grand compositeur. L'homme doué de ces qualités et riche de cet acquis pourrait probablement se passer des règles que nous avons formulées, surtout s'il y joint une volonté ferme et une décision prompte, l'homme qui en est dépourvu ne sera jamais un grand capitaine, fût-il consommé dans la connaissance de tous les préceptes didactiques sur le sujet. L'unique mérite de la stratégie pure se trouvera donc dans une nomenclature arrêtée pour plusieurs objets qu'on rendait auparavant par des circonlocutions, pourvu qu'en s'en servant on n'y attache pas d'autre prix et qu'on ne s'avise pas de transformer des abstractions en règles pratiques.

Jusqu'ici nous n'avons considéré la stratégie que dans ses rapports avec la marche des armées, et non quant à la direction à donner aux batailles, quoique notre définition première comprenne les mouvements sur le champ de bataille même. Nous serons très-courts sur cet objet (qu'on désigne parfois sous le nom de *grande tactique*), parce que, la chance des combats étant très-variée, aucune autre règle n'a pu être formulée, que la prescription éminemment vague, de diriger les masses

vers les points stratégiques de la position, c'est-à-dire vers ceux dont la possession assurera les plus grands avantages pour la suite des opérations, plutôt que sur le champ de bataille. Un exemple rendra l'idée plus claire. A la bataille de Bautzen, en 1813, la gauche des alliés s'appuyait aux montagnes de la Bohême, leur droite était établie sur des mamelons couverts de retranchements et défendus au pied par des villages. La principale force des Français consistant dans leur excellente infanterie, il semblait que l'attaque par les hauteurs leur était la plus favorable, puisque l'artillerie parvenue sur ces hauteurs aurait battu d'écharpe ou d'enfilade toute la ligne ennemie. Cependant, Napoléon dirigea tous ses efforts contre la droite, parce que celle-ci couvrait la route de Görlitz, seule ligne de retraite des alliés, et qu'en la dépostant, il espérait acculer toute leur armée aux montagnes, dans lesquelles le matériel devait rester, si les troupes parvenaient à s'échapper. La gauche était donc le point tactique, la droite le point stratégique, et c'est à des combinaisons pareilles que l'empereur a dû les suites immenses de presque toutes ses victoires ; mais encore fallait-il être lui pour les leur faire produire et pour combiner les moyens de les obtenir.

Ceci bien entendu, nous pourrions revenir aux règles et nous étendre indéfiniment, pour ainsi dire, en traduisant en langage stratégique les prescriptions des capitaines anciens et modernes, en substituant *point stratégique* à *position*, *ligne d'opération* à *ligne de retraite*, et ainsi de suite; mais c'est un travail dont nous nous abstiendrons volontiers, croyant en avoir dit assez pour vous mettre à même d'apprécier ce que cette nouvelle science a de réel et d'applicable. Au surplus, nous vous renverrons derechef à l'étude de l'histoire militaire, à la méditation des campagnes des guerriers célèbres, surtout pendant les guerres de géants de la république et de l'empire français. Vous y trouverez d'admirables conceptions, admirablement exécutées, et, en vous rendant compte des diverses manœuvres, vous comprendrez, mieux que par de stériles abstractions, les mouvements qu'une armée peut exécuter et tout ce que les hommes sont capables de faire, quand ils sont bien conduits. Si vous y réfléchissez sérieusement, en considérant toutes les causes qui influent sur le succès, vous vous convaincrez de l'immense étendue de connaissances dont on doit être pourvu, pour juger d'une opération de guerre autrement que par l'événement; et devenus modestes à force de savoir, vous vous abstiendrez soigneusement de trancher les questions les plus ardues, au moyen de quelques notions élémentaires, en couvrant l'inanité des pensées sous la pompe des paroles, comme il arrive trop souvent à ceux qui parlent stratégie et grande tactique.

En 1830, le général Jomini écrivait : Le principe fondamental de la guerre consiste : 1° à porter la majeure partie des forces disponibles d'une armée au point décisif, soit du théâtre de la guerre, soit d'un champ de bataille ; 2° à opérer de manière que cette masse de forces ne soit pas seulement présente au point décisif, mais à ce qu'elle y soit habilement mise en action. Il ajoutait : *Tous les succès ou les revers furent le résultat de l'application ou de l'oubli de ce principe.* (Tableau analytique, etc., page 60.) Plus tard, le même général (*Journal de l'armée belge*, 1856, n° 55, p. 51) semble reculer devant son axiome. « La « guerre, dit-il, loin d'être une science exacte, est un drame terrible « et passionné, soumis, il est vrai, à trois ou quatre principes géné- « raux, mais dont le *résultat* est subordonné à une foule de complica- « tions morales et physiques. Vérité que j'ai déjà émise il y a sept « ans (1849) dans le premier appendice, auquel celui-ci doit servir de « complément. »

Or, la première édition de ce volume du *Cours d'art militaire* est de 1841. Il en résulte que le major Fallot avait émis cette vérité huit ans avant Jomini et cela en combattant les principes trop absolus du célèbre auteur.

Depuis l'époque des mémorables campagnes de Napoléon Ier, la stratégie, au lieu de progresser, a fait notoirement des pas rétrogrades. Les guerres récentes nous en fournissent la preuve. La Crimée, l'Italie, le Danemark, l'Amérique ont été le théâtre d'une foule de combinaisons, dont, à de rares exceptions près, la stérilité contraste singulièrement avec l'efficacité si frappante des plans stratégiques conçus et exécutés de 1795 à 1815.

D'où provient donc ce phénomène, étrange au milieu de la diffusion générale des lumières? Selon nous, on doit l'attribuer, pour la plus grande partie, à un pur accident littéraire, démésurement grandi à la faveur de quelques paroles élogieuses échappées à l'illustre prisonnier de Sainte-Hélène. Trop de militaires de tout grade se sont, en effet, emparés des formules didactiques de M. le général Jomini. Ils les ont traduites en système immuable, en panacée infaillible; ils les ont prônées et propagées avec la ferveur d'un prosélytisme ardent, les prenant à la lettre, en exagérant la portée pratique et se croyant ainsi dispensés de se souvenir que la conduite de la guerre est, toujours et avant tout, une œuvre de sagacité, appliquée aux données multiples et sans cesse variables de chaque affaire à dénouer.

Tout principe, quelque logique, quelque bien établi qu'on le sup-

pose, a ses limites et ses exceptions. Dans leur recherche gît souvent la difficulté la plus ardue et ceux qui ne veulent ou qui ne savent point les découvrir s'égareront nécessairement en maintes occurrences.

Cependant, nous croyons utile de reproduire ici quelques maximes du plus grand génie militaire des temps modernes. Sous une forme simple, précise et claire, elles renferment un riche fonds de vérités essentielles, susceptibles d'être largement étendues et fécondées par la réflexion.

MAXIMES DE NAPOLÉON.

I. Un plan de campagne doit avoir prévu tout ce que l'ennemi peut faire, et contenir en lui-même les moyens de le déjouer. Les plans de campagne se modifient à l'infini, selon les circonstances, le génie du chef, la nature des troupes et la topographie du théâtre de la guerre.

II. Une armée qui marche à la conquête d'un pays, a ses deux ailes appuyées à des pays neutres, ou à de grands obstacles naturels, tels que des fleuves ou des chaînes de montagnes; il peut arriver qu'une de ses ailes seulement soit appuyée, ou même qu'elle ait ses deux ailes à découvert. Dans le premier cas, un général en chef n'a plus qu'à veiller à n'être point percé sur son front; dans le second cas, il doit s'appuyer à l'aile soutenue; dans le troisième cas, il doit tenir ses divers corps bien appuyés sur son centre, et ne jamais s'en séparer : car, si c'est une difficulté à vaincre que d'avoir deux flancs en l'air, cet inconvénient double si on en a quatre, triple si on en a six, c'est-à-dire si on se divise en deux ou trois corps différents. La ligne d'opération, dans le premier cas, peut appuyer indifféremment sur la gauche ou sur la droite; dans le second cas, elle doit appuyer à l'aile soutenue; dans le troisième cas, elle doit être perpendiculaire sur le milieu de la ligne de marche de l'armée. Mais, dans tous les cas ci-dessus mentionnés, il faut, tous les cinq ou six jours de marche, avoir une place forte, ou une position retranchée sur la ligne d'opération, pour y réunir des magasins de bouche et de guerre, y organiser les convois, et en faire un centre de mouvement, un point de repaire, qui raccourcisse la ligne d'opération de l'armée.

III. Quand on marche à la conquête d'un pays avec deux ou trois

armées qui ont chacune leur ligne d'opération jusqu'à un point fixe, où elles doivent se réunir, il est de principe que la réunion de ces divers corps d'armée ne doit jamais se faire près de l'ennemi, parce que, non-seulement l'ennemi, en concentrant ses forces, peut empêcher leur jonction, mais encore il peut les battre séparément.

IV. Toute guerre doit être méthodique, parce que toute guerre doit avoir un but, et doit être conduite conformément aux principes et aux règles de l'art. La guerre doit être faite avec des forces proportionnées aux obstacles qu'on aura pu prévoir.

V. Au commencement d'une campagne, il faut bien méditer si l'on doit ou non s'avancer ; mais quand on a effectué l'offensive, il faut la soutenir jusqu'à la dernière extrémité. Quelle que soit l'habileté des manœuvres dans une retraite, elle affaiblira toujours le moral de l'armée, puisque, en perdant les chances de succès, on les remet entre les mains de l'ennemi. Les retraites, d'ailleurs, coûtent beaucoup plus d'hommes et de matériel que les affaires les plus sanglantes ; avec cette différence que, dans une bataille, l'ennemi perd à peu près autant que vous, tandis que, dans une retraite, vous perdez sans qu'il perde.

VI. Une armée doit être, tous les jours, toutes les nuits et toutes les heures, prête à opposer toute la résistance dont elle est capable : ce qui exige que les soldats aient constamment leurs armes et leurs munitions ; que l'infanterie ait constamment avec elle son artillerie, sa cavalerie et ses généraux ; que les diverses divisions de l'armée soient constamment en mesure de se soutenir, de s'appuyer et de se protéger ; que dans les camps, dans les marches, dans les haltes, les troupes soient toujours dans des positions avantageuses, qui aient les qualités exigées pour tout champ de bataille ; savoir : que les flancs soient bien appuyés, et que toutes les armes de jet puissent être mises en jeu dans les positions qui leur sont le plus avantageuses. Lorsque l'armée est en colonne de marche, il faut avoir des avant-gardes, et des flanqueurs qui éclairent en avant, à droite et à gauche, et à des distances assez grandes pour que le corps principal de l'armée puisse se déployer et prendre position.

VII. Un général en chef doit se dire plusieurs fois par jour : si l'armée ennemie apparaissait sur mon front, sur ma droite ou sur ma gauche, que ferais-je? et s'il se trouve embarrassé, il est mal posté, il n'est pas en règle, il doit y remédier.

VIII. La force d'une armée, comme la quantité des mouvements

dans la mécanique, s'évalue par la masse multipliée par la vitesse. Une marche rapide augmente le moral de l'armée, elle accroît ses moyens de victoire.

IX. Avec une armée inférieure en nombre, inférieure en cavalerie et en artillerie, il faut éviter une bataille générale, suppléer au nombre par la rapidité des marches, au manque d'artillerie par la nature des manœuvres, à l'infériorité de la cavalerie par le choix des positions. Dans une pareille situation, le moral du soldat fait beaucoup.

X. Opérer par des directions éloignées entre elles et sans communications, est une faute qui ordinairement en fait commettre une seconde. La colonne détachée n'a des ordres que pour le premier jour; ses opérations, pour le second jour, dépendent de ce qui est arrivé à la principale colonne; ainsi, selon les circonstances, cette colonne perdra du temps pour attendre des ordres, ou bien, elle agira au hasard. On doit donc avoir pour principe, qu'une armée doit toujours tenir toutes ses colonnes réunies, de manière que l'ennemi ne puisse pas s'introduire entre elles : lorsque, par des raisons quelconques, on s'écarte de cette maxime, il faut que les corps détachés soient indépendants dans leurs opérations; il faut que ces corps se dirigent vers un point fixe, sur lequel ils doivent se réunir; ils doivent marcher sans hésiter et sans de nouveaux ordres; enfin, il faut que ces corps soient le moins possible exposés à être attaqués isolément.

XI. Une armée ne doit avoir qu'une seule ligne d'opération; on doit la conserver avec soin, et ne l'abandonner que par suite de circonstances majeures.

XII. Les distances que les corps d'armée doivent mettre entre eux, dans les marches, dépendent des localités, des circonstances et du but qu'on se propose.

XIII. Dans les montagnes, on trouve partout un grand nombre de positions extrêmement fortes par elles-mêmes, qu'il faut se garder d'attaquer. Le génie de cette guerre consiste à occuper des camps, ou sur les flancs, ou sur les derrières de l'ennemi, qui ne lui laissent que l'alternative d'évacuer ses positions sans combattre, pour en prendre une en arrière, ou d'en sortir pour vous attaquer. Dans la guerre de montagnes, celui qui attaque a du désavantage; même dans la guerre offensive, l'art consiste à n'avoir que des combats défensifs, et à obliger l'ennemi à attaquer.

XIV. La gloire et l'honneur des armes est le premier devoir qu'un

général qui livre bataille doit considérer; le salut et la conservation des hommes n'est que secondaire; mais c'est aussi dans cette audace, dans cette opiniâtreté, que se trouvent le salut et la conservation des hommes. Dans une retraite, outre l'honneur des armes, on perd souvent plus de monde que dans deux batailles : c'est pourquoi il ne faut jamais désespérer, tant qu'il reste des braves aux drapeaux; par cette conduite, on obtient et on mérite d'obtenir la victoire.

XV. Une maxime de guerre bien éprouvée, est de ne pas faire ce que veut l'ennemi, par la seule raison qu'il le désire : ainsi, on doit éviter le champ de bataille qu'il a reconnu et étudié; il faut mettre plus de soins encore à éviter celui qu'il a fortifié, et où il s'est retranché. Une conséquence de ce principe est de ne jamais attaquer de front une position qu'on peut obtenir en la tournant.

XVI. Dans une guerre de marches et de manœuvres, pour éluder une bataille contre une armée supérieure, il faut se retrancher tous les soirs, et se placer toujours dans une bonne défensive. Les positions naturelles que l'on trouve ordinairement ne peuvent pas mettre une armée à l'abri de la supériorité d'une armée plus nombreuse, sans les secours de l'art.

XVII. Surpris par une armée supérieure, un général ordinaire, occupant une mauvaise position, cherchera son salut dans la retraite; mais un grand capitaine paiera d'audace, et marchera à la rencontre de l'ennemi. Par ce mouvement, il déconcerte son adversaire; et si celui-ci met de l'irrésolution dans sa marche, un général habile, profitant de ce moment d'indécision, peut encore espérer la victoire, ou au moins gagner la journée en manœuvrant; à la nuit, il peut se retrancher ou se replier sur une meilleure position. Par cette conduite hardie, il maintient l'honneur des armes, cette partie si essentielle de la force d'une armée.

XVIII. Le passage de l'ordre défensif à l'ordre offensif est une des opérations les plus délicates de la guerre.

XIX. On ne doit point abandonner sa ligne d'opération : mais c'est une des manœuvres les plus habiles de l'art de la guerre de savoir la changer, lorsqu'on y est autorisé par les circonstances. Une armée qui change habilement sa ligne d'opération trompe l'ennemi, qui ne sait plus où sont ses derrières et les points faibles sur lesquels il peut la menacer.

XX. Lorsqu'on occupe une position où l'ennemi menace de vous envelopper, il faut vite rassembler ses forces, et menacer l'ennemi d'un

mouvement offensif; par cette manœuvre, vous l'empêchez de se dégarnir et de venir inquiéter vos flancs, dans le cas où vous jugeriez indispensable de battre en retraite.

XXI. Une maxime de guerre qu'on ne doit jamais oublier, est qu'il faut rassembler ses cantonnements sur le point le plus éloigné et le plus à l'abri de l'ennemi, surtout lorsque celui-ci paraît à l'improviste. De cette manière, on aura le temps de réunir toute l'armée avant que l'ennemi puisse attaquer.

XXII. C'est aller contre les vrais principes, de faire agir séparément des corps qui n'ont entre eux aucune communication, vis-à-vis d'une armée centralisée et dont les communications sont faciles.

XXIII. Lorsqu'on est chassé d'une première position, il faut rallier ses colonnes assez en arrière pour que l'ennemi ne puisse les prévenir; car ce qui peut arriver de plus fâcheux, c'est lorsque les colonnes sont attaquées isolément avant leur réunion.

XXIV. Il ne faut faire aucun détachement la veille du jour d'une bataille, parce que, dans la nuit, l'état des choses peut changer, soit par des mouvements de retraite de l'ennemi, soit par l'arrivée de grands renforts qui le mettent à même de prendre l'offensive et de rendre funestes les dispositions prématurées que vous avez faites.

XXV. Quand on veut livrer une bataille, il est de règle générale de rassembler toutes ses forces, de n'en négliger aucune; un bataillon quelquefois décide d'une journée.

XXVI. Rien n'est plus téméraire et plus contraire aux principes de la guerre, que de faire une marche de flanc devant une armée en position, surtout lorsque cette armée occupe des hauteurs au pied desquelles on doit défiler.

XXVII. Donnez-vous toutes les chances de succès, lorsque vous projetez de livrer une grande bataille, surtout si vous avez affaire à un grand capitaine; car, si vous êtes battu, fussiez-vous au milieu de vos magasins, près de vos places, malheur au vaincu!

XXVIII. Il faut avoir pour principe de ne jamais mettre entre les divers corps qui forment la ligne de bataille, des intervalles par où l'ennemi puisse pénétrer, à moins que ce ne soit pour l'attirer dans un piége.

XXIX. Les camps d'une même armée doivent toujours être placés de manière à pouvoir se soutenir.

XXX. La première qualité d'un général en chef, est d'avoir une tête froide qui reçoive une impression juste des objets... La raison et le jugement sont le résultat de la comparaison de plusieurs sensations prises en égale considération... Les généraux en chef sont guidés par leur propre expérience ou par leur génie... La connaissance de la grande tactique ne s'acquiert que par l'expérience et par l'étude de l'histoire des campagnes des grands capitaines.

FIN DE LA QUATRIÈME PARTIE.

LÉGENDE DES PLANCHES

DE LA

Quatrième partie (troisième volume) du *Cours d'art militaire*.

Planche I.

Figures 1 à 15. — Relatives au défilement de la fortification permanente.

Planche II.

Fig. 1 à 4. — Relatives au défilement.

Fig. 5 à 7. — Contre-puits; chargeoir et bourrage de contre-puits (mines).

Fig. 8. — Entonnoir ordinaire.

Fig. 9 et 10. — Entonnoirs ordinaires recroisés.

Fig. 11 à 50. — Outils et engins de mineurs.

Fig. 51. — Ventilateur à aubes courbes (en hélice).

Fig. 52. — Treuil ou bourriquet employé dans la construction des puits (au lieu d'être posé sur le sol, comme l'indique la figure, le cadre à oreilles est ordinairement enterré d'une quantité égale à son épaisseur).

Fig. 53. — Construction d'une galerie souterraine en bois (ascendante, en rampe ou grimpante).

Fig. 54. — Cadre à oreilles pour la construction d'un puits.

Fig. 55. — Cadre uni pour la construction d'un puits.

Fig. 56. — Châssis de galerie.

Fig. 57. — Construction d'un puits; entrée en galerie au fond du puits.

Fig. 58. — Châssis auxiliaire ou faux châssis.

Fig. 59. — Emploi du châssis auxiliaire dans la construction d'une galerie en mauvais terrain.

Fig. 60. — Construction souterraine d'une galerie maçonnée.

Fig. 61. — Profil nouveau d'une galerie souterraine en maçonnerie (un profil analogue vient d'être appliqué au front d'attaque de l'agrandissement de Lille).

Fig. 62 et 63. — Rameaux hollandais.

Fig. 64 et 65. — Puits à la boule (puits d'attaque).

Fig. 66. — Boîte aux poudres et auget au fond d'un rameau.

Fig. 67 à 69. — Compassement des feux.

Fig. 70 et 71. — Détails d'un auget.

Fig. 72 et 73. — Boîte de Boule.

Fig. 74. — Emploi de la fusée porte-feu.

Fig. 75. — Rameau de combat.

Fig. 76 à 79. — Détails de galeries permanentes : portes; créneaux ; puits et rainures de barrage.

Fig. 80 à 83. — Relatives au pétardement.

Fig. 84 à 88. — Relatives à la démolition et à la mise en brèche des murs.

Fig. 89. — Déblai par la mine du pied d'une brèche.

Fig. 90. — Relative à la rupture d'une galerie sur une longueur donnée, en partant d'une galerie parallèle au même niveau.

Fig. 91 à 94. — Détails de galeries permanentes : magasins de service ; rainures de barrages ; chapelles.

PLANCHE III.

Fig. 1. — Fougasses à bombes.

Fig. 2. — Fougasse ordinaire.

Fig. 3 et 4. — Fougasses forées.

Fig. 5, 6, 9 et 10. — Fougasses pierriers.

Fig. 7. — Dispositif de fourneaux pour faire brèche à un saillant.

Fig. 8. — Dispositif pour mettre en brèche, par la mine, une escarpe avec galerie parallèle.

Fig. 11 et 12. — Travaux de contre-mines à exécuter dans une place dépourvue de galeries permanentes.

Fig. 13. — Système de contre-mines permanentes.

Fig. 14. — Distribution des contreforts d'un mur de revêtement.

Fig. 15 à 17. — Escarpes avec voûtes en décharge.

Fig. 18. — Porte et ses accessoires ordinaires.

Fig. 19. — Escalier-rampe.

Fig. 20. — Latrine à la turque.

Fig. 21. — Fourneau à la Choumara.

Fig. 22. — Pont dormant en maçonnerie et pont-levis à flèches.

Fig. 23. — Porte d'eau ; barrage éclusé.

PLANCHE IV.

Fig. 1. — Relative aux déblais d'un terrain non homogène.

Fig. 2. — Pont dormant en bois ; pont-levis à flèches ; pont-levis à bascule inférieure.

Fig. 3. — Détail du tablier d'un pont-levis.

Fig. 4. — Pont-levis à sinusoïde de Bélidor.

Fig. 5. — Pont-levis à contrepoids variables de Poncelet.

Fig. 6. — Pont roulant exécuté à Anvers.

Fig. 7. — Pont-levis à spirale de Derché exécuté au Bas-Escaut.

Fig. 8. — Détail relatif à la spirale.

Fig. 9, 10 et 12. — Ponts-levis à la Delille (à barres rigides).

Fig. 11. — Détail d'un coussinet.

Fig. 13. — Pont-levis à la Bergère.

Fig. 14. — Pont-levis à la Dobenheim.

Fig. 15 — Système de communications de la grande enceinte d'Anvers.

Fig. 16. — Porte d'écluse à axe horizontal.

Fig. 17. — Garde-corps mobile d'un pont-levis.

Planche V.

Fig. 1. — Plans et coupe d'un réduit de batteries de côtes.

Fig. 2. — Plan d'ensemble et coupe d'une batterie de côtes.

Fig. 3. — Plans et profil d'un fortin bastionné pour la défense des côtes.

Fig. 4. — Plan et coupe d'un four à rougir les boulets.

Fig. 5. — Détails d'un machicoulis du réduit de la batterie représenté fig. 2.

Fig. 6 à 13. — Relatives aux principes de stratégie de l'archiduc Charles.

Fig. 14. — Plans et coupe d'une grande caponnière à feux rasants pour une enceinte polygonale avec fossés pleins d'eau, comme celle d'Anvers.

Planche VI.

Fig. 1. — Coupe transversale de la coupole tournante à deux pièces et à parois verticales du bâtiment le *Royal Sovereign*. L'élévation ayant été réglée au préalable d'après la distance, le coup part au moment où le tireur voit l'objet à battre dans le plan de mire, lequel reste constamment parallèle à l'axe des pièces.

Fig 2. — Plan, coupe et élévation d'une tour marine proposée pour défendre la rade de Spithead. Revêtement en fer ; deux étages de coupoles tournantes à deux pièces et à parois verticales.

Fig. 3. — Plans, coupe et élévation d'une tour marine avec deux étages de casemates et une plate-forme portant des coupoles tournantes à deux pièces et à parois verticales. Elle peut être armée de 98 pièces, dont 32 sur la plate-forme.

Fig. 4. — Plan, coupe et élévation d'une tour marine anglaise avec deux étages de casemates et une plate-forme munie de coupoles à deux pièces et à parois inclinées. L'inclinaison des parois accroît leur résistance et permet de diminuer les dimensions des embrasures.

Des ouvrages de l'importance de celui-ci et des deux précédents devraient être pourvus de moyens efficaces de flanquement, partout où le site les comporte.

Fig. 5. — Coupe d'un réduit circulaire de fortin. Les bombes ennemies, en bouleversant la plongée du parapet qui entoure la coupole, rendraient difficile la continuation du feu de celle-ci.

Fig. 6. — Plan et coupe d'une batterie cuirassée. Le masque en fer est insuffisant et le dessus de la tête de la voûte mal protégé.

Fig. 7. — Plan, coupe et élévation d'une coupole tournante à parois inclinées pour deux pièces, établie au saillant d'un ouvrage.

Fig. 8. — Coupe d'une tour circulaire portant trois coupoles tournantes à parois inclinées. Elle est entièrement fermée et destinée, soit à la défense d'un fleuve navigable, soit à servir de réduit à un ouvrage terrassé.

Les dernières épreuves sur la force de pénétration des projectiles attestent l'insuffisance des masques en fer de tous les projets indiqués ci-dessus. A l'heure qu'il est, cette question n'est pas encore mûrie, de façon à pouvoir donner une garantie convenable et à prévenir les mécomptes du temps de guerre.

FIN.

COURS D'ART MILITAIRE.

TABLE DES SOMMAIRES

DE LA

QUATRIÈME PARTIE.

1re LEÇON.

DÉFILEMENT, PARTIE GRAPHIQUE.

Pag.

Sommaire. — Objet du défilement ; moyens de l'établir. — Questions relatives aux intersections des plans et des surfaces et aux plans tangents : trouver l'intersection d'un plan et d'une surface, de deux surfaces, d'une droite et d'une surface; par un point donné sur une surface, mener un plan tangent à cette surface ; par une droite donnée, faire passer un plan tangent à une surface ; par un point donné, mener un plan tangent à une surface 3

2me LEÇON.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE TRACÉ ET LE RELIEF DES OUVRAGES DÉFILÉS.

Sommaire. — Discussion du tracé de la magistrale de l'enceinte, d'après la forme du terrain. — Limites du fond des fossés. — But du défilement : couvrir les hommes et les machines de guerre sur les remparts, et découvrir le terrain extérieur. — Plan de site général. — Plans de défilement de l'enceinte et des dehors. — Cas dans lequel un plan unique peut être adopté. — Plans partiels. — Principes pour la disposition du tracé, déduits de la considération d'un relief égal et des vues à prendre sur le terrain extérieur. — Limites du terrain dangereux 16

3me LEÇON.

DÉFILEMENT DU TERRE-PLEIN.

Sommaire. — Moyen de déterminer les limites latérales du terrain dangereux, par tâtonnement, rigoureusement. — Choix du plan de défilement, lorsque la position des crêtes est fixée : 1° la hauteur étant comprise entre les prolonge-

Pag.

ments des faces ; 2° le prolongement des faces fichant dans le terrain ; 3° le point dangereux étant en arrière du prolongement des faces ; 4° les deux faces étant vues à dos. — Défilement d'un tracé donné avec relief variable : premier cas, le plan étant assujetti à passer par deux points; deuxième cas, la position du plan de défilement n'étant donnée que par un point ; troisième cas, les limites du relief bornant seules la position du plan. — Considérations générales sur le choix de ce plan 29

4me LEÇON.

SUITE DU DÉFILEMENT DU TERRE-PLEIN ET DÉFILEMENT DES MAÇONNERIES.

Sommaire.— Emplacement et hauteur des traverses contre l'enfilade et les revers ; traverses en glacis de contrescarpe. — Défilement des maçonneries, limites directes et latérales du terrain dangereux ; choix du plan : premier cas, la hauteur de la maçonnerie étant donnée et la crête couvrante indéterminée; deuxième cas, la crête de l'ouvrage couvrant étant donnée et la hauteur du sommet de la maçonnerie indéterminée ; troisième cas, les positions des deux lignes étant également variables.— Rapports entre la position de la crête du parapet et celle de la crête du revêtement 43

5me LEÇON.

DÉFILEMENT DU TERRAIN EXTÉRIEUR.

Sommaire. — Limites éloignées et rapprochées du terrain extérieur ; limites latérales. — Détermination du terrain vu par une crête donnée. — Détermination du relief d'une face d'ouvrage, pour battre une suite de pentes : 1° le tracé étant donné ; 2° le tracé étant variable. — Limites de la position des crêtes.— Manière de déterminer la position des divers plans du parapet et du rempart, d'après la position des crêtes et l'inclinaison du plan de défilement. — Limites de l'inclinaison de ces plans, déduites des dimensions des armes. 57

6me LEÇON.

TRACÉ ET PROFILEMENT DE L'ENCEINTE.

Sommaire.— Défilement horizontal par la direction des lignes du tracé; conditions à remplir par les diverses lignes.— Flanquement des fossés, variables suivant leur pente.— Choix de la charnière du plan de site.— Défilement par bastion, par demi-bastion ; défilement de la courtine, par le terre-plein, par ressauts. — Détermination du fond du fossé capital.— Raccordement d'un front à fossés secs avec un front à fossés pleins d'eau. — Manière de disposer les communications à travers le fossé, dans le cas d'une porte, dans le cas d'une poterne. 73

7me LEÇON.

TRACÉ ET PROFILEMENT DES DEHORS ET OUVRAGES EXTÉRIEURS.

Sommaire. — Conditions du tracé et du relief des tenailles, courtines, flancs et casemates. — Défilement de la demi-lune, discussion du tracé et du relief;

Pag.

choix des charnières ; observation relative aux vues de revers ; défilement par ressauts ; cas dans lequel une demi-lune ne peut être appliquée. — Discussion du tracé et du relief du réduit. — Observations sur le chemin couvert. . . . 88

8me LEÇON.

SUITE DES DEHORS ET OUVRAGES EXTÉRIEURS.

Sommaire. — Discussion du chemin couvert, son utilité dans les différents sites. — Défilement par un ou par deux points, défilement par plans partiels. — Défilement des communications ; observations à cet égard. — Précautions à prendre pour les communications souterraines. — Glacis coupés, leurs inconvénients ; disposition à leur donner. — Conditions des ouvrages extérieurs ; application aux ouvrages à cornes et à couronne, aux contregardes, aux lunettes avec ou sans chemin couvert. 103

9me LEÇON.

INFLUENCE DU SITE SUR LES FORMES DE LA FORTIFICATION.

Sommaire. — Classification des sites en sites simples et composés ; sites simples : plaines, marais ou hauteurs ; sites composés : plaines et marais, plaines et hauteurs, marais et hauteurs, hauteurs à des niveaux différents. — Places maritimes. — Places symétriques dans les plaines sans eau ; leurs inconvénients. — Plaines coupées d'eau, parti à tirer de cette défense naturelle ; inondations, manœuvres d'eau. — Application de la vapeur. — Une inondation ne dispense pas de l'addition d'un chemin couvert. — Sites simples sur les hauteurs, leurs avantages, leurs défauts : difficulté d'éclairer les pentes et d'agir sur les terrains à distance. — Sites de marais inaccessibles, mais sans action extérieure. — Disposition générale des fortifications pour des places pareilles 119

10me LEÇON.

SUITE DE L'INFLUENCE DU SITE.

Sommaire. — Sites composés de marais et de plaines, la place s'engageant dans le marais ou le traversant ; disposition des ouvrages dans les deux hypothèses. — Sites composés de plaines et de hauteurs, ou de hauteurs à différents niveaux ; difficulté du raccordement des ouvrages sur les divers plateaux. — Sites de marais et de hauteurs, ou de marais, plaines et hauteurs ; les dispositions à prendre sont des corollaires des prescriptions pour les sites simples. — Places maritimes en terrain plat, parti à tirer du flux et du reflux ; importance des écluses ; défense des rades ; disposition contre les attaques par mer. — Places maritimes en terrain montueux, assimilées aux places le long d'un fleuve. — Places barrant l'isthme d'une presqu'île. — Coup d'œil sur les principales places de la Belgique, considérées sous le rapport du site 136

11me LEÇON.

MINES, PRÉCIS HISTORIQUE ET THÉORIE.

Pag.

Sommaire. — Mines offensives et défensives chez les anciens. — Application de la poudre à la guerre souterraine. — Invention des globes de compression.— Suppression du bourrage et attaques par puits. — Contre-puits. — Nomenclature des fourneaux. — Charges des fourneaux ordinaires, forme du solide enlevé, formules diverses. — Table des charges suivant la longueur des lignes de moindre résistance ; modifications à y apporter suivant la nature du terrain. — Fourneaux surchargés ; charges suivant les formules de Bélidor, Mouzé, Marescot, d'Obenheim, Gumpertz et Lebrun. — Fourneaux sous-chargés. — Camouflets. — Rayons de rupture incertaine et certaine. 146

12me LEÇON.

SUITE DE LA THÉORIE.

Sommaire. — Boîtes cubiques capables de contenir les charges des fourneaux.— Observations relatives à la table des dimensions des boîtes cubiques. — Effet du vide autour de la charge des fourneaux, suivant la théorie et d'après l'expérience.— Modifications à apporter aux règles ordinaires lorsque la poudre n'est pas placée dans un terrain homogène et lorsqu'on procède par explosions successives. — Charges et dispositions des fourneaux de brèches dans les siéges.— Bourrage des fourneaux ; ses dimensions ; possibilité de le supprimer en augmentant la charge ; expériences de Mouzé à ce sujet ; observations sur ces expériences. — Moyens de mettre le feu aux charges : saucissons et moine ; souris de Rugy ; fusée porte-feu ; saucisson La Rivière ou corde porte-feu ; amorces fulminantes ; applications de l'électricité. — Compassement des feux. 168

13me LEÇON.

DÉTAILS DE CONSTRUCTIONS SOUTERRAINES.

Sommaire. — Terrains propres à l'application des mines défensives. — Construction souterraine : outils de mineur, pour la fouille, le pétardement et la ventilation. — Données sur le temps exigé pour la construction des galeries de toutes les dimensions, en charpente.— Galeries en maçonnerie construites souterrainement, conduite du travail. — Substitution de la forme annulaire à la forme prismatique ; données à cet égard. — Construction à ciel ouvert. — Contre-puits ; leurs dimensions ; manière de les construire, de les charger, de les bourrer et d'y mettre le feu.— Puits d'attaque et rameaux à la hollandaise ; dimensions ; construction. — Rameaux de combat ; dimensions ; construction ; bourrage. — Bourrage en bois et en terre. — Mode d'exécution 191

14me LEÇON.

ATTAQUE ET DÉFENSE PAR LES MINES.

Pag.

Sommaire. — Objet des dispositions défensives. — Galeries magistrale, d'enveloppe et de communication sous le glacis.— Fourneaux sous les fossés et sous les brèches. — Dispositions sous le terre-plein des ouvrages retranchés. — Conduite du mineur assiégé ; distance à laquelle on peut entendre les travaux d'attaque ; moyens employés pour les reconnaître. — Jeu des fourneaux successifs de la première disposition. — Défense contre les diverses méthodes d'agression. — Globes de compression, bourrés ou sans bourrage ; temps exigé pour la construction des premiers ; consommation de poudre occasionnée par les autres. — Attaque par puits. — Emploi des contre-puits.— Seconde disposition autour des places d'armes, observation à cet égard. — Défense du passage du fossé, de la demi-lune, de son réduit et du bastion retranché. — Fougasses ordinaires ; fougasses-pierriers ; leur construction ; leur effet. — Mines diverses 210

15me LEÇON.

DISPOSITIONS PERMANENTES POUR LA GUERRE SOUTERRAINE.—DÉMOLITIONS.

Sommaire. — Règles qui président à la disposition des mines défensives ; application aux galeries sous le glacis, sous le fond des fossés et sous le terre-plein des ouvrages retranchés. — Dimensions des galeries elliptiques. — Travaux à exécuter lorsque le front d'attaque est connu. — Dispositions des fourneaux en capitale. — Changements aux terrassements. — Contre-approches. — Gros fourneaux sous les batteries de brèche.— Contre-puits au-dessus des galeries maçonnées.— Dispositions à prendre dans une place sans galeries permanentes. — Quantités de bois pour la construction des galeries en charpente ; temps nécessaire ; consommation de poudre. — Démolition des revêtements, par des fourneaux ordinaires ou par des fourneaux surchargés. — Règle à suivre pour le calcul des charges. — Démolition des murs non terrassés, mines sous l'eau, démolition de magasins à poudre et d'autres bâtiments voûtés.— Règle empirique pour les charges ; observation à cet égard. — Démolition des maisons. 232

16me LEÇON.

REVÊTEMENTS.

Sommaire. — Ordre suivi dans la construction des places. — Tracé et nivellement de la magistrale. — Fouille des fondations. — Profils des revêtements usités chez les anciens. — Profils de Vauban. — Faits d'expérience sur les inconvénients des talus extérieurs.— Différence entre les données admises par les théories sur la poussée des terres et la résistance des murs et les résultats d'expérience. — Vice radical des formules basées sur la simple inertie des maçonneries. — Cas où elles sont applicables.— Considérations sur la forme

Pag.

des revêtements pleins.— Revêtements en décharge, incertitude et erreurs de la théorie.— Faits d'expérience.— Règles qu'on en peut déduire.—Propriétés militaires des divers revêtements,—Comparaison des frais de construction qu'ils exigent. — Observation relative aux fondations sur pilotis. — Tracé de la nette maçonnerie. — Inflexion des lignes prolongées vers la campagne.— Tablettes et couronnements en briques de champ.—Temps indispensable à la construction des murs et des remparts 267

17me LEÇON.

PORTES ET POTERNES.

Sommaire. — Dimensions des portes, largeur, hauteur. — Décharges dans les pieds-droits.— Chasse-roues en pierre de taille, en fer.— Passages dévoyés. — Orgues et herses. — Inutilité et désavantages des ornements architectoniques à l'extérieur.— Difficulté de couvrir le passage par le relief du chemin couvert.— Dimension du tableau.— Portes secondaires dans quelques vieilles places, leur désavantage. — Emplacement des portes battantes; arcs doubleaux servant de feuillure. — Faiblesse des voûtes d'arête contre le choc des bombes. — Corps de garde, partagés en corps de garde d'officiers et de soldats. — Salles d'arrêts et latrines. — Lits de camp. — Pavage des corps de garde. — Vestibules. — Escaliers. — Poternes, leurs dimensions, leur pente. — Escaliers-rampes adoptés en France pour le transport de l'artillerie. — Position du seuil des poternes au-dessus du fond des fossés.— Pavage des portes et poternes. — Chapes en trass et en mastic bitumineux; les premières sont préférables.— Vantaux de portes de ville et de poterne; charpente; serrurerie. — Menuiserie et ferrures pour fenêtres de corps de garde et pour guichets.— Passages dans les ouvrages extérieurs et dans les glacis.— Guérites ménagées dans l'épaisseur des murs. — Hahas à bascule 288

18me LEÇON.

SUITE DES PORTES ET POTERNES.

Sommaire — Épaisseur à donner aux pieds-droits des passages voûtés et autres bâtiments à l'épreuve.— Objections contre la théorie de la poussée des voûtes et nécessité de s'en rapporter à l'autorité des faits.— Divers exemples d'épaisseur de pieds-droits pris dans des constructions existantes. — Murs de soutènement et de profil peuvent être établis suivant les formules de Mayniel. — Observations relatives aux murs à épaisseur variable et aux murs cintrés. — Construction des voûtes en briques.— Décintrement.— Durée de la construction d'un bâtiment voûté.— Magasins à poudre sous les remparts, leurs dimensions; leur construction; maçonnerie, charpente, menuiserie.— Corps de garde des ouvrages avancés, leur emplacement. — Latrines à la turque, dimensions et construction.— Disposition usitée en France, observations qu'elle suggère. — Fourneaux de cuisine économique de M. Choumara. 305

19me LEÇON.

PONTS DORMANTS ET PONTS-LEVIS.

Pag.

Sommaire. — Considérations générales. — Ponts dormants, leur largeur, leur construction. — Piles en maçonnerie; palées en charpente. — Disposition, dimension et construction du tablier. — Garde-fous en bois ou en fer. — Ponts-levis à flèche, avantages, inconvénients, théorie. — Position des tourbillons; disposition de la bascule : points d'attache des chaînes; tablier; redoublement en bois et en fer; équignons; brides; pitons; chaînes; verrous. — Pont à bascule inférieure; sa théorie, difficultés dans l'application. — Mode de manœuvre; chaînes, engrenages, leviers coudés; contre-poids en fonte. — Ponts tournants. — Ponts roulants. — Ponts à tourillons mobiles et à bascule extérieure, etc.; leurs avantages et leurs défauts 320

20me LEÇON.

SUITE DES PONTS-LEVIS.

Sommaire. — Ponts à courbes et à contre-poids variables. — Pont de Bélidor ou à sinusoïde, sa théorie, son tracé, sa construction, ses défauts. — Corrections qu'on peut y faire. — Ponts à la Dobenheim; leur construction; leurs défauts. — Inconvénients généraux des ponts à chaînes; moyens de les atténuer. — Pont à barres rigides, de Delille; théorie; tracé de la courbe; défaut de cette méthode pour les grands ponts. — Cas particulier applicable aux ouvrages de campagne. — Pont à spirale, de Derché; sa théorie, ses avantages. — Pont à la Poncelet; sa théorie; détails de construction; avantages et inconvénients. — Changements proposés dans la forme du contre-poids. — Conditions générales de l'établissement d'un pont-levis militaire. — Lisses d'appui mobiles; construction, manœuvre. 335

21me LEÇON.

CONSTRUCTIONS HYDRAULIQUES ET MANŒUVRES D'EAU.

Sommaire. — Règle pratique pour l'épaisseur des batardeaux; inconvénients qu'elle entraîne. — Méthode pour calculer l'épaisseur d'un batardeau dont les extrémités sont immuables. — Remarques sur les fondations. — *Chaux et mortiers* suivant les *conditions générales* récemment arrêtées par le Département de la guerre. — Application de la pierre de taille dans les batardeaux. — Dimensions des dames. — Communications entre les divers biefs, suivant que l'écoulement doit être constant, périodique ou accidentel, lent ou rapide; déversoirs; clapets; vannes horizontales ou verticales; écluses à poutrelles, à vannes, à portes tournantes, à portes en éventail. — Conditions générales des écluses militaires. — Batardeaux éclusés; détail des vannes. — Portes d'eau; grilles. 354

22me LEÇON.

MÉTRAGE DES OUVRAGES PROJETÉS.

Pag.

Sommaire. — Métrage des terrassements en déblais. — Bases de l'évaluation des prix. — Classement des terres suivant la difficulté de la fouille ; méthode pour métrer des couches hétérogènes. — Terres remaniées. — Transports à la brouette, longueur des relais et leur inclinaison. — Formule pour trouver le nombre de relais suivant la position des centres de gravité.— Transports au tombereau, longueur et inclinaison des relais. — Métrage des fascinages, perrés, gazonnements, maçonneries de fondation, nettes maçonneries et maçonneries de voûte, couronnements en briques de champ, pavés, carrelages, enduits, blanchissages et rejointoiements. — Métré de la charpente ; grosse charpente, charpente de sujétion, pilots et palissades, planchers, menuiseries et couvertures. — Mode d'évaluation des métaux, de la peinture, du goudronnage, des plantations, des meubles et ustensiles de caserne. — Prescription pour l'évaluation des épuisements. — Manière de conduire les terrassements, déblais, fascinages et remblais.— Construction des revêtements ; règles graduées pour l'observation des assises ; angles et chaînes en pierre de taille ; construction par plombées ; précautions pour la maçonnerie des voûtes. — Distribution des terres. — Vérification du tracé et du défilement 368

23me LEÇON.

CONFECTION DES DEVIS. — SERVICE DU GÉNIE.

Sommaire. — Manières différentes d'exécuter les travaux, par économie ou par entreprise, leurs avantages et leurs inconvénients. — Entreprises *à forfait* et *au mètre*. — Confection des devis ; distribution des matières ; objet des divers articles. — Mode d'adjudication usité en Belgique, manière de rédiger les adjudications. — Service du génie dans les places, en temps de paix ; analyse des prix ; journal d'attaque et de défense ; surveillance des travaux ; rapports avec les divers corps constitués.— Service du génie, en temps de guerre, pour les officiers attachés aux divisions en campagne et pendant les siéges . . . 386

24me LEÇON.

DÉFENSE DES CÔTES. — CHANGEMENTS AUX FORTIFICATIONS EXISTANTES.

Sommaire. — Défense des ports et côtes. — Prescriptions de Napoléon pour les batteries de côte. — Position des batteries par rapport à la marche des vaisseaux et au niveau de la mer.— Observations sur le tir à boulets rouges et sur l'effet des projectiles creux. — Fourneaux à rougir les boulets. — Tours servant de réduits aux batteries. — Forts détachés pour la défense des rades, redoutes modèles.— Conditions de l'établissement des forts détachés.— Application aux postes en pays de montagnes et à ceux destinés à la défense des digues. — Application des mêmes principes à la restauration d'anciens remparts et aux corrections à faire aux places existantes 403

25me LEÇON.

ORGANISATION DES FRONTIÈRES.

Pag.

Sommaire. — Organisation des frontières chez les anciens; camps permanents, colonies militaires.— Données topographiques, statistiques, militaires et politiques exigées pour l'établissement d'un système de défense. — Classification des contrées sous le rapport topographique. — Défense d'un pays de plaine, basée sur les eaux ; défense d'un pays de montagnes, dépendant de la possession des défilés ; défense d'un pays varié, par l'occupation de positions successives ; défense d'une frontière maritime, bornée à celle des rivières navigables, des ports et rades.— Influence du climat.— Considérations statistiques; modifications résultant de la fertilité des provinces frontières, du nombre et de l'espèce d'hommes, des fabriques d'armes et des moyens de transport.— Considérations militaires.— Idées des divers auteurs.— Systèmes de Cormontaigne, de Rogniat, de Sainte-Suzanne, de Duvivier et de Machiavel.—Opinion du grand Frédéric, de Napoléon, de Wellington et de l'archiduc Charles; prescriptions de ce dernier. — Préceptes déduits des faits et des raisonnements. 423

26me LEÇON.

SUITE DE L'ORGANISATION DES FRONTIÈRES.

Sommaire.— Discussion sur les places militaires.— Colonies militaires et camps permanents. — Rapports entre le nombre et la grandeur des places fortes et la force des armées ; observation relative à l'artillerie.— Effet des camps retranchés.— Résumé des considérations militaires.— Considérations politiques. — Rapports du peuple avec son gouvernement. — Rapports de l'État avec ses voisins; leur influence sur le système à adopter. — Résumé de toutes les considérations précédentes. 446

27me LEÇON.

STRATÉGIE.

Sommaire. — Considérations générales. — Définitions; objectifs, bases d'opération, lignes d'opération ; lignes de communication ; front d'opération.— Principes fondamentaux et abstraits de la stratégie. — Emplacement des points stratégiques dans les différents terrains.— Lignes stratégiques et lignes d'opération, uniques, parallèles, divergentes, convergentes ou concentriques ; leur mérite relatif.— Bases d'opération, étendues, resserrées, réduites à un point; inconvénients de cette dernière disposition.— Nécessité de fortifier les points de la base d'opération. — Direction de la base d'opération par rapport à la ligne d'opération de l'armée et à la ligne d'opération de l'ennemi. — Rapport entre l'étendue de la base et la longueur de la ligne d'opération; absurdité de

Pag.

l'application du principe abstrait démontrée par un exemple. — Bases intermédiaires ; leur emplacement, leur direction. — Choix de la ligne d'opération. — Difficultés du concours de plusieurs masses vers un seul but. — Nécessité de couvrir la ligne d'opération dans toutes les circonstances et de se replier plutôt que de se laisser tourner. — Retraites perpendiculaires ou de flanc ; difficulté des mouvements de flanc. — Observations sur cette théorie et inanité des spéculations géométriques. — Stratégie du champ de bataille, exemple. — Conclusion. — Maximes de Napoléon 465

Légende des planches. 491

FIN DE LA TABLE DES SOMMAIRES.

Erratum.

Page 355, ligne 18 : au lieu de : $x = 0.548k$, lisez : $x = 0.548\,h$.

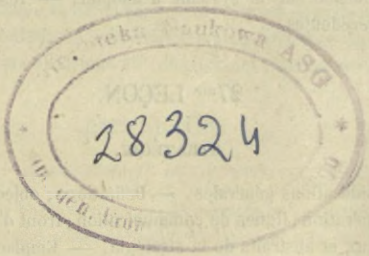


Fig. 1.

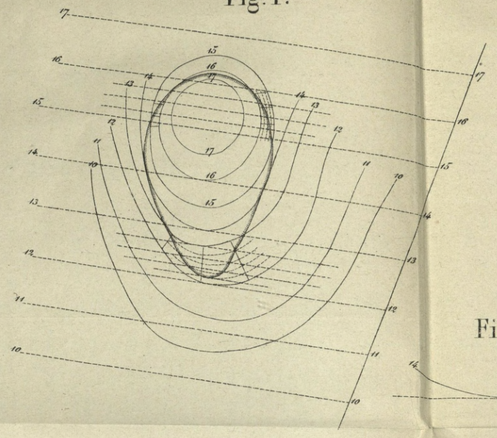


Fig. 2.

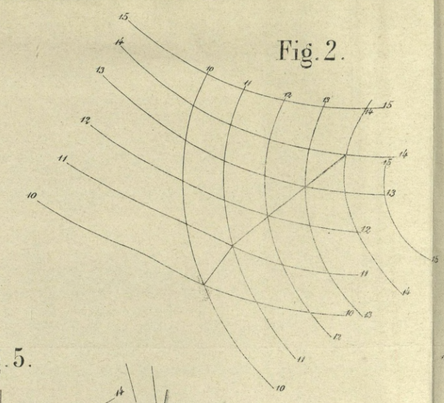


Fig. 3.

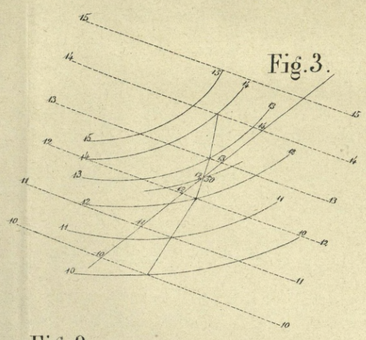


Fig. 4.

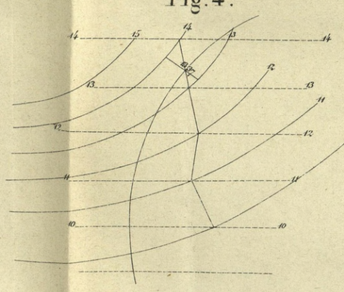


Fig. 15.

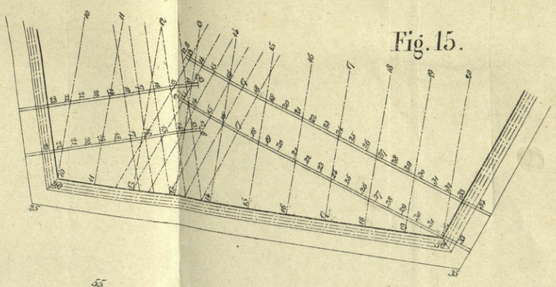


Fig. 5.

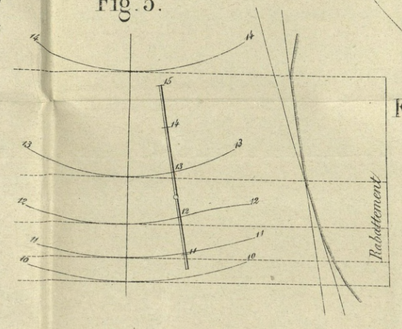


Fig. 6.

Fig. 8.

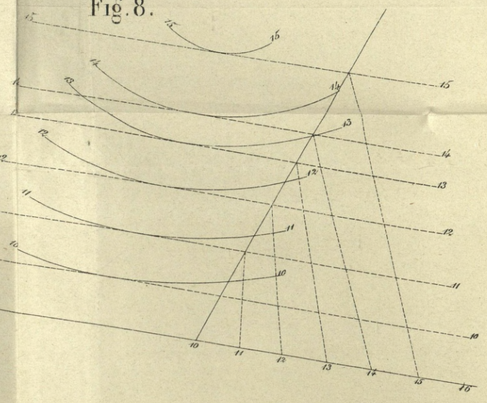


Fig. 14.

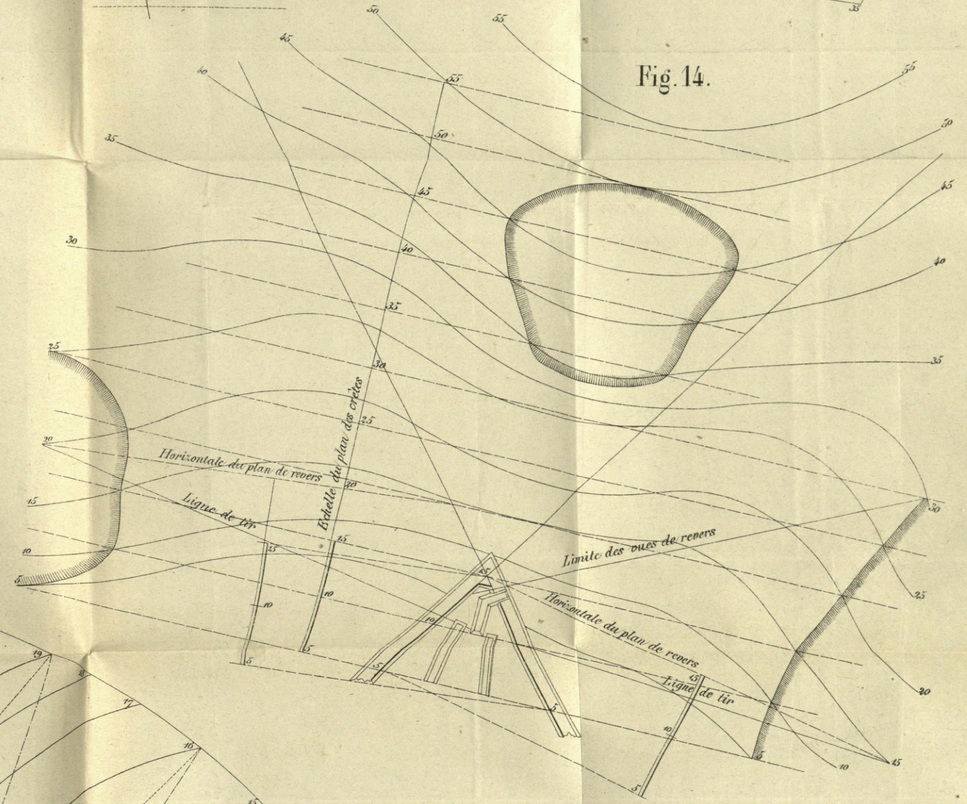


Fig 7.

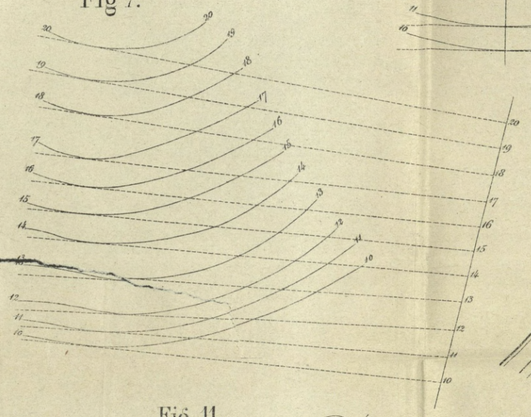


Fig. 13.

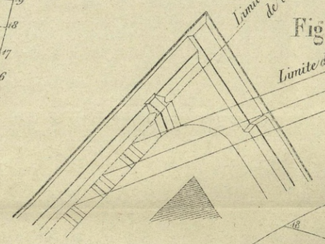


Fig. 9.

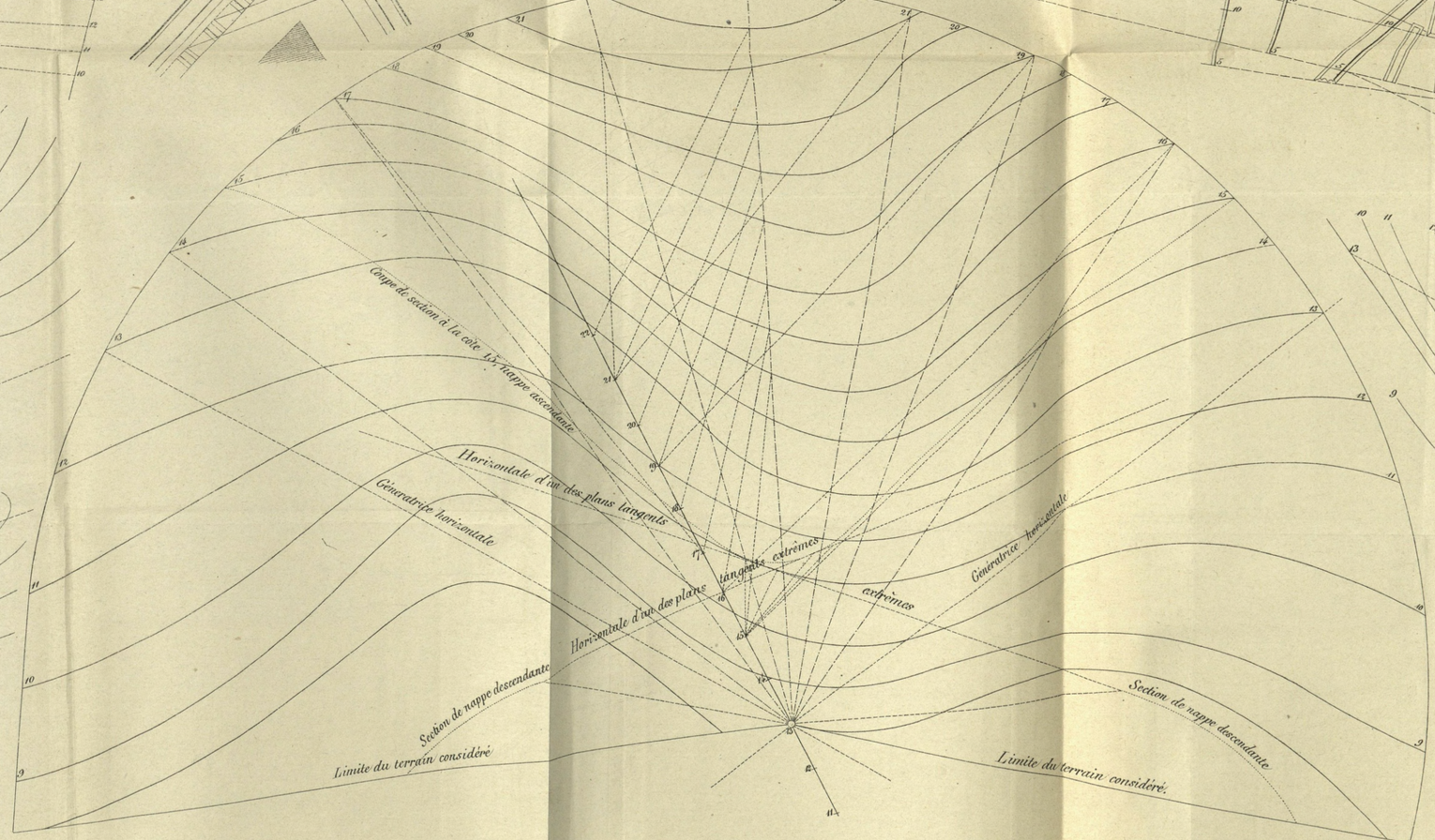


Fig. 12.

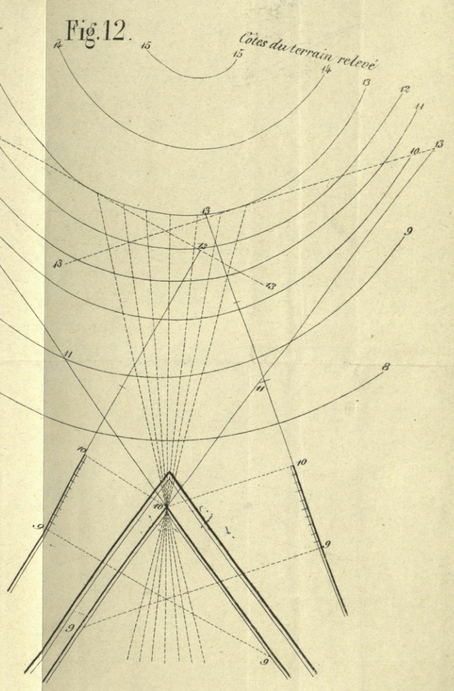


Fig. 11.

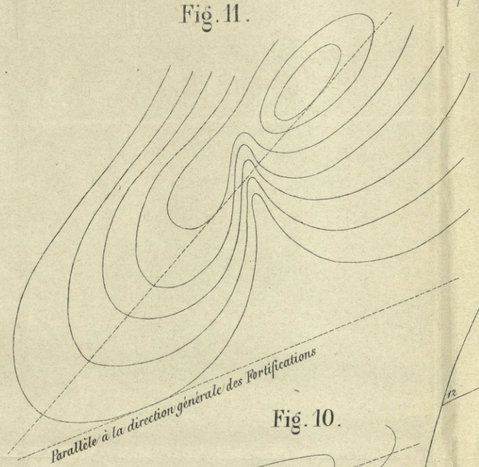
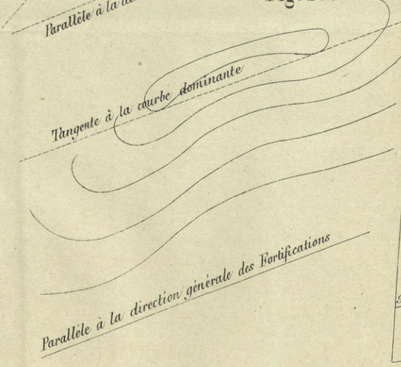


Fig. 10.



Biblioteka Naukowa ASG

Fig. 1.

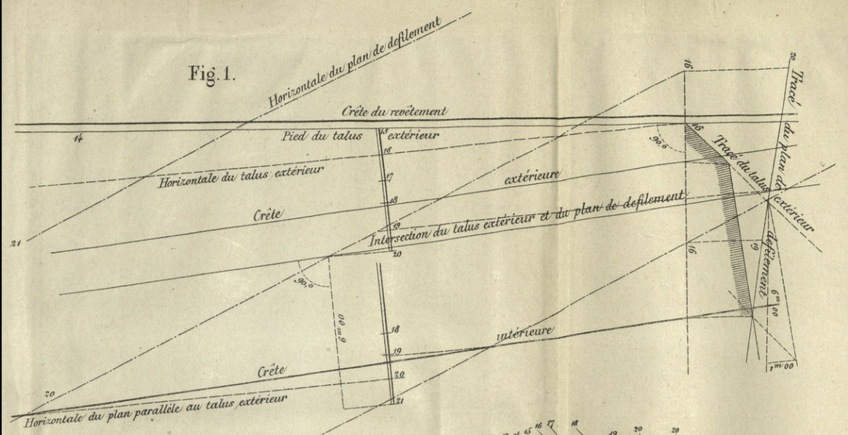


Fig. 2.

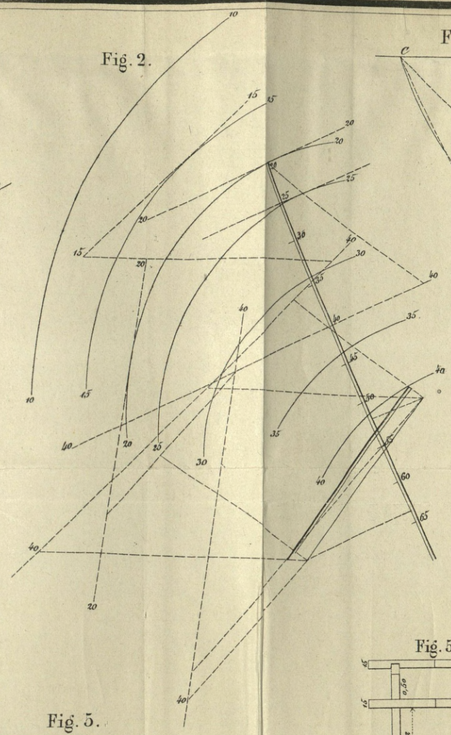


Fig. 3.

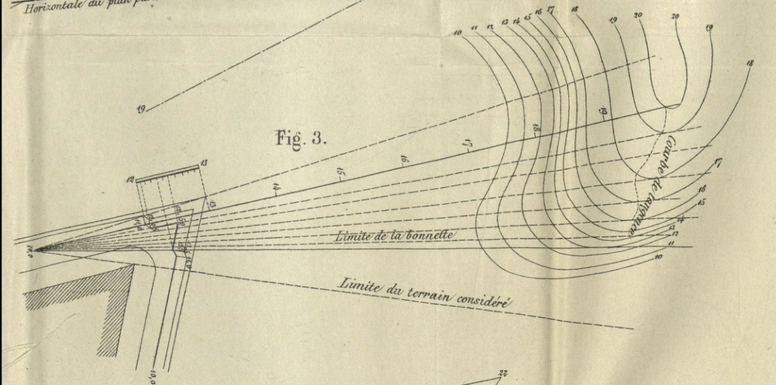


Fig. 4.

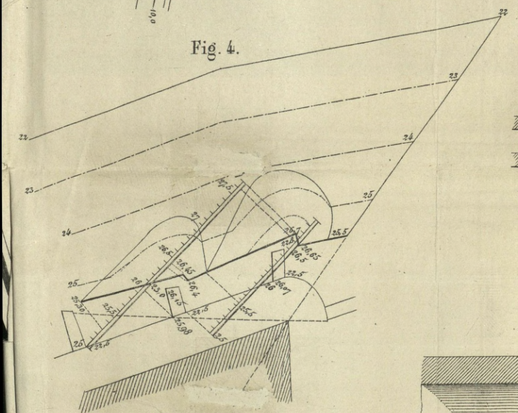


Fig. 5.

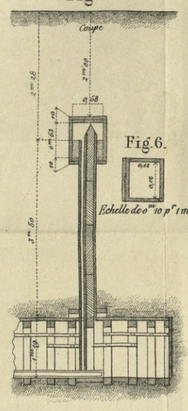


Fig. 6.

Fig. 7.

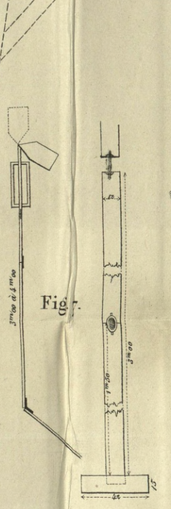


Fig. 8.

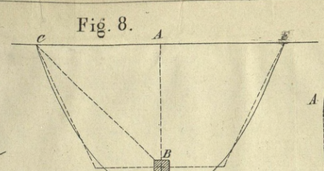


Fig. 9.

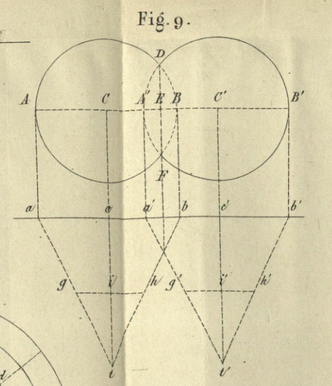


Fig. 10.

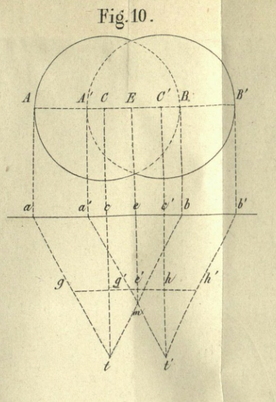


Fig. 11.

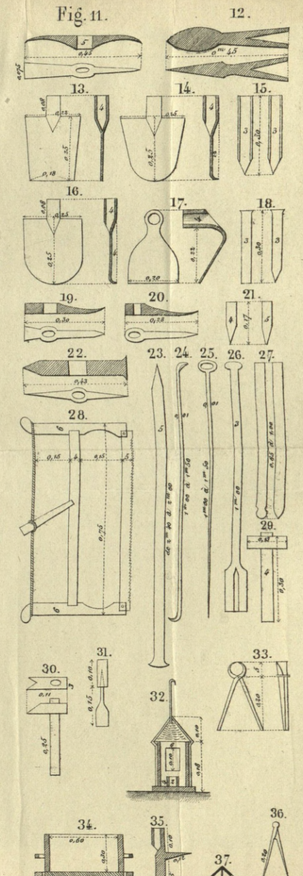


Fig. 12.

Fig. 61.

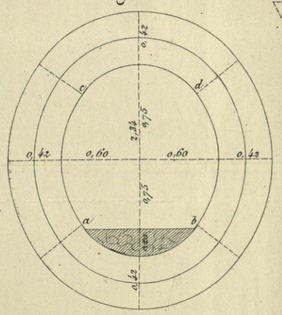


Fig. 51.

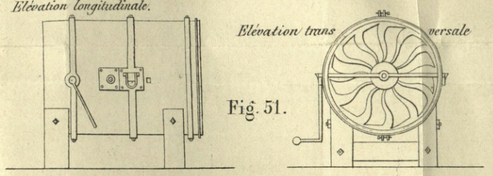


Fig. 54.

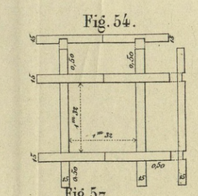


Fig. 55.

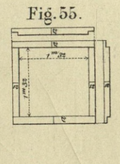


Fig. 56.

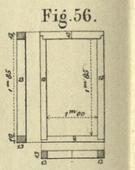


Fig. 57.

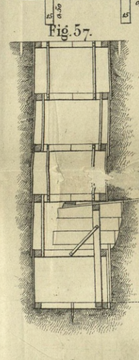


Fig. 58.

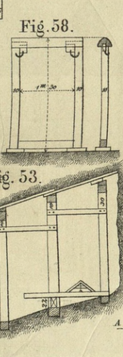


Fig. 59.

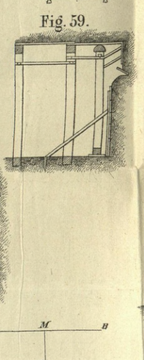


Fig. 53.

Fig. 80.



Fig. 60.

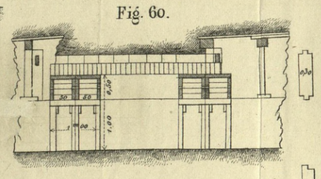


Fig. 62.

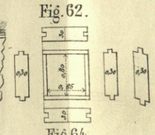


Fig. 64.

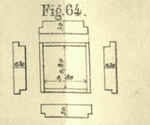


Fig. 63.

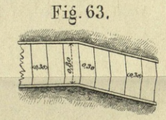


Fig. 65.

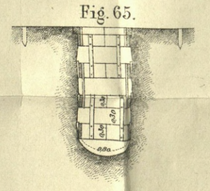


Fig. 94.

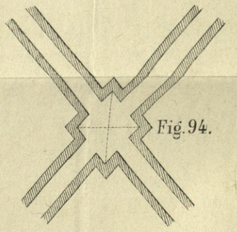


Fig. 92.

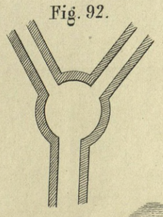


Fig. 52.

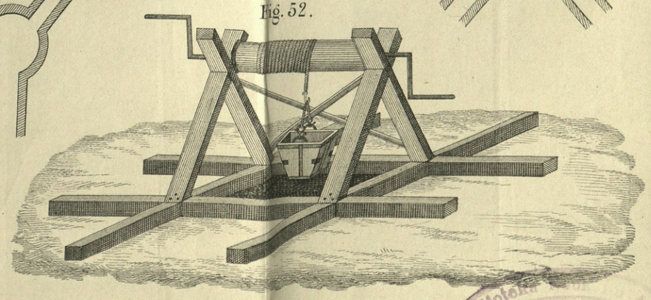


Fig. 66.

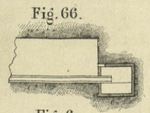


Fig. 67.

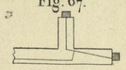


Fig. 68.

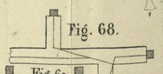


Fig. 69.

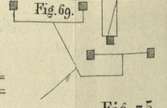


Fig. 70.

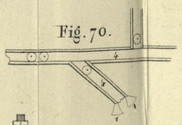


Fig. 71.

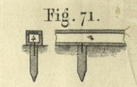


Fig. 72.

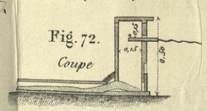


Fig. 73.

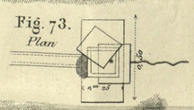


Fig. 74.

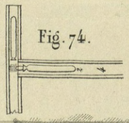


Fig. 75.

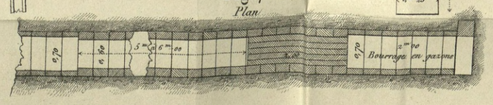


Fig. 76.

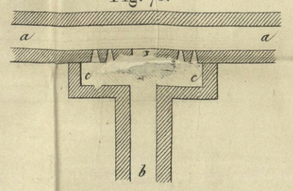


Fig. 77.

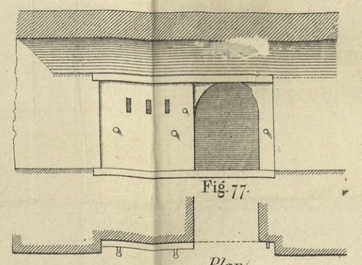


Fig. 78.

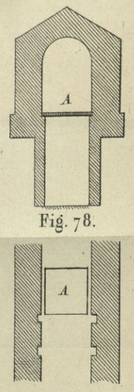


Fig. 79.

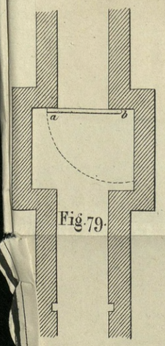


Fig. 91.

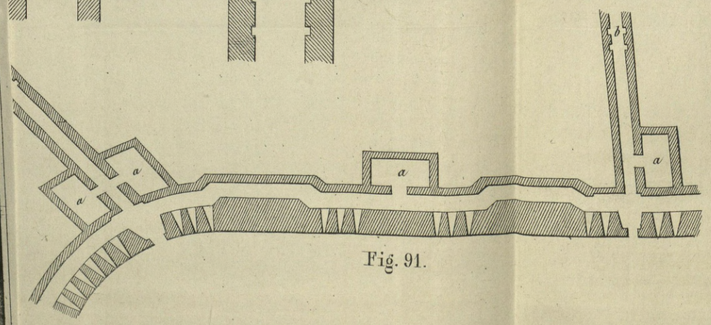


Fig. 89.

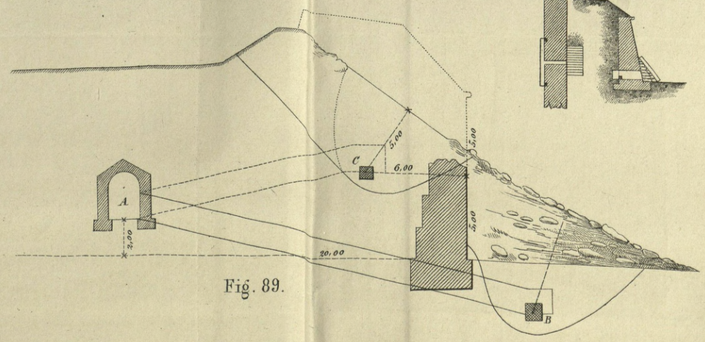


Fig. 81.

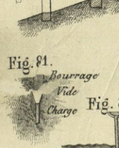


Fig. 82.

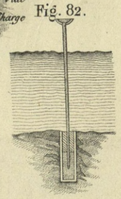


Fig. 90.

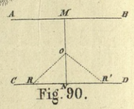


Fig. 83.

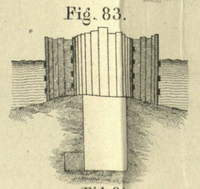


Fig. 84.

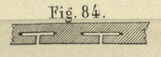


Fig. 85.

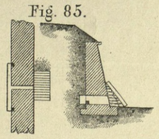


Fig. 86.



Fig. 87.



Fig. 88.

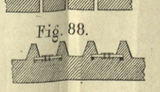
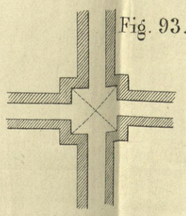


Fig. 93.



Plan Coupe
Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 5.

Fig. 6.

Coupe. Fig. 4.

Fig. 7. 1/400.

Fig. 13. 1/1250.

Plan
Coupe suivant E F.
Coupe suivant A B.
Fig. 15.

Fig. 16.
Coupe suivant C D.
Coupe suivant E F.
Plan

Fig. 14.

Fig. 19.

Coupe sur R S.
Fig. 20.

Coupe sur P Q.

Fig. 18.

Plan
Coupe suivant F G.
Coupe suivant C D.
Fig. 17.

Fig. 8.

Fig. 11.

Fig. 12.

Fig. 10.

Fig. 9.

Fig. 21.

Coupe suivant A B.

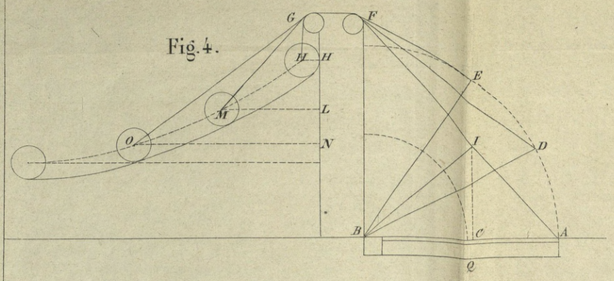
Fig. 23.
1/200.

Fig. 22.
1/200.

Pont dormant et Pont levis.
Coupe
Elévation

Biblioteka Politechniki Krakowskiej

Fig. 4.



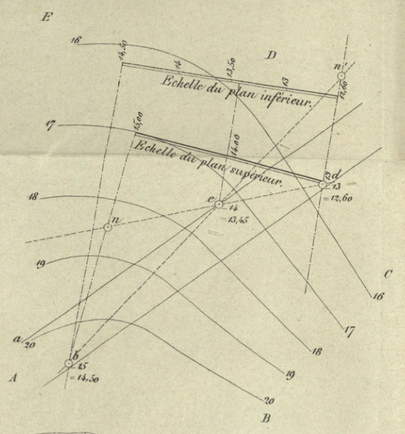


Fig. 1.

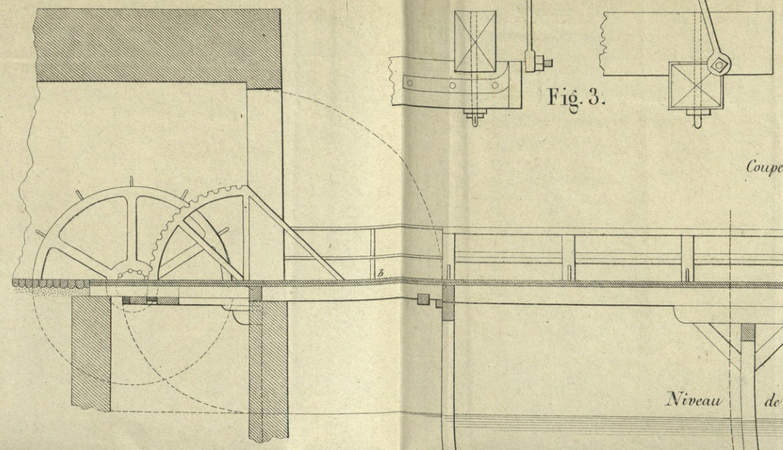
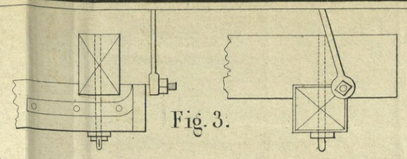


Fig. 3.



Coupe sur AB

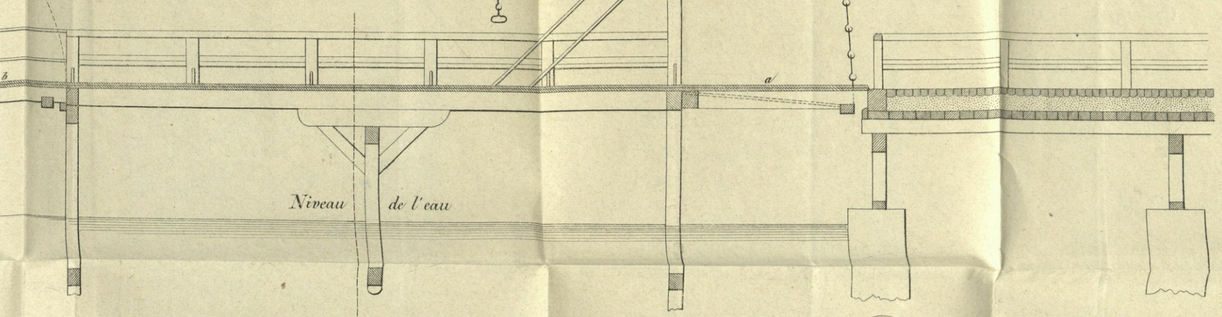


Fig. 2.

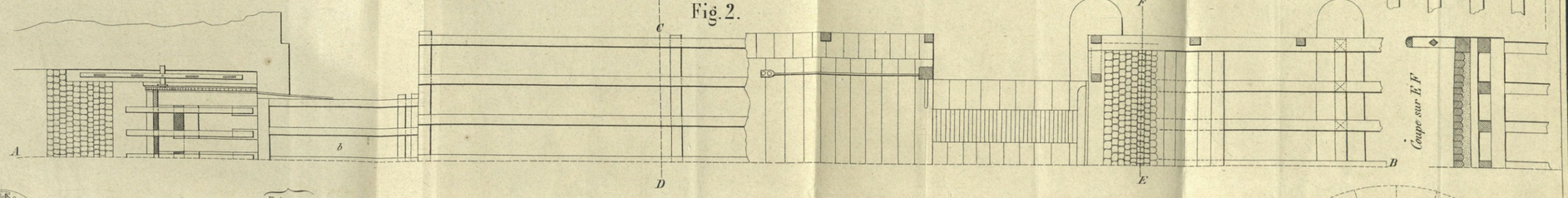
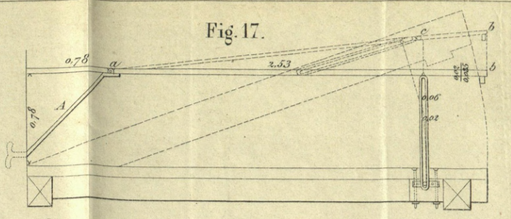
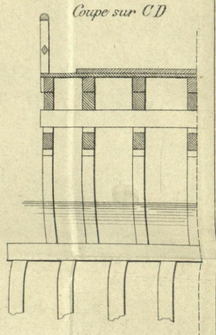


Fig. 17.



Coupe sur CD



Coupe sur EF

Fig. 15. 1/2500.

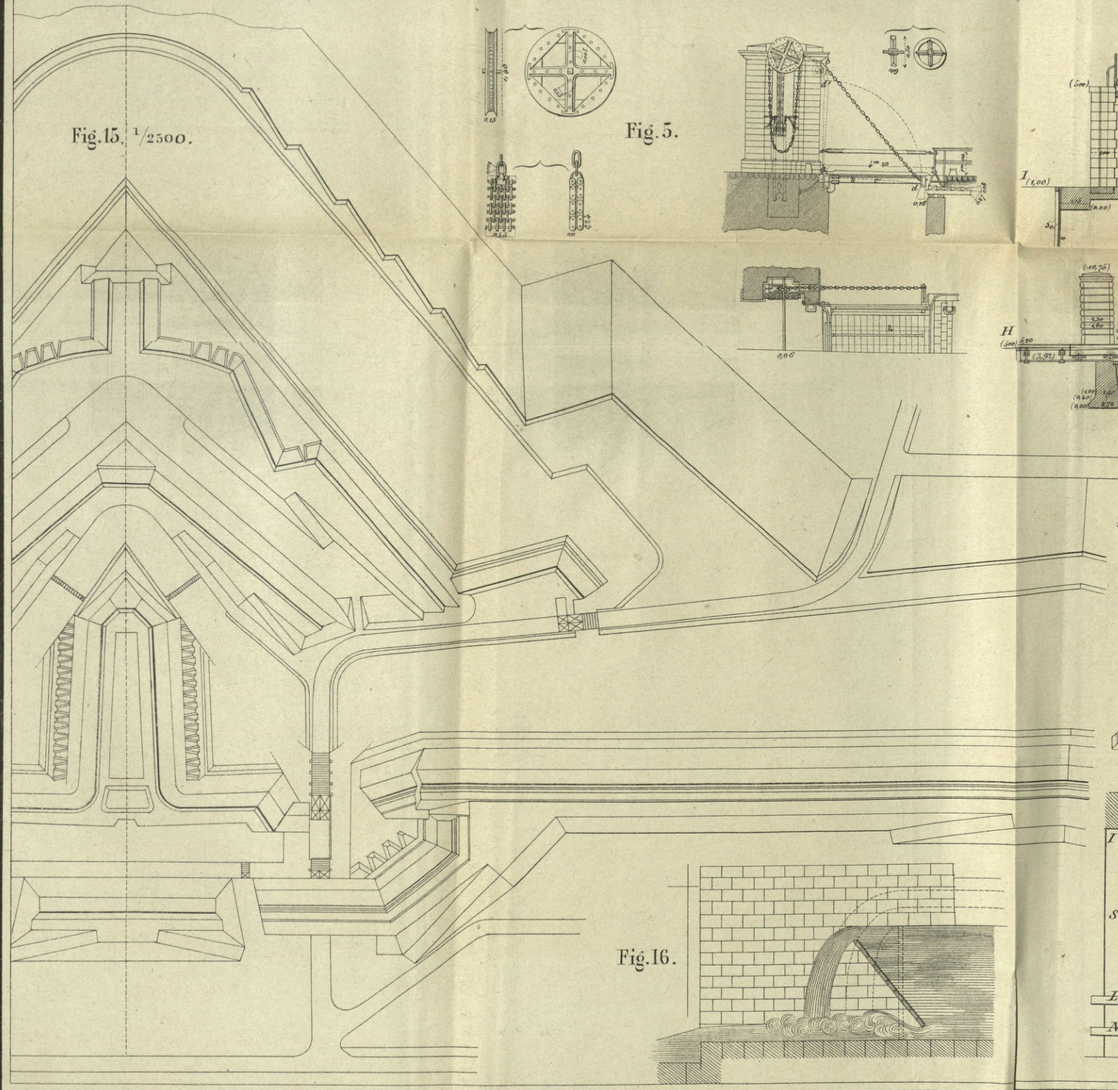


Fig. 5.

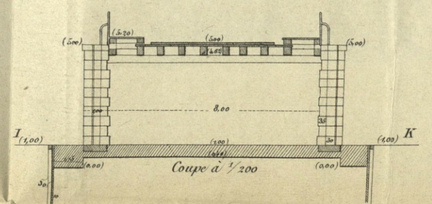
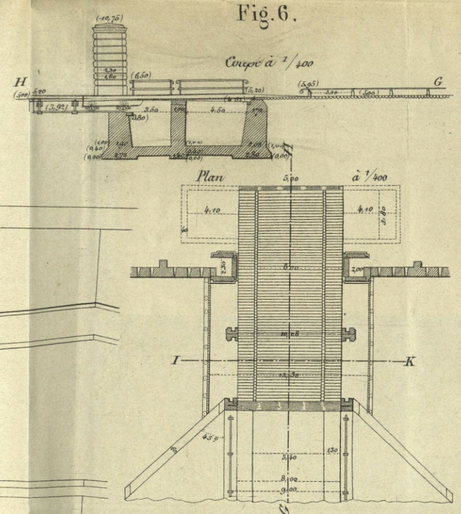


Fig. 6.



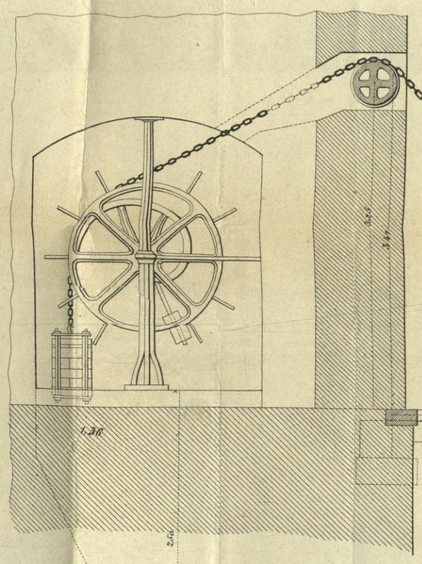
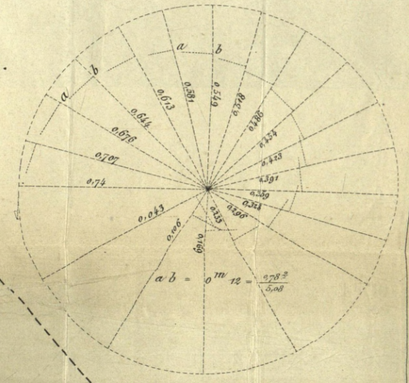


Fig. 7. 1/50.

Fig. 8.



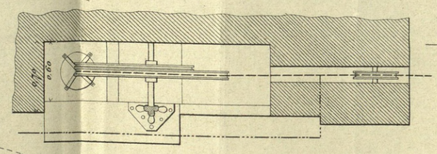


Fig. 10.

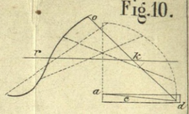


Fig. 9.

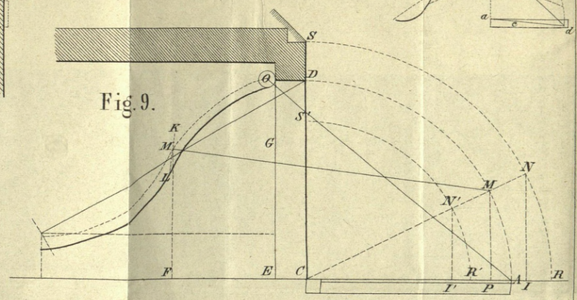


Fig. 16.

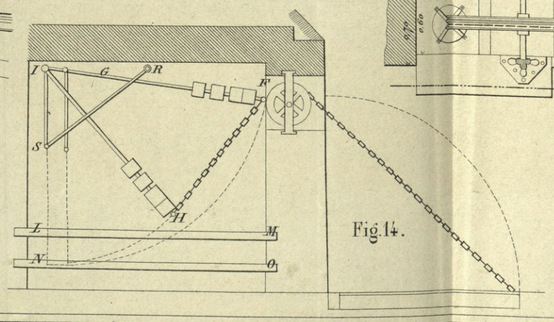


Fig. 14.

Fig. 11.

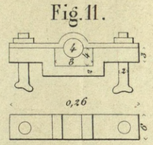


Fig. 13.

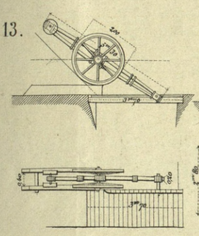
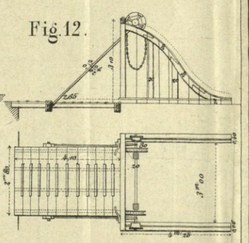


Fig. 12.



Biblioteka Naukowa AGH

Profil suivant CBA.

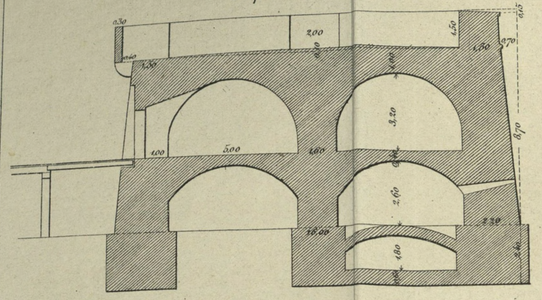
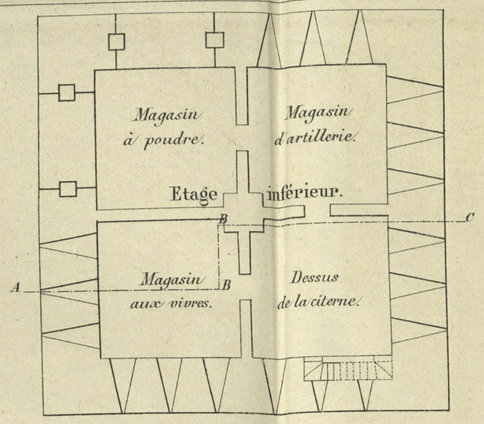


Fig. 1, 1/200.



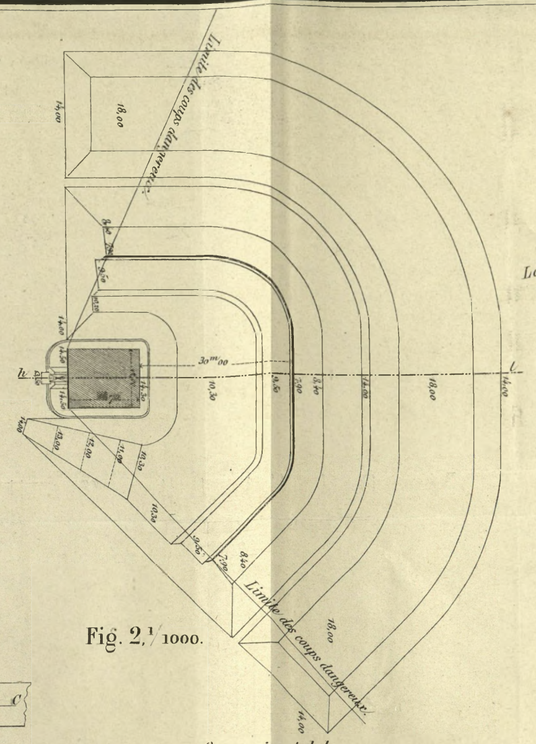
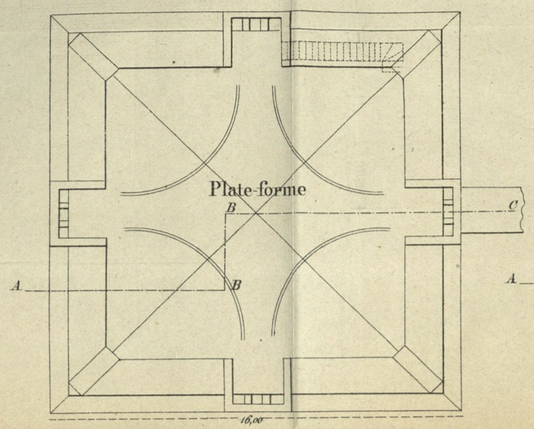
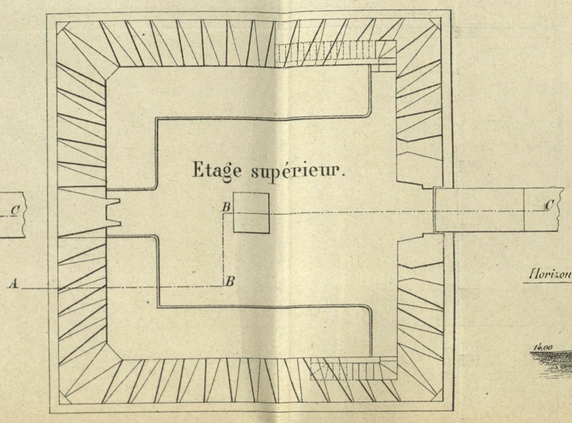


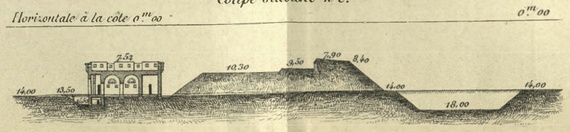
Fig. 2, 1/1000.

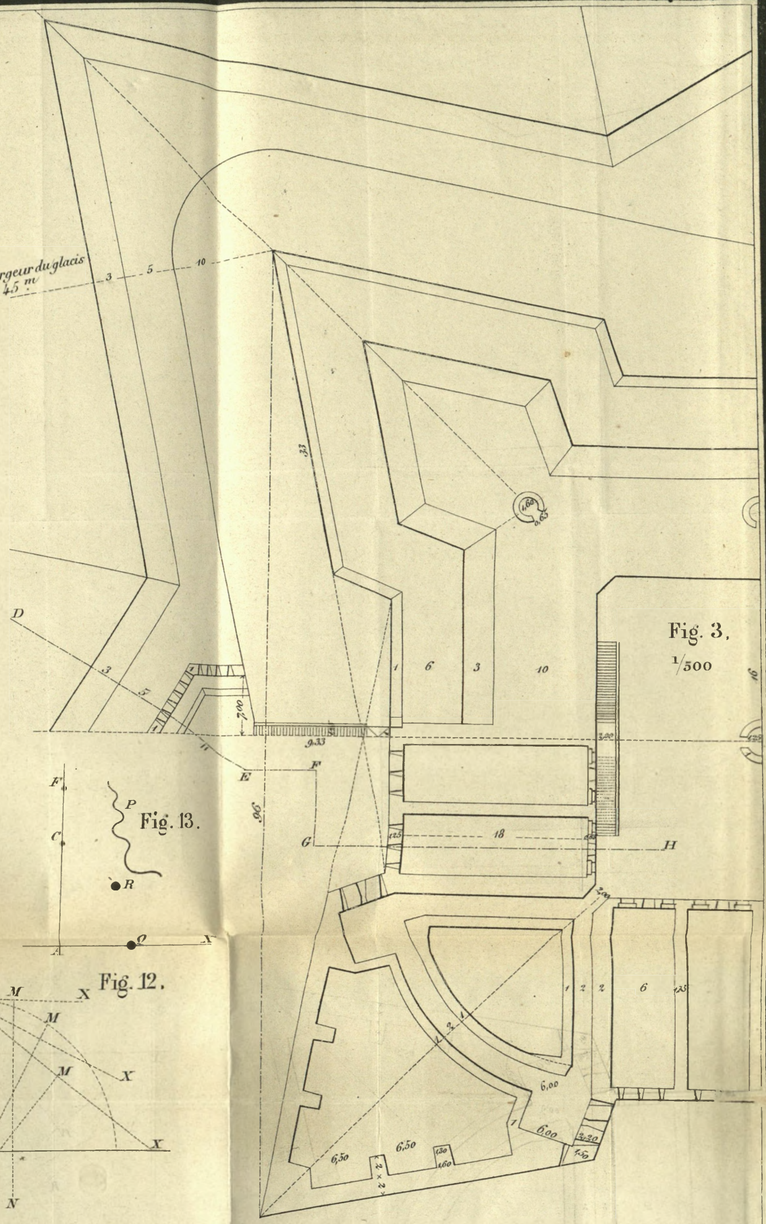




Coupe suivant hl.

Horizontale à la côte 0m00




La largeur du glacis 45 m
3
5
10
D
E
F
G
H
1
6
3
10
18
6,00
6,50
6,50
6,00
7
6
6,00
1,60
1,60
2,00
2,00
2,00

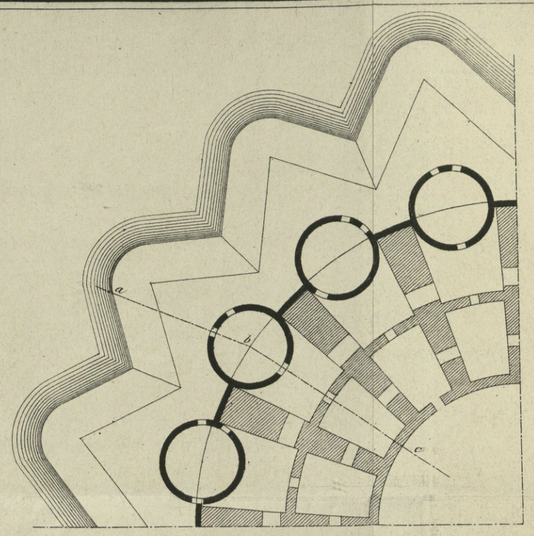
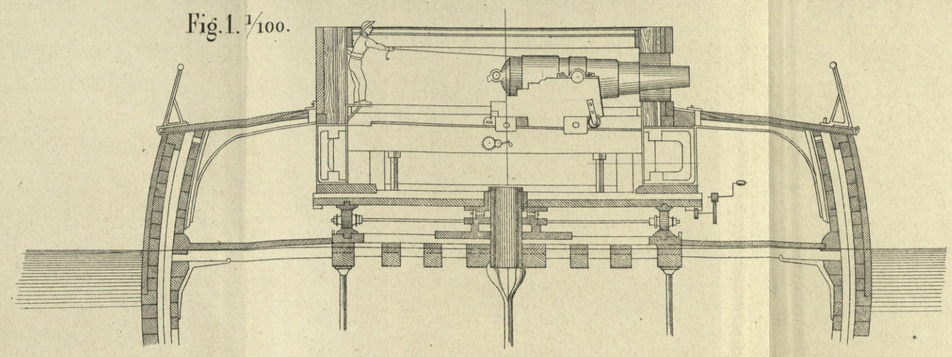


Fig. 1. 1/100.



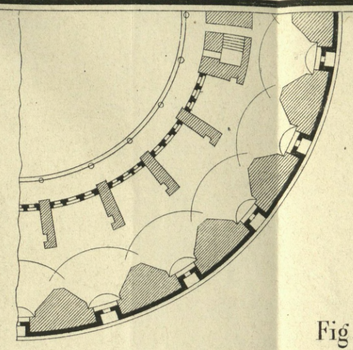


Fig. 3. 1/250.

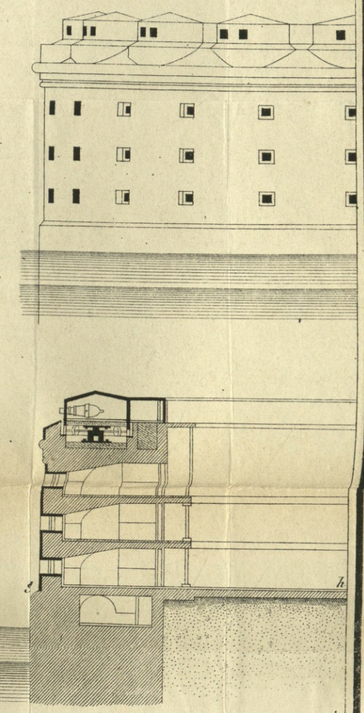
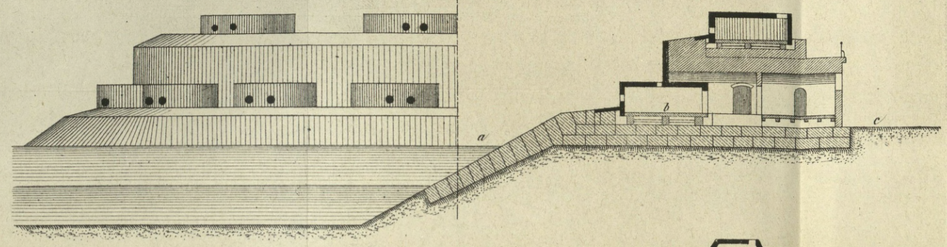


Fig. 2. 1/440.



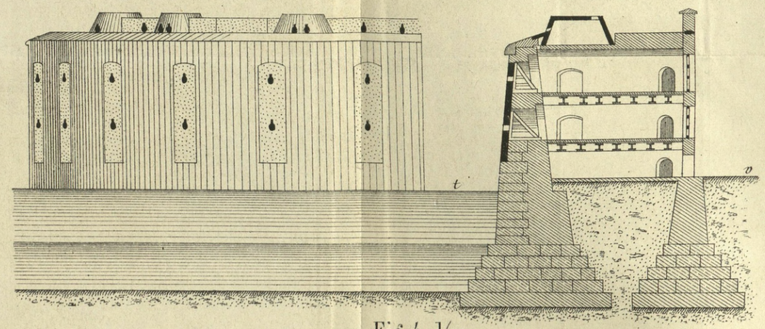
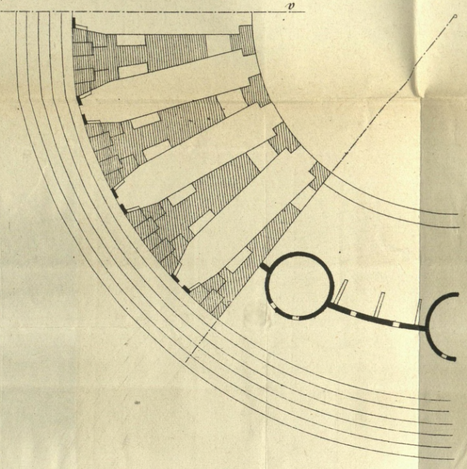


Fig. 4. 1/260.



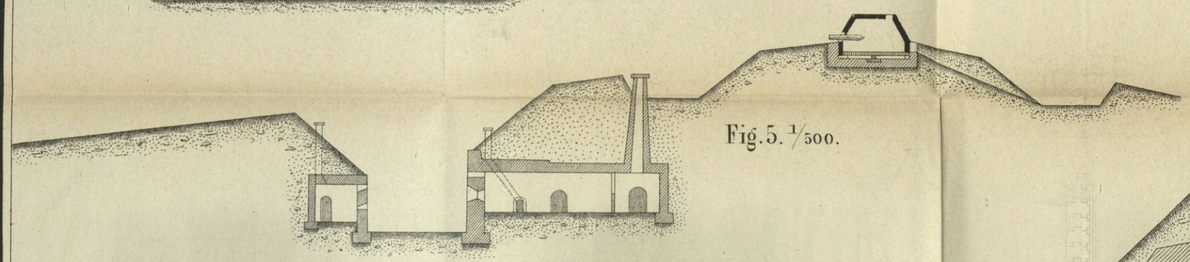


Fig. 5. 1/500.

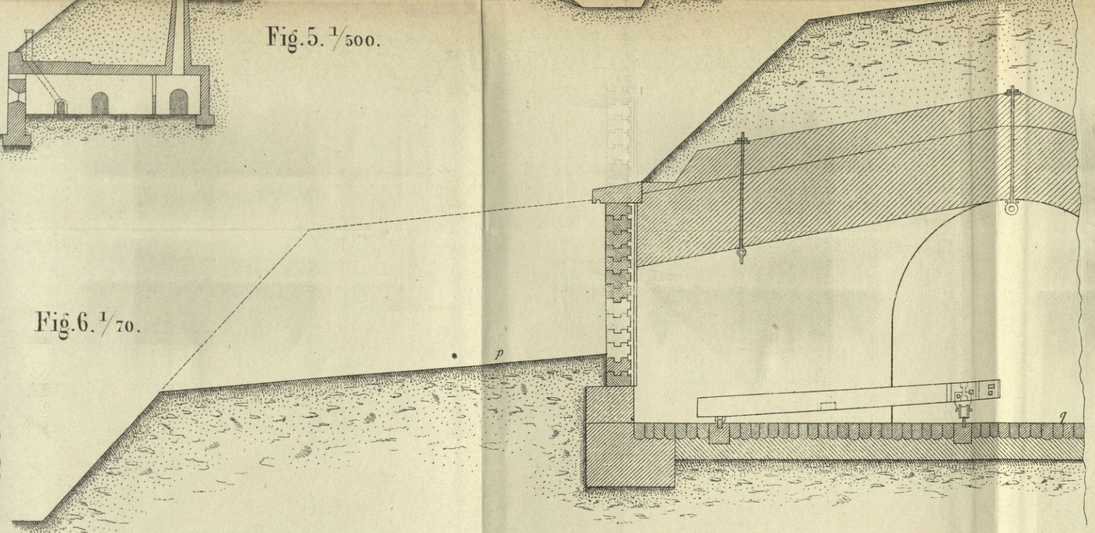
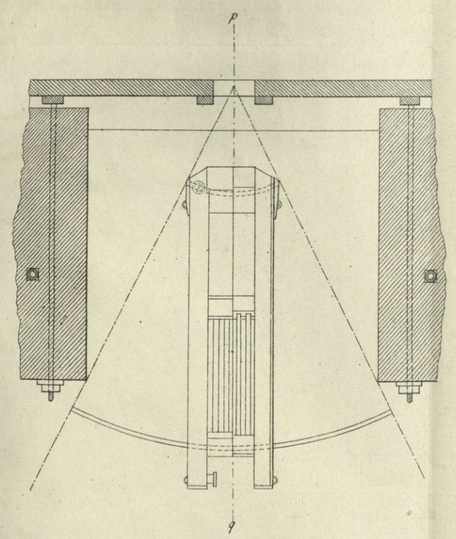


Fig. 6. 1/70.



1/200. Fig. 7. 1/500.

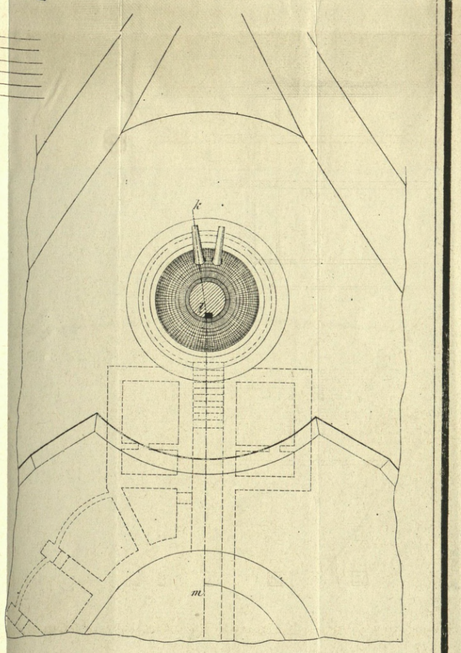
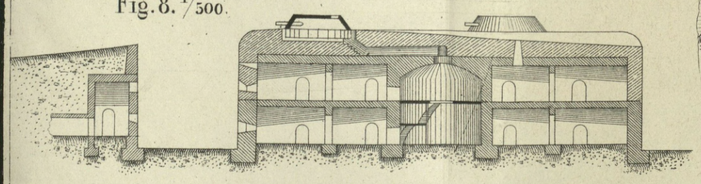


Fig. 8. 1/500.



BIBLIOTEKA
ASG
NAUKOWA
47836