

Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej



100100212806

9380
m

Archiwum



TRAITÉ·COMPLET
SUR
LA THÉORIE ET LA PRATIQUE
DU NIVELLEMENT.

TRAITE COMPLET

LA THEORIE ET LA PRACTIQUE

DU NIVEAU

TRAITÉ COMPLET
SUR
LA THÉORIE ET LA PRATIQUE
DU NIVELLEMENT;

PAR M. FABRE,

Ingénieur en chef du Corps royal des Ponts et Chaussées, correspondant de la première classe de
l'Institut de France, et associé à l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Marseille.



Mit 6 Feb. u 21 Jaf.

1912.940.

A PARIS,



CHEZ CARILIAN-GOËURY,

LIBRAIRE DU CORPS ROYAL DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

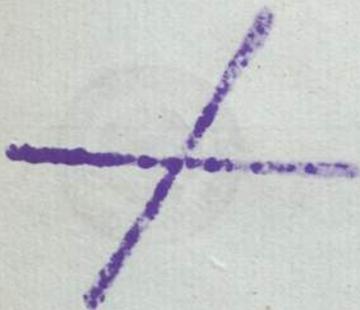
QUAI DES AUGUSTINS, N° 41.

(1812)

TRAITÉ COMPLET
DU SYSTÈME
PAR M. FABRE



Ум. 1888



349038L/1

2010 15067/N

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

LA première connaissance que l'homme doit avoir pour modifier la nature et la plier à ses besoins, est celle des lois qui la régissent.

La principale de ces lois est celle de la gravité qui pousse tous les corps sublunaires vers le centre de la terre. C'est cette tendance générale de tout ce qui est matière vers un centre qui détermine la figure de notre planète.

Suivant cette même loi cette figure serait parfaitement sphérique si notre globe était homogène et sans mouvement de rotation. Mais l'hétérogénéité des matières qui le composent et son mouvement autour de son axe rendent sa figure sphéroidale aplatie vers les pôles et renflée vers l'équateur. D'où il résulte que ce n'est pas précisément vers un seul point, mais vers la surface d'un noyau que tout gravite.

C'est cette direction de la gravité qu'on appelle *ligne verticale*, et que les corps qui tombent librement sans le concours d'aucune autre force suivent invariablement dans leur chute. Telle est la ligne de la ficelle du plomb, dont se servent les maçons et que pour cette raison on appelle aussi *ligne d'aplomb*.

Si l'on élève une perpendiculaire à l'extrémité d'une verticale, et qu'on la prolonge de chaque côté, suivant les principes de la géométrie élémentaire elle ne penchera ni d'un côté ni de l'autre. Qu'on place sur cette

ligne au point d'intersection un corps quelconque doué de la plus grande mobilité, il ne se portera ni à droite ni à gauche et il restera en repos. C'est cette ligne à laquelle on a donné le nom de *ligne de niveau*.

Lorsqu'un maçon n'a pas de niveau sous sa main, il emploie une forte règle sur laquelle il verse de l'eau. Ensuite il hausse ou baisse l'une des extrémités jusqu'à ce que les gouttes tombent vers le milieu de sa longueur. Alors il regarde la règle comme étant de niveau; ce qui est en effet, d'après ce que nous venons de dire.

Ce que l'on appelle *Normale* dans les courbes en général n'est autre chose dans le globe terrestre que le rayon qui aboutit au noyau central. Et puisque dans les courbes la tangente est perpendiculaire à la normale correspondante, il s'en suit que la ligne de niveau est tangente au point correspondant de la surface du Globe. Cette ligne étant supposée prolongée à l'infini se trouve dans le plan de l'horizon. C'est pour cette raison qu'on l'appelle aussi *ligne horizontale*.

La surface du Globe étant courbe, on sent bien que chaque point doit avoir une tangente particulière. Ainsi la ligne de niveau n'est point droite, mais courbe, parallèle et concentrique à l'arc correspondant de la superficie de la terre. Cependant dans les nivellemens on est convenu de la regarder comme une ligne droite.

Les diverses lignes verticales correspondantes aux divers points d'une ligne de niveau n'étant que des rayons du Globe, font des angles entr'elles et concourent toutes

au noyau central. Mais dans la pratique du nivellement on est aussi convenu de les considérer comme parallèles.

La théorie et la pratique du nivellement ne sont fondées que sur la connaissance et l'usage de ces deux lignes, *l'horizontale et la verticale.*

Lorsque dans la géométrie transcendante on a une équation du 3.^{me} degré ou d'un ordre supérieur, on sait que, pour construire la courbe qu'elle exprime, on suppose successivement diverses valeurs numériques à la lettre qui représente les abscisses, et que d'après cela on détermine la valeur des ordonnées correspondantes respectives. Deux lignes ensuite suffisent pour décrire la courbe. Sur l'une on porte la valeur de chaque abscisse, et sur les parallèles de l'autre celle de l'ordonnée correspondante. La première se nomme pour cette raison *axe des abscisses* et la seconde *axe des ordonnées.*

C'est sur le même principe qu'est fondée la théorie du nivellement. La ligne horizontale est l'axe des abscisses et la ligne verticale celui des ordonnées. Les abscisses ou distances du point de départ sont portées sur la première de ces lignes, et les ordonnées ou distances des points nivelés à cette ligne sur les verticales correspondantes à leurs abscisses respectives. Ici la détermination des abscisses est fort simple, puisqu'elles se mesurent sur la chaîne ou la perche dont on se sert pour fixer les distances. Mais il n'en est pas de même des ordonnées. Leur exacte détermination exige des instrumens bien rectifiés, des opérations faites avec soin

et une foule de précautions dont on n'aquiert la connaissance que par l'usage et une longue expérience.

De toutes les sciences phisico-mathématiques il n'y en a aucune dont l'usage soit plus universel et en même temps plus journalier et plus habituel que celui du nivellement. Le poseur, le maçon, le paveur, le terrassier, ne se dirigent que par le niveau. C'est par le nivellement que l'architecte établit les bases des édifices et en dirige tous les travaux, C'est par le nivellement que l'agriculteur trace ses fossés d'arrosage et distribue les eaux qui portent la fécondité dans ses propriétés. C'est encore par le nivellement que le fontainier conduit et dirige les eaux destinées aux fontaines soit publiques soit particulières, aux jets d'eau, etc.

Mais c'est particulièrement aux ingénieurs des ponts et chaussées que le nivellement est nécessaire. La construction des canaux soit d'arrosage soit de navigation, celle des routes, celle des ponts, la navigation des rivières, le desséchement des marais, et généralement tous les objets dont ils sont chargés en exigent impérieusement une connaissance approfondie, tant pour constater la possibilité des projets, que pour dresser les coupes et profils essentiellement nécessaires à la rédaction des devis et à l'exécution.

Jusqu'à présent on a regardé la théorie du nivellement comme une chose si simple qu'elle ne méritait presque pas la peine de la consacrer dans un ouvrage *ex-professo*. On a cru que tout se réduisait à cette loi générale :

rale : la différence entre la somme des hauteurs de mire arrière et celle des hauteurs de mire avant donne la différence de niveau des deux points extrêmes. Aussi n'y a-t-il presque point de traité élémentaire de géométrie qui ne donne cette théorie en deux mots.

Mais un traité de nivellement qui ne laisse rien à désirer doit embrasser une multitude d'objets qu'on n'a jamais réunis dans un seul et même corps d'ouvrage et dont plusieurs n'ont même jamais fixé l'attention des auteurs qui ont écrit sur cette partie. Il doit d'abord présenter les principes de physique et de géologie qui servent de base à cet art ; faire ensuite connaître la construction des diverses sortes d'instrumens dont on fait usage, leur vérification et la manière de s'en servir ; les lois du nivellement et leur application à la pratique. Passant ensuite à la rédaction des opérations, il faut qu'il enseigne la manière de dresser les coupes et les profils ; qu'il indique leur usage, et qu'il fasse connaître la forme et la dresse des tables de nivellement. Il est visible qu'un ouvrage composé d'après un pareil plan, embrasserait tout ce qui est préalablement nécessaire à la rédaction des devis et à l'exécution des projets. Qu'on examine tous les traités connus de nivellement, et l'on verra qu'il n'y en a aucun qui remplisse cet objet.

C'est cette considération qui nous a déterminés à réunir en un seul corps d'ouvrage les divers élémens que nous venons d'énumérer et que nous avons modifiés d'après un grand nombre d'observations que nous avons

été à portée de faire pendant plus de trente ans d'expérience dans cette partie. Peut-être même trouvera-t-on que nous sommes quelquefois entrés dans des détails trop minutieux. Mais on doit faire attention que les lois du niveau sont très-impérieuses ; que le nivellement exige la plus grande précision ; que les moindres détails influent essentiellement sur les résultats , et que les plus petites négligences répétées peuvent , après une opération d'une certaine étendue , occasionner des erreurs très-sensibles. Ainsi on peut dire que dans cette partie tout est de rigueur et qu'on doit en exclure les *à-peu-près*.

Cet ouvrage est divisé en treize Chapitres dont nous allons donner l'analyse.

Le Chapitre I.^{er} traite de la figure du Globe terrestre, des lignes et des surfaces de niveau. Il est entièrement consacré à établir les théories physiques qui servent de base au nivellement. Il se divise en deux sections. La première démontre que la terre doit affecter la forme sphérique ; que cette forme est altérée par le mouvement de rotation autour de son axe , ce qui la rend aplatie vers les pôles et renflée vers l'équateur , et qu'en conséquence tous les méridiens sont des ovals. La seconde section fait connaître le niveau vrai et le niveau apparent , la direction de la gravité et les variations du rayon de courbure des méridiens ; d'où nous déduisons l'impossibilité d'une table générale de haussement du niveau apparent sur toutes sortes de distances , ainsi que M. Picard l'avait dressée. On doit remarquer à ce sujet que l'on

n'est pas encore d'accord sur la longueur du rayon moyen de la terre. Mais les différences qui regnent entre les résultats trouvés par les divers auteurs sont trop petites pour influer sensiblement sur le haussement du niveau apparent aux distances sur lesquelles on opère dans les nivellemens ordinaires. Ce Chapitre est terminé par diverses observations sur le niveau de la surface des eaux des mers, des lacs, des canaux de navigation, des marais, d'une rivière prise d'un bord à l'autre, et sur le canal projeté à travers l'isthme de Suez pour joindre la mer rouge à la Méditerranée.

Dans le Chapitre II nous traitons des instrumens nécessaires au nivellement. De ce que la ligne d'aplomb et la ligne de niveau se coupent toujours à angles droits, nous en déduisons qu'il y a deux sortes de niveau l'un à perpendiculaire et l'autre à eau.

Parmi les niveaux à perpendiculaires sont le niveau de poseur et celui de paveur dont nous donnons la description, ainsi que les moyens d'en augmenter la précision. A ces deux niveaux nous en avons ajouté un troisième que nous croyons avoir inventé : car nous n'en avons jamais vu aucune description. Nous lui avons donné le nom de *niveau de l'agronome*, à cause qu'il est particulièrement affecté à l'usage des agriculteurs. Enfin après avoir fait connaître en abrégé les niveaux de Picard et d'Huygens qui sont dans la même classe, et prouvé que les ingénieurs doivent en abandonner l'usage, nous passons au niveau d'eau.

Nous comprenons sous cette dénomination non-seulement le niveau d'eau proprement dit composé de tubes et de fioles, mais encore celui à bulle d'air dont la base est l'eau, ou une autre liqueur quelconque.

Nous donnons d'abord la description du niveau d'eau à fioles. Ce niveau tel qu'il a été employé jusqu'à présent a passé et passe encore aujourd'hui pour n'être pas susceptible d'erreur dans les petites distances. Cependant par l'examen que nous en faisons, nous trouvons qu'outre plusieurs inconvéniens particuliers, il est très-fautif par la différente inclinaison que le tube principal peut prendre en bornoyant successivement en divers sens sur la même station. Nous donnons en même-temps le moyen de corriger ce vice par un genou à platines et à deux vis sans fin se coupant à angles droits.

Dans le traité de Picard, on propose d'adapter des pinnules à ce niveau. Mais nous faisons voir que ce moyen ne peut pas être employé.

Dans le même traité on propose un niveau d'eau à lunette. Cette construction devient très-embarrassante, et nous observons qu'elle est tout-à-fait inadmissible dans les opérations des ingénieurs.

Nous passons ensuite aux niveaux à bulle d'air; et après avoir expliqué tout ce qui concerne le tube et la liqueur qui y est contenue, nous donnons la description du niveau simple qui est seulement composé du tube et d'une règle, et dont on se sert pour mettre de niveau une table, un plancher, etc.

Après cette description nous donnons successivement celle du niveau à bulle d'air et à pinnules et celle du même niveau à lunette. Nous indiquons les vices qu'on rencontre souvent dans la construction du premier et le moyen d'y remédier.

Comme il ne suffit pas d'avoir un niveau pour niveller sur le terrain et qu'il faut d'autres instrumens accessoires, tels que des jallons, une mire, une chaîne à mesurer les distances, etc., nous donnons une description de chacun de ces objets, et nous en indiquons la forme que nous croyons la plus convenable pour opérer avec exactitude et sans embarras.

Nous terminons ce Chapitre par quelques observations sur les précautions à prendre dans le transport des instrumens à la campagne,

Avant de se servir d'un niveau il est indispensable de le vérifier. Chaque espèce de niveau a un genre de vérification différent suivant la forme de sa construction.

En conséquence dans le Chapitre III nous passons successivement en revue les divers niveaux soit à perpendicule, soit à eau dont nous avons donné la description dans le Chapitre II, et nous indiquons pour chacun le mode de vérification qui lui convient.

Le chapitre IV contient les lois du nivellement. Après avoir exposé l'objet du nivellement, et avoir parlé des termes soit extrêmes soit de vérification, nous donnons d'abord la règle à suivre pour le nivellement simple ou à une seule station, soit ascendant soit descendant : ensuite

nous donnons celle du nivellement composé ou à plusieurs stations considéré successivement comme ascendant ou comme descendant. Enfin d'après ces préliminaires nous prescrivons la règle générale pour un nivellement composé quelconque sur un local contenant à la fois des montées et des descentes. On sait que cette règle porte que *la différence de niveau entre deux points donnés est égale à celle entre la somme des hauteurs de mire arrière et la somme des hauteurs de mire avant.* A la rigueur ce Chapitre peut être considéré comme formant seul un traité de nivellement, si l'on envisage cette partie en grand, ainsi qu'on l'a toujours fait. Mais si l'on considère le nivellement dans ses détails d'application, on ne tardera pas à s'apercevoir de l'insuffisance de ses principes, ainsi qu'on pourra en juger par ce qui suit.

Après avoir fait connaître la construction et la vérification des niveaux, ainsi que les lois générales du nivellement, il était naturel d'exposer la pratique du nivellement : car il ne faut pas ici se faire illusion ni croire que d'après les lois générales on sera tout de suite en état d'opérer et de tracer un projet sur le terrain. Il y a une infinité de menus détails dont il faut tenir compte dans la pratique et que l'expérience seule fait connaître. Ainsi c'est pour éviter à ceux qui commencent, les tâtonnemens qui sont ordinairement à la suite de la théorie, que nous avons cru devoir consigner dans le chapitre V les observations pratiques qui ne peuvent être que le fruit de l'usage.

En conséquence nous donnons d'abord la manière de

se servir du niveau à perpendiculaire, c'est-à-dire, du niveau de poseur, de celui de paveur et de celui de l'agronome. Cette sorte de niveau étant fort simple et d'un usage peu étendu, ce que nous en disons se réduit à peu de chose. Mais il n'en est pas de même des niveaux à eau. Leur usage étant beaucoup plus vaste et ces instrumens étant d'ailleurs particulièrement affectés à des opérations étendues sur le terrain, c'est sur-tout dans leur manipulation qu'on a besoin d'être dirigé. Nous avons donc pensé qu'il était essentiel de développer tous les détails pratiques qui s'y rapportaient.

D'après cela nous exposons d'abord la manière de placer le niveau, de le monter et de bornoyer; celle de placer la mire, de la tenir, de mouvoir et d'arrêter le carton ou *voyant*; comment et en quels endroits on doit planter des jallons, et mesurer les distances à la chaîne; ce qu'il faut observer au commencement d'un nivellement et à chaque changement de station; ce qu'il faut faire lorsqu'on suspend les opérations, et le choix qu'on doit faire par intervalles de repères de vérification. Ensuite nous donnons la méthode de monter et d'employer successivement le niveau d'eau simple, le niveau à bulle d'air et à pinnules et celui à bulle d'air et à lunette.

Tout n'est pas là. Il ne suffit point de prendre les mesures en longueur ni celles des hauteurs de mire; il faut encore les porter d'une manière claire et commode sur un registre. La forme d'un registre peut varier suivant que le nivellement se fera, ou non, avec chaînage.

Nous en proposons une qui embrasse les deux cas et que nous croyons la plus convenable.

Nous parlons ensuite de la méthode à suivre pour calculer les hauteurs respectives d'après les divers modèles de registre dont nous avons fait mention.

Enfin nous terminons ce Chapitre par la vérification d'un nivellement. On sait que cette vérification se fait par un autre nivellement. Nous faisons voir dans quel cas un nivellement doit être regardé comme exact ou vicieux, et dans ce dernier cas de quelle manière on trouve l'erreur par le moyen des repères de vérification.

Jusqu'ici nous avons donné une théorie générale. Nous avons pensé qu'il était à propos d'en faire l'application au tracé des canaux et des aqueducs ; ouvrages dont le nivellement est l'ame, ainsi que tout le monde sait. Nous ne parlons pas du tracé des routes ; car on y emploie ordinairement le niveau de pente dont il n'est pas question ici : cette application est contenue dans le chapitre VI.

Après avoir sommairement exposé la définition d'un canal, les parties qui le composent et les diverses sortes de canaux, et avoir observé que la construction la plus économique d'un pareil ouvrage est fondée sur la solution de ce problème : *trouver sur la surface de la terre autant de points qu'on voudra, tels qu'à chacun la profondeur d'excavation donne un déblai égal au remblai des chaussées, et que le fond de la tranchée ait une pente déterminée ou nulle suivant la destination du canal* : nous

fesons

faisons voir que cette solution exige celle d'une équation linéaire que nous donnons, et de laquelle nous déduisons douze formules qui embrassent tous les cas relatifs au tracé des canaux.

Nous appliquons ensuite ces formules successivement au tracé des canaux d'irrigation, de navigation, d'irrigation et de navigation, et à celui des aqueducs. Nous faisons voir ce qu'il faut observer quand on passe d'une station à l'autre, et dans le cas où l'on a une vallée à franchir, un coupement à faire, des chûtes à ménager pour usines ou pour écluses, et des bruyères, des bois, des étangs et des marais à traverser.

Nous terminons ce chapitre par quelques observations générales sur le tracé des canaux et des aqueducs.

Nous avons supposé dans le chapitre VI qu'on procédait au tracé en suivant la pente soit du canal soit de l'aqueduc, mais il peut se rencontrer des cas où l'on soit obligé de faire ce tracé en remontant. C'est ce qu'on appelle un *tracé rétrograde* dont nous parlons au chapitre VII.

A l'imitation de ce qui a été prescrit dans le chapitre VI, nous reprenons l'équation linéaire dans laquelle nous prenons l'arrière pour l'avant et réciproquement, et de laquelle d'après cette hypothèse nous déduisons douze nouvelles formules qui embrassent tous les cas et que nous appliquons successivement au tracé rétrograde tant des canaux que des aqueducs. Du reste, comme il s'agit ici d'une partie usuelle et qu'il faut par conséquent mettre autant qu'il est possible à la portée de tout le monde

nous avons eu soin de traduire en langage ordinaire non seulement ces formules , mais encore toutes celles qui se trouvent dans l'ouvrage.

Le tracé d'un projet n'exige que la détermination des repères à placer par intervalles. Mais la dresse des devis et celle des plans de détail des ouvrages d'art supposent des opérations plus étendues. Ces opérations sont les profils longitudinaux du terrain suivant l'axe de l'objet nivelé et les profils transversaux pris au droit des repères et en divers autres endroits. Ces profils sont le sujet du chapitre VIII.

Nous remarquons d'abord que les profils en long semblables sous certains rapports aux courbes géométriques , doivent , comme elles , être rapportées à un axe des abscisses. Nous faisons connaître la nature de cet axe , sa direction , les variations dont il est susceptible dans sa position , etc. Après les notions préliminaires convenables , nous appliquons les règles de nivellement aux profils en long et en travers , 1.° des canaux et des aqueducs ; 2.° des routes à construire ; 3.° des routes en exercice ; 4.° des rivières. Ensuite après avoir prescrit la manière d'opérer sur chacun de ces objets , et être entrés dans plusieurs détails au sujet des profils des rivières , nous terminons ce chapitre par des observations sur la manière dont on doit tenir le registre de ces opérations.

Jusqu'ici tout ce qui a été prescrit se rapporte aux opérations sur le terrain. Ce qui suit regarde la rédaction : car il ne suffit pas d'opérer ; il faut encore pou-

voir se représenter les opérations dans leur ensemble et dans leurs détails, afin de pouvoir dresser un devis et les tables de nivellement y relatives.

En conséquence dans le chapitre IX nous donnons la manière de rapporter sur le papier les nivellemens des profils. Nous exposons d'abord en quoi consiste ce rapport, et la nécessité d'employer en général la même échelle pour les trois dimensions, l'unité à cet égard étant puisée dans la nature; et après avoir observé qu'avant de rapporter un profil à un seul axe placé au-dessus ou au-dessous, il faut qu'on prenne les divers rayons de visée pour axes partiels des abscisses et les hauteurs de mire correspondantes pour leurs ordonnées respectives, nous développons sur une assez grande figure la manière de rapporter sur le papier le nivellement d'un profil en long, station par station, et nous démontrons que la figure qui en résulte est entièrement semblable à celle qui a été nivelée sur le terrain.

Nous traitons ensuite la manière dont ce même profil peut être rapporté en totalité ou en partie à un seul axe placé au-dessus ou au-dessous, et le cas où, après avoir été ainsi rapporté à un axe déterminé, on voudrait le rapporter à tout autre donné de position.

Il y a des cas où le terrain profilé s'élève à une très-grande hauteur, comme, par exemple, les routes qui franchissent des montagnes. On sent alors que le profil en long ne peut être continu sans donner aux rouleaux une hauteur excessive, et que par conséquent il est à

propos de le décomposer en diverses parties. Nous donnons la méthode à suivre dans ce cas pour rapporter sur un rouleau d'une hauteur donnée le profil dont il s'agit, quelle que soit l'élévation du terrain profilé,

Il y a d'autres cas où, au lieu de briser le profil, on brise l'axe des abscisses. Nous expliquons la manière dont on doit s'y prendre.

Comme il est très-avantageux qu'un profil en long ne soit point brisé et qu'il n'éprouve aucune solution de continuité, quelle que soit la hauteur du terrain nivelé, et comme d'un autre côté il est à propos que les rouleaux n'aient qu'une hauteur médiocre, nous faisons voir que, par le moyen d'échancrures pratiquées à certains endroits et d'une grandeur assujettie à une loi déterminée, on pourra rapporter tel profil qu'on voudra sans aucune interruption sur un rouleau dont la hauteur sera à volonté.

Ce chapitre est terminé par la manière de rapporter les profils en travers.

Les principes contenus dans le chapitre IX sont généraux et regardent tous les profils quelconques. Dans le chapitre X nous les appliquons aux profils en long et en travers des canaux et aqueducs, des routes soit à construire soit en exercice et des rivières. Nous envisageons chacun de ces objets successivement sous leurs différents rapports, et nous faisons voir de quelle manière on doit procéder dans tous les cas pour en rapporter les profils sur le papier.

Dans le chapitre XI nous traitons de l'usage des

profils pour faire les toisés des déblais et remblais des diverses matières et des travaux d'art et pour dresser les devis; Pour cela il faut préalablement connaître la nature du terrain, et c'est ce qu'on fait par le moyen de la sonde. Nous donnons la description des sondes dont on se sert et la manière d'en faire usage. Ensuite nous exposons la forme à donner aux profils pour faire les toisés des travaux dans les canaux, les aqueducs et les routes.

Quant aux rivières, nous observons que le profil en long sert particulièrement dans le cas des projets de navigation, et celui en travers non-seulement pour la navigation, mais encore pour la construction des ponts, et pour la réduction d'un lit dont la largeur est trop considérable.

Lorsqu'on a fait un nivellement pour l'exécution d'un projet et qu'on a dressé les profils en long et en travers, il est encore indispensable de dresser une table de nivellement qui fasse connaître au premier coup d'œil tous les élémens de l'opération. La forme de cette table varie suivant la nature du projet ou de l'objet nivelé. En conséquence dans le chapitre XII nous donnons la manière de dresser cette table; 1.^o pour les canaux d'irrigation, de navigation, d'irrigation et de navigation et pour les aqueducs; 2.^o pour les routes soit à construire soit en exercice; 3.^o pour les rivières.

Enfin le chapitre XIII contient diverses considérations particulières sur les moyens de rendre utiles les diffé-

rents profils dont nous avons parlé. Après avoir observé combien il est essentiel pour le Gouvernement de réunir au dépôt des plans des ponts et chaussées les profils des canaux et aqueducs des routes et des rivières de l'Empire, nous faisons sentir la nécessité, 1.^o d'adopter pour cet objet une seule et même échelle dans tous les départemens; 2.^o de rapporter toutes les opérations au niveau des plus basses eaux de la méditerranée prise dans le port de Toulon; 3.^o de dresser des tables de nivellement pour chaque objet en particulier et d'y porter des repères fixes et immuables déjà rapportés sur les profils et pris à certaines distances et dans des endroits remarquables.

D'après cela nous indiquons tant pour les canaux et aqueducs, que pour les routes et les rivières; 1.^o les points qu'on peut prendre pour repères à porter sur les tables de nivellement; 2.^o ceux qu'on doit nécessairement choisir; 3.^o la forme de ces tables pour chacun de ces objets.

Nous parlons ensuite de l'ordre à mettre dans le dépôt pour éviter toute confusion et trouver sans peine l'objet qu'on cherchera.

Nous faisons aussi l'énumération des avantages qui résulteraient d'un pareil système.

Enfin nous terminons ce chapitre en indiquant les précautions à prendre par le Gouvernement et les procédés à suivre par les ingénieurs pour mettre ce projet à exécution dans le moins de tems et avec le moins de frais possible.

Au surplus ce ne sont que des idées que nous pré-

sentons dans ce chapitre , dans la persuasion qu'elles pourront être utiles au bien public. Il est possible qu'elles soient susceptibles de modifications, nous les soumettons en conséquence à l'examen des personnes qui , comme nous , n'ont d'autres objets en vue que le bien et la prospérité de l'État.

Tel est l'ouvrage que nous présentons au public. Par l'analyse que nous venons d'en faire, on voit qu'il ne s'agit pas ici d'un traité de nivellement hérissé de formules , mais de l'application de la théorie la plus simple à toutes les parties d'exécution. Nous avons évité avec soin tout ce qui tient aux connaissances transcendantes, et nous nous sommes rapprochés autant que nous avons pu de la portée ordinaire du commun des hommes : car l'objet qu'on doit se proposer dans les sciences usuelles est de se rendre intelligible à la généralité de ceux qui exécutent. De sorte qu'avec une attention et une intelligence ordinaire, à la lecture de ce traité on connaîtra parfaitement les règles du nivellement, et on sera en état de les appliquer aux diverses parties des travaux publics, sans être exposé aux erreurs inévitables dans les premières opérations de la pratique.

En 1783 nous publiâmes notre *Essai sur la manière la plus avantageuse de construire les machines hydrauliques, et en particulier les moulins à blé*, dans lequel diverses personnes recommandables par leurs connaissances auraient désiré un peu plus de développement. Comme l'édition en est épuisée depuis nombre d'années, nous en donnerons bientôt une seconde qui sera augmentée de

plusieurs machines et dans laquelle nous tâcherons de suppléer à ce qui manque à la première. Mais on sent qu'à l'exception des machines construites sur des bateaux et placées sur des rivières, les autres exigent essentiellement la théorie de la construction des canaux destinés à porter les eaux nécessaires pour le mettre en mouvement. C'est donc de ce dernier traité que nous allons nous occuper, en attendant la nouvelle édition dont nous venons de parler. Les nombreux canaux que nous avons fait exécuter ou que nous avons projetés dans le temps que nous occupions la place *d'ingénieur hydraulique du pays de Provence*, nous ont mis à portée de traiter ce sujet *ex professo* et de manière à pouvoir espérer que nous laisserons peu de choses à désirer. Il sera accompagné de la théorie du dessèchement des marais qui doit en être regardée comme une suite et une dépendance naturelles. Cet ouvrage que nous avons annoncé au N.° 276 de notre *Essai sur la théorie des torrens et des rivières*, nous fournira l'occasion de faire l'application des principes que nous publions aujourd'hui.

ERRATA.

- 3.° Page 129, ligne deuxième, une errente, lisez une errante
- 8.° Page 256, ligne 21, prenons $v'x'' = v'x'''$, lisez ($v'x'' = v'x'''$).
- 2.° Page 28, N.° 38, (lisez à la marge le sommaire) Usage de cette table.
- 1.° Page 1 ligne 5, de la surface, lisez (de la figure).
- 5.° Page 140, ligne 5, section IV, lisez (section III).
- 6.° Page 141, ligne 7, section III, lisez, (section IV).
- 7.° Page 154, ligne 13, section IV, lisez, (section V).
- 9.° Page 305, ligne 21, § III, lisez (§ II.)

TRAITÉ COMPLET

TRAITÉ COMPLET

SUR LA THÉORIE ET LA PRATIQUE

DU NIVELLEMENT.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA SURFACE DU GLOBE TERRESTRE, DES LIGNES ET DES SURFACES
DE NIVEAU.

SECTION PREMIÈRE.

De la figure du Globe terrestre.

1. IL existe dans la nature une attraction universelle qui porte toutes les particules de matière à s'unir les unes aux autres. On en voit des exemples en petit, quand on rapproche deux gouttes de mercure l'une de l'autre. Lorsqu'elles sont à une certaine proximité, on s'aperçoit qu'elles s'allongent et tendent à se joindre.

Attraction des particules de matière.

2. Lorsque plusieurs particules de même matière sont réunies les unes aux autres par la seule force d'attraction, elles forment nécessairement un système sphérique; car alors elles tendent toutes à se mettre en équilibre autour du centre commun de gravité. Mais pour cela il faut que toutes les colonnes qui gravitent autour de ce centre aient la même longueur, ou que la surface de la base supérieure en soit à la même distance dans chaque

Cette forme est produite dans la terre par l'attraction de ses éléments. L'attraction produit la forme sphérique.

colonne ; ce qui constitue visiblement la sphère. On en a un exemple dans les gouttes d'eau, de mercure, de plomb fondu, etc. Toutes ces gouttes sont sphériques ; et si cette forme est un peu altérée, ce n'est qu'à cause de la tendance du système vers la terre autour de laquelle tous les corps sublunaires gravitent : mais elle serait géométriquement sphérique, si la terre disparaissait tout-à-coup et que ces gouttes restassent absolument isolées.

La terre et les autres planètes affectent la forme sphérique.

3. C'est d'après ces principes que la terre et tous les corps célestes affectent la figure sphérique avec quelques légères modifications qui tiennent à des accidens particuliers. En effet, puisque toutes les parties tendent vers le centre, imaginons la terre comme composée d'une infinité de cônes dont le sommet est au centre et dont la base est à la superficie. Pour que tous les élémens se fassent mutuellement équilibre, il faut qu'ils soient tous de même hauteur. Or les hauteurs de tous ces cônes sont des rayons de la terre. Donc puisque tous ces rayons sont égaux, la figure de la terre doit être sphérique. Il en est de même de celle des autres planètes.

Cette forme est altérée dans la terre par l'hétérogénéité de ses élémens.

4. Dans le raisonnement que nous venons de faire nous avons tacitement supposé que la terre et les autres planètes étaient homogènes dans leur composition : car ce n'est que dans cette hypothèse que les cônes élémentaires qui les composent pourraient, dans l'état d'équilibre, être rigoureusement de même hauteur. Mais la chose n'est pas exactement vraie, du moins au sujet du Globe terrestre qu'on sait être un composé de diverses substances telles que la terre proprement dite, le sable, la pierre, l'eau, le sel et les minéraux en général. Ainsi les cônes élémentaires sont eux-mêmes hétérogènes

et composés en tout ou en partie de ces diverses matières dont les pesanteurs spécifiques varient suivant leur nature. Il est d'ailleurs vraisemblable que le globe terrestre contient dans son intérieur de grandes et vastes cavités telles qu'on en découvre journellement en une infinité d'endroits. La gravité des cônes élémentaires doit donc par ces raisons varier, ainsi que leur hauteur pour l'état d'équilibre. D'où il suit que le globe terrestre sous ce premier rapport ne doit pas affecter exactement la forme sphérique.

5. La principale cause de l'altération de la figure de la terre et qui influe le plus à la destruction de sa sphéricité, est son mouvement de rotation sur son axe. On sait que la terre fait dans un an sa révolution autour du soleil. Mais en circulant ainsi annuellement autour de ce centre du système planétaire, elle est en même temps animée d'un mouvement particulier de rotation de l'ouest à l'est qui la fait tourner dans un jour autour de son axe.

Soient C (fig. 1.) le centre de la terre supposée sphérique, AD l'axe de rotation, et ABDE un méridien. Supposons que le demi cercle ABD tourne autour de l'axe AD. Tous les points compris dans ce demi cercle participant à ce mouvement, acquerront une force centrifuge dans le sens de la tangente au cercle de leur rotation respective. On en a un exemple bien sensible dans la boue qui s'attache aux jantes des roues d'un carrosse et qui s'échappe suivant la tangente, lorsque la voiture marche avec une certaine vitesse.

Le mouvement de rotation de la terre autour de son axe n'est pas assez rapide pour permettre à ses parties de s'échapper par la tangente, et c'est ce qui arrive

Et par le mouvement de rotation autour de l'axe.

Aplatissement du globe et dimensions du demi axe et du demi diamètre de l'équateur.

Fig. 1.

aussi à la boue dont nous venons de parler, lorsque la roue tourne lentement : cependant ces mêmes parties n'en acquièrent pas moins une certaine force centrifuge.

Par les lois des mouvemens de rotation, les corps qui tournent en même temps autour d'un axe commun, acquièrent des forces centrifuges proportionnelles à leurs distances à l'axe. Elevons sur l'axe AD les ordonnées perpendiculaires CB, Ff, Gg, Hh et Ii. Les points B, f, g, h, i acquerront des forces centrifuges qui seront entr'elles comme les ordonnées correspondantes CB, Ff, Gg, Hh, Ii respectivement. Par conséquent puisque les ordonnées croissent continuellement depuis le pôle A jusqu'à l'équateur qui passe par le point B, il s'en suit que la force centrifuge des corps terrestres, s'accroît continuellement depuis les pôles jusqu'à l'équateur où elle parvient à son *maximum*.

L'effet de la force centrifuge est de diminuer l'action de la gravité qui porte tous les corps vers le centre de la terre. On le voit évidemment par l'exemple déjà cité de la boue attachée aux jantes des roues de carrosse, où cette force est assez grande pour vaincre et détruire totalement celle d'adhésion au corps des roues. Par conséquent la diminution de la gravité des cônes élémentaires qui composent le globe terrestre, sera pour cette seule raison, d'autant plus grande qu'on s'avancera davantage vers l'équateur, où elle parvient à son *maximum*.

Que l'on considère d'ailleurs que plus on s'approche de l'équateur, plus l'angle formé par l'axe et les cônes élémentaires devient grand; conséquemment plus aussi la force centrifuge agit efficacement sur leur gravité. Ainsi pour cette raison, toutes choses d'ailleurs égales,

la diminution de la gravité sera encore plus grande vers l'équateur que vers les pôles.

Il résulte de tout ce que nous venons de dire que la gravité ou pesanteur des corps diminue constamment depuis les pôles jusqu'à l'équateur. Par conséquent pour que les cônes élémentaires qui composent le globe terrestre puissent se mettre en équilibre autour du centre, il faut qu'ils augmentent leur masse par un excès de longueur en avançant vers l'équateur. Cet excès de longueur doit donc porter leur base au-dessus de la surface de la terre supposée sphérique, et convertir la forme du globe en ellipsoïde aplati vers les pôles et renflé vers l'équateur.

6. Cette figure, que la raison et la saine physique indiquent, est aujourd'hui parfaitement démontrée par la mesure de divers arcs du méridien prise autrefois en Laponie, en France et au Pérou, et dans ces derniers temps entre Dunkerque et Barcelonne. Les dernières opérations surtout, faites par les premiers savans de l'Europe, ne permettent plus de doute que l'axe de la terre est sensiblement au diamètre de l'équateur :: 333 : 334. Ces opérations donnent les longueurs suivantes, savoir :

Pour le rayon moyen 6,374,857 mètres (3,276,774 toises.)

Pour le demi axe de la terre 6,344,011 mètres (3,254,948 toises.)

Et pour le demi diamètre de l'équateur 6,363,060 mètres (3,265,234 toises.)

7. Sur le diamètre AD supposé de 333 parties égales menons les divers ordonnées CB, Ff, Gg, etc., qu'il faut prolonger au-dessus et au-dessous. Prenons au-dessus les points B', f', g', h', i' tels que l'on ait : CB : CB' :: Ff : Ff' :: Gg : Gg' :: Hh : Hh' :: Ii : Ii' : 333 : 334.

Quelle est la vraie forme du globe.

Fig. 6.

Aplatissement du globe et dimensions du demi axe et du demi diamètre de l'équateur.

Forme de la courbe génératrice du globe.

Faisons la même chose à l'égard des autres ordonnées tant au-dessus qu'au-dessous de l'axe des abscisses. La courbe AB'DE' qui passera par tous ces points sera à peu de chose près la courbe génératrice du globe terrestre, en supposant qu'elle tourne autour de l'axe AD; et cette courbe sera une ellipse aplatie ou construite sur le petit axe: car on sait que les ordonnées au cercle construit sur le petit axe d'une ellipse sont aux ordonnées correspondantes de l'ellipse, comme le petit axe est au grand axe.

Au reste nous disons que cette courbe sera à peu de chose près la courbe génératrice: car parmi les divers élémens qui entrent dans sa formation, il y en a qui probablement ne seront jamais bien connus; comme par exemple les diverses substances qui composent l'intérieur du globe et les cavernes qui s'y trouvent disséminées. La contexture intérieure du globe n'étant point uniforme, les cônes élémentaires (4.) ne seront point homogènes ni par conséquent de même pesanteur spécifique. Les plus légers spécifiquement devront donc s'allonger pour être en équilibre avec les autres. De-là il doit résulter des irrégularités qui ont été constatées par les dernières opérations: car on s'est aperçu que les divers degrés ne suivaient pas une marche uniforme. Mais on sent que la vraie ligne génératrice s'approche infiniment de AB'DE' et que dans l'objet que nous traitons l'on peut sans craindre d'erreur sensible les prendre l'une pour l'autre indistinctement.

Quelle est l'altération produite par les montagnes.

8. Si toute la terre était couverte d'eau, on sent que sa figure serait plus régulière et se rapprocherait davantage de la forme ellipsoïdale. L'ancien et le nouveau continent qui, ainsi que les diverses îles, s'élèvent au-dessus des

mers, doivent nécessairement altérer cette régularité. Cependant si l'on fait attention que la hauteur des montagnes les plus élevées prise depuis la superficie des mers n'est guères que la 1000^e partie du rayon de l'équateur, on verra que toutes ces masses énormes disséminées sur la surface du globe terrestre n'y sont pas plus sensibles que le seraient divers grains de sable dispersés sur celle d'une sphère de demi mètre de rayon.

9. D'après tout ce que nous venons de dire, on voit que la figure de la terre est celle d'un ellipsoïde ABDE (*fig. 2*) aplati vers les pôles A et D, renflé vers l'équateur B et E, et engendré par la révolution de la demi-ellipse ABD autour du petit axe AD. Cette forme peut être, à peu de chose près, comparée à celle d'une orange dont la fleur et la queue représentent les pôles.

Quelle est la vraie forme du globe.

Fig. 2.

10. Il suit de là que si l'on coupe le globe par diverses sections, il en résultera différentes courbes, les unes ovales et les autres circulaires; mais dont les premières différeront entr'elles par le rapport des axes, et les secondes par la grandeur des rayons. En effet:

Figures résultantes des diverses sections du globe.

1.^o Si la section se fait suivant l'axe, elle produira un méridien ayant la forme de l'ellipse génératrice.

2.^o Si la section se fait sur l'équateur, c'est-à-dire à distances égales des deux pôles, elle produira un cercle dont le diamètre sera le même que le grand axe de l'ellipse du méridien.

3.^o Si la section passant par le centre de la terre se fait obliquement par rapport à l'équateur, elle produira une ovale dont le grand axe sera le même que celui du méridien ou le diamètre de l'équateur, et dont le petit axe augmentera ou diminuera d'autant plus que la section s'approchera davantage de l'équateur ou de l'axe

du globe. Dans le premier cas le petit axe peut augmenter jusqu'à l'égalité avec le grand, et c'est ce qui aura lieu lorsque la section se confondra avec l'équateur. Dans le second cas, le petit axe peut diminuer jusqu'à l'égalité avec l'axe de la terre, et c'est ce qui arrivera lorsque la section coïncidera avec l'axe.

4.° Si la section est parallèle à l'équateur, elle produira un cercle dont le diamètre sera la double ordonnée correspondante du méridien; d'où il suit que ce cercle sera d'autant plus grand ou plus petit, que la section se rapprochera davantage de l'équateur ou du pôle.

5.° Si la section est parallèle à l'axe, sans passer par le centre de la terre, elle produira une ovale dont le grand axe sera la double ordonnée correspondante du diamètre de l'équateur et dont le petit axe sera la double ordonnée correspondante du méridien rapportée au diamètre de l'équateur considéré comme axe des abscisses.

6.° Enfin toutes les autres sections qui ne passeront pas par le centre de la terre, donneront des courbes plus ou moins allongées et plus ou moins renflées suivant leur position.

SECTION II.

Des lignes et des surfaces de niveau.

Définition de la ligne de niveau en général.

11. On nomme *ligne de niveau* toute ligne tracée sur la surface de la terre supposée unie telle que la surface des eaux tranquilles d'un réservoir, d'un lac, etc. Cette ligne est par conséquent toujours une partie de quelque une des courbes dont nous venons de parler. (10.)

Lorsque la ligne de niveau est considérée comme ligne droite, elle n'est que l'élément d'une de ces courbes; et

si elle est prolongée, elle en devient la tangente. C'est ce niveau qu'on appelle *niveau apparent*.

Ainsi si l'on suppose une lunette placée à la surface de la terre et dont l'axe soit tangent à la courbe dans le plan de laquelle il se trouve, le rayon visuel dirigé sur cet axe sera le niveau apparent du point où elle aura été placée; mais elle ne formera le niveau vrai que sur la portion de cette courbe dont elle sera l'élément. Au de-là elle abandonnera la convexité tant de la courbe que du globe, pour s'élever au-dessus.

12. Il suit de-là que le *niveau vrai* ne peut pas être le même sur deux points différens de la surface de la terre, lors même que ces deux points sont contigus. Le *niveau vrai* suit constamment la surface de la terre dans sa courbure supposée sans inégalité. Il est composé des divers élémens de la courbe correspondante. Par conséquent il forme lui-même une des lignes courbes dont nous avons parlé au N.º 10, suivant la direction sur laquelle il est pris.

13. Pour rendre la chose plus sensible, prenons pour exemple le méridien ABDE, (*fig. 3*) dont *ab* est un élément. Prolongeons *ab* indéfiniment vers F, *aF* sera tangente de la courbe au droit de l'élément *ab* et elle sera la ligne du *niveau apparent* en cet endroit, tandis que ce même élément *ab* sera le *niveau vrai*. L'élément *bc* est le *niveau vrai* en *bc* et le *niveau apparent* est le prolongement de ce même élément. Et parce que *bc* n'est pas sur la même direction que *ab*, la tangente en *bc* tombera au-dessous de celle en *ab*. Le même raisonnement a lieu sur l'élément *cd*, et sur les élémens suivans.

14. En supposant donc la surface de la terre totale-

La direction de la gravité est la même que celle d'un pendule.

Le niveau vrai est une ligne courbe.

Exemple explicatif du niveau vrai et du niveau apparent.

Fig. 3.

Conséquence qui en résulte.

ment couverte par les eaux, tous les points de cette surface seront sur le même niveau. Par conséquent si l'on suit le méridien ou quelque'une des courbes produites par les sections mentionnées au N.º 10, la ligne de *niveau vrai* sera la même que cette ligne courbe, au lieu que le *niveau apparent* variera à chaque pas et sera toujours la tangente tirée à chaque point de la courbe.

Le niveau vrai est désigné par la superficie des fluides stagnans.

15. Nous venons de supposer (14) que la surface de la terre était entièrement sous les eaux. On sent que les parties matérielles qui ne sont pas dans un état de fluidité ont entr'elles un certain degré de liaison qui les empêche d'obéir librement et isolément aux lois de la gravité. Les élémens des fluides au contraire n'ayant que très-peu d'adhésion entr'eux, subissent sans peine les lois de la pesanteur, descendent autant qu'il leur est possible, et après s'être mis d'eux-mêmes en équilibre ils forment une surface telle qu'elle est requise par cet équilibre et par la gravitation générale de tous les corps. Ainsi *sur la surface de la terre le niveau vrai est désigné par la superficie de l'eau et des autres fluides dans un état d'inertie et de stagnation.*

La gravité agit perpendiculairement à la surface des fluides stagnans.

Fig. 4

16. De-là on doit conclure que la gravité agit dans une direction perpendiculaire à la superficie des fluides stagnans et sans mouvement. Supposons que AB (fig. 4) exprime cette superficie. Si la gravité agissait suivant l'oblique ED , elle se décomposerait en deux forces, l'une EF perpendiculaire et l'autre FD parallèle. La première serait évidemment détruite par la résistance du fond sur lequel le fluide porte. Mais la seconde n'en éprouvant aucune agirait nécessairement et mettrait le fluide en mouvement. Donc puisqu'on suppose que le fluide est dans un état de stagnation et d'équilibre, il

s'ensuit que DF est nulle et que ED coïncide avec la perpendiculaire CD.

17. Si l'on attache un corps pesant à l'extrémité d'un fil fixé par l'autre bout à un point supérieur, le fil se tendra et le corps descendra au point le plus bas où il se fixera après quelques oscillations. Or il est évident que le fil ne sera tendu que par l'action de la gravité du corps. Par conséquent puisqu'une corde tirée par une puissance est toujours tendue dans le sens de l'action de la puissance, il suit de-là que la direction du fil dont nous parlons est celle de la gravité ou pesanteur des corps.

La direction de la gravité est la même que celle d'un pendule.

18. Un corps pesant suspendu à l'extrémité d'un cordon est ce qu'on appelle l'*aplomb* ou *verticale* en usage dans une infinité de cas, surtout dans la partie de l'architecture. Ainsi la ligne d'*aplomb* et la *ligne de niveau* qu'on appelle aussi *ligne horizontale*, se coupent toujours à angles droits. Par conséquent si de deux lignes qui se coupent à angles droits l'une est de niveau ou verticale, l'autre sera d'*aplomb* ou de niveau respectivement.

L'*aplomb* et le niveau se coupent toujours à angles droits.

19. Sur les élémens *ab*, *bc*, *cd*, etc. de la courbe terrestre ABDE (fig. 3) élevons des perpendiculaires extérieures. Elles seront les *aplombs* respectifs de ces élémens. Supposons que l'intérieur du globe devienne tout-à-coup un milieu parfaitement libre et non résistant, sans perdre néanmoins la vertu attractive (1). Les corps pesants qui par l'effet de la gravité, descendent par les *aplombs*, étant arrivés à la superficie du globe terrestre, continueraient leur mouvement dans l'intérieur suivant leur direction primitive. Or cette dernière direction est ce qu'on appelle la *normale*, et (18) elle est perpendiculaire à la tangente menée par l'élément correspondant. Donc dans

Direction de la gravité dans l'intérieur du globe.

Fig. 3.

l'intérieur la direction de la gravité est suivant la perpendiculaire à la tangente menée au point de la surface où aboutit le corps pesant extérieur.

Si la terre était sphérique tous les aplombs prolongés passeraient par le centre.

20. Si la terre était parfaitement sphérique, toutes les sections qui passent par le centre donneraient de grands cercles à la surface. Or dans un cercle les perpendiculaires menées aux tangentes au point de contingence sont des rayons qui passent tous par le centre. Donc si la terre était sphérique, tous les aplombs prolongés aboutiraient à son centre, ou se trouveraient sur le prolongement des rayons.

Dans l'état actuel il n'y a que l'équateur et les pôles où l'aplomb se dirige vers le centre.

21. Dans une ellipse, il n'y a que quatre points, où les normales passent par le centre, et ces quatre points sont les sommets des deux axes: car on sait qu'alors les normales se confondent avec les axes. Donc les méridiens étant des ellipses, chaque méridien ne contiendra que quatre points pareils, savoir; deux aux extrémités du grand axe et deux à celles du petit. Mais 1.^o les deux premiers points de chaque méridien sont tous compris sur le cercle de l'équateur (10. 2.^o); 2.^o les deux seconds se confondent pour chaque méridien avec les deux pôles où tous les méridiens se coupent. Donc il n'y a sur la surface du globe terrestre que la circonférence de l'équateur et les deux pôles où la gravité des corps se dirige exactement vers le centre de la terre.

Rayon de courbure des méridiens.

Fig. 3.

22. Reprenons le demi-méridien générateur ABD (fig. 3), et supposons qu'à la tangente tirée à chaque élément ab , bc , cd etc. on élève une perpendiculaire en prolongement de l'aplomb correspondant. Les intersections consécutives de toutes ces perpendiculaires formeront autour du centre C une courbe à laquelle elles seront tangentes et qu'on nomme *développée*, à cause que si on la suppose enveloppée d'un fil d'une certaine lon-

gueur, en déroulant ce fil et développant la courbe on décrit l'ellipse ABDE.

Notre objet n'est point de traiter ici la théorie de la développée, puisqu'on la trouve dans tous les ouvrages sur le calcul des infinis. Il nous suffira d'observer que le rayon de courbure de la demi ellipse génératrice aux élémens ab , bc , cd , etc., est exprimé par la partie de leur normale ou perpendiculaire comprise entre chacun des élémens respectifs dont nous parlons, et le point de la développée auquel cette normale la touche,

Soient le demi grand axe $BC = a$, le demi petit axe $AC = b$, l'abscisse CF rapportée au centre $= x$, et les rayons du cercle dont la courbure est la même que celle d'un élément quelconque de l'ellipse génératrice $= R$. Par

la théorie de la développée on aura $R = \frac{(a^2x^2 + b^2x^2)^{\frac{1}{2}}}{ab}$

23. La formule que nous venons de donner pour la valeur du rayon de courbure des divers élémens de l'ellipse génératrice, nous fournit les observations suivantes :

1.° A cause de la variable x qui entre dans cette expression, on voit que sur le quart AB de l'ellipse ou du méridien il n'y a pas deux points qui aient le même degré de courbure.

2.° Quelle que soit la valeur de x , la quantité $\frac{a^2x^2}{b^2} - x^2$ sera toujours positive. Par conséquent le rayon de courbure augmentera ou diminuera avec l'abscisse. Il parviendra au *maximum* lorsqu'on aura $x = b$ et alors la formule deviendra $R = \frac{a^2}{b}$, ce qui aura lieu aux deux pôles. Il se réduira au contraire au *minimum* lorsqu'on aura $x = 0$,

Observation parti-
culière sur le méridien.
rayon.

Considérations sur
les variations du ra-
yon de courbure du
méridien.

Bibl.
Pol. Wreck.

auquel cas R sera $= \frac{b^2}{a}$; ce qui arrivera sur la ligne de l'équateur.

3.° Dans tous les points intermédiaires entre les pôles et l'équateur le rayon de courbure sera constamment moindre que $\frac{a^2}{b}$, et plus grand que $\frac{b^2}{a}$.

Observation particulière sur le même rayon.

24. Au reste il est assez indifférent pour le nivellement que l'aplomb se dirige vers le centre de la terre ou vers d'autres points. Ce qui nous intéresse le plus est que sa direction par rapport à la ligne de *niveau vrai* soit connue et constante. Or nous avons dit (18) que ces deux lignes formaient constamment entr'elles des angles droits. Quant au rayon de courbure, il ne peut servir qu'à déterminer la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent, et la loi qu'elle suit sur la surface du globe. C'est de quoi nous allons nous occuper.

Si la terre était sphérique, à égales distances, les différences entre les niveaux vrais et apparens seroient égales.

25. Supposons d'abord que la terre soit parfaitement sphérique, et examinons la loi du nivellement dans cette hypothèse. Il nous sera facile ensuite de la modifier d'après la véritable forme du globe. On sait que toute section d'une sphère donne un cercle. Soit donc ABDE (*fig. 5*), le cercle résultant de la section par le centre C de la terre supposée sphérique. Dans la formule (22)

Fig. 5.

du rayon de courbure $R = \frac{(\frac{a^2 x^2}{b^2} + b^2 - x^2)^{\frac{3}{2}}}{ab}$, supposons

$a = b$ et nous aurons $R = b$ ou $R = a$ selon que l'on supposera le diamètre du globe égal à l'axe terrestre ou au diamètre de l'équateur. Dans l'un et dans l'autre cas le rayon de courbure étant constant, la courbure sera uniforme. Prolongeons en tout sens vers F et G

la tangente qui forme l'élément du cercle au point A, et prenons sur la circonférence à égales distances de ce point, les points h et k , l et m . Le nombre d'éléments de A en h et de A en k étant le même, ainsi que la déviation de chaque élément, il est visible que ces deux points seront également éloignés de la tangente FG, et que la même chose aura lieu tant pour les points l et m , que pour tous ceux qu'on pourra prendre à égale distance et de chaque côté du point A.

Si l'on veut s'en convaincre d'une autre manière, qu'on tire les rayons Cl , Ch , CA , Ck et Cm , et qu'on prolonge les deux premiers et les deux derniers jusqu'à la tangente FG. Les triangles CAH, et CAK, sont égaux à cause qu'ils ont un côté commun CA adjacent à deux angles égaux chacun à chacun. Il en est de même des triangles CAL et CAM. Donc $CH = CK$ et $CL = CM$. Donc en retranchant le rayon de chacune de ces quatre lignes, nous aurons $Hh = Kk$ et $Ll = Mm$.

Mais d'après ce que nous avons dit (11 et 12) FG est le niveau apparent du point A, tandis que le niveau vrai suit la courbure hAk du cercle ABDE ; et (16) les lignes CL, CH, CK et CM exprimant la direction de la gravité aux points correspondants du cercle, leurs parties extérieures Ll, Hh, Kk et Mm, sont la différence respective entre le niveau vrai et le niveau apparent.

Donc si la terre était parfaitement sphérique, à égales distances en arrière et en avant, les différences entre le niveau vrai et le niveau apparent seraient les mêmes.

26. Tirons du point A au-dessus de FG les deux lignes AN et AP, telles que les angles NAF, PAG soient égaux. Les triangles AHQ, AKR étant égaux, on aura

Des lignes qui s'élèvent ou s'abaissent également par rapport à celle du niveau vrai.

$HQ = KR$; et par conséquent $hH + HQ = kK + KR$, ou $hQ = kR$.

Si au contraire le point A étant supposé supérieur à la circonférence, les lignes AN et AP avaient été tirées au-dessous de FG, on aurait eu aussi $hH - HQ = kK - KR$.

Donc si deux lignes partant d'un même point s'élèvent ou s'abaissent sous des angles égaux par rapport à la ligne du niveau apparent partant de ce point, à égales distances ces deux lignes seront également élevées au-dessus ou abaissées au-dessous du niveau vrai.

Nous verrons plus bas que cette proposition sert de base à la vérification mécanique des niveaux à bulle d'air et aux moyens de niveller exactement avec des niveaux défectueux.

Cette différence sur la terre supposée sphérique est comme le carré des distances.

27. Prolongeons HC et LC jusqu'en H' et L' respectivement; nous aurons $Hh = \frac{AH}{HH'}$ et $Ll = \frac{AL}{LL'}$. Mais à

cause de l'extrême petitesse des angles ACH et ACL, on peut sans erreur sensible supposer $AH = Ah$, $AL = Al$

$HH' = hH'$ et $LL' = Ll'$; ce qui donnera $Hh = \frac{Ah^2}{2AC}$ et $Ll = \frac{Al^2}{2AC}$ d'où l'on tire la proportion, $Hh : Ll :: Ah^2 : Al^2$; ce

qui fait voir que sur une section circulaire les différences entre le niveau vrai et le niveau apparent sont comme les carrés des distances.

Nous devons observer que cette proposition n'est pas rigoureusement géométrique, à cause des suppositions sur lesquelles elle est fondée. Mais dans les stations les plus

plus étendues de nivellement, les angles ACH et ACL sont si petits, que ces suppositions ne peuvent point dans la pratique altérer sensiblement l'exactitude du rapport que nous venons de donner.

28. Puisque l'on a $Hh = \frac{Ah^2}{2AC}$ on doit conclure que la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent sur une section circulaire est égale au quarré de la distance divisé par le double du rayon.

Valeur de la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent.

29. C'est d'après ces deux dernières propositions que Picard a trouvé que le diamètre de la terre étant supposé de 6,538,594 toises, sur la distance de 50 toises la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent était égale à $\frac{1}{2}$ de ligne; et d'après la proposition du N.º 27 il a dressé la table qu'on trouve au N.º 3 de son traité du nivellement. Cette table s'appliquerait à tous les cas, si la terre était parfaitement sphérique. En effet:

Observations sur la table de Picard.

1.º En supposant avec lui la terre sphérique et son diamètre tel qu'il le donne, la table s'applique naturellement aux nivellemens sur un grand cercle, c'est-à-dire, sur la circonférence d'une section qui passe par le centre du globe.

2.º Si le nivellement a lieu sur un parallèle à l'équateur, puisque tous les corps tendent vers le centre de la terre, on doit regarder les élémens de ce parallèle comme étant aussi les élémens de divers grands cercles engendrés par des sections qui passent par le centre, et dans ce cas la table dont nous parlons doit s'y appliquer.

3.º La même chose aura lieu lorsque le nivellement se fera sur la circonférence d'une section qui sans être parallèle à l'équateur ne passerait pas par le centre de la terre.

Variation de la différence entre les niveaux vrai et apparent dans l'état actuel.

30. Dans l'état actuel la forme du globe n'est point sphérique, mais elliptique aplatie vers les pôles et renflée vers l'équateur (9); et à l'exception de la section par l'équateur, toutes celles qui passent par le centre donnent des ellipses (10. 1.° et 3.°). Or (23. 1.°) le rayon de courbure de l'ellipse varie continuellement à mesure qu'on avance vers les pôles ou vers l'équateur. D'autre part il est aisé d'inférer de ce que nous avons dit au N.° 28, que la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent est plus ou moins grande, selon que le rayon du cercle diminue ou augmente. Donc la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent variera aussi, et elle augmentera ou diminuera à l'inverse du rayon de courbure. Et puisque (23. 2.°) ce rayon augmente en avançant vers les pôles et diminue en s'approchant de l'équateur, il s'en suit que cette différence sera plus grande sous l'équateur et diminuera en s'en éloignant.

Si le nivellement a lieu sur la circonférence de l'équateur; cette circonférence donnant un cercle (10. 2.°), la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent sera uniforme et devra être déterminée d'après la formule du N.° 28 en substituant à AC la valeur du rayon de l'équateur.

Si le nivellement se fait sur un parallèle à l'équateur, les élémens de ce parallèle seront aussi (29. 2.°) ceux des circonférences des sections dont nous avons parlé N.° 10. 3.°; et comme toutes les sections seront elliptiques et égales, et que les divers élémens du parallèle répondront au sommet du petit axe de chacune, le rayon de courbure y sera partout le même, et par conséquent (28) la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent y sera constante. Elle ne variera que d'un parallèle à l'autre.

Si enfin le nivellement se fait sur la circonférence d'une des sections mentionnées au N.º 10. 5.º, et 6.º; ses élémens seront aussi une des courbes ovals produites par les diverses sections, qui partant de ces élémens, passeront par le centre. Et parce que ces ovals différeront entr'elles, les rayons de courbure varieront aussi, et par conséquent les différences entre le niveau vrai et le niveau apparent ne seront point uniformes.

31. On voit par ce que nous venons de dire au N.º précédent qu'il y a dans l'état actuel beaucoup de variations dans la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent sur la surface du globe.

Une table de haussemens du niveau apparent ne peut pas être généralisée.

1.º Dans les nivellemens de l'est à l'ouest ou de l'ouest à l'est elle est uniforme sur le même cercle, mais elle change en passant d'un cercle à l'autre, et elle augmente ou diminue selon qu'on avance vers l'équateur ou vers les pôles.

2.º Lorsque le nivellement est dirigé sur un méridien cette différence varie continuellement, et elle augmente ou diminue en avançant vers l'équateur ou vers le pôle. La même chose a lieu si le nivellement se fait sur la circonférence de la section oblique au méridien et à l'équateur en passant par le centre.

3.º Enfin cette même différence varie aussi continuellement lorsque le nivellement a lieu sur la circonférence de la base d'un segment dont la section est parallèle ou oblique au méridien, et elle augmente ou diminue selon qu'on marche vers l'équateur ou vers le pôle.

Par conséquent il est impossible de dresser une table générale des haussemens du niveau apparent au-dessus

du niveau vrai, à moins qu'on ne se borne à de très-petites distances.

Erreur de Picard
sur le haussement
du niveau apparent.

32. Au N.° 138 du Traité du Nivellement de Picard, il est dit que si l'on suppose un lac de 4000 ou de 5000 toises d'étendue en tout sens, dont les eaux soient parfaitement tranquilles, avec une station solide et saillante au milieu, et qu'on établisse un niveau à cette station, on trouvera le même haussement de niveau à 2000 toises de distance arrière et avant, soit qu'on vise sur la ligne *est et ouest*, ou sur la ligne *nord et sud*. Mais il est impossible que cela soit ainsi sur la ligne *nord et sud*, à cause que (10. 1.°) le méridien étant elliptique, son rayon de courbure varie à chaque pas, et que s'éloignant inégalement de la tangente de chaque côté du point de contact, la distance de 2000 toises est assez considérable pour rendre sensible la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent.

Comment on dresse
la table de haussement
du niveau
apparent pour un
parallèle à l'équa-
teur.

33. Puisque (31, 1.°) il n'y a sur la surface du globe que l'équateur et ses parallèles où la différence entre les niveaux vrai et apparent soit assujétie à la loi portée par le n.° 27; ce n'est à la rigueur que pour ces cercles qu'on peut dresser des tables de haussement de niveau, observant que chaque cercle doit en avoir une particulière. Nous allons voir de quelle manière on procède à la dresse de cette table.

Fig. 1.

Reprenons la fig. 1, et supposons qu'il s'agisse de dresser la table relative au parallèle passant par le point h' et ayant pour rayon l'ordonnée Hh' de l'ellipse génératrice ou du méridien $AB'DE'$. Tirons du centre C de la terre au point h' la ligne Ch' : elle sera le demi petit axe de l'ellipse produite par la section passant par Ch' et faite perpendiculairement au plan du méridien,

et l'élément en h' du parallèle dont Hh' est le rayon sera commun à cette ellipse et à ce parallèle. L'angle $B'Ch'$ formé par la ligne Ch' et par le rayon CB' de l'équateur, c'est-à-dire, la latitude du point h' , est censé connu : par conséquent on est aussi censé connaître l'angle ACh' son complément formé par la même ligne Ch' et par le demi axe CA du globe. Il s'agit avant tout de déterminer le rayon de la développée de l'élément en h' considéré comme appartenant à l'ellipse passant par Ch' .

Puisqu'il est question du rayon de courbure de l'élément au sommet du petit axe, la valeur R de ce rayon sera (23. 2.°) égale au carré du demi grand axe divisé par le demi petit axe. Le demi grand axe est connu ; car (10. 3.°) il est égal au rayon de l'équateur. Il ne nous reste qu'à déterminer le demi petit axe Ch' .

Dans la demi-ellipse génératrice soient $CB' = a$; $CA = b$; $CH = x$, et $Hh' = y$. Nommons aussi r le rayon des tables et t la tangente de l'angle ACh' , complément de la latitude.

Dans l'ellipse nous avons l'équation $y^2 = \frac{a^2}{b^2} (b^2 - x^2)$; et dans le triangle CHh' rectangle en H nous trouvons la proportion suivante : $r : t :: x : y$; d'où nous tirons l'équation $y = \frac{tx}{r}$, ou $y^2 = \frac{t^2 x^2}{r^2}$.

Par le moyen de ces deux équations, nous trouverons les valeurs de x^2 et de y^2 exprimées en constantes. Mais $Ch' = \sqrt{x^2 + y^2}$. Donc en substituant on aura le demi-

petit axe Ch' qui sera = $a \sqrt{\frac{\frac{t^2}{r^2} + 1}{\frac{t^2}{r^2} + \frac{a^2}{b^2}}}$

Qu'on divise le carré du demi-grand axe par cette dernière quantité, et l'on aura la valeur du rayon de

courbure de l'élément en h' qui sera =
$$\frac{a}{\sqrt{\frac{t^2}{r^2} + 1} \cdot \frac{t^2}{\frac{a^2}{r^2} + \frac{b^2}{b^2}}}$$

Cette formule nous fait voir que pour trouver le rayon d'après lequel on pourra dresser une table de différence entre le niveau vrai et le niveau apparent pour un parallèle dont la latitude est connue, il faut se conformer au procédé suivant, savoir :

1.° Prenez le rapport de la tangente du complément de la latitude au rayon des tables; élevez-le au carré et ajoutez-y l'unité. Vous aurez une première quantité.

2.° Au carré de ce même rapport ajoutez celui du rapport du rayon de l'équateur à la moitié de l'axe du globe; et vous aurez une 2.^{me} quantité.

3.° Divisez la 1.^{re} par la seconde et extrayez la racine carrée du quotient; vous en aurez une 3.^{me}

4.° Divisez le rayon de l'équateur par la 3.^{me} quantité. Le quotient sera le rayon cherché.

Fig. 5.

Pour dresser la table relative à ce parallèle, reprenons la figure 5, et considérons le rayon $CA = Ch$ comme égal au rayon déterminé par la méthode que nous venons de prescrire. Reprenons pareillement (28) la for-

mule $Hh = \frac{Ah^2}{2AC}$. A l'imitation de Picard prenons pour termé de comparaison une distance Ah de 100 mètres équivalente, à peu de chose près, à 50 toises. La formule

se changera donc en celle-ci: $Hh = \frac{100^2}{2AC}$

Par où l'on voit que pour avoir le haussement du niveau apparent au-dessus du niveau vrai, après avoir pris le carré de 100, il faut le diviser par le double du rayon de courbure. Le quotient sera le haussement cherché.

Ce terme de comparaison fixé, on trouvera les différences entre le niveau vrai et le niveau apparent pour toutes sortes de distances sur ce parallèle, d'après la proportion du N.° 27.

34. Quoiqu'on ne puisse pas dresser de pareilles tables pour les sections elliptiques passant par le centre du globe, il est néanmoins à propos de pouvoir déterminer sur une petite portion donnée de ces sections la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent. Nous allons voir de quelle manière on déterminera cette différence, en commençant par le méridien.

Méthode pour calculer les haussemens de niveau apparent sur une petite portion du méridien.

Soient CB' (*fig. 1.*) = a , $CA = b$, $CH = x$, et $Hh' = y$. On aura l'équation $y^2 = \frac{a^2}{b^2}(b^2 - x^2)$, de laquelle on déduira la valeur du rayon de courbure que nous avons

Fig. 1.

trouvée au N.° 22, c'est-à-dire, $R = \frac{\left(\frac{a^2 x^2}{b^2} + b^2 - x^2\right)^{\frac{3}{2}}}{ab}$

Il ne reste qu'à substituer dans cette formule la valeur qui convient à x .

Puisque la latitude du point h' est connue, on connaît aussi l'angle ACH' . Nommons sa tangente t et le rayon des tables r . Dans le triangle rectangle CHh' nous aurons : $r : t :: x : y$ d'où nous tirons $y^2 = \frac{t^2 x^2}{r^2}$. A l'aide de cette équation et de celle de l'ellipse, nous aurons la valeur de x^2 qui substituée dans la formule pour le rayon de

courbure en h' la changera en celle-ci :

$$R = \frac{\left\{ \left(\frac{a^2}{r'^2 + b^2} \right) \left(\frac{a^2}{b^2} - 1 \right) + b^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{ab}$$

Cette formule nous fait voir que pour trouver le rayon de courbure d'un méridien à un point déterminé et dont on connaît la latitude, il faut faire les opérations suivantes.

1.° Prenez le rapport de la tangente du complément de la latitude au rayon des tables; élevez-le au quarré et ajoutez-y celui du rapport du rayon de l'équateur au demi axe de la terre, vous aurez une 1.^{ere} quantité.

2.° Diminuez d'une unité le quarré du rapport du rayon de l'équateur au demi axe du globe, et multipliez le reste par le quarré du rayon de l'équateur; vous aurez une 2.^{eme} quantité.

3.° Divisez la 2.^{me} quantité par la 1.^{ere} et ajoutez au quotient le quarré du demi axe de la terre: vous aurez une 3.^{me} quantité.

4.° Élevez cette 3.^{me} quantité au cube dont vous extrairez la racine quarrée; et vous aurez une 4.^{me} quantité.

5.° Enfin divisez cette 4.^{me} quantité par le produit du rayon de l'équateur et du demi axe de la terre, le quotient sera le rayon de courbure cherché.

Connaissant le rayon de courbure, on aura le haussement du niveau sur une longueur de 100 mètres par la méthode prescrite à la fin du N.° précédent. On pourra même en partant de ce terme de comparaison et d'après le N.° 27 le trouver pour autant de points qu'on voudra sur la distance de 600 mètres arrière et de 600 mètres avant :

avant : car il est aisé de voir qu'en regard à la grandeur et à la forme du globe, il ne peut y avoir aucune différence sensible entre la courbure d'un arc de 1200 mètres pris sur le méridien et de l'arc correspondant du cercle qui le touche au même endroit et qui a pour rayon le rayon de courbure déterminé.

35. Venons à présent à la détermination de la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent sur l'élément d'une ellipse dont la section oblique à l'équateur (10.3°) passe néanmoins par le centre ; le calcul en sera long, et d'ailleurs il n'aura guère d'autre utilité que de pouvoir servir à la vérification du niveau à bulle d'air : et comme cette vérification peut se faire sur le parallèle et que le n.° 33 nous en fournit déjà tous les moyens, nous nous bornerons à indiquer le procédé à suivre pour trouver tous les élémens qui doivent entrer dans la détermination du haussement du niveau apparent sur les parties élémentaires de la circonférence de la section dont il s'agit ici.

Soit $AB'DE'$ (*fig 1*) la section du globe par un méridien. Supposons deux nouvelles sections perpendiculaires à la première et passant par $h'h''$ et AD respectivement. Celle passant par AD sera un méridien égal en tout à $AB'DE'$; et celle passant par $h'h''$ donnera l'ellipse sur laquelle nous avons à opérer. Son grand axe sera le même que le diamètre de l'équateur, et son petit axe sera $h'h''$ qu'il faut déterminer.

L'angle ACH' exprime la déviation de la section par rapport au plan du méridien dont la projection de l'intersection est représentée par le point C . Il sera donc connu, ainsi que sa tangente. Donc on aura une expression de \overline{CH} en disant : la tangente de ACH' est

Même méthode pour les sections obliques à l'équateur et passant par le centre.

Fig. 1.

au rayon des tables :: Hh' : CH . D'ailleurs l'équation à l'ellipse du méridien donne celle de Hh' . Par conséquent par le triangle rectangle CHh' on connaîtra Ch' et $2Ch' = h'h''$.

Supposons qu'on veuille avoir le rayon de courbure de cette section à la latitude Bf' . Imaginons un parallèle par ff'' . Il coupera la section par $h'h''$ au point n qui sera à la latitude donnée. C'est donc à ce point qu'il faut trouver le rayon de courbure.

La latitude étant connue, on déterminera facilement la portion CF de l'axe comprise entre le centre du globe et le parallèle correspondant à cette latitude. Ainsi CF doit être regardée comme connue.

Dans le triangle CFn rectangle en F , on connaît alors le côté CF et l'angle en C . On déterminera donc l'abscisse Cn .

Connaissant l'abscisse Cn , le grand axe $= B'E'$ et le petit axe $h'h''$; on aura l'expression du rayon de courbure (22) au droit du point n .

Par le moyen du rayon de courbure, on trouve (28) la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent au droit du même point n .

Observations à ce
sujet.

36. Ce que nous venons de dire nous fournit les observations suivantes.

1.° Dans les parallèles le rayon de courbure au pôle est $= \frac{a^2}{b}$ et à l'équateur il devient $= a$ ainsi qu'on le conclut de la formule du n.° 33, en supposant successivement $t = 0$ et $t = \infty$. Ce rayon décroît donc continuellement du pôle à l'équateur. Cependant cette variation est telle qu'en divisant (28) le carré de 100 mètres par le double de l'un ou de l'autre de ces deux

rayons extrêmes, on a constamment $0,00078$ pour le haussement du niveau apparent au-dessus du niveau vrai sur cette distance.

2.° En continuant de supposer successivement $t = 0$ et $t = \infty$, la formule du n.° 34 donnera pour rayon de courbure, au pôle $R = \frac{a^2}{b}$ et à l'équateur $R = \frac{b^2}{a}$. Ce rayon décroît donc, ainsi que le précédent, du pôle à l'équateur. Cependant par l'opération du n.° 28, l'un et l'autre donnent encore $0,00078$ pour le haussement du niveau apparent sur la longueur de 100 mètres.

3.° Toutes les autres sections par le centre donnant des ellipses moins excentriques que les méridiens, leurs rayons extrêmes de courbure donnent à plus forte raison les mêmes résultats que les précédents pour le haussement du niveau apparent sur la longueur de 100 mètres, quelle que soit d'ailleurs la latitude.

37. On doit conclure de là qu'en se bornant, ainsi qu'il a été dit plus haut (31) à de petites distances et qui n'excèdent pas 600 mètres, on peut d'après les propositions des n.°s 27 et 28 dresser la table suivante des haussemens du niveau apparent.

Dresse d'une table de haussement du niveau apparent.

<i>Distances.</i>	<i>Haussemens.</i>
100 mètres.	$0,00078$.
200.	$0,00312$.
300.	$0,00702$.
400.	$0,01248$.
500.	$0,01950$.
600.	$0,02808$.

Nous ne croyons pas devoir pousser au-delà de 600 mètres, à cause que sur une plus grande distance prise sur les ellipses, la courbure s'éloignerait sensiblement de celle du cercle osculateur.

38. Du reste nous devons observer qu'à l'exception de la vérification du niveau à bulle d'air, cette table est assez ordinairement inutile aux opérations des ingénieurs.

1.° Les nivellemens se font par stations, et chaque station suppose deux coups de niveau, l'un arrière et l'autre avant. Or à chaque station le niveau doit être placé à peu près à distances égales de la mire arrière et de la mire avant. Par conséquent le haussement sera très-sensiblement le même arrière et avant. Ainsi il n'en pourra résulter aucune erreur pour le nivellement.

2.° Dans le cas où le niveau ne serait pas exactement au milieu de la station, les plus grands coups de niveau ne devant pas excéder 200 mètres, et sur cette distance le haussement étant extrêmement petit, et se repétant presque également à l'arrière et à l'avant, il ne pourra pas non plus y avoir d'erreur sensible.

Il n'y a que le cas de la vérification en grand et par aperçu de la possibilité d'un projet de canal, où l'on pourrait l'employer et l'étendre davantage. Mais elle ne donnerait alors que des à-peu-près qu'il faudrait vérifier par des opérations plus exactes.

39. Il y a sur la surface du globe des parties où la nature a établi le niveau le plus exact, et d'autres au contraire différemment élevées les unes par rapport aux autres, et où l'on a besoin de l'art pour trouver les points situés sur la même ligne ou sur le même plan de niveau. Dans la première classe se trouvent toutes les eaux stagnantes, et dans la seconde toutes les terres.

Ainsi l'Océan et tous les golfes et baies, de même que toutes les mers Méditerranées et les lacs qui y sont contigus forment une seule surface parfaitement de

Niveau des mers et
des lacs.

niveau dans toute leur étendue. Il en est de même des grands amas d'eau qu'on trouve dans l'intérieur des terres et qui ne communiquent point avec les mers, ou qui ne communiquent que par le moyen des fleuves auxquels ils donnent naissance ou passage; comme par exemple, la mer Caspienne, le lac Aral, le lac Léman, les divers lacs traversés par le fleuve S.^t Laurent etc. Dans tous ces amas d'eau la superficie est parfaitement de niveau. Mais ce niveau est rarement le même que celui des mers. Il est nécessairement plus élevé dans les lacs d'où sortent des fleuves qui ne peuvent porter leurs eaux à la mer que par le moyen d'une pente. Quelquefois, mais rarement, il est plus bas. Tel est le niveau de l'étang de Laval-duc près du port de Bouc dans le département des Bouches-du-Rhône, qui se trouve plus bas d'environ 12 mètres que celui de la mer.

40. En général on peut assurer (15) que tous les amas d'eaux stagnantes quelconques qui sont sur la surface du globe et qui communiquent entr'eux autrement que par des rivières, ont et doivent avoir leur surface de niveau. Ainsi les mers les plus éloignées telles que la mer Baltique et la mer des Indes, sont nécessairement de niveau. Car si cela n'était point, les diverses colonnes d'eau ne pourraient pas être en équilibre, et la gravité les y réduirait.

La surface des mers est de niveau.

41. De ce que nous avons dit (31. 1.^o et 33.) il s'en suit que si l'on suppose un parallèle qui coupe les mers, le niveau de ces mers pris sur ce cercle sera non seulement le même, mais encore partout à égale distance du centre du globe. Si au contraire on suppose un méridien ou une section qui passant par le centre soit oblique au plan de l'équateur, tous les points de la superficie

Observation sur la distance des points de cette surface au centre de la terre.

de la mer qui seront placés sur cette ligne, quoique de niveau entr'eux, seront inégalement distans du centre de la terre, c'est-à-dire qu'ils s'éloigneront ou s'approcheront de ce centre en avançant vers l'équateur ou vers le pôle respectivement (9).

Observations sur le canal projeté de l'isthme de Suez.

42. C'est ici le lieu de dire un mot sur le niveau de la Mer rouge comparé à celui de la mer Méditerranée. On a long-tems agité chez les anciens la question si un canal de jonction entre la Mer rouge et la Méditerranée serait possible et s'il n'en résulterait aucun inconvénient. On a toujours cru que le niveau de la première de ces deux mers, était plus élevé que celui de la seconde, et l'on en a conclu que si l'on coupait l'isthme de Suez, par un canal qui, partant de Qolzoum aboutit à Tineh les eaux de la Mer rouge, se précipiteraient dans la Méditerranée dont elles exhausseraient la surface et sur les bords de laquelle elles produiraient une inondation. Il est vrai, d'après tout ce que nous avons dit jusqu'ici, que Qolzoum étant plus méridionale de près d'un degré que la Méditerranée près de Tineh, le niveau de la Mer rouge doit être plus éloigné du centre de la terre que celui de la Méditerranée, par la même raison que le point *g* (*fig. 1.*), étant plus proche de l'équateur *B'E'*, est plus éloigné du centre *C* que le point *h'*, qui est plus voisin du pôle *A*. Mais l'équilibre entre les colonnes correspondantes n'en existe pas moins; et le niveau n'y est pas moins le même. Par conséquent si l'on exécutait un pareil canal, les eaux y prendraient le niveau désigné par la partie de la courbe elliptique comprise entre ces deux points, et ne s'y élèveraient pas plus que si l'isthme n'avait jamais existé.

Fig. 1.

D'où il suit évidemment qu'il ne pourrait aucunement y avoir d'altération dans le niveau de la Méditerranée par une pareille jonction, ni conséquemment d'inondation sur les côtes.

Bien plus, supposons que par quelque raison inconnue jusqu'à présent, l'Océan indien et la Mer rouge fussent plus élevés que ne le désigne la courbe elliptique de jonction, et que cet excès de hauteur de la mer rouge sur la Méditerranée fût, par exemple, de 50 mètres. Cette circonstance qu'on a regardée comme un obstacle insurmontable, ne servirait qu'à faciliter l'exécution du projet de communication, et n'entraînerait en aucune manière après elle l'inondation redoutée des côtes de la Méditerranée.

En effet, 1.^o il suffirait, d'après cette hypothèse, d'ouvrir un canal d'environ deux mètres de largeur au plat-fond, et de pratiquer à Qolzoum le nombre d'écluses convenable pour n'y introduire que le volume d'eau dont on aurait besoin pour l'alimenter. Lorsqu'il aurait acquis toute la largeur et la profondeur qu'on désirerait pour la navigation, alors les eaux de l'Océan se précipitant dans cette tranchée, où elles trouveraient une pente, en corroderaient les bords et le fond, et l'aggrandiraient proportionnellement à leur volume et aux dimensions qu'on voudrait lui donner; ce qui diminuerait infiniment les frais de construction et le temps qu'il faudrait y employer sans ce moyen.

2.^o Dans ce cas on introduirait, pour ainsi dire, un fleuve d'eau salée dans la Méditerranée. Ce nouveau fleuve n'aurait qu'un volume d'eau déterminé par le nombre et la grandeur des écluses de Qolzoum, et ce volume rentrerait dans l'Océan par le détroit de Gibraltar

sans faire varier en aucune manière le niveau de la Méditerranée. On peut s'en convaincre par un exemple bien sensible. Lorsque après une pluie générale ou une fonte de neiges, le Rhône, le Pô, le Danube, le Don, le Nil, et en général tous les fleuves qui tombent dans la Méditerranée, débordent, on ne voit pas d'exhaussement sensible dans les eaux de cette mer, ni d'altération dans son niveau. Cependant l'augmentation des eaux de tous ces fleuves à cette époque est incomparablement plus grande que le volume qu'en donnerait le fleuve factice de communication.

Revenons à notre sujet.

Observations sur la surface des lacs supérieurs ou inférieurs à la mer.

43. Si l'on suppose que des parallèles, des méridiens ou des sections obliques par le centre du globe, traversent des lacs, des étangs et en général des amas d'eaux stagnantes sans communication avec les mers, les points de la surface de ces amas d'eau situés sur ces sections seront parfaitement de niveau et formeront des portions de circonférence de cercle ou d'ellipse. Mais ces portions appartiendront à des courbes qui, quoique concentriques avec celles produites par les mêmes sections et traversant les mers, seront néanmoins plus grandes ou moindres, selon que la superficie de ces amas d'eau sera plus haute ou plus basse que celle de la mer.

Fig. 6.

Pour rendre la chose plus sensible, supposons que le cercle $ABDE$ (*fig. 6*) représente un parallèle quelconque, et sur lequel la partie $FBDG$ exprime la surface de la mer, tandis que la partie $FAEG$ répond au continent. Si entre les deux montagnes Fca et bda' il se trouve un lac supérieur à la mer; sa superficie ab prendra la même courbure que celle du cercle $abfgh$, dont le centre est en C . Si au contraire il se rencontre
entre

entre les deux montagnes bda' et $b'fG'$ un autre lac dont la surface $a'b'$ soit inférieure à celle de la mer, elle affectera la courbure $a'b'$ faisant partie du cercle $a'b'g'h'$ dont le centre est toujours le même, mais inférieur à celui de la mer.

Le même raisonnement s'applique au cas où au lieu d'être un parallèle, la courbe produite par la section donnerait une ellipse.

44. De tout ce que nous venons de dire, on doit conclure que si la suite d'un nivellement conduit jusqu'au bord d'un lac ou d'un étang à traverser, on doit rapporter le nivellement à la surface des eaux, et le reprendre à l'autre bord en partant de cette même surface. Cependant comme il arrive assez souvent des variations dans la hauteur des eaux des lacs et des étangs, soit par les pluyes, soit par d'autres circonstances, il est à propos d'établir sur chaque bord un repère immuable et d'y rapporter la superficie des eaux au même moment. La même observation s'applique exactement aux mers qui n'ont pas de marée sensible. Quant à celles où la marée existe, on ne peut pas se rapporter à leur superficie; et il faut nécessairement employer des repères fixes.

45. Si l'on a un canal de navigation, et où les eaux soient parfaitement stagnantes et sans mouvement, on peut encore être persuadé que leur superficie sera parfaitement de niveau. Mais s'il y existe des écluses, cette surface ne sera sur le même niveau qu'entre les écluses, car le niveau haussera ou baissera en passant d'une écluse à l'autre, et la différence de niveau se mesurera par la chute de l'écluse.

46. Il suit de là que si l'on a un nivellement à faire

Ce qu'il faut faire lorsqu'un nivellement conduit au bord d'un lac ou d'une mer à traverser.

Observations sur la surface des eaux d'un canal de navigation.

Observation sur la surface des eaux d'un canal de navigation.

Ce qu'il faut faire pour niveller un canal de navigation.

le long d'un canal exclusivement affecté à la navigation, on pourra se dispenser de l'effectuer en prenant la position respective de la surface des eaux au droit des deux termes du nivellement, c'est-à-dire, vis-à-vis le point de départ, et vis-à-vis le point d'arrivée. Nous verrons plus bas que cette position se détermine facilement par le moyen des chûtes des écluses.

Cas où l'on a une rivière à traverser par le nivellement.

47. Nous avons dit dans notre *Essai sur la Théorie des torrens et des rivières* N.º 441, qu'une rivière était navigable à la voile en remontant, lorsque sa pente n'excédait pas 0.^m 0947. sur 195 mètres de longueur (3 pouces 6 lignes sur 100 toises.) Dans ces sortes de rivières le niveau de la surface des eaux est le même d'un bord à l'autre. Par conséquent si la série des opérations d'un nivellement conduisait à traverser une pareille rivière qui eût une grande largeur, on pourrait suivre la méthode prescrite (44) pour les lacs et les étangs.

Mais si la pente de la rivière était plus forte, il y aurait alors un bombement sur la surface des eaux et l'on ne serait pas assuré que les deux bords fussent de niveau, à cause des variations du courant qui se porte souvent plus d'un côté que de l'autre. Dans ce dernier cas, on déterminera la largeur de la rivière par la trigonométrie, et l'on calculera d'après la table du N.º 37, la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent. Ensuite on reprendra les opérations de l'autre côté de la rivière.

Observation sur la surface des eaux des marais.

48. Il y a des cas où les eaux, quoique dormantes en apparence, n'ont pourtant pas le même niveau. Telles sont les eaux de plusieurs marais. On sait que la différence qui existe entre l'étang et le marais est que dans

un étang il y a profondeur d'eau, et que les plantes aquatiques ne peuvent pas aboutir du fond à la superficie; au lieu que dans le marais, les eaux y étant peu profondes permettent à ces mêmes plantes de s'élever au-dessus de leur surface. Il arrive de là que les eaux qui alimentent divers marais, obligées de s'écouler à travers mille obstacles, ne peuvent le faire qu'avec une extrême lenteur qui rend leur mouvement imperceptible. Cependant il n'est pas moins vrai de dire que souvent cet écoulement exige une certaine pente; et surtout lorsque les eaux sont peu profondes et peu volumineuses.

50. Nous avons vu (15) que sur la surface de la terre le niveau vrai est désigné par la superficie de l'eau et des autres fluides dans un état d'équilibre et de stagnation et (16 et 17) que l'action de la gravité et la ligne de

avec celle du niveau apparent sont fixes (17) que le rayon visuel doit être dirigé.

c'est sur la ligne du niveau apparent dont les rapports rapportés avec celle du niveau vrai sont connus. Donc nécessairement diriger ce rayon sur une ligne dont les traverses de l'atmosphère se trouvent en état d'équilibre et de stagnation que le rayon visuel ne peut pas suivre. Donc il faut Or (11) la ligne du niveau vrai est une ligne courbe petites distances telles que celles de 200 à 400 mètres tion a surtout lieu dans le plan de l'horizon et à de- passent assez généralement en ligne droite, et cette direc- La raison en est simple. Les rayons de lumière se pro- tangente au globe menée par le point où l'on opère (11).

La ligne de niveau doit être perpendiculaire à la direction de la gravité.

Fig. 7

CHAPITRE II.

DES INSTRUMENS NÉCESSAIRES AU NIVELLEMENT.

SECTION PREMIÈRE.

Notions générales et préliminaires.

Niveau, rayon de visée et sa direction.

49. L'INSTRUMENT principal dont on se sert dans le nivellement s'appelle *Niveau*. Son objet est de diriger le rayon visuel, qu'on appelle aussi *ligne de mire* ou *rayon de visée*, suivant la ligne du niveau apparent, ou de la tangente au globe menée par le point où l'on opère (11). La raison en est simple. Les rayons de lumière se propagent assez généralement en ligne droite, et cette direction a surtout lieu dans le plan de l'horizon et à de petites distances telles que celles de 200 à 400 mètres. Or (11) la ligne du niveau vrai est une ligne courbe que le rayon visuel ne peut pas suivre. Donc il faut nécessairement diriger ce rayon sur une ligne dont les rapports avec celle du niveau vrai soient connus. Donc c'est sur la ligne du niveau apparent dont les rapports avec celle du niveau vrai sont fixés (27) que le rayon visuel doit être dirigé.

La ligne de niveau doit être perpendiculaire à l'aplomb.

50. Nous avons vu (15) que sur la surface de la terre le niveau vrai est désigné par la superficie de l'eau et des autres fluides dans un état d'inertie et de stagnation, et (16 et 17) que l'action de la gravité et la ligne d'a-

plomb étaient perpendiculaires à cette surface. Or (12) le niveau vrai est un élément du niveau apparent. Par conséquent, et d'après ce qui a été dit au N.º 18, la ligne de niveau soit vrai soit apparent, et la ligne d'aplomb se coupent à angles droits.

C'est sur cette propriété qu'est établie la construction des niveaux. Car il est évident que le rayon visuel sera de niveau s'il se dirige suivant la perpendiculaire à l'aplomb, ou suivant la surface d'un fluide stagnant.

51. Il résulte de là qu'on peut construire deux sortes de niveaux, savoir : l'un par le moyen de l'aplomb et dans lequel le rayon visuel se dirigera perpendiculairement à cette ligne, et l'autre par le moyen de l'eau ou d'un fluide quelconque, et dans lequel le rayon visuel sera dirigé suivant la surface de ce fluide ou parallèlement à cette même surface.

Deux sortes de niveaux, à perpendiculaire et à eau.

D'où il suit qu'il y a deux sortes de niveaux en général, savoir 1.º ceux où l'aplomb sert de régulateur et qu'on appelle *niveau à perpendiculaire*; 2.º ceux où l'on emploie pour directrice la surface de l'eau ou d'autres fluides stagnants, et qu'on peut appeler du nom générique de *niveau à eau* ou *niveau d'eau*. L'une et l'autre de ces deux sortes de niveaux se subdivisent en diverses espèces que nous allons faire connaître successivement.

SECTION II.

Des niveaux à perpendiculaire.

§. I.

Description du niveau de poseur.

52. Le *niveau de poseur* est ainsi nommé, à cause qu'il est particulièrement en usage chez les poseurs dans la construction des édifices pour régler le lit des diverses

Description du niveau de poseur.

Fig. 7

assises. Ce niveau est très-simple. Il consiste en deux règles AB et AC (fig 7.^e) de même longueur, assemblées à angle droit en A et jointes à une troisième DE formant avec les deux premiers l'angle isoscelle ADE. Du sommet A de l'angle droit part un pendule ou aplomb AK qui dans le cas du niveau exact, doit passer sur une ligne tracée au milieu F de la règle DE.

En quoi consiste l'exactitude de ce niveau.

53. L'exactitude de ce niveau consiste en ce que la ligne GH suivant laquelle les branches AB et AC du niveau sont coupées; forme les angles ABC, ACB égaux entr'eux et à la moitié de l'angle droit. Dans ce cas si l'aplomb passe par le milieu de DE, il passera aussi par le milieu de BC et sera par conséquent perpendiculaire à l'une et à l'autre de ces deux lignes. Donc (18) la ligne BC ou GH sera de niveau.

Moyens d'en augmenter la précision.

54. Nous verrons plus bas la vérification et l'usage de cet instrument. Il nous suffira d'observer ici que, toutes choses d'ailleurs égales, le niveau sera d'autant plus exact, que les branches AB et AC seront plus longues, que la règle DE sera plus éloignée du sommet A, et que le fil de l'aplomb sera plus délié.

Car 1.^o supposons que la règle GH n'étant pas parfaitement de niveau, l'aplomb AK prenne la position Ak. Il est visible que la partie Ff de DE qui marque la déviation sera d'autant plus grande, et conséquemment d'autant plus sensible, que AF sera plus longue. Or la longueur de AF dépend de celle des branches AB et AC et de l'éloignement de la règle DE du point A.

2.^o Le trait en F qui marque le milieu de DE doit être très-fin. Si le fil de l'aplomb était très-gros, son épaisseur ne ferait pas connaître d'une manière précise

si l'aplomb passe exactement par le point F, et si conséquemment la ligne GH est de niveau.

55. Dans cet instrument la ligne qu'il s'agit de mettre de niveau est, comme l'on voit, la ligne GH qui est le dessus d'une règle. Cette règle doit avoir des qualités qu'il est à propos de faire connaître.

Qualités de la règle, sur laquelle on établit le niveau.

1.° Elle doit être épaisse, et assez forte pour que son poids, dans le cas où elle ne serait soutenue qu'à ses à-bouts, ne la fassent pas fléchir à son milieu.

2.° Elle doit surtout être exactement de même épaisseur dans toute sa longueur, de manière que ses faces opposées soient parfaitement parallèles. Car si elle n'était pas ainsi, la face supérieure étant mise de niveau, la face inférieure serait inclinée à droite ou à gauche. Or dans ce cas elle ferait incliner le lit supérieur de l'assise sur laquelle elle porte.

56. Ce n'est pas seulement chez les poseurs que cet instrument est en usage. Il l'est encore chez les maçons lorsqu'ils ne bâtissent qu'en moilon; et ils l'emploient quand ils construisent par assises réglées, qu'ils établissent les appuis des croisées, qu'ils arrasent un mur, etc.

Ce niveau est aussi en usage chez les maçons.

§ II.

Description du niveau de paveur.

57. Le *niveau de paveur* est plus simple que le précédent. Il consiste en une longue règle AB (*fig. 8*) assez forte pour ne pas plier, lorsqu'elle n'est soutenue qu'à ses deux extrémités. Elle doit être divisée en mètres et décimètres. Au milieu de sa longueur est fixé à angles droits un bout de planche CD sur laquelle on trace la

Description du niveau de paveur.

Fig. 8.

ligne Cf d'équerre à la longueur de la règle. On suspend au point C un fil aplomb Cf. Lorsque cet aplomb se confond avec le trait d'équerre, la règle AB est de niveau (18.)

Moyens de le perfectionner au besoin.

58. Ce niveau sert aux paveurs pour régler les pentes et les bombemens des pavés. Nous parlerons plus bas de son usage. En attendant on voit que sa construction n'exige pas une aussi scrupuleuse exactitude que celle du niveau de poseur : car il faut bien moins de précision dans l'établissement des pavés que dans la pose des pierres qui entrent dans les diverses assises d'un édifice. Si néanmoins on voulait le perfectionner, il n'y aurait qu'à fixer sur la règle AB le niveau ABC (*fig. 7*).

§ III.

Description du niveau de l'agronome.

Objet du niveau de l'agronome.

59. Les habitans de la campagne ont souvent besoin de soutenir les eaux et de tracer des fossés pour l'irrigation de leurs terres. Il est donc à propos de leur désigner un niveau dont un homme seul puisse se servir pour cet objet, qui n'exige ni piqueur ni porte-chaîne, ni aucun autre auxiliaire, et dont la simplicité ne laisse rien à désirer.

Description de ce niveau.

Fig. 9.

60. AB et AC (*fig. 9*) sont deux règles quarrées d'environ 3 centimètres d'équarrissage et de 1.^m 64 c.^{es} de longueur. Elles forment entr'elles un compas par le moyen d'un boulon vissé A et arrêté par un écrou à son extrémité. A égale distance AD et AE du boulon A, elles sont percées à jour par deux mortaises destinées à recevoir une troisième règle DE qui s'assemble avec les deux

deux premières par deux autres boulons entièrement semblables au premier.

La longueur DE de la troisième règle entre les deux boulons D et E sera à AD ou à AE :: 2 : 1,64. Par conséquent en faisant $AB = 1,64$ on aura $BC = 2$ mètres.

On tirera au milieu F de la règle DE un trait d'équerre. On coupera en biais et suivant la ligne BC les deux branches AB et AC.

Enfin la tête du boulon A sera garnie d'un petit anneau auquel on attachera un fil aplomb AG le plus délié possible.

Il est visible d'après cette construction que le triangle ADE étant isocèle, la ligne AFG passant par le milieu F de DE, sera perpendiculaire à cette dernière, et par conséquent à sa parallèle BC. Donc (18) si AG est la ligne de l'aplomb, BC sera horizontale ou de niveau.

61. Pour pouvoir faire usage de ce niveau, aux extrémités B et C des deux branches AB et AC taillées en biais, ainsi qu'il vient d'être dit (60.), on adaptera deux semelles *ab* et *cd*, de même épaisseur. Elles seront circulaires, et auront environ 15 centimètres de diamètre. Ces semelles seront percées à leur centre d'un trou carré qui recevra d'équerre les pointes en fer *f* et *f'* dont la partie supérieure sera vissée et entrera dans les branches AB et AC. Ce talon est destiné à empêcher que les extrémités B et C ne s'enfoncent inégalement dans la terre.

Semelles à y adapter.

62. Les fossés ou canaux d'irrigation ont nécessairement besoin d'une certaine pente pour faciliter l'écoulement des eaux, et vaincre la résistance des frottemens. D'où il suit que plus cette résistance sera grande, plus la pente doit augmenter. Or d'après ce que nous avons

Ce niveau doit pouvoir servir de niveau de pente.

dit dans *notre Traité sur les torrens et les rivières* N.^o 289, la résistance des frottemens est, toutes choses d'ailleurs égales, plus grande dans un petit canal que dans un plus grand. Par conséquent elle sera d'autant plus forte que le fossé sera plus petit. D'où l'on doit conclure que plus le fossé sera petit, plus il faudra lui donner de pente.

Le niveau dont nous parlons étant donc particulièrement destiné (59) à tracer de petits fossés d'irrigation auxquels on doit donner une pente réglée et proportionnée à leur capacité, il est nécessaire de diviser cet instrument de manière qu'il puisse servir aussi de niveau de pente.

Manière de diviser
l'instrument pour cet
objet.

63. L'expérience prouve que dans les plus petits fossés il suffit de donner une pente égale à la 200.^e partie de la longueur du fossé. A mesure que le fossé devient plus grand, la pente doit diminuer et se réduire progressivement à la 300.^e, 400.^e, 500.^e, etc., partie de cette même longueur.

D'après cela supposons que la ligne BH du terrain de niveau prenne la position BH' qui marque la ligne de pente du fossé à construire. En décrivant du point B comme centre l'arc de cercle CC', il est clair que le point C du niveau arrivera en C' et que dans ce mouvement toutes les parties de l'instrument prendront une déviation égale à l'angle CBC'. Ainsi l'aplomb AG prendra la position AG' telle que l'angle GAG' soit égal à l'angle CBC'.

Soient BH' la longueur quelconque du fossé et HK perpendiculaire à BH' la pente à lui donner sur cette longueur. Les triangles BH'K et AFF' seront semblables. Par conséquent on aura la proportion : BK : H'K ::

$AF : FF'$, de laquelle on tire $FF' = \frac{H'K}{BK} \cdot AF$.

Il suit de là que pour avoir le point F' par lequel passera l'aplomb sous une pente déterminée à donner au fossé, il faut multiplier AF qui est connue, par le rapport de la pente à la longueur de niveau, exprimé par $\frac{H'K}{BK}$.

Si nous supposons $\frac{H'K}{BK} = \frac{1}{200}$ nous aurons $FF' = \frac{AF}{200}$.

Par conséquent en prenant la 200.^e partie de AF et la portant de F en F' , on aura le point F' par lequel doit passer l'aplomb sous cette pente.

Si $\frac{H'K}{BK} = \frac{1}{300}$, on aura $FF' = \frac{AF}{300}$; et ainsi de suite.

Par où l'on voit qu'on trouvera autant de points de division F' qu'on voudra sur la ligne DE , et qu'il sera à propos de porter de chaque côté de F .

Les divers points de division étant fixés sur DE , on marquera à chaque point un trait sur le prolongement et dans le sens des lignes tirées du centre du boulon A à chacune de ces points. Ces traits désigneront la direction de l'aplomb sous la pente qui leur sera relative.

Enfin on gravera sur la face de la règle DE et au droit de chaque trait le nombre qui exprime le dénominateur du rapport de la pente à la longueur du fossé mesurée horizontalement. Ainsi au droit du trait par F on marquera zéro, au droit de F' on marquera 200. etc.

64. La manœuvre de cet instrument exige qu'à l'extrémité A de l'une des branches il y ait une poignée cylindrique d'environ 15 centimètres de longueur. D'après la longueur de chaque branche et la forme du triangle (60) on verra que cette poignée ne pourra jamais être

Poignée à placer au haut de l'instrument pour la manœuvre.

plus haute que le terrain d'environ 1^m,3. Conséquemment elle sera à la portée d'un homme de taille ordinaire. Nous verrons plus bas la vérification et l'usage de ce niveau.

§ IV.

Des niveaux de Picard et d'Huygens.

Description abrégée
des niveaux de Pi-
card et d'Huygens.

65. Picard et Huygens ont employé des niveaux différens entr'eux, mais dont la base commune est une croix de laiton ou d'autre métal et formant quatre angles droits au point d'intersection de ses branches. L'une des deux porte la lunette et elle est destinée à être horisontale. L'autre au contraire porte l'aplomb et doit être verticale. D'où il suit (18) que lorsque cette dernière est exactement dans la direction de l'aplomb, la première est parfaitement de niveau.

Dans le niveau de Picard cette croix est supportée par une charpente composée de l'assemblage de diverses pièces. Dans celui d'Huygens elle est établie sur un trépied.

Ces deux niveaux sont très-embarrassants et peu portatifs. D'ailleurs ils sont sujets à se déranger facilement par le transport. C'est pour cela que les Ingénieurs ne s'en servent point. En conséquence nous croyons en devoir borner la description à ce que nous venons de dire. Ceux qui seront curieux de les connaître plus à fond, pourront consulter le traité de nivellement de Picard N.^{os} 21 — 33 et 165 — 169

SECTION III.

Des niveaux à eau.

66. Dans les instrumens dont nous venons de donner la description, la ligne de niveau se trouve par le moyen de l'aplomb. Dans ceux que nous allons décrire cette ligne est déterminée par la surface soit de l'eau soit de tout autre fluide tel que l'esprit de vin, etc. Les premiers supposant que le rayon visuel est perpendiculaire à l'aplomb, et que le fil de l'aplomb répond exactement aux traits qu'on a tirés pour en marquer la direction, laissent toujours quelque chose à désirer pour l'exactitude. Les seconds au contraire ayant pour base l'équilibre hydrostatique que la nature donne toujours et très-exactement dans tous les fluides, offrent l'assurance d'une précision beaucoup plus grande et font sentir la nécessité de les employer de préférence dans toutes les opérations où l'Ingénieur ne veut pas se borner à des résultats approximatifs.

Observations sur les niveaux à perpendiculaire et à eau.

67. Ces divers instrumens prennent la dénomination générique de *niveaux à eau* ou *niveaux d'eau*, ainsi que nous l'avons déjà dit au N.º 51. Mais étant susceptibles de diverses formes, quoique leur construction soit fondée sur le même principe, on les divise en plusieurs espèces suivant leur forme respective.

Diverses espèces de niveaux à eau.

Ainsi 1.º lorsqu'on n'emploie que la surface de l'eau contenue dans un vaisseau de forme quelconque, l'instrument prend le nom de *niveau d'eau simple*; et si l'on y adapte des pinnules ou une lunette, il est appelé *niveau d'eau à pinnules* ou *niveau d'eau à lunette* respectivement.

2.° Si au lieu d'un vaisseau ouvert on enferme l'eau ou la liqueur dans un tube fermé par les deux bouts, de manière que la liqueur en occupe toute la capacité, moins une petite partie qui sera occupée par l'air ou qui restera vuide; l'instrument sera dénommé *niveau à bulle d'air simple*; et si l'on combine ce tube avec des pinnules ou avec une lunette, on l'appellera respectivement *niveau à bulle d'air et à pinnules* ou *niveau à bulle d'air et à lunette*.

§ I.

Description du niveau d'eau simple.

Description du
tube et de ses parties
montantes.

Fig. 10.

68. Le niveau d'eau simple est composé d'un tuyau cylindrique AB (*fig. 10*) de cuivre ou d'autre métal. La longueur ordinaire de ce tuyau est d'environ un mètre, et son diamètre intérieur de 4 à 5 centimètres ou à peu près. Il est recourbé d'équerre aux deux à-bouts jusqu'à la hauteur C et D d'environ un décimètre. Les parties montantes AC et BD ne sont point asservies à avoir le même diamètre entr'elles ni avec le tube principal AB. Il suffira qu'elles ne soient pas capillaires, pour laisser à la liqueur, qu'on doit y verser, la liberté de se mettre de niveau dans chacune. Cependant dans l'usage ordinaire on les fait d'égale grosseur.

Aux extrémités C et D des deux parties montantes on adapte deux fioles de verre CE, DF d'environ 15 centimètres de longueur et terminées en goulot dans la partie supérieure, afin de pouvoir les boucher au besoin avec des bouchons de liège ou de bois. Ces fioles doivent être sans fond et ouvertes par le bas. Elles seront cy-

lindriques et leur diamètre extérieur doit être tel qu'elles remplissent assez exactement la capacité des branches AC et BD destinées à en recevoir la partie inférieure sur la hauteur d'environ 3 ou 4 centimètres.

L'insertion des fioles dans les branches montantes AC et BD se fait avec de la cire, et beaucoup mieux avec du mastic; de manière que l'eau ou la liqueur s'y élevant ne puisse pas filtrer à travers la partie du joint.

69. Cet instrument doit être placé sur un pied dont nous donnerons bientôt la description. Pour cela il doit y avoir au-dessous du tuyau principal AB et au droit du point G, milieu de sa longueur, une douille de même métal qui y soit adaptée. Cette douille est un cône tronqué creux et dont les diamètres des bases opposées ne diffèrent guères que de 3 millimètres. Elle est destinée à recevoir un autre cône tronqué plein, de même évasement et qui termine la partie supérieure du pied, ainsi que nous le verrons bientôt.

Description de la douille.

La douille peut être adaptée au tube AB de deux manières également en usage. La première manière est de la souder au tube lorsqu'il est en fer blanc, ainsi que cela se pratique assez souvent. La seconde manière est de l'y adapter par le moyen d'une platine qui fait corps avec elle et par deux vis placées l'une à droite et l'autre à gauche, ainsi qu'on le voit sur la figure 10.^e Mais dans l'un et l'autre cas l'axe de la douille doit être d'équerre avec la longueur du tube.

Dans la seconde manière le haut de la douille est garni de deux hémisphères creux qui peuvent se rapprocher ou s'éloigner par le moyen d'une vis à oreilles. Ces deux hémisphères reçoivent dans leur concavité une boule de cuivre adhérente au-dessous et au milieu G du tube

Fig. 12.

(*fig. 11.*) A l'aide de cette boule et de la vis, le tube peut être fixé suivant telle position qu'on voudra. Dans ce cas la douille, les deux hémisphères et la boule ou noix, prennent le nom de *genou* de l'instrument.

On distingue deux
sortes de pied.

70. Le pied tant de ce niveau que de la plupart de ceux dont nous parlerons, ainsi que de celui de presque tous les instrumens de campagne, est composé de trois branches réunies à l'une de leurs extrémités, et qui en s'écartant les unes des autres forment un trépied. Ces trois branches peuvent être assemblées de deux manières.

1.° La première manière et qui est en même-tems la plus simple, consiste à assembler à vis et à serrer contre une des faces d'un prisme triangulaire équilatéral en bois chacune de trois branches du pied, ainsi qu'on le voit sur la figure 12.°

Fig. 12.

2.° Dans la seconde manière, qui est aussi la plus solide, la partie supérieure de chaque branche est fendue par une rainure. Ces rainures reçoivent trois aîles de métal faisant entr'elles des angles égaux au tiers de la circonférence et réunies au centre autour d'un axe commun. On voit le plan de ces aîles dans la *fig. 13.°* A l'aide d'une vis qui traverse l'aîle et chaque branche au droit de la rainure, on serre à volonté la branche contre l'aîle correspondante par le moyen d'un écrou à oreilles.

Fig. 13.

La seconde sorte est
préférable à la première.

71. Il est aisé de voir par cette construction que la différence qui existe entre ces deux pieds est que dans le premier le mouvement des branches se fait dans le sens des faces du prisme triangulaire et que dans le second il a lieu dans le sens des aîles. Ainsi dans le premier l'action des branches ne se porte pas sur la verticale qui passe par le centre de l'instrument, au lieu que dans

dans le second cette action s'y dirige directement. Par conséquent la seconde forme présentant plus de solidité que la première, doit être préférée.

72. La partie supérieure au prisme triangulaire (70. 1.^o) ou aux ailes (70. 2.^o), est terminée par un cône tronqué destiné à occuper le vuide de la douille. L'évasement des côtés de ce cône doit être le même que celui des côtés de la douille, ainsi qu'il a été observé plus haut (69.) On aura seulement soin que le diamètre de la base supérieure soit tant soit peu plus grand que celui du fond de la douille, afin que le plein touche exactement les parois du vuide, et que l'instrument soit parfaitement assuré sur son pied.

Description de la partie supérieure du pied.

73. Les trois branches du pied du niveau doivent être de même longueur. Elles seront garnies à leur extrémité inférieure d'une pointe de fer, pour pouvoir être enfoncées dans la terre et donner ainsi à l'instrument toute la stabilité possible. On le voit par la figure 12.

Description de la partie inférieure du pied.

ig. 12.

74. Le niveau représenté par la figure 10 étant placé sur son pied tel qu'il a été décrit (70. 1.^o) ou (70. 2.^o), par un des goulots E ou F on y introduit de l'eau jusqu'à ce qu'elle s'élève de chaque côté dans les fioles à une certaine hauteur. Suivant les lois de l'hydrostatique, elle s'élèvera dans chaque fiole jusqu'à la même ligne de niveau HK. Par conséquent en visant sur cette ligne, le rayon visuel sera de niveau.

Quelle sera l'horizontale dans ce niveau.

Fig. 10.

75. Comme l'eau et le verre des fioles ont à-peu-près la même couleur, si l'on verse seulement de l'eau claire dans le tube, on distinguera difficilement du point L le point M par où doit passer le rayon de visée. En conséquence il est à propos de colorer cette eau avec

L'eau doit être colorée.

du vin ou de telle autre manière qu'on jugera à propos, pour la faire contraster avec la couleur du verre.

Abaissement de la ligne de visée par l'inclinaison du tube.

Fig. 14.

76. Soient AB (*fig. 14*) l'axe du tube principal que nous supposerons parfaitement de niveau, AL et BM les axes des parties recourbées montantes, et LK la ligne de niveau à laquelle l'eau s'élève dans l'instrument. Supposons que le tube principal prenne la position inclinée A'B' autour du point d'appui G. Les axes AL et BM des parties montantes prendront celles représentées par A'L' et B'M' respectivement. Menons du point G la ligne GD parallèle à AL et la ligne GD' parallèle à A'L'. Dans le rectangle ALMB nous aurons : $AL + BM = 2GD$; et dans le trapèze A'L'M'B' nous aurons : $A'L' + B'M' = 2GD'$.

Cela posé, supposons que les tubes montans aient le même diamètre, ainsi que la chose a ordinairement lieu (68). La liqueur contenue dans chacun de ces tubes formera tout autant de cylindres de même diamètre, et dont le volume sera comme les axes. Donc le volume d'eau des deux tubes montans dans la première position sera à ce même volume dans la seconde position :: $AL + BM : A'L' + B'M' :: 2GD : 2GD' :: GD : GD'$. Mais GD' étant oblique est plus grande que GD. Donc pour parvenir à la ligne primitive de niveau LK les tubes montans absorberont plus d'eau dans la position inclinée du tube principal que dans sa position horizontale.

Observons à présent que dans quelque position que ce soit, le tube principal étant entretenu plein, contient toujours le même volume de fluide: car on ne peut pas supposer que le point A doive jamais aboutir à la ligne LK. La variation du volume de liqueur ne peut donc

regarder que les tubes montans. Donc puisqu'on n'augmente pas le volume de fluide en inclinant le tube principal, il s'en suit que dans cette position le niveau de la superficie de la liqueur dans les deux branches montantes s'arrêtera au-dessous de la ligne LK du niveau primitif, et que la différence sera d'autant plus grande que GD' sera plus longue par rapport à GD, ou que le tube principal A'B' sera plus incliné par rapport à l'horizontale AB.

77. Il suit de là que lorsqu'on a plusieurs coups de niveau à donner sur la même station, le niveau d'eau simple dont nous parlons et tel qu'il a été construit jusqu'à présent, est réellement défectueux et fait commettre des erreurs inévitables; à moins qu'à chaque coup de niveau qu'on donne le tube principal ne soit parfaitement de niveau, ou n'ait constamment le même degré d'inclinaison; ce qui est moralement impossible d'après la construction en usage.

Cet instrument tel qu'il est construit est défectueux.

78. Le défaut dont nous venons de parler provient de la forme du genou. Cette partie devrait être composée de deux platines placées au-dessus de la douille, et qu'on pût rendre horizontales par le moyen de deux vis sans fin et de deux roues dentées. Nous verrons plus bas la forme de ce support en parlant du niveau à bulle d'air. En attendant nous observerons que ces platines étant rendues horizontales, le niveau pourra tourner dans tous les sens, sans que le tube principal change de direction par rapport au plan de l'horison. Mais dans ce cas il devient indispensable de coller sur chaque partie montante et sur la fiole qui y est adaptée une bande de papier sur laquelle on aura marqué une échelle divisée en millimètres, et qui partant du bord supérieur du

Moyen de corriger ce défaut.

tube principal puisse faire connaître la hauteur de la liqueur dans chaque fiole par rapport à ce même tube, que nous verrons dans la vérification devoir être disposé de niveau.

Inconvéniens de cet instrument.

79. Supposons ce niveau rectifié sous le rapport dont nous venons de parler. Il lui reste encore des défauts auxquels il est impossible de remédier.

1.° On sait que la surface de l'eau et des autres fluides dans un verre à boire ou dans tout autre vaisseau étroit ne forme pas une superficie plane, mais convexe et bombée au milieu. Ce bombement est très-sensible dans les fioles, et il s'élève au moins à deux millimètres; d'où il résulte un anneau de pareille hauteur qui semble ceindre la fiole. Conséquemment il arrive plus d'une fois qu'en bornoyant, au lieu de diriger le rayon visuel vers le bord inférieur de cet anneau, ainsi que cela doit se faire, on le dirige par méprise vers le bord supérieur, ce qui donne un sur-haussement de deux millimètres par mètre de longueur, et un décimètre sur 50 mètres, portée ordinaire de ce niveau.

2.° Cet instrument présentant un certain volume, et le moindre mouvement devenant sensible sur la surface de l'eau dans les fioles, il arrive que pour peu de vent qu'il y ait, il se manifeste des oscillations dans la liqueur des tubes montans; et l'on ne peut plus opérer.

3.° Il est extrêmement fatigant pour la vue de bornoyer, surtout avec le soleil, à cause des rayons réfléchis par les fioles.

4.° La portée ordinaire de ce niveau n'étant guères que de 50 mètres ou environ, on sent qu'il n'est pas possible de l'employer dans de grandes opérations, et que le seul avantage qu'on puisse en retirer est de s'en servir

dans des objets circonscrits de détail et de peu d'importance.

5.° Enfin ce qu'il y a de plus satisfaisant dans les opérations est l'exactitude et la précision dans les résultats. Or c'est ce qu'on ne trouve que très-rarement par le moyen de ce niveau.

§ II.

Description du niveau d'eau à pinnules.

80. Dans la vue de rendre plus utile le niveau d'eau simple dont nous venons de parler, on a proposé dans le traité de nivellement de Picard N.° 164 d'y ajouter des pinnules. A cet effet il doit être construit deux anneaux de métal qui embrassent exactement les fioles contre lesquelles on pourra d'ailleurs les presser par le moyen d'une vis. Ces anneaux porteront chacun un chassis dans l'un desquels sera un petit trou où l'œil de l'Ingénieur se placera, et dont le second sera traversé par deux fils extrêmement déliés qui se couperont à angles droits, ou même par un seul placé horizontalement.

Description et usage des niveaux à pinnules.

Ces deux anneaux doivent être arrêtés à une hauteur telle que le petit trou pour l'œil de l'observateur et le fil horizontal soient l'un et l'autre sur la ligne de niveau de la surface de l'eau dans la fiole correspondante.

81. Cette addition à l'instrument nous offre les observations suivantes :

Inconvéniens de ce niveau.

1.° On ne peut juger qu'à l'œil si le trou oculaire et le fil horizontal des pinnules sont réellement sur la ligne de niveau de la surface du fluide dans les deux fioles. L'œil à cet égard n'est jamais assez juste pour ne pouvoir

faire une erreur de demi-millimètre en-dessus ou en-dessous ; ce qui donnera un millimètre sur la longueur du tube lorsqu'une des erreurs sera en-dessous et l'autre en dessus. D'où il suit que sur la portée de 50 mètres on pourrait avoir une erreur de 5 centimètres.

2.° Dans l'état d'imperfection où cet instrument a été jusqu'aujourd'hui, le tube principal n'ayant jamais la même inclinaison par rapport à l'horizon et la hauteur de la liqueur variant continuellement dans les fioles (76), il résulte qu'à chaque coup de niveau qu'on donnerait on aurait préalablement besoin de toucher aux pinnules et de les mettre de niveau avec la surface de l'eau dans chaque fiole ; ce qui entraînerait dans des longueurs infinies.

D'après ces considérations nous pensons qu'un niveau pareil est inadmissible dans les opérations de nivellement, et qu'on doit y renoncer. Ainsi à l'avenir nous n'en parlerons plus.

§ III.

Description du niveau d'eau à lunette.

Ce niveau ne peut pas être employé par les Ingénieurs.

82. On a pareillement proposé au N.° 157 et suivans du traité de nivellement par Picard, d'adapter une lunette au niveau d'eau. Mais un pareil instrument ne peut aucunement servir aux opérations des Ingénieurs, soit à cause qu'il est très-peu portatif, soit parce qu'il peut facilement se déranger et qu'il exige de fréquentes vérifications. Ainsi nous n'en parlerons pas davantage. Ceux néanmoins qui seront bien aise de le connaître à fond, en trouveront la description sous les N.°s indiqués de l'ouvrage que nous venons de citer.

§. IV.

Description du niveau simple à bulle d'air.

83. La principale pièce de tous les niveaux à bulle d'air, soit simples soit composés, consiste en un tube de verre d'environ deux décimètres de longueur sous deux centimètres ou à-peu-près de diamètre. Il doit être parfaitement droit et exactement cylindrique ou de même diamètre dans toute sa longueur. Après l'avoir fermé par un bout à la chaleur de la lampe de l'émailleur, on le remplit presque entièrement par l'autre d'esprit de vin ou de quelque liqueur qui ne se gèle que très-difficilement, pour ne point l'exposer à casser pendant l'hiver, ainsi que cela ne manquerait pas d'arriver si l'on employait de l'eau. Ensuite on ferme ce second bout de la même manière que le premier et de façon qu'il reste dans l'intérieur un petit vuide qui ne soit pas occupé par la liqueur, mais seulement par l'air raréfié par la chaleur de la lampe où on l'a fermé.

84. Soit AB (*fig. 15*) le tube dont nous parlons, et abd la bulle d'air restée dans l'intérieur après avoir hermétiquement fermé les deux à-bouts. On sait que lorsque deux fluides de différentes pesanteurs spécifiques sont enfermés dans le même vaisseau, le plus léger occupe toujours la partie la plus élevée. Or l'air est spécifiquement plus léger que l'esprit de vin. Donc toutes les fois que la bulle d'air abd se portera vers une des extrémités du tube, elle indiquera que cette extrémité est plus élevée que l'autre. Au contraire si elle s'arrête au milieu c de la longueur, elle fera voir que, n'ayant pas plus de tendance

Description et qualités du tube de verre.

Conditions pour que le tube soit de niveau.

Fig. 15.

à se porter vers l'extrémité A que vers l'extrémité B, les parois du tube sont parfaitement de niveau.

Le tube de verre doit être enchassé dans un tube de métal.

Fig. 16.

85. Comme le verre est très-fragile, pour mettre le tube à l'abri de tout accident, on est dans l'usage de l'enfermer dans un autre tube de métal, observant seulement de laisser à découvert la partie correspondante au milieu sur la longueur d'environ demi décimètre. Outre l'avantage de garantir le tube de verre de tout ce qui pourrait l'endommager, cette enveloppe a encore celui de marquer précisément le point de milieu. On est même assez souvent dans l'usage d'y graduer une échelle de division qui fait connaître les moindres écarts de la bulle par rapport à ce point. On peut voir à ce sujet la figure 16.^e

Comment le tube doit être monté pour former le niveau simple.

86. On voit par ces détails qu'un tube tel que nous venons de le décrire fera connaître la ligne de niveau avec la plus grande précision; mais on sent aussi qu'étant extrêmement court il ne peut pas être isolément employé à cet usage et qu'il doit se combiner avec d'autres parties pour pouvoir acquérir toute l'utilité dont il est susceptible.

Fig. 17.

Soient le tube CD (fig. 17) et une règle AB dans laquelle ce tube a été enchassé à moitié; cet assemblage est ce qu'on appelle *niveau à bulle d'air simple*. On s'en sert pour mettre de niveau une table, un plancher, etc. Pour cela il est essentiel 1.^o que la règle AB lorsqu'elle sera d'une certaine longueur, soit assez forte pour ne point fléchir quand elle ne sera soutenue que par son milieu ou par ses à-bouts; 2.^o que sa face opposée au tube lui soit exactement parallèle.

§ V.

Description du niveau à bulle d'air et à pinnules.

87. Sur une forte règle de métal AB (*fig. 18*) parfaitement droite l'on applique au milieu E le tube CD. Aux extrémités A et B s'élèvent d'équerre au plan de la règle deux plaques à pinnules F et G. Le tout est supporté par la partie EH composée d'une douille HK et de deux platines circulaires appliquées l'une sur l'autre suivant la ligne MM. A l'aide des deux vis *a* et *b* dont les directions se croisent à angles droits, et des roues dentées correspondantes, ces deux platines peuvent s'incliner dans tous les sens et prendre toutes les positions possibles.

De quelles parties ce niveau est composé.

Fig. 18.

Ainsi les quatre parties essentielles de cet instrument sont la règle AB, le tube CD, les deux pinnules F et G, et le support EH. Nous allons décrire successivement chacune de ces pièces.

88. La règle AB doit avoir environ demi-mètre de longueur sur quatre centimètres de largeur, ou à-peu-près. Elle doit être assez forte pour ne pas plier. C'est pour cette raison qu'on la renforce assez souvent dans sa longueur suivant sa ligne de milieu par une autre règle adhérente LP posée de champ. On en voit la coupe par le point L dans la *fig. 19* dans laquelle QR représente la section de la règle AB et SN celle de la règle de champ LP.

Description de la règle.

Fig. 19.

89. Nous avons donné plus haut (83 et 85) la description du tube CD. Ce tube sera appliqué sur la règle AB de manière que les points de milieu de leurs

Disposition du tube sur la règle.

Fig. 18.

longueurs coïncident parfaitement. Il sera arrêté sur cette règle par le moyen d'une charnière à l'un de ses bouts et d'une vis à l'autre pour le hausser ou baisser légèrement et l'incliner au besoin par rapport au plan de la règle. En conséquence on laissera un petit espace vuide d'environ 3 millimètres entre la règle et le tube pour le jeu de ce dernier.

Description des
pinnules.

Fig. 20.

90. La plaque à pinnules TVXZ (*fig. 20*) doit avoir une largeur TV égale à-peu-près à la largeur de la règle, et une hauteur d'environ demi-décimètre. Elle sera percée d'une ouverture rectangulaire qui recevra un châssis *tezx* de même forme. Ce châssis aura la faculté de se mouvoir à volonté de haut en bas et de bas en haut. Il sera divisé par deux fils d'argent extrêmement déliés qui se couperont à angles droits au centre O. Il sera surmonté d'une petite lame élastique qui le poussera en embas; et dans la partie inférieure il aboutira à l'extrémité d'une vis dont la tête sera quarrée pour recevoir une clé portant quarré creux, comme les clés de montre ou de pendule à ressort. Cette vis passera à travers la règle AB (*fig. 18*), et servira à hausser ou à baisser le châssis *tezx*, suivant que la vérification de l'instrument l'exigera.

Outre le châssis il y aura une autre petite plaque très-mince, d'une hauteur un peu plus grande que *ez* et d'une largeur un peu moindre que TV. Elle glissera horizontalement dans deux coulisses pour fermer au besoin l'ouverture *tezx*. Elle sera percée d'un petit trou circulaire d'un millimètre de diamètre placé de manière que quand elle fermera l'ouverture *tezx*, le centre de ce petit orifice répondra exactement à l'intersection O des deux fils formant la pinnule.

Cette petite plaque devient indispensable, tant pour garantir les deux fils d'accidens quand on a opéré, que pour pratiquer un trou oculaire où l'œil de l'observateur puisse s'appliquer en bornoyant, ainsi que nous le verrons plus bas.

Au surplus nous avons déjà dit (87) qu'il fallait une plaque à pinnules à chaque extrémité A et B (*fig. 18*) de la règle AB. Ainsi nous n'avons pas besoin de dire que chacune de ces plaques doit être telle que nous venons de la décrire.

91. Nous avons annoncé (78) une description détaillée du support à platines au lieu de genou à boule. Nous allons remplir cet objet.

Description du genou à platines et de ses dépendances.

Ce support dont on voit l'ensemble en raccourci sur la figure 18.^e est composé de trois parties distinctes et qui s'assemblent entr'elles à vis pour ne former qu'un tout.

Fig. 18.

La première partie est celle qui est supérieure au plan de la platine inférieure, c'est-à-dire, à la ligne MM. Cette partie est adhérente à la règle AB.

La seconde est celle qui est inférieure au même plan et qui s'étend jusqu'à la vis *b* exclusivement.

La troisième est celle qui comprend la vis *b* et toute la partie inférieure jusqu'à l'extrémité H de la douille.

Pour bien saisir la forme de toutes ces parties, la manière dont elles sont assemblées et le mécanisme du mouvement qui en résulte, nous allons en développer les coupes verticales par l'axe, 1.^o dans le sens de la longueur de la règle AB. 2.^o Dans le sens d'équerre avec cette même longueur. Mais pour nous diriger prenons le plan ou la coupe horisontale, suivant la ligne MM.

Représentons le plan dont il s'agit par la figure 21.^e dans

Fig. 21.

laquelle l'aire de la platine inférieure est exprimée par le cercle ABDE et ses deux supports par les rectangles *fghk* et *lmnp*. Décrivons du centre C le petit cercle concentrique *abcd*. Ce second cercle est la base de la tige cylindrique qui s'élève d'aplomb au-dessus de la platine à laquelle elle est adhérente. Tirons en même-tems les deux diamètres AD et BE perpendiculaires entr'eux et dont le premier est dans le sens de la longueur de la règle AB (*fig. 18*).

Fig. 22.

La figure 22 est la coupe de la 1.^{re} partie suivant la ligne AD du plan. A'D' est la face de la platine dont le corps est percé jusqu'à la surface de la règle par le cylindre creux *a'd'io*.

Fig. 23.

La figure 23 est la coupe de la 2.^{me} et 3.^{me} partie suivant la même ligne. A'D'FG est la platine inférieure. Cette platine tient par deux tourrillons *a* et *b* aux deux branches de son support qui se réunissent et se terminent par la portion de roue dentée QRS. Cette même platine porte au-dessous une autre portion de roue dentée d'équerre et qui vue de champ dans la figure est représentée par le rectangle *cdef*, et au-dessus un cylindre de même diamètre que le cercle *abcd* de la figure 21 et destiné à occuper la capacité du cylindre creux *a'd'io* de la figure 22.

La roue dentée *cdef* est engrénée par les pas d'une vis sans fin *g*, portée par la partie qui réunit les deux branches du support de la platine A'D'FG.

Cette même partie que nous avons dit terminée par la portion de roue dentée QRS s'assemble avec la troisième partie par enfourchement et par la vis *h* autour de laquelle elle peut tourner.

C'est dans la 3.^{me} partie et au-dessus de la douille

BCDE qu'est une seconde vis sans fin *km* dont les pas engrènent les dents de la portion de roue dentée QRS.

Enfin au-dessous de cette vis se trouve la douille dont nous avons déjà parlé au N.° 69.

Les figures 24 et 25 représentent les coupes des mêmes parties suivant la ligne BE (*fig.* 21).

Fig. 24 et 25.

Une 3.^{me} platine tant soit peu plus grande que le petit cercle *abcd* placée au bout du cylindre reçu dans *d'oi* (*fig.* 22) joint le tout par une vis à la règle AB (*fig.* 18) et aux autres parties adhérentes de l'instrument.

Fig. 18.

On voit donc par tous ces détails qu'à l'aide de deux vis sans fin *a* et *b* (*fig.* 18) et des deux roues dentées correspondantes, les deux platines peuvent prendre toutes les positions qu'on voudra. En effet la vis *b* fera varier leur position de droite à gauche et réciproquement; et la vis *a* la fera varier de l'avant à l'arrière ou de l'arrière à l'avant; ce qui donnera toutes les positions possibles.

92. Avant de faire usage de cet instrument, après l'avoir établi sur son pied construit d'après ce qui a été dit au N.° 70. 2.°, il faut se conformer à ce qui suit :

Ce qu'il faut faire avant de se servir de ce niveau.

1.° Dans la plaque à pinnules d'où l'on doit bornoyer, on fermera le chassis par la petite plaque mince, percée par un trou servant d'oculaire au droit de l'intersection des deux fils, et dont nous avons parlé au N.° 90.

2.° On rendra parallèle par les moyens que nous donnerons au chapitre de la vérification des instrumens, le rayon visuel passant par le trou oculaire et par l'intersection des deux fils du chassis de l'autre plaque à pinnules, avec le tube à bulle d'air.

3.^o Par les mêmes moyens on rendra aussi parallèle à ce même tube le plan MM des platines (*fig. 18*).

Avec ces précautions préalables, si l'on rend parfaitement de niveau le plan MM des platines, on pourra tourner l'instrument dans tous les sens et viser suivant toutes les directions, sans altérer le niveau du tube et du rayon visuel. D'ailleurs on sera assuré que des deux fils qui se croisent l'un sera véritablement horizontal et l'autre vertical; ce qui est très-nécessaire pour l'exactitude des opérations.

Portée de ce niveau.

93. La portée de ce niveau dépend de la bonté de la vue de l'Ingénieur. L'on peut même assurer que la petitesse du trou oculaire facilitera les vues miopes dans les opérations, à cause qu'en pareil cas il n'y a guères que le rayon de l'axe optique qui parvienne à l'œil. Or on sait que ce rayon ne souffre pas de réfraction à travers la prunelle. Au reste, comme il n'y a pas de lunette adaptée, on peut dire qu'en général par rapport à l'intensité de la lumière qui s'affaiblit par les distances, la portée de ce niveau ne doit pas excéder 100 mètres.

Inconvéniens des niveaux qui n'ont qu'une vis sans fin.

Fig. 18.

94. Il y a des niveaux où l'on n'emploie qu'une seule vis *b* qui se trouve dans le sens de la règle AB (*fig. 18*). Une pareille construction est vicieuse sous les rapports suivans.

1.^o La direction horizontale et verticale des fils qui se croisent dans le chassis de la plaque à pinnules suppose que l'axe du cône tronqué qui entre dans la douille est exactement vertical. Or c'est ce qui arrive très-rarement; et lorsque la chose a lieu, ce n'est que par hasard sans que rien le constate.

2.^o Lorsqu'on donne plusieurs coups de niveau de la

même station, ce qui est ordinaire, il faut nécessairement changer la direction du rayon visuel et tourner l'instrument en divers sens. Il faudra donc alors monter le niveau à chaque coup de visée. Or on sent que cette manœuvre entraîne une perte considérable de temps.

3.^o Dans le même cas en tournant le niveau dans un sens ou dans l'autre il peut arriver que le cône qui entre dans la douille s'enfonce un peu plus ou un peu moins; ce qui fera baisser ou hausser la ligne de niveau et altérera l'exactitude des opérations.

95. Quelquefois le genou est à boule. Dans ce cas la boule ou noix tient à une petite règle élastique attachée à vis par un de ses bouts à la grande règle, tandis qu'à l'autre bout il y a une seconde vis à oreille servant à hausser ou à baisser tout l'instrument. Cette construction a les mêmes vices que la précédente. Ainsi on ne doit l'employer que quand on ne pourra pas l'éviter.

Inconvéniens des niveaux dont le genou est à boule.

§ VI.

Description du niveau à bulle d'air et à lunette.

96. Nous voici arrivés au niveau qui réunit le plus d'avantages et qui est le moins sujet à inconvénient. Lorsqu'il est exactement vérifié, il donne des résultats d'une précision qu'on peut regarder comme géométrique. D'autre part il est peu volumineux, et par-là, outre qu'il est très-portatif et peu embarrassant, il offre peu de prise et une masse assez pesante à l'air agité, et permet d'opérer même avec un vent qui dérangerait tout autre niveau. Ajoutons à cela qu'une fois vérifié on n'a plus besoin d'y revenir de long-temps, à moins de quelque

Avantages de ce niveau.

accident. Tous ces avantages lui ont fait donner la préférence dans les ponts et chaussées où il est généralement adopté. Nous allons en donner la description et en faire connaître toutes les parties.

Règle et genou.

Fig. 26.

97. La règle AB (fig. 26) et le genou à platine C sont les mêmes dans ce niveau que dans celui à bulle d'air et à pinnules détaillé dans le § précédent et représenté par la figure 18.

Coussinets de la lunette.

98. Les deux plaques D et E diffèrent de celles du niveau à bulle d'air et à pinnules, ainsi qu'il suit :

1.° Elles sont pleines et ne portent point de chassis.
2.° Elles sont échancrées en demi cercle par le haut pour recevoir le tuyau d'une lunette. En conséquence cette échancrure doit avoir le même diamètre que le tuyau qu'elle doit recevoir.

3.° Elles portent chacune un collier dans la partie supérieure. Ce collier est destiné à embrasser le tuyau de la lunette et à l'arrêter dans l'échancrure de la plaque qui prend alors le nom de *coussinet* de la lunette. Il forme un demi cercle qui tient au *coussinet* par une charnière à un bout et par un ressort à l'autre.

4.° L'un des deux *coussinets* ne tient à la règle que par le moyen d'une vis à l'aide de laquelle on peut le hausser ou le baisser, et avec lui hausser ou baisser le bout correspondant de la lunette.

Lunette et dépendances.

99. La lunette GH n'a que deux verres convexes, l'objectif et l'oculaire; par conséquent elle fait paraître les objets renversés. Mais on s'y accoutume bientôt. Sa longueur excède ordinairement de 15 centimètres celle de la règle AB, indépendamment du petit tuyau qui porte l'oculaire et qu'on peut allonger ou raccourcir au besoin suivant l'intensité de la vue de l'Ingénieur.

Outre

Outre cela, pour être adaptée au niveau elle doit réunir les qualités suivantes.

1.° Elle doit avoir deux anneaux ou bourrelets saillans et adhérens au tuyau dont les bords extérieurs soient entre eux à la même distance que les coussinets. Ces deux anneaux sont destinés à empêcher que la lunette ne se porte ni en avant ni en arrière, et à la fixer constamment dans la même position.

2.° A chacun de ces anneaux tient une goupille *a* de demi-centimètre de hauteur ou environ. Ces deux goupilles sont placées l'une au-dessus et l'autre au-dessous de la lunette et dans le même plan vertical passant par l'axe de la lunette prise dans la position où elle est lorsqu'on opère. Ces goupilles sont destinées à être arrêtées par une vis horizontale *b* placée sur la face intérieure de chaque coussinet et servant de talon pour les fixer au point convenable aux fils dont nous allons parler.

3.° Entre l'oculaire et l'objectif et près de l'oculaire il doit y avoir un chassis portant deux cheveux ou deux fils de soie qui se coupent à angles droits. L'un des deux doit être vertical et conséquemment dans le plan où se trouvent les deux goupilles dont nous venons de parler. L'autre au contraire sera horizontal. Ce chassis communiquera à l'extérieur par une vis *c* sur le prolongement du fil horizontal. Par le moyen de cette vis on pourra imprimer au chassis un mouvement horizontal et faire prendre telle position qu'on voudra au fil vertical.

4.° L'objectif sera pareillement porté par un chassis qui pourra se mouvoir verticalement par le moyen d'une vis *d* placée dans le plan des goupilles dont nous venons de parler.

Tube à bulle d'air.

100. Le tube du niveau à bulle d'air KL doit être adhérent à la lunette. On peut le placer indistinctement au-dessus ou au-dessous. Mais la position au-dessus est préférable, à cause qu'on suit plus aisément les mouvemens de la bulle.

Ce tube tient au tuyau de la lunette par une charnière à son extrémité K et par une vis *f* à l'extrémité L. C'est par le moyen de cette vis qu'on peut hausser ou baisser le tube suivant le besoin.

Conditions nécessaires à son usage.

101. Pour pouvoir faire usage de ce niveau, il faut les conditions suivantes :

1.° L'intersection des fils doit se trouver dans l'axe même de la lunette.

2.° Lorsque le niveau est monté, l'un des fils doit être exactement horizontal et l'autre vertical.

3.° Le plan MM des platines du genou, l'axe de la lunette GH et le tube KL de la bulle d'air doivent être entr'eux dans un exact parallélisme.

Avec ces conditions on peut tourner la lunette dans tous les sens, et l'on doit être persuadé que tous les rayons de visée seront de niveau, ainsi que la chose est évidente par elle-même.

Portée des stations de ce niveau.

102. La portée de ce niveau dépend de la bonté de la lunette. Cependant elle doit avoir des bornes, et ces bornes sont prescrites par la nature et l'exactitude des opérations.

1.° Nous verrons plus bas qu'il y a des signaux de convention à faire, pour que le piqueur qui est placé à la mire puisse hausser ou baisser convenablement le carton. Or si l'on opère à une trop grande distance, il y aura de la confusion dans l'exécution des signaux qui souvent ne seront pas assez exactement distingués par le porte-mire.

2.° Dans le même cas la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent deviendra considérable (27 et 28). Il faudra donc faire des réductions à chaque coup de niveau. Ces réductions (33-35) dépendent de calculs longs et difficiles. Elles absorberont par conséquent plus de temps qu'on n'en pourrait gagner par de grands coups de niveau.

Aussi il paraît d'après cela qu'on doit borner la portée de ce niveau à environ 200 mètres; ce qui donnera pour chaque station à-peu-près 400 mètres, dont la moitié arrière et l'autre moitié avant.

103. Il arrive quelquefois que le genou du niveau, au lieu d'être à platine, est tel que nous l'avons décrit aux N.°s 94 et 95. Une pareille construction ne doit pas être admise dans le niveau dont nous parlons d'après les raisons que nous en avons données sous les mêmes N.°s

Le genou à platine doit être seul adopté.

SECTION IV.

Des autres instrumens nécessaires au nivellement.

104. Il ne suffit pas d'un niveau pour niveller. Il faut encore divers instrumens accessoires, tels que des jallons pour tracer la route sur laquelle on doit opérer; un jallon-mire pour prendre les hauteurs du rayon de visée; une chaîne métrique pour mesurer les distances, des fiches pour marquer les longueurs de chaîne, etc. Tous ces divers instrumens doivent avoir des qualités particulières que nous allons faire connaître.

Quels sont ces instrumens.

§. I.

Des jallons et des piquets.

Description des jallons.

105. Dans un nivellement quelconque on a toujours une route à suivre, et cette route est désignée par l'objet qu'on se propose. Ainsi s'il s'agit, par exemple, du nivellement du tracé d'un chemin, d'un canal, etc. c'est la ligne de ce tracé qu'il faut suivre dans tout son cours et avec ses sinuosités. Il faut donc marquer les divers points par lesquels on doit passer et auxquels la direction change, pour pouvoir s'y diriger dans la mensuration à la chaîne.

Pour marquer ces divers points on se sert de longs bâtons bien droits d'environ deux mètres de longueur sur trois centimètres de diamètre, ou à-peu-près. On les arme d'un petit sabot en fer par un bout, pour pouvoir les ficher en terre. L'autre bout est fendu pour recevoir au besoin un carton ou quelque chose de blanc qui le fasse distinguer. Ce sont ces bâtons qu'on appelle des *jallons*.

Nombre des jallons nécessaires dans le nivellement.

106. Le nombre de jallons à employer dans les opérations du nivellement dépend de celui des sinuosités de la ligne à parcourir. Car devant surtout être plantés aux angles de déviation, il est visible que plus la ligne sera brisée, plus il en faudra. Cependant nous pouvons assurer d'après une assez longue expérience, qu'en général il ne faut pas plus de sept ou huit jallons sur la ligne la plus sinueuse, et qu'en plaine trois ou quatre au plus suffisent.

De quel bois ils doivent être faits.

107. Les jallons devant être portés avec les autres instrumens à la campagne par les piqueurs, on sent

qu'il est à propos d'en diminuer le poids le plus qu'il sera possible. En conséquence il convient de ne les faire qu'avec du bois léger, pourvu qu'il ait d'ailleurs assez de consistance pour supporter le sabot de fer et pour être planté en terre.

108. On doit laisser des marques visibles, non seulement aux angles où l'on aura placé des jallons, mais encore aux points qu'on prendra pour repères. Pour cela on y plantera des piquets. Lorsqu'on opère dans un pays où l'on est assuré que ces piquets ne seront pas enlevés, on leur donne un mètre de longueur et on les enfonce du tiers ou de la moitié, pour pouvoir les appercevoir d'une certaine distance. Mais lorsqu'on a à craindre la méchanceté des mal-intentionnés ou le génie destructeur des enfans, on ne leur donne qu'environ 35 centimètres et on les enfonce à plein. On se contente alors de placer à côté un petit tas de terre ou de pierres pour les retrouver.

Piquets à planter aux angles et aux repères.

§ II.

De la mire et de son carton.

109. Outre les jallons dont nous venons de parler, il y en a un spécialement affecté à prendre la hauteur des rayons de visée au-dessus des points nivelés. Ce jallon s'appelle *jallon de mire*, ou *jallon-mire*, ou simplement *mire*. La *mire* doit être accompagnée d'un *carton*, et leur construction influe beaucoup sur la précision des opérations. Nous allons décrire d'abord la forme de la *mire*; et ensuite nous parlerons de celle de son *carton*.

La construction de la mire influe beaucoup sur l'exactitude des nivellemens.

Construction de la
mire principale.

110. La mire est une forte règle de bois dur et bien sec. Sa hauteur doit être de deux mètres seulement, pour que le piqueur qui y sera placé puisse facilement en atteindre la partie supérieure. Sa largeur ne doit pas être moindre que six centimètres, et son épaisseur doit au moins égaler la moitié de sa largeur. Elle sera creusée et évuidée en *queue d'hyronde* dans toute la longueur de face qui doit être tournée du côté du niveau.

Fig. 27.

Soient ABCD (*fig. 27*) la coupe de la mire faite d'équerre à la longueur, EFGH l'évuidement à *queue d'hyronde*, et KL la ligne de milieu. Cet évuidement ne doit pas trop démaigrir ni affaiblir la mire. D'autre part étant destiné à recevoir lui-même une mire *additionnelle* ou *supplémentaire*, ainsi que nous allons voir, il doit avoir des dimensions assez considérables pour que cette dernière ne fléchisse pas. Enfin le rapport de GH à EF doit être tel que cette dernière ne puisse pas sortir de l'évuidement qui la recevra.

En conséquence on fera $KE = KF = \frac{1}{4} AB$; $MG = MH = \frac{1}{3} NP$; et $KM = ML = \frac{1}{2} KL$. C'est-à-dire :

1.° Que la petite largeur EF qu'on appelle *le collet de la queue d'hyronde* sera la moitié de la largeur AB de la mire.

2.° Que la grande largeur GH ou l'extrémité de la queue d'hyronde sera les deux tiers de la largeur AB de la mire.

3.° Que la profondeur KM ou la longueur de la queue d'hyronde depuis le collet jusqu'à l'extrémité, sera la moitié de l'épaisseur KL de la mire.

Moyen d'empêcher
qu'elle ne se raccour-
cisse par embas.

111. La partie inférieure de la mire devant dans les opérations porter continuellement sur le sol, il est visible que son extrémité s'usera insensiblement et que par

conséquent sa longueur diminuera ; ce qui portera inévitablement atteinte à l'exactitude des résultats. Pour obvier à cet inconvénient et conserver toujours la même longueur de mire, on couvrira la partie inférieure d'une plaque de fer ou de cuivre qui portera tant sur le plein que sur le vuide à queue d'hyronde, et qui sera fortement arrêtée avec des vis à tête perdue.

112. Nous verrons bientôt que l'extrémité supérieure, quoique exposée à de moindres dégradations, pourra néanmoins s'altérer jusqu'à un certain point par l'action de la partie supérieure de la mire supplémentaire qui doit occuper le vuide à queue d'hyronde. En conséquence il sera à propos de couvrir aussi d'une pareille plaque semblablement arrêtée toute la partie pleine de cette extrémité.

Même moyen pour en empêcher le raccourcissement par en haut,

113. Au surplus les deux plaques dont nous venons de parler doivent faire partie de la longueur de deux mètres affectée à la mire (110). Ainsi si chacune de ces plaques a, par exemple, 3 millimètres d'épaisseur, la longueur de la partie en bois sera = $2 - 0,006$, ou = $1,994$.

Observation sur la longueur absolue de la partie en bois.

114. D'après la forme EFGH (*fig. 27*) de la queue d'hyronde, on voit quelle doit être la forme de la mire supplémentaire qui doit l'occuper. Cette mire additionnelle sera faite du même bois que la première. Sa section d'équerre à sa longueur sera la même que la queue d'hyronde, en ayant soin néanmoins de la démaigrir légèrement pour qu'elle puisse s'y mouvoir avec facilité. Sa longueur sera égale à celle de la mire principale, moins l'épaisseur de la plaque inférieure (111, 112). Mais supérieurement à la mire principale elle sera surmontée d'une partie dont la largeur et l'é-

Construction de la mire additionnelle.

Fig. 27.

paisscur seront les mêmes que pour cette dernière supposée sans évuidement. Cette partie étant destinée à recevoir le carton, lorsqu'on a recours à la mire supplémentaire, aura la même hauteur ou à-peu-près que ce carton.

Développement de la construction de ces deux mires.

Fig. 28 et 29.

115. Pour rendre plus sensible tout ce que nous venons de dire au sujet de la mire tant principale que supplémentaire, rapportons la figure 27 aux figures 28 et 29, et employons-la pour tracer la forme de ces deux mires vues chacun de face et séparément. Mais comme la mire en proportion de la longueur avec la section d'équerre exigerait un espace considérable, supposons dans chacune des deux une brisure égale en K et M.

Dans la figure 28, LOPQ représente l'ouverture du collet de l'évuidement à queue d'hyronde de la mire principale, tandis que la partie pleine est exprimée par NLQR et OTSP. La plaque mentionnée au N.° 111 est représentée par *abTN*, et celle portée par le N.° 112 par *cdQR* et *fgSP*.

Sur la figure 29, LOPQ représente le collet plein de la queue d'hyronde dans la mire supplémentaire, tandis que NLQR et OTSP expriment la projection verticale de son évusement. La partie supérieure VZYX représente la partie vue de face qui doit porter le carton lorsqu'on fait usage de la mire supplémentaire.

Observation à ce sujet.

116. On peut remarquer d'après tout cela que lorsque la mire additionnelle occupe l'évuidement à queue d'hyronde de la mire principale, les deux mires réunies l'une dans l'autre n'en offrent qu'une seule, savoir, la mire principale sans vuide et qui outre sa longueur de deux mètres est surmontée de la partie destinée à recevoir le carton lorsqu'on emploie la mire additionnelle. Ce n'est

n'est que lorsqu'on fait monter cette dernière pour augmenter la hauteur de la première que l'évoidement se découvre.

117. Pour élever la mire additionnelle et allonger la mire principale, on se sert d'un collier de fer ou de cuivre ABCD (*fig. 30*) composé d'une seule plaque d'environ quatre centimètres de hauteur et quatre millimètres d'épaisseur. Ce collier doit embrasser la mire principale et être arrêté par une vis *ab* à l'extrémité inférieure et sur la face antérieure de la mire additionnelle. Sur la partie postérieure est une autre vis assez forte E à tête plate et d'environ six centimètres de longueur pour pouvoir être tournée sans peine à la main et servir en même-tems de poignée pour monter et descendre la mire additionnelle. Enfin sur la partie CD et intérieurement à l'anneau se trouve une lame élastique DcC.

Par le moyen de ce collier qui n'est attaché qu'à la mire additionnelle, on voit que quand on veut hausser cette dernière pour allonger la mire principale, on n'a qu'à soulever la vis à tête plate E servant alors de poignée; et lorsqu'on est parvenu à la hauteur requise, on tourne cette vis dont l'extrémité pressant la partie postérieure de la mire principale, arrête la mire additionnelle à la hauteur qu'on veut.

La lame élastique DcC a le double objet de modérer les mouvemens de la mire additionnelle en embas, et d'empêcher que le bout de la vis E ne dégrade le derrière de la mire principale.

118. Ce collier dont nous venons de parler devant se mouvoir sur toute la hauteur de la mire principale, on sent qu'il est nécessaire qu'il y ait un petit vuide entre l'un et l'autre, pour que le mouvement ne soit point

Collier attaché au bas de la mire additionnelle.

Fig. 30.

Division de la mire principale.

Jeu à donner à ce collier.

Disposition des chiffres divisaires.

géné. La chose est d'autant plus nécessaire, que par les temps humides le bois se gonfle et se dilate. L'expérience prouve que AD et AB prises dans œuvre doivent excéder au moins d'un millimètre et demi les dimensions correspondantes de la mire principale, pour fournir le jeu nécessaire à la hausse et à la baisse.

Division de la mire principale.

119. Venons à présent à la division des mires tant principale qu'additionnelle, et commençons par la première. Nous devons prévenir nos lecteurs, que le défaut d'espace du papier ne nous permet point, dans les figures, de mettre les longueurs en proportion avec les largeurs. Cependant comme il ne s'agit ici que de faire connaître le mode de division, l'imagination suppléera aisément à ce qui y manquera.

Fig. 31.

Soit ABCD (fig. 31) la face antérieure de la mire principale, jointe à la mire supplémentaire contenue dans l'évidement à queue d'hyronde. La partie DEFG étant destinée à porter le carton lorsqu'on élève la mire additionnelle à laquelle elle est adhérente, doit être considérée comme étrangère à la mire principale dont la vraie longueur est exprimée par AE ou BF. Il s'agit de diviser dans sa longueur AE la face ABFE en mètres, décimètres et centimètres, de manière qu'il n'y ait aucune confusion et qu'il ne puisse pas y avoir d'équivoque en prenant les hauteurs de mire. Nous verrons ensuite comment on aura aussi les millimètres et les demi-millimètres.

Nous avons déjà dit (110) que la hauteur de la mire principale devait être de deux mètres. Ainsi AE sera = 2 mètres. On divisera également en deux la hauteur AE en Q et l'on aura AQ = QE = un mètre. L'on tirera la ligne d'équerre QR sur toute la largeur, et elle désignera

la hauteur d'un mètre au-dessus de AB, tandis que EE désignera celle de deux mètres.

On divisera ensuite chacune des lignes AQ et QE en dix parties égales, et par les points de division on tirera des traits d'équerre qu'on renfermera entre les deux lignes KG et LH qui marquent les deux bords du collet de l'évoidement à queue d'hyronde ou la partie visible de la mire additionnelle. Ainsi ces lignes ne porteront que sur la face antérieure de la mire supplémentaire occupant d'un bout à l'autre l'évoidement à queue d'hyronde, et elles désigneront les décimètres. Elles seront telles que *ab* et *cd*, auxquelles nous nous bornons pour éviter la confusion.

Sur la face antérieure de la mire additionnelle, on tirera les deux lignes OM et PN parallèles entr'elles, et également distantes des lignes KG et LH respectivement. On divisera chaque décimètre en dix parties égales, et par les points de division on tirera des traits d'équerre tels que *fg* et *hk*, qui ne sortiront pas de l'espace compris entre OM et PN. Ces traits exprimeront des centimètres.

Ainsi les mètres seuls porteront sur la mire principale, tandis que les décimètres et les centimètres ne seront tracés que sur la face antérieure de la mire additionnelle.

Au reste en effectuant cette division on doit observer qu'il est essentiel que le bout inférieur de la mire additionnelle touche immédiatement la plaque *mn* qui couvre l'extrémité inférieure de la mire principale, et dont nous avons parlé plus haut (111).

120. Les mètres doivent être marqués en chiffres romains de cuivre enfoncés dans le bois, les décimètres

Disposition des chiffres divisoires.

au contraire et les centimètres ne doivent l'être qu'en chiffres arabes gravés au poinçon. En général tous les chiffres qui désignent soit les mètres soit leurs parties, doivent être placés savoir : les premiers sur les lignes même de division, et les seconds au droit et vis-à-vis de leurs divisions respectives.

Les chiffres qui désigneront les mètres seront placés sur la bande à gauche AKGE; ceux qui indiqueront les décimètres seront gravés sur la bande à droite LBFH; et ceux qui marqueront les centimètres le seront sur la bande à gauche KOMG. Par ce moyen il n'y aura point de confusion.

Ordre suivant le-
quel on les placera.

121. Les diverses divisions étant destinées à faire connaître la hauteur du rayon de visée au-dessus du point sur lequel la mire est établie; il est évident que sur la mire principale toutes les divisions doivent se rapporter à la ligne AB.

Ainsi 1.° on placera le chiffre romain I sur la ligne QR. Il ne sera pas nécessaire de placer le nombre II sur la ligne EF, à cause qu'elle termine la mire principale, qu'on sait (110) avoir deux mètres de hauteur.

2.° A partir de la ligne AB on placera sur la bande LBFH au droit de chaque division de décimètre les nombres 1. 2. 3. etc jusqu'à 9 qui aboutira à un décimètre au dessous de QR. On fera la même chose au-dessus de cette ligne.

3.° Partant toujours de la ligne AB on marquera sur la bande KOMG les chiffres 1. 2. 3. etc. jusqu'à 9 au droit des divisions centimétriques comprises dans le premier décimètre, et on répétera cette opération sur toutes les divisions comprises dans les décimètres suivans.

122. Passons à la division de la mire additionnelle. Les divisions à marquer sur cette mire et dont on fait usage lorsqu'on la hausse pour prolonger la mire principale sont les mêmes que pour cette dernière; c'est-à-dire qu'elles sont exprimées en mètres, décimètres et centimètres. Mais il y a ceci de particulier, savoir : 1.^o qu'au lieu de les marquer sur la face antérieure on les marquera sur la face postérieure; 2.^o qu'au lieu de porter les nombres divisaires 1, 2, 3, etc., de bas en haut, on les porte au contraire de haut en bas.

Cet ordre est inverse dans la mire additionnelle.

123. Dans la figure 32, ABCD représente la partie postérieure de la mire additionnelle et répondant à la ligne HG (fig. 29). La partie supérieure et en saillie EFGH qui lui est adhérente est celle qui reçoit le carton. A égales distances de AD et de BC respectivement on tirera 1.^o les deux lignes OK et PL; 2.^o les deux autres QM et RN.

Division de la mire additionnelle.

Fig. 32.

Cela fait on prendra DS égale à un mètre, et par le point S on tirera d'équerre le trait ST sur toute la largeur de la mire. On divisera ensuite DS en dix parties égales ou en décimètres, et par chaque point de division on tirera des traits d'équerre qui ne seront marqués que sur la partie comprise entre les deux lignes OK et PL, comme, par exemple, les lignes *ab* et *cd*. Les divisions décimétriques seront aussi portées de S vers A et marquées de même. Mais la dernière tombera au-dessous du point A, ainsi qu'on peut s'en convaincre par ce qui a été dit plus haut (114). Chaque division décimétrique sera divisée en dix parties égales ou en centimètres, et vis-à-vis de chaque point de division on tirera des traits d'équerre qui ne seront marqués, comme *fg* et *hk*, que sur l'espace compris entre les deux lignes intérieures QM et RN.

Disposition des
chiffres divisaires
sur cette mire.

124. Pour placer convenablement les chiffres divisaires, on s'y prendra de la manière suivante.

1.° Sur la partie de la ligne ST comprise entre les lignes AD et OK on marquera en chiffres romains le nombre III, ainsi qu'il a été dit ci-dessus (120).

2.° Sur la bande entre BC et PL on marquera au poinçon les chiffres arabes 1, 2, 3, etc., jusqu'à 9 au droit des divisions décimétriques tant au-dessus qu'au-dessous de ST, en commençant par le haut, ainsi que nous l'avons dit (122. 2.°).

3.° On marquera de la même manière les mêmes chiffres dans la bande entre OK et QM, au droit et vis-à-vis des divisions décimales de chaque décimètre.

La raison pour laquelle on marque les chiffres en descendant est, qu'en élevant la mire additionnelle, on augmente la hauteur du rayon de visée de toute la partie qui excède la mire principale. Or dans ce mouvement d'ascension la première division supérieure paraît avant la seconde, celle-ci avant la troisième; et ainsi de suite.

Construction du
carton de mire.

125. Jusqu'à présent nous avons expliqué la construction de la mire tant principale qu'additionnelle. Il nous reste à parler de celle *du carton de mire*.

La mire telle que nous venons de la décrire avec toutes ses divisions, est destinée à prendre la hauteur du rayon de visée au-dessus du point où elle est placée. Mais pour cela il faut fixer sur cette mire le point auquel ce rayon aboutit.

Pour cela on emploie une feuille rectangulaire de fer ou de cuivre d'environ 22 centimètres de largeur sur 18 centimètres de hauteur. Sa forme est représentée par le rectangle ABCD (*fig. 33*). Par les deux lignes EF et GH passant par le centre K et menées parallèlement aux

Fig. 33.

côtés, on le partage en quatre rectangles égaux, lesquels pris deux à deux sur la diagonale, sont alternativement blancs et noirs. C'est cette feuille de fer ou de cuivre ainsi travaillée qu'on appelle *carton de mire*, à cause que dans bien des occasions et faute de matière, on se sert d'un carton.

Cette division est fondée sur les raisons suivantes. Dans les opérations le carton dont nous parlons doit se mouvoir le long de la mire parallèlement à lui-même et de manière que la ligne EF soit toujours horizontale. Dans ce mouvement il doit s'arrêter et être fixé au point de la mire où il se trouve lorsque le rayon de visée aboutit exactement à la ligne EF.

Mais dans les niveaux bien conditionnés, le rayon de visée est déterminé par l'intersection de deux fils qui se coupent à angles droits et dont l'un est horizontal (90° et $99^\circ 3'$).

Donc ce dernier fil doit se confondre avec EF lorsque le rayon de visée passera par cette ligne; et c'est cette parfaite coïncidence que la forme du carton de mire doit faire connaître sans équivoque.

Supposons qu'à l'imitation de ce qui se pratique assez souvent, et même de ce qui est prescrit au N.º 30 du traité de nivellement de Picard, les rectangles blancs et noirs ne soient point alternatifs, mais du même côté, et qu'en conséquence la partie inférieure EDCF soit entièrement noire et la partie supérieure EFBA entièrement blanche. Le fil horizontal ne paraît sur le carton de mire que lorsqu'il porte sur le blanc et il cesse d'être visible quand il porte sur le noir. Il faut donc saisir le moment du passage du blanc au noir, et c'est ce qui est assez difficile.

Au contraire dans la construction que nous présente

la figure 33, si l'immersion du fil horizontal dans un des rectangles noirs, par exemple, dans KHCF est trop forte, elle deviendra sensible dans le rectangle blanc latéral EDHK, et la parfaite coïncidence de ce fil avec la ligne EF aura lieu lorsqu'il ne paraîtra ni sur EDHK ni sur GKBF; ce qui est toujours beaucoup plus aisé à distinguer.

Tuyau postérieur
adhérent au carton.

126. Sur le derrière et au milieu du carton de mire est un tuyau vertical adhérent. Ce tuyau est en fer ou en cuivre. Il est rectangulaire. Ses dimensions transversales intérieures sont les mêmes respectivement que celles transversales de la mire principale qu'il est destiné à emboîter et le long de laquelle il doit se mouvoir. On observera néanmoins de donner un peu de jeu pour faciliter ce mouvement, surtout lorsque par un temps humide le bois de la mire principale se gonfle.

Sur la hauteur de la face postérieure et intérieure de ce tuyau est une lame élastique un peu bombée et destinée à presser sur le derrière de la mire principale, pour empêcher que le carton de mire ne descende par son propre poids, et que la vis dont nous allons parler ne dégrade la même mire.

Au milieu de sa hauteur et sur le côté postérieur ce même tuyau porte une vis à tête plate et dont l'extrémité sert à presser la lame élastique contre le derrière de la mire principale et à arrêter d'une manière fixe le carton de mire à la hauteur qu'on veut.

Fig. 34 et 35.

La figure 34 représente la coupe du carton de mire de la figure 33 suivant la ligne EF; et la figure 35 exprime la même coupe suivant la ligne GH. Leur inspection seule suffit pour rendre sensible ce que nous venons de dire au sujet du tuyau dont il s'agit.

127. On

127. On voit par ce qui précède qu'il y a trois parties qui entrent dans la mire, savoir: 1.° la mire principale; 2.° la mire supplémentaire ou additionnelle; 3.° le carton de mire. Nous avons donné la description de chacune de ces trois parties. Nous allons à présent dire un mot sur la manière de les assembler pour pouvoir s'en servir dans les opérations. Nous y reviendrons plus bas, et nous entrerons dans de plus grands détails à ce sujet.

Comment on se sert de la mire dans les nivellemens.

L'usage de la mire et de ses dépendances renferme deux cas. Le premier est celui où le rayon de visée ne s'élève pas au-dessus du sol sur lequel la mire est établie, d'une quantité qui excède deux mètres (hauteur de la mire principale), plus la moitié de celle du carton.

Le second est celui où le rayon de visée est plus élevé que cette quantité.

1.° Dans le premier cas, on enferme d'abord la mire additionnelle dans l'évoidement à queue d'hyronde de la mire principale, de manière que l'extrémité inférieure de la première, touche immédiatement la plaque qui termine (111) la partie inférieure de la seconde, évitant que dans l'entre-deux il ne se glisse de la terre, de petites pierres ou d'autres corps étrangers quelconques. Dans cette position les deux mires réunies n'en formeront plus qu'une représentée par la figure 31.° On doit observer alors de bien visser le collier de la partie inférieure de la mire additionnelle (117).

On introduit ensuite la partie supérieure de ces deux mires réunies dans le tuyau du carton de mire, de manière que le devant du carton réponde au devant de la mire. On fait glisser le carton le long de la mire; et lorsqu'il est parvenu au point où la ligne horizontale du milieu rencontre le rayon de visée, on l'arrête par le moyen de la vis postérieure.

En cet état la véritable hauteur du rayon de visée est du milieu de la hauteur du carton à l'extrémité inférieure de la mire. Mais dans les nivellemens on se borne à prendre la hauteur du bord inférieur du carton. Nous en verrons plus bas la raison.

Fig. 31.

2.^o Dans le second cas on fixe à vis le carton sur la partie EDCE (fig. 31) adhérente à l'extrémité supérieure de la mire additionnelle (114). Il faut avoir soin dans cette opération que le bord inférieur du carton affleure exactement la ligne EF formant l'extrémité supérieure de la mire principale.

Cela fait, on dévisse le collier de l'extrémité inférieure de la mire additionnelle qu'on hausse jusqu'à ce que la ligne horizontale du milieu du carton rencontre le rayon de mire. Alors on fixe à ce point la mire additionnelle.

La hauteur réelle du rayon de visée est composée dans ce cas 1.^o de la hauteur de la mire principale qui (110) est de 2 mètres; 2.^o de la longueur de la partie de la mire additionnelle qui excède l'extrémité supérieure de la mire principale; 3.^o enfin de la moitié de la hauteur du carton. Mais dans le nivellement on ne prend que les deux premières quantités et on néglige la troisième, ainsi que nous verrons ailleurs. On doit seulement observer que la mesure de la seconde quantité se prend sur le derrière de la mire additionnelle.

Moyen de connaître les millimètres et les parties de millimètre dans les hauteurs de mire.

128. Nous avons vu (119 et 123) que la division des deux mires n'avait été poussée que jusqu'aux centimètres. Cependant l'exactitude des opérations n'admet pas des approximations aussi grossières. Elle exige au contraire qu'on puisse tenir compte des millimètres et même des parties de millimètre. En conséquence nous allons donner le moyen d'y parvenir dans les deux cas dont nous venons de parler,

1.° Dans le premier cas, on attachera au-dessous du carton ABCD (*fig. 33*), la petite lame de cuivre HL telle que la partie qui débordé au-dessous de DC soit exactement d'un centimètre. Cette lame sera divisée longitudinalement en deux parties. Celle à droite sera taillée en biseau et divisée très-exactement en dix parties égales, en ayant soin d'allonger un peu le trait de la cinquième division, pour en faciliter l'énumération. Le bord de cette partie sera sur le prolongement de GH.

Fig. 33.

2.° Dans le second cas, cette petite lame doit être enchassée dans le bois de la mire principale sur le derrière de la partie supérieure. Elle se mouvra par le moyen d'un bouton de manière qu'elle ne puisse saillir que d'un centimètre.

Au moyen de ce *nonius*, on connaîtra le nombre de millimètres s'il y en a ; et même on pourra apprécier les parties de millimètre qu'on jugera à l'œil.

Ce que nous venons de dire suffit pour le présent. Nous parlerons plus amplement ailleurs de tout ce qui se rapporte à la manœuvre de la mire.

§ III.

De la chaîne à mesurer les distances.

129. Dans toutes les opérations de nivellement on a essentiellement besoin de mesurer les distances, soit pour régler les pentes, soit pour profiler le terrain nivelé, soit pour rapporter les opérations sur le papier. On sent que pour cela il faut des mesures connues, évaluées en mètres, mais beaucoup plus longues que le mètre ; car en employant de petites mesures, outre qu'on

Quelles mesures on doit employer pour les distances.

perdrait du tems à l'infini, on s'exposerait encore à beaucoup d'erreurs. Ainsi dans les petites opérations de nivellement on doit employer des mesures de 10 mètres et dans les grandes des mesures de 20.

Les cordons ne peuvent pas être employés.

130. Il semble au premier coup d'œil que le moyen le plus simple serait d'employer un cordeau sur lequel on marquerait tous les mètres que contiendrait sa longueur. Ce cordeau aurait l'avantage de pouvoir, lors des opérations, être roulé en peloton et d'être peu volumineux, fort léger et peu embarrassant. Mais aussi on doit observer qu'il a le désavantage de s'allonger ou de se raccourcir, suivant qu'il est plus ou moins tendu et selon que le temps est plus sec ou plus humide. Par conséquent, les cordons ne peuvent point servir à cet usage.

On ne peut se servir que d'une chaîne.

131. La seule mesure qui n'ait pas ces défauts et qu'on puisse employer dans ces opérations, est une chaîne composée de plusieurs chaînons de gros fil de fer assemblés et joints entr'eux par des anneaux. Une pareille chaîne n'est pas susceptible de s'allonger ni de se raccourcir, et les mesures qu'on prendrait par ce moyen seraient sûres. Cependant pour donner toute la précision dont on a besoin, elle exige d'être construite avec soin. Nous allons entrer dans quelques détails au sujet de sa construction.

Grosseur du fil de fer et forme des anneaux de la chaîne.

132. Le fil de fer dont on se servira pour cette construction ne doit pas avoir moins de quatre millimètres d'épaisseur. Les anneaux servant à joindre les chaînons seront construits avec du fil de même grosseur; ils seront de forme ovale, car s'ils étaient circulaires, par la tension ils deviendraient insensiblement ovales; ce qui augmenterait la longueur de la chaîne. C'est pour cette

raison qu'il faut que leur forme soit une ovale la plus allongée ou la plus excentrique qu'il sera possible.

133. Les bouts des chaînons seront recourbés après avoir passé dans les anneaux. Mais il faut de plus qu'au-dessous de la courbure le fil soit tortillé à plusieurs tours. Sans cette précaution la partie formant crochet n'étant pas arrêtée, s'allongerait aussi peu-à-peu à mesure qu'on tendrait la chaîne; ce qui en altérerait les dimensions.

Forme du bout des chaînons.

134. Pour pouvoir commodément mesurer avec la chaîne, il faut qu'à chacune de ses extrémités il y ait une poignée dans laquelle le porte-chaîne puisse passer la main. Cette poignée aura la forme d'un triangle équilatéral ABC (fig. 36). AB sera la poignée. Sa longueur sera d'un décimètre, et son diamètre au moins de sept millimètres, pour qu'elle ne plie pas en tendant la chaîne. AC et BC auront aussi la même épaisseur, et à l'angle C il y aura un anneau auquel sera attaché le premier chaînon.

Forme et dimensions des poignées des deux à-bouts.

Fig. 36.

135. Dans les chaînes de 20 mètres de longueur, les chaînons auront celle de demi-mètre à mesurer entre les points de milieu des deux anneaux contigus. Dans les deux chaînons extrêmes cette longueur se composera 1.° de celle de la moitié de l'anneau adjacent; 2.° de celle du chaînon; 3.° de celle de la perpendiculaire menée du bout du chaînon passant par C au bord extérieur du côté AB de la poignée.

Longueur des chaînons.

Dans les chaînes de 10 mètres les chaînons n'auront que 25 centimètres de longueur mesurée de même que dans la précédente. Quant aux chaînons extrêmes, cette longueur se composera ainsi que dans celle dont nous venons de parler.

Moyen de faciliter
le compte des mètres
d'une chaîne.

136. Comme il est essentiel de pouvoir facilement distinguer les mètres et leur nombre sur la chaîne, il est indispensable d'employer des anneaux de cuivre à chaque mètre.

Lorsqu'une chaînée est incomplète, pour faciliter la connaissance du nombre de mètres, il est nécessaire de placer certaines marques sur la longueur de la chaîne. En conséquence dans les chaînes de 20 mètres on joindra un anneau flottant aux divisions de 5 et 15 mètres, et l'on en joindra deux à la division de 10 mètres.

Dans la chaîne de 10 mètres on se contentera d'employer un seul anneau flottant à la division du milieu.

Description des fi-
ches en fer.

137. Nous verrons plus bas que dans les mensurations lorsque la chaîne est tendue, le porte-chaîne de l'avant doit laisser une pointe fichée en terre qui fasse connaître l'endroit où se termine la chaînée, et dont le nombre recueilli par le porte-chaîne de l'arrière indique celui des chaînées. L'usage est d'employer dix de ces pointes qui, destinées à être fichées en terre, prennent le nom de *fiches*. Leur longueur est d'environ 3 décimètres, et leur grosseur la même que celle du fil des chaînons (132). Elles sont en fer et pointues par un bout pour pouvoir entrer dans la terre. L'autre bout est recourbé et forme un anneau dans lequel on passe une ficelle ou un grand anneau en spirale, pour les assembler hors les opérations, et les empêcher de s'égarer.

§ IV.

Des autres objets nécessaires au nivellement.

Autres objets néces-
saires.

138. Outre les instrumens dont nous avons fait mention jusqu'à présent, il y a quelques outils dont il est

nécessaire de se munir dans les opérations. Nous allons succinctement les faire connaître.

139. Nous avons parlé (108) des piquets à planter aux angles et aux endroits qu'on prendra pour repères. Ces piquets peuvent manquer dans la journée pendant l'opération. Il faut donc pouvoir en préparer au besoin sur les lieux. En conséquence il est à propos de se munir d'une petite hache pour s'en servir à cet effet, ainsi que pour abattre la broussaille qui gêne quelquefois les opérations.

Petite hache.

140. Nous verrons plus bas que dans le nivellement il faut par intervalles se rapporter à des repères fixes et immuables, et que ces repères doivent être marqués par des croix ou d'autres figures qu'on taille sur le rocher ou sur la pierre dans les ouvrages d'art. Il faut donc avoir pour cet objet un ciseau de tailleur de pierre.

Ciseau de tailleur de pierre.

SECTION V.

Observations sur le transport des instrumens nécessaires au nivellement.

141. Le niveau soit d'eau soit à bulle d'air, doit être enfermé dans une boîte construite de manière que l'instrument ne puisse pas s'y agiter, et que tous les endroits où il touchera soient garnis en velours ou en autre étoffe équivalente, afin qu'il ne porte jamais sur le dur, de peur de quelque rupture. Cette boîte doit même se fermer à clé qui sera entre les mains de l'Ingénieur; car on a souvent beaucoup à craindre de l'impéritie des curieux. Pour en faciliter le transport, on l'enferme dans une enveloppe de peau à laquelle est attachée une courroie

Boîte pour enfermer et transporter le niveau.

à boucle. Un piqueur peut alors s'en charger et la porter en sautoir sans qu'on ait à craindre aucun accident.

Étui pour le carton
de mire.

142. Le carton de mire étant vernissé, exige quelques précautions pour en conserver les couleurs. Il doit être enfermé dans un étui de peau qui le garantisse de tout frottement contre des corps durs. En cet état il peut être placé au bout de la mire, en ayant l'attention de l'arrêter fortement par le moyen de la vis qu'il porte dans sa partie postérieure.

Fourreau et anneau
pour le pied du ni-
veau.

143. Pour rendre le pied du niveau plus portatif, on arrêtera la partie inférieure des trois branches par un anneau triangulaire qui les empêchera de se séparer. On couvrira pareillement la partie supérieure d'un fourreau de peau qui garantisse de la pluie et de l'humide tout ce qui n'est pas en bois.

Sac de peau pour
la chaîne, les fiches
etc.

144. On doit encore avoir un sac de peau de la grandeur nécessaire, dans lequel on enfermera la chaîne, les fiches, le ciseau et même la petite hâche après avoir mis son tranchant dans un fourreau. A ce sac sera jointe une courroie à boucle pour pouvoir le porter de la même manière que nous avons dit ci-dessus (141).

Objets qu'il faut
exclusivement faire
porter par les pi-
queurs.

145. Lorsque les piquets dont on aura besoin pourront être préparés sur les lieux, on distribuera tous les objets ci-dessus entre les piqueurs, de façon que chacun porte à-peu-près également. Mais lorsqu'on sera obligé de préparer d'avance et ensuite de porter les piquets sur l'atelier, il faudra nécessairement avoir une bête de somme. Dans ce cas on pourra lui faire porter en outre les jallons, la chaîne et le pied du niveau, mais non pas la mire dont les divisions pourraient se dégrader par le frottement. Il serait encore plus dangereux de lui faire porter le niveau, à cause qu'elle pourrait s'effrayer, jeter

la

la charge par terre et le briser ou du moins l'endommager. Ainsi ces deux derniers objets doivent exclusivement être confiés à des piqueurs.

146. Lorsqu'on emploie le niveau d'eau simple (68) il faut porter avec soi deux fioles de rechange avec de la cire, pour remplacer sur les lieux celles de l'instrument, dans le cas où elles viendraient à se casser en opérant. Il ne faut pas aussi oublier une bouteille avec de l'eau colorée, pour pouvoir alimenter le niveau, surtout dans les pays secs; car pendant les opérations l'eau du niveau s'évapore et souvent il s'en répand une partie, soit par filtration soit par le transport d'une station à l'autre.

En employant le niveau d'eau, il faut se munir de fioles de rechange et de cire.

CHAPITRE III.

DE LA VÉRIFICATION DES NIVEAUX.

Avant de faire usage d'un niveau on doit le vérifier.

147. **L**ON ne doit point se servir d'un niveau dans les opérations qu'après s'être assuré de son exactitude. La première chose qu'on doit donc faire avant d'entreprendre un nivellement est de faire la vérification du niveau. Cette vérification varie suivant la construction de l'instrument. Nous allons la faire connaître d'abord pour les niveaux à perpendicule; et ensuite pour les niveaux d'eau.

SECTION PREMIÈRE.

De la vérification des niveaux à perpendicule.

§ I.

De la vérification du niveau de poseur.

Comment on vérifie le niveau de poseur.

Fig. 7.

148. Reprenons la figure 7 dans laquelle (52) l'assemblage des règles AB, AC et DE représente le niveau, AK l'aplomb et GH la règle sur laquelle l'instrument est posé.

On disposera d'abord la règle GH de manière que le fil aplomb AK passe exactement par le trait marqué au point F; et ensuite on tournera l'équerre sens devant-derrrière, de façon que B prenne la place de C et réciproquement. Dans cette nouvelle position, si les deux

branches AB et AC sont parfaitement égales, ils est visible que AK continuera de passer par le point F. Mais si AB, par exemple, est plus longue, B ayant pris la position C, l'aplomb AK prendra celle Ak et s'éloignera de la branche la plus longue en passant par f.

Dans ce cas comme la différence ne peut pas être considérable (53) on limera le bout B de la branche la plus longue. On remettra BAC dans sa première position, et l'on donnera à la règle GH celle qui lui convient pour que le fil à plomb passe encore par F. On tournera une seconde fois le niveau en faisant passer B en C et réciproquement. Si après l'avoir ainsi tourné l'aplomb passe encore par F, les deux branches AR et AC seront parfaitement égales et le niveau sera exact. Si au contraire il y avait encore un peu de déviation, on limiterait de nouveau la branche la plus longue, et l'on répéterait le même procédé que ci-dessus, jusqu'à ce que le fil aplomb passât constamment par F, dans quelque sens qu'on tournât l'instrument.

Pour sentir la raison de cette vérification, soit le triangle isocèle ABC (*fig. 37*) dont l'angle en A compris entre les deux côtés égaux AB et AC est divisé en deux parties égales par la ligne AK. Il est démontré par la géométrie élémentaire que AK sera perpendiculaire à BC et que si AB prend la place de AC, et réciproquement, AK ne variera point. Par conséquent (18) si AK est verticale, BC sera horizontale.

Mais si DC est horizontale et que le triangle ADC soit scalène, la ligne AK qui divise également l'angle DAC se déviara de l'aplomb AK et se portera vers le grand côté AD. Elle ne pourra donc se rapprocher de l'aplomb AK qu'en rapprochant AD et AC de l'égalité,

Fig. 37.

et ce ne sera que lorsque ces deux dernières y seront parvenues, que les deux premières coïncideront parfaitement ; auquel cas elles feront des angles droits avec DC et le niveau sera exact.

§. II.

De la vérification du niveau de paveur.

La vérification à l'équerre suffit au niveau de paveur.

Fig. 8.

149. Comme l'usage de ce niveau n'a lieu que pour des objets très-grossiers, la ligne d'aplomb CD (*fig. 8*) n'a besoin que d'être tracée avec une bonne équerre. Par conséquent la vérification doit seulement constater si CD est perpendiculaire à AB ; ce qui se fait par le moyen de l'équerre. Une vérification plus rigoureuse deviendrait absolument inutile et superflue.

§ III.

De la vérification du niveau de l'agronome.

La vérification du niveau de l'agronome est la même que celle du niveau de poseur.

Fig. 9.

150. Après ce que nous avons dit (148) au sujet du niveau de poseur, il nous reste bien peu de chose à dire sur la vérification du niveau de l'agronome (60 et 61). Ces deux niveaux ne diffèrent guères entr'eux que par les deux semelles *ab* et *cd* (*fig. 9*) qui sont au bas des branches du dernier. Si on les enlève, à la grandeur près de l'angle formé par les branches, ces niveaux sont exactement les mêmes et doivent conséquemment être vérifiés de la même manière. Ainsi on suivra le procédé prescrit ci-dessus (148).

SECTION II.

De la vérification des niveaux à eau.

§. I.

De la vérification du niveau d'eau simple.

151. Rappelons-nous que nous avons dit (74) que dans cet instrument l'eau se mettait naturellement de niveau dans chaque branche ; et nous verrons que la vérification s'opère par l'eau elle-même. Ainsi ce niveau n'en a pas besoin, et même il n'en est pas susceptible.

Le niveau d'eau simple n'a pas besoin de vérification.

§. II.

De la vérification du niveau d'eau simple à bulle d'air.

152. La propriété essentielle de ce niveau est (86) que la face de la règle AB (*fig. 17*) opposée au tube CD lui soit exactement parallèle.

Manière de vérifier le niveau simple à bulle d'air.

Pour vérifier ce parallélisme, on place la règle AB sur une autre règle dont on élève plus ou moins un des abouts avec des cales, jusqu'à ce que le tube soit exactement de niveau. Alors on tourne la règle de façon que A soit en B et réciproquement. Si dans cette position le tube est encore de niveau, le parallélisme est exact. Mais si au contraire il hausse d'un côté ou de l'autre, la règle sera plus épaisse et aura besoin d'être démaigrée du côté où se trouvera la bulle d'air.

Fig. 17.

On démaigrira donc le dessous de la règle du côté de la hausse, et on répétera le même procédé jusqu'à ce que le tube reste de niveau quicqu'on la tourne bout pour

bout. On sera alors assuré que le parallélisme dont il s'agit aura véritablement lieu.

Principes sur lesquels cette vérification est fondée.

153. La vérification précédente est fondée sur les deux principes suivants :

1.° Deux lignes de niveau placées l'une au-dessus de l'autre sont parallèles, lorsque (18) l'une et l'autre sont coupées à angles droits par la même ligne d'aplomb.

2.° Une ligne droite qu'on tourne bout pour bout de droite à gauche a toujours la même direction et ne forme jamais que la même ligne, puisqu'elle passe par les mêmes points.

Conséquence qui résulte de ces principes.

fig. 38.

154. De ces deux principes il suit :

1.° Que si dans le quadrilatère ABCD (fig. 38) posé sur la ligne EF, DC est exactement parallèle à AB et que AB soit de niveau, CD le sera aussi. Donc lorsqu'en tournant le quadrilatère, D prendra la place de C, et réciproquement, et que le niveau de AB ne variera pas; celui de DC ne variera pas non plus.

2.° Que si dans ce changement le niveau de AB varie, c'est une preuve que DC ne lui était pas parallèle, puisque DC et CD ne sont qu'une seule et même ligne; que si DC avait été parallèle à AB avant le changement, elle aurait été de niveau; qu'elle aurait continué de l'être en devenant CD, et que par conséquent le niveau de AB n'aurait pas varié.

Nous aurons encore occasion de faire usage de cette démonstration.

§ III.

De la vérification du niveau à bulle d'air et à pinnules.

En quoi consiste la vérification du niveau à bulle d'air et à pinnules.

155. En se rappelant tout ce que nous avons dit au sujet du niveau à bulle d'air et à pinnules au § V

de la section III.^e du chapitre II.^e, et surtout au N.^o 92, on verra facilement que dans le niveau représenté par la figure 18.^e, la vérification consiste à rendre parallèles le plan MM des platines du genou, le rayon de visée qui passe par l'intersection des deux fils de chaque pinnule F et G, et le tube CD.

Fig. 18.

156. La première opération à faire est de rendre parallèles le plan MM des platines et le rayon de visée passant par l'intersection des fils des pinnules. Pour cela on s'y prendra de la manière suivante :

Comment on rend parallèles le rayon de visée et le diamètre des platines.

1.^o On montera l'instrument de manière que la règle AB soit à-peu-près de niveau, et à environ 100 mètres de distance on placera la mire sur un point ferme et solide.

2.^o On dirigera vers la mire l'une des deux vis *a* ou *b* et la règle AB.

3.^o On fermera le chassis le plus éloigné de la mire et en bornoyant par le trou oculaire de ce chassis fermé, on prendra la hauteur correspondante du carton de mire.

4.^o On tournera ensuite sens devant-derrrière la règle sur le plan MM des platines, de façon que B prenne la place de A et réciproquement; on ouvrira le chassis fermé; on fermera le chassis ouvert, et bornoyant ainsi que la première fois, on prendra encore la hauteur du carton de mire.

5.^o On additionnera ces deux hauteurs du carton; on prendra la moitié de la somme; on fixera le carton de mire à cette nouvelle hauteur, et (90) par le moyen de la vis qui se trouve au-dessous d'une des plaques à pinnules, on haussera ou l'on baissera un des deux chassis jusqu'à ce que le rayon de visée coïncide par-

faitement avec le carton de mire dans cette position.

6.° Pour plus de sûreté on répétera le procédé prescrit (3.° 4.° et 5.°) jusqu'à ce qu'on soit assuré qu'il y a une parfaite coïncidence entre le rayon de visée et le carton de mire.

On sera sûr alors que le rayon de visée est exactement parallèle au diamètre correspondant du plan des platines.

Démonstration de ce procédé. (Fig. 39) l'axe vertical ou à-peu-près de l'instrument, MM' le diamètre des platines dans le sens de la vérification, AB le rayon de visée en supposant l'œil en A, et HL la mire supposée d'aplomb.

Par le point d'intersection E de l'axe KE et de la ligne de visée AB, menons CED parallèle à MM'. BED sera l'angle d'obliquité du rayon de mire AB par rapport à MM'; et en prolongeant AB jusqu'en F, HF sera la hauteur de mire dans l'opération du N.° 156. 3.°

Lorsqu'on aura tourné la règle sens devant-derrrière, B sera en B' et A sera en A'. Dans ce mouvement l'obliquité de A'B' par rapport à MM' ou à CD sera la même qu'auparavant, et par conséquent on aura B'EC = BED. Mais B'EC = A'ED. Donc BED = A'ED. Prolongeons B'A': elle coupera la mire au point G et donnera HG pour la hauteur de mire dans l'opération du N.° 156. 4.° en supposant l'œil en B'.

Il suit de là que les triangles DEF et DEG étant égaux, on aura DG = DF; et par la proportion arithmétique continue: HG. HD. HF, on aura $HD = \frac{HF + GH}{2}$. Mais pour que le rayon de mire AB soit parallèle à MM' il faut qu'il se confonde avec CED', auquel cas la hauteur de mire correspondante doit être $HD = \frac{HF + HG}{2}$. Donc réciproquement

réciproquement lorsque le rayon de mire sera $= \frac{HF + HG}{2}$

on aura ce rayon parallèle à MM'.

158. Il nous reste à présent à rendre le tube CD (*fig.* 18) parallèle au plan MM des platines. Cette opération serait aussi simple que la précédente si l'on pouvait borner suivant le tube. Mais comme la chose n'est pas possible, on exécutera ce qui suit :

Comment on rend parallèles le tube à bulle d'air et le diamètre des platines.

Fig. 18.

1.° On montera l'instrument et on le dirigera ainsi qu'il a été dit ci-dessus (156. 1.° et 2.°).

2.° Par le moyen de la vis *b* on mettra le tube CD parfaitement de niveau.

3.° On tournera ensuite la règle ainsi qu'il a été dit (156. 4.°). Si le tube était parallèle à MM, après cette demi-révolution il sera encore de niveau. Mais s'il lui était oblique, le niveau sera détruit par ce mouvement.

4.° Dans ce dernier cas par le moyen de la vis en D, on haussera ou l'on baissera le bout D du tube, selon que la bulle d'air sera en C ou en D respectivement, observant dans cette opération de ne faire parcourir à la bulle qu'environ la moitié de l'espace qu'elle devrait parcourir pour revenir à la ligne de niveau.

5.° Après cette opération on répétera le même procédé (2.°, 3.° et 4.°) jusqu'à ce qu'en tournant la règle sens devant-derrière, le niveau du tube ne soit point altéré et que la bulle reste au milieu. On pourra alors être assuré que le tube sera parallèle au plan des platines dans le sens de la règle. Nous allons voir bientôt le moyen de le rendre parallèle au plan pris dans tous les sens.

159. Pour démontrer ce procédé, soient MM' (*fig.* 40.) le diamètre des platines dans la direction de la vérifica-

Démonstration de ce procédé.

Fig. 40.

tion, KE l'axe de l'instrument perpendiculaire à MM' , et CD le tube mis de niveau.

Menons par le point E la ligne FG parallèle à MM' . L'obliquité du tube de niveau avec la ligne MM' sera mesurée par l'angle DEG. Or en faisant tourner l'instrument ainsi qu'il a été dit (158. 3.°), ED prendra la position ED' telle que l'angle D'EF sera égal à l'angle DEG; et EC prendra celle de EC' sur le prolongement de D'E. Ainsi la position du tube ne sera plus sur la ligne de niveau CD, mais sur la ligne D'C' faisant avec la précédente un angle CED' double de l'angle D'EF; et la bulle d'air se placera en D'.

Si nous avons un rayon de visée le long du tube, en imitant ce que nous avons dit aux N.^{os} 156 et 157, on trouverait du premier coup le moyen de ramener D'E sur FE et alors le parallélisme cherché serait établi. N'en ayant point, on doit baisser le tube D'C' dans la partie D' supérieure à FG; et lorsque par les opérations prescrites au N.^o 158. 5.° on sera parvenu au parallélisme, FG se confondra avec l'horizontale CD, MM' se confondra aussi avec l'horizontale $M''M'''$, et EK prendra la position de la verticale EK'. Or dans cet état on sent que le niveau du tube ne variera plus, quoiqu'on tourne l'instrument dans un sens ou dans l'autre.

Le tube et le rayon de visée seront parallèles au plan des platines.

Fig. 18.

160. L'on voit donc clairement qu'en effectuant les opérations prescrites aux N.^{os} 156 et 158, le rayon de visée et le tube seront chacun parallèles au diamètre MM des platines dans le sens suivant lequel on a fait la vérification. Qu'on dirige à présent la règle AB (fig. 18) dans le sens de la vis a , et qu'on mette le tube CD de niveau. On pourra encore tourner la règle sens devant-derrrière sans détruire ce niveau. Le tube

et le rayon de mire seront donc aussi parallèles à ce diamètre. Donc d'après les principes de la géométrie, ils seront aussi parallèles à tous les diamètres des platines dans le sens de la règle suivant toutes les positions qu'on lui donnera.

161. Il suit de là que l'instrument ayant été vérifié ainsi qu'il a été dit (156 et 158), si l'on met successivement le tube de niveau dans le sens de chacune des deux vis a et b , on pourra faire tourner la règle AB dans tous les sens et suivant toutes les directions, sans que le niveau se détruise. Par conséquent dans cette révolution tous les rayons de visée seront aussi de niveau.

L'instrument étant monté, le tube et le rayon de visée seront de niveau dans tous les sens.

162. Les procédés que nous avons indiqués pour la vérification du niveau dont nous parlons, sont, comme l'on voit, fondés sur les principes de la géométrie. Cependant comme dans la nature on ne peut pas se flatter d'atteindre à une précision géométrique, nous croyons à propos d'ajouter ici un moyen mécanique de vérification et qui pourra servir de preuve aux opérations précédentes. Mais avant d'entrer en matière, il est nécessaire de prouver qu'on peut niveller exactement et trouver des résultats précis avec un niveau défectueux, ainsi que nous l'avons annoncé plus haut (26.)

Moyen de niveller exactement avec un niveau défectueux.

Soit AB (*fig. 41*) une ligne droite prise sur le terre et dont le point C soit le milieu. Aux trois points A, B et C élevons les verticales AH, BK et CD. Supposons que le point D soit le point d'intersection de l'axe vertical CD de l'instrument avec les rayons de mire. Menons par les points D et B les lignes de niveau EF et GB. Il est visible que la différence du niveau entre les points B et A sera $AG = AE - GE = AE - BF$.

Cela posé, l'instrument sera défectueux lorsqu'étant monté le rayon de mire fera un angle avec la ligne de niveau. Supposons donc qu'en bornoyant vers B le rayon de mire soit DK faisant avec la ligne de niveau DF un angle FDK. En bornoyant vers A ce même rayon sera DH dont la direction fera avec la même ligne de niveau DE un angle HDE égal à l'angle KDF.

CB étant = CA, on a aussi DF = DE. Par conséquent les triangles DKF, DHE étant égaux, on a FK = EH, et BK = GH. Donc aussi AG = AH - GH = AH - BK.

Mais AH et BK sont les hauteurs de mire des rayons de visée défectueux aux points A et B. Donc *lorsque les distances de l'arrière et de l'avant sont égales, la différence des hauteurs de mire prises avec un niveau défectueux est la même que celle des hauteurs de mire prises avec un niveau rectifié.*

On démontrera la chose de la même manière, lorsque les rayons de visée au lieu d'être DK et DH feront DK' et DH'.

Vérification mécanique d'un niveau à bulle d'air et à pinnules.

163. D'après cela il nous sera aisé de vérifier mécaniquement un niveau à bulle d'air et à pinnules. On cherchera d'abord (27 et 37) la longueur d'une ligne AL tel que sur cette étendue la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent soit exactement de 2 millimètres, et l'on ajoutera à cette longueur celle LB de 10 mètres. On choisira ensuite en A et B deux points fixes et solides où l'on puisse poser la mire.

Ces précautions prises, on placera au point C pris à égale distance de A et de B le niveau déjà rectifié par les méthodes précédentes et qu'on veut vérifier mécaniquement. On prendra la hauteur des mires en A et en

B, et quelle que soit la défectuosité de ce niveau, on trouvera (162) que la différence de niveau entre ces deux points est = AG.

Ensuite on transportera et on montera le niveau au point L, d'où l'on prendra une seconde fois la hauteur de mire au point B. A cause du peu de longueur de LB et de la vérification déjà faite du niveau, on peut être persuadé que quand même l'instrument aurait encore quelque légère défectuosité, l'erreur qui en résulterait pour cette hauteur de mire ne pourrait pas même être sensible.

On observera alors que la nouvelle hauteur de mire au point A sera composée de trois parties, savoir : 1.° de AG ; 2.° de la seconde hauteur de mire en B ; 3.° de 2 millimètres, différence entre le niveau vrai et le niveau apparent sur la longueur AL. On ajoutera donc ces trois quantités, et l'on fixera le carton de mire à la hauteur portée par leur somme.

Cela fait, en bornoyant sur la mire en A, si l'instrument a été bien vérifié, le rayon de visée coïncidera parfaitement avec le carton de mire. Si au contraire il y a quelque différence, par le moyen de la vis correspondante du genou, on le ramènera au point auquel il doit aboutir, et en cet état on mettra de niveau le tube à bulle en le haussant ou en le baissant suivant qu'il penchera d'un côté ou de l'autre.

On sent que d'après une rectification pareille il ne pourra jamais y avoir d'erreur sur une portée égale à LA, et à plus forte raison sur de moindres portées.

En général il est bon d'observer que dans ces sortes de vérifications il faut prendre AL égale à la plus grande portée du niveau à rectifier.

§ IV.

De la vérification du niveau à bulle d'air et à lunette.

En quoi consiste la vérification du niveau à bulle d'air et à lunette.

164. La vérification du niveau à bulle d'air et à lunette a de très-grands rapports, comme on le verra, avec celle du niveau à bulle d'air et à pinnules. Cependant comme il est plus composé, sa rectification entraîne plus de détails. Ainsi d'après la description que nous en avons donnée (97 - 100) il faut :

1.° Rendre les deux fils qui se croisent dans la lunette, l'un vertical et l'autre horizontal.

2.° Faire tomber l'intersection de ces deux fils dans l'axe de la lunette.

3.° Rendre ensuite parallèles au plan des platines du genou d'abord l'axe de la lunette et ensuite le tube à bulle d'air.

Nous allons nous occuper successivement de chacun de ces objets.

Comment on rend les deux fils de la lunette l'un vertical et l'autre horizontal.

Fig. 26.

165. Après avoir solidement établi l'instrument sur son pied, par le moyen des deux vis du genou on mettra à-peu-près de niveau le plan MM (*fig. 26*) des platines. On dirigera ensuite la lunette vers une ligne d'aplomb telle que l'angle d'une maison. On ramènera sur cette ligne le fil vertical en poussant avec le doigt la lunette à gauche ou à droite. Si ce fil coïncide avec cette ligne et que la goupille *a* du côté de l'extrémité H de la lunette soit en contact avec le talon de la vis *b* du coussinet E, on ne touchera point à la vis. Si au contraire le fil ne coïncidait pas, on le ferait coïncider, et dans cet état avec un tourne-vis on ferait toucher le talon de la vis *b* à la goupille *a*.

On tournera ensuite la lunette GH sur ses coussinets de manière que la goupille *a* vers G, qui auparavant était au-dessus, tombe au-dessous ; et on répétera à l'égard de cette goupille les mêmes opérations que pour la précédente.

Par ce moyen ce fil deviendra vertical, et par conséquent le second (18.) sera horizontal.

Au reste nous devons observer que cette opération n'est que préparatoire et pour faciliter les suivantes. Elle exige à la rigueur que l'instrument soit déjà vérifié dans ses parties essentielles. Aussi nous prévenons qu'il faudra y revenir et la perfectionner, lorsqu'on aura établi le parallélisme entre le plan des platines, l'axe de la lunette et le tube à bulle d'air.

166. La lunette étant disposée sur ses coussinets de façon que la goupille inférieure touche le talon de la vis correspondante, supposons que le fil horizontal ne passe point par l'axe de la lunette. On sent qu'on peut l'y ramener de deux manières, savoir : en faisant mouvoir verticalement ou le chassis qui le porte, ou l'objectif de la lunette. Comme le chassis a un mouvement horizontal, et qu'il y aurait trop de complication à lui en imprimer en outre un vertical, on préfère d'affecter ce dernier à l'objectif. En conséquence on suivra ce que nous allons prescrire.

Comment on ramène le fil horizontal à l'axe de la lunette.

1.° On placera la mire à la plus grande distance possible, telle néanmoins que la vision y soit parfaitement distincte, et elle sera établie sur un point ferme et solide.

2.° En bornoyant vers la mire on fera fixer le carton au point de coïncidence avec le rayon de visée, et on en prendra la hauteur.

3.° On tournera la lunette sur ses coussinets D et E, sens dessus-dessous, sans rien changer à sa direction. On fixera encore le carton de mire au point de coïncidence avec le rayon de visée, et on en prendra de nouveau la hauteur.

4.° On prendra la moitié de la somme de ces deux hauteurs, et l'on fixera le carton à la hauteur exprimée par cette dernière quantité.

5.° Enfin par le moyen de la vis *d* (99. 4.°) on fera mouvoir verticalement l'objectif jusqu'à ce que le rayon de visée passant par le fil horizontal coïncide parfaitement avec le carton dans cette dernière position.

On sera alors assuré que le fil horizontal sera dans l'axe de la lunette.

Démonstration de
cette méthode.

Fig. 42.

167. La raison de ce procédé est facile à saisir. Soient AB (fig. 42) l'axe de la lunette; A le point où se trouve placé l'œil de l'observateur, CD la mire et AE le rayon de visée dans la première position de la lunette (166. 2.°). En tournant la lunette sens dessus-dessous (166. 3.°), le rayon de mire AE tombera sur AE' de manière que l'angle E'AB sera égal à l'angle EAB; ce qui donnera 1.° CE et CE' pour les hauteurs de mire respectives; 2.° $BE = BE'$. D'où l'on tirera $CB = \frac{CE + CE'}{2}$.

Mais CB est la hauteur de mire correspondante à l'axe. Donc la ligne AB qui coïncidera avec le carton lorsqu'il sera à la hauteur $CB = \frac{CE + CE'}{2}$ sera l'axe de la lunette, et le fil horizontal qui correspondra au point B passera par cet axe.

Comment on y ra.
mène le fil vertical.

Fig. 26.

168. Supposons encore que le fil vertical soit hors de l'axe de la lunette. La méthode détaillée au N.° 166 pour

y ramener le fil horizontal servira, avec un léger changement, pour le fil vertical. Ce changement consiste en ce qu'au lieu de placer la mire d'aplomb, il faut au contraire la placer horizontalement sur deux supports, en appuyant son extrémité inférieure sur un point fixe qui ne lui permette pas de se déplacer. Dans cette position on se conformera à ce qui suit :

1.° On bornoyera vers la mire et l'on fixera le carton au point où le fil vertical coïncidera avec lui. On prendra alors la distance du carton à l'extrémité appuyée de la mire, et l'on aura une première quantité.

2.° On tournera la lunette sens dessus-dessous, et en cet état on prendra la nouvelle distance du carton coïncidant avec le rayon de visée, à la même extrémité de la mire ; ce qui donnera une seconde quantité.

3.° On ajoutera ces deux quantités ; on prendra la moitié de leur somme, et l'on fixera le carton à une distance de l'extrémité appuyée de la mire égale à cette nouvelle quantité.

4.° Par le moyen de la vis *c* (99. 3.° *fig.* 26) on mouvra horizontalement le chassis qui porte les deux fils, jusqu'à ce que le fil vertical coïncide parfaitement avec le carton. Alors il passera réellement par l'axe.

169. Pour démontrer ce procédé, nous nous servirons encore de la *fig.* 42, dans laquelle la mire CD sera supposée horizontale et appuyée à son extrémité inférieure sur un point fixe C. Tout le reste étant le même que dans la démonstration du N. 167, on en conclura de la même manière que lorsque le fil vertical coïncidera avec

le point B tel que l'on ait $CB = \frac{CE + CE'}{2}$, ce fil passera par l'axe AB de la lunette.

Démonstration de ce procédé.

Fig. 42.

L'intersection des deux fils sera dans l'axe.

170. Par la méthode du N.º 166 l'axe de la lunette coupera le fil horizontal, et par celle du N.º 168 ce même axe coupera le fil vertical. Or ces deux fils se croisent entr'eux. Donc leur point d'intersection se trouvera dans l'axe de la lunette.

Comment on rend l'axe de la lunette parallèle au plan des platines.

171. Voyons à-présent la manière de rendre cet axe parallèle au plan des platines. Après avoir monté l'instrument et disposé la mire ainsi qu'il a été dit (166. 1.º), on fera les opérations suivantes.

1.º En bornoyant vers la mire on fixera le carton au point où le rayon de visée coïncidera avec lui, et l'on en prendra la hauteur; ce qui donnera une première quantité.

2.º Sans toucher à la situation de la règle on tournera la lunette bout pour bout et sens devant-derrrière, de manière que l'oculaire prenne la place de l'objectif et réciproquement. Alors on tournera la règle et l'on bornoyera de nouveau sur la mire. L'on arrêtera le carton au point de coïncidence avec le rayon de visée, et l'on en prendra la hauteur; ce qui donnera une seconde quantité.

3.º On prendra la moitié de la somme de ces deux quantités, et après avoir fixé le carton à cette hauteur, à l'aide de la vis qui est au-dessous d'un des coussinets (97. 4.º), on fera coïncider le rayon de visée avec lui. Alors on aura le parallélisme cherché.

Démonstration de cette méthode.

Fig. 43.

172. Pour rendre raison de cette méthode, soient MM' (fig. 43.) le plan des platines ou plutôt leur diamètre dans le sens de la vérification; AB l'axe vertical de l'instrument; CD la mire posée sur un point fixe C, et GH l'axe de la lunette dans laquelle l'objectif est en H et l'oculaire en G. Menons par le point B la ligne KF pa-

rallèle à MM'. Dans cette position l'axe de la lunette fera avec la ligne MM' un angle HBF, et la hauteur de mire sera CE.

Si nous tournons la lunette bout pour bout, de façon que l'objectif soit en G et l'oculaire en H, l'axe sera encore le même, ainsi que l'angle EBF. En faisant faire une demi-révolution à la règle et à la lunette, l'objectif qui était en G passera en H' et l'oculaire qui était en H prendra position en G'. Or après ce mouvement l'angle H'BF sera égal à l'angle KBG, et par conséquent égal à HBF. D'autre part la hauteur de mire sera alors CE'. D'où il suit que l'on aura, 1.° $FE = FE'$; 2.° $CF = \frac{CE' + CE}{2}$. Mais KF est parallèle à MM'. Donc pour amener l'axe sur KF et faire prendre à la lunette la position G" H", il faut que la hauteur de mire CF soit $= \frac{CE + CE'}{2}$.

173. Il ne reste plus qu'à rendre le tube à bulle d'air parallèle au plan des platines. Pour cela on n'a qu'à suivre le mode prescrit au N.° 158, et dont nous avons donné la démonstration au N.° 159.

Comment on rend le tube à bulle d'air parallèle au plan des platines.

174. Ainsi par les opérations que nous venons de prescrire, on voit que tous les objets mentionnés au N.° 164 sont remplis, et qu'en mettant de niveau les deux diamètres des platines correspondans aux deux vis du genou, on pourra tourner l'instrument dans tous les sens, sans que la bulle d'air abandonne sensiblement le milieu du tube. Mais qu'on n'oublie pas à la fin de répéter l'opération prescrite au N.° 165 pour procurer aux deux fils leur véritable direction.

Alors le tube et l'axe de la lunette seront parallèles au plan des platines.

175. Par les mêmes raisons que nous avons données au N.° 162, on sent qu'il est prudent d'employer en-

Méthode mécanique de vérification.

Fig. 41.

suite une méthode mécanique de vérification. Cette méthode sera exactement la même que celle que nous avons donnée au N.° 163. La seule différence qu'il y aura, c'est que la distance AL (*fig. 41*) doit être telle qu'elle réponde au moins à 6 millimètres de différence entre le niveau vrai et le niveau apparent.

CHAPITRE IV.

DES LOIS DU NIVELLEMENT.

176. **L'**OBJET du nivellement est de déterminer la position verticale respective de deux ou de plusieurs points pris sur la surface de la terre.

Objet du nivellement et manière d'établir la comparaison des hauteurs des points nivelés.

Lorsqu'il n'y a que deux points dont on veut déterminer la position, on les rapporte à la ligne de niveau qui passe par l'un des deux. Mais lorsqu'il y en a plusieurs, il faut distinguer deux cas.

Le premier cas est celui où la plupart des points ne sont pas sur la route, ne font pas partie intégrante du projet ou de l'objet qu'on nivelle, et ne servent que de termes de comparaison, soit pour vérifier les opérations, soit pour s'y rapporter dans l'exécution pour le placement de repères, l'établissement des fondations des ouvrages d'art, etc. Dans ce cas la position verticale de chacun de ces points est rapportée isolément à la ligne de niveau qui passe par le point précédent, ou collectivement à une seule et même ligne ou à un seul et même plan de niveau qui passe par un des termes extrêmes; soit par un autre point quelconque; le tout à volonté.

Le second cas est celui où tous les points sans distinction font partie de l'objet nivelé, tels que les divers repères d'un canal exécuté ou à exécuter, d'une route tracée, etc. Alors leur position doit être rapportée à une seule ligne de niveau qui passe soit par un

des points extrêmes, soit pas tel autre point qu'on veut prendre. Dans ce second cas, la ligne de niveau à laquelle on se rapporte est véritablement l'axe des abscisses dont les ordonnées sont les verticales qui désignent la position de tous ces points par rapport à cet axe.

Dans ce même cas si l'on fait entrer dans le nivellement tous les points inégalement élevés sur la ligne nivelée, en rapportant leur position à l'axe des abscisses, on a ce qu'on appelle un *profil*. Nous y reviendrons plus bas.

Termes extrêmes
d'un nivellement.

177. Tout nivellement doit commencer et finir à un point fixe et immuable. Pour ces sortes de points on choisit un rocher, le seuil de la porte d'un édifice, le piédestal de quelque monument, ou quelque autre objet pareil sur lequel on trace une croix ou toute autre marque inéfaçable, pour marquer l'endroit où l'on place la mire. C'est ce qu'on appelle les *termes extrêmes* d'un nivellement.

Termes ou repères
de vérification.

178 Mais indépendamment de ces deux termes, dans les grands nivellemens, tels que ceux d'un canal, d'un chemin, du cours d'une rivière, etc., il est indispensable d'avoir d'autres points pareils intermédiaires aux deux extrêmes et qui sont très-utiles dans l'exécution des projets, ainsi qu'il vient d'être dit. Ces sortes de points sont autant de termes partiels dans les nivellemens, et on les appelle *termes de vérification*.

Dresse d'une table
comparative des hau-
teurs de divers points.

179. Comme nous aurons souvent occasion de dresser des tables de nivellement, pour en donner d'abord une idée, soit la ligne du terrain ACDEFGHK (*fig. 44*), sur laquelle A et K sont les deux points extrêmes du nivellement et C, D, E, F, G, H des termes de vérification intermédiaires dont on veut connaître la position

Fig. 44.

verticale respective. Menons par le point A la ligne de niveau AB, et des points C, D, E, etc., abaissons les verticales CC', DD', EE', etc.

Par les points C, D, F et H, menons des lignes de niveau CL, MN, OP et QR; et par les points A, C, E, G et K prolongeons les verticales qui coupent les lignes de niveau aux points L, M, N, O, P, Q et R. Quelle que soit la situation des points A, C, D, E, F, G, H et K, on aura les positions verticales respectives de chacun de ces points par rapport à celui qui précède, qui seront exprimées ainsi qu'on le voit par la table suivante.

POINTS avant.	POINTS arrière.	HAUTEUR DES POINTS AVANT comparés aux points arrière qui les précèdent immédiatement.	
		au-dessus.	au-dessous.
C . . .	. . . A . . .	. . AL . .	
D . . .	. . . C . . .	. . CM . .	
E . . .	. . . D . . .	. . . . .	. . EN
F . . .	. . . E . . .	. . EO . .	
G . . .	. . . F . . .	. . . . .	. . GP
H . . .	. . . G . . .	. . GQ . .	
K . . .	. . . H . . .	. . . . .	. . KR

180. Dans le cas où tous les points intermédiaires à A et à K sont réellement sur la ligne nivellée, en abaissant de chacun des verticales sur AB, elles formeront une série d'ordonnées dont la comparaison fera connaître

Cas où les hauteurs et la ligne de niveau représentent les ordonnées et les abscisses respectivement.

la position verticale de ces points, quelle que soit leur distance. Par exemple, on trouvera que H est plus élevé que E de la quantité $= HH' - EE'$, et que K est plus bas que D d'une quantité $= DD' - KK'$.

Les hauteurs respectives ne peuvent être connues que par un nivellement simple ou composé.

181. Il est évident que ce n'est que par la ligne de niveau qu'on peut connaître la hauteur ou l'abaissement de divers points les uns par rapport aux autres. Cette ligne ne peut être fixée que par les instrumens dont nous avons donné la description et la vérification dans les chapitres II et III. Elle peut l'être dans certains cas par un nivellement simple ou à une seule station; mais dans d'autres il faut un nivellement composé ou à plusieurs stations liées entr'elles. L'un et l'autre de ces nivellemens ont des lois particulières qui néanmoins se rapportent à une loi générale. C'est ce que nous allons examiner.

Règle générale du nivellement simple ascendant.

182. Soient A et B (*fig. 45*) deux points fixes sur une portion de terrain incliné à l'horison et dont on veut connaître la différence de niveau ou la hauteur verticale respective. Élevons à ces points les verticales AF et BG, et par le point B tirons la ligne de niveau BE. D'après ce que nous avons dit au N.° 180, il est visible que cette différence de niveau est exprimée par AE. Mais la ligne BE est purement hypothétique et n'existe que dans l'idée. Par conséquent elle ne peut pas faire connaître le point E où elle coupe la verticale AF. Il faut donc trouver la position d'une autre ligne pareillement de niveau, mais réelle et existante, et en déterminer le point d'intersection avec les verticales AF et BG.

Comme il s'agit dans ce N.° du nivellement simple ou à une seule station, nous devons supposer, 1.° que l'espace AB n'exécède pas le double de la portée du niveau dont

Fig. 45.

dont on se sert pour cet objet ; 2.^o que la pente du terrain entre les deux termes A et B du nivellement est moindre que la hauteur de la mire dont on fait usage.

Plaçons le niveau CD au point D à peu-près également éloigné des deux termes A et B. Son rayon de visée sera FG. Lorsque l'instrument aura été vérifié et mis de niveau, ce rayon sera aussi de niveau ou parallèle à EB, et il coupera les mires AF et BG aux points F et G respectivement. Ces deux points seront marqués par le carton de mire, et leur hauteur au-dessus des termes A et B sera désignée sur la mire.

Il suit de là que la différence de niveau cherchée entre les deux termes A et B, c'est-à-dire, AE est = AF - FE. Mais à cause des parallèles EB et FG on a FE = BG. Donc AE = AF - BG.

Donc dans un nivellement ascendant simple ou à une seule station, la différence de niveau des deux termes du nivellement se trouve en retranchant la hauteur de mire avant de la hauteur de mire arrière.

183. Nous avons supposé au N.^o précédent que l'opération commençait en A et se poussait vers B, ou que A était l'arrière et B l'avant, et que le terrain s'élevait de l'arrière à l'avant. Si au contraire on commençait à opérer en B et qu'on avançât vers A ou que le terrain s'abaissât de l'arrière à l'avant, il faudrait retrancher AF de BG. Alors on aurait BG - AF = - AE ; c'est-à-dire que dans ce cas le résultat serait négatif ; d'où l'on conclura que si le terrain baisse en s'avancant, la hauteur de mire avant sera plus grande que celle arrière et la différence sera négative.

Règle générale du nivellement simple descendant.

Quel est le point le plus haut ou le plus bas dans un nivellement simple.

184. *La plus grande hauteur de mire répond toujours à l'endroit le plus bas, et la moindre au plus élevé.* Car pour parvenir à la ligne de niveau tirée supérieure-ment, il est évident que la ligne sera plus longue d'un point plus bas que d'un point plus élevé.

Règle générale du nivellement composé ascendant.

185. Supposons à présent qu'en partant du point A (fig. 46) il soit question de niveller la montée AD dont le point D est plus élevé que la plus grande hauteur de mire. Il faudra alors faire diverses stations. Nous supposerons qu'il soit nécessaire d'en faire une sur chacun des espaces AB, BC et CD. Tirons par chacun de ces quatre points des verticales, et par les trois dernières des lignes de niveau. Nous aurons AN qui sera la différence de niveau cherchée entre les deux termes A et D du nivellement. Mais AN est = AF + FG + GN. Il ne s'agit plus que de trouver la valeur de ces trois quantités.

Fig. 47

1.° Le rayon de visée KK' donne (182) sur la première station $AF = AK - BK'$.

2.° Le rayon de visée LL' donne aussi sur la seconde station $BG' = BL - CL'$. Donc puisque $BG' = FG$, on aura aussi $FG = BL - CL'$.

3.° Enfin le rayon de visée MM' donne sur la troisième station $CH = CM - DM'$. Donc puisque $CH = GN$, on aura pareillement $GN = CM - DM'$.

En substituant chacune de ces trois valeurs on aura $AN = AK + BL + CM - BK' - CL' - DM' = (AK + BL + CM) - (BK' + CL' + DM')$. Mais les trois premiers termes donnent la somme des hauteurs de mire arrière, et les trois derniers celle des hauteurs de mire avant.

Donc dans un nivellement composé de plusieurs stations sur un terrain qui s'élève continuellement, la diffé-

rence de niveau entre les deux termes extrêmes se trouve en retranchant la somme des hauteurs avant de celle des hauteurs arrière.

186. On pouvait déduire cette proposition de celle du N.º 182 sans employer le raisonnement que nous venons de faire. Car puisque sur chaque station la différence de niveau est égale à la hauteur de mire arrière moins la hauteur de mire avant, il s'ensuit naturellement que la différence totale de niveau est égale à la somme des hauteurs de mire arrière, moins celle des hauteurs de mire avant. Cependant comme on conçoit mieux ce qu'on voit, nous avons cru devoir raisonner d'après une figure.

187. Qu'il s'agisse à présent de déterminer la différence de niveau de D au point E sur le revers de la butte ADE par trois stations sur DO, OP et PE respectivement.

Par les quatre points D, O, P et E tirons des verticales et par les trois premiers menons des lignes de niveau. La différence de niveau entre D et E est $= ES = SR + RQ + QE$.

Mais (183) on a : 1.º $SR = OH' = DM' - OM''$; 2.º $RQ = PV = OT - PT'$; 3.º $QE = PV' - EX$.

Donc en substituant on aura $ES = (DM' + OT + PV') - (OM'' + PT' + EX)$; c'est-à-dire que la différence de niveau entre les deux termes extrêmes d'un nivellement sur un terrain qui s'abaisse continuellement est égale à la somme des hauteurs de mire arrière, moins celle des hauteurs de mire avant.

Qu'on ne perde pas de vue (183) que dans ce cas la différence de niveau doit être négative : car on voit que toutes les hauteurs de mire avant sont plus grandes que

Cette règle peut être déduite de celle du N.º 182.

Règle générale du nivellement composé descendant.

celles de l'arrière. Ainsi on doit donner cette forme à l'équation de laquelle nous avons déduit la proposition; savoir : $-ES = (DM' + OT + PV') - (OM' + PT' + EX)$.

Règle générale du nivellement composé ascendant et descendant.

188. Si l'on prend A et E pour les deux termes du nivellement, on sent que pour en connaître la différence de niveau, il faut franchir la butte, et qu'il y aura trois stations ascendantes et trois stations descendantes. Menons par le point A l'horizontale AY et par le point E l'horizontale EZ. Ces deux lignes seront parallèles à l'horizontale NS qui passe par le point culminant D; et elles feront voir que la différence de niveau entre A et E, est $=EY = AZ = AN - NZ = AN - ES$.

Mais 1.° D'après le N.° 185 $AN = (AK + BL + CM) - (BK' + CL' + DM')$.

2.° D'après le N.° 187 $-ES = (DM' + OT + PV') - (OM' + PT' + EX)$. Donc $EY = (AK + BL + CM + DM' + OT + PV') - (BK' + CL' + DM' + OM' + PT' + EX)$. Or le premier terme est la somme des hauteurs de mire arrière, et le second celle des hauteurs de mire avant.

Donc dans un nivellement à plusieurs stations sur un terrain inégal quelconque où il y a des montées et des descentes, la différence de niveau entre les deux termes du nivellement est égale à la somme des hauteurs de mire arrière moins la somme des hauteurs de mire avant.

La règle subsistera lorsqu'il y aura des hauteurs de mire = 0.

189. Supposons que les hauteurs de mire sur la première station ascendante, au lieu d'être exprimées par AK et BK' fussent au contraire représentées respectivement par $AK - FK$ ou par $AK - BK' = AF$, et par $BK' - BK' = 0$. Il est aisé de voir que dans l'expression ci-dessus de EY, on trouvera toujours le même résultat, puisque la somme des quantités positives et celle des quantités négatives sont l'une et l'autre diminuées de la

même quantité = $FK = BK'$. Il en sera encore de même si l'on fait le même changement dans les hauteurs de mire de toutes les stations, ou d'une partie seulement. Alors sur les stations où ce changement aura lieu, la hauteur de mire au terme le plus élevé de la station sera représentée par zéro. Ce principe est surtout en usage dans les grands nivellemens où l'on choisit des termes de vérification qui comprennent entr'eux plusieurs stations, et dans d'autres cas particuliers, ainsi qu'on le verra par la suite.

190. Il résulte de là 1.^o que si la somme des hauteurs de mire arrière est plus grande que celle des hauteurs de mire avant, le terme de départ sera plus bas que le terme d'arrivée.

2.^o Que si la première somme est moindre que la seconde, le premier terme sera plus élevé que le second.

3.^o Enfin que si ces deux sommes sont égales, les deux termes seront de niveau.

191. L'on voit donc par tout ce qui précède que dans tous les nivellemens possibles, soit simples, soit composés, quelle que soit d'ailleurs la forme du terrain, il n'y a qu'une seule loi pour trouver la différence de niveau entre les deux termes du nivellement.

Nous terminerons ce chapitre en observant que l'on peut absolument négliger les différences entre le niveau vrai et le niveau apparent. Nous en avons donné les raisons au N.^o 38 auquel nous renvoyons nos lecteurs.

Quelle sera la hauteur respective des deux termes extrêmes.

On peut négliger la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent.

CHAPITRE V.

DE LA PRATIQUE DU NIVELLEMENT.

SECTION PREMIÈRE.

Usage des niveaux à perpendicule.

§. I.

Usage du niveau de poseur.

Il reste peu à dire sur cet objet.

192. Nous avons donné la description de ce niveau au § I.^{er} de la II.^e section du chapitre II, et sa vérification au § I.^{er} de la I.^e section du chapitre III. Nous avons dit aussi (52 et 56) dans quelles occasions et à quel usage on l'employait, Cet usage se trouvant fort circonscrit, nous avons peu de choses à dire sur cet objet.

Manière d'employer cet instrument pour mettre de niveau le lit d'une assise.

193. Lorsqu'on employe cet instrument pour mettre exactement de niveau le lit supérieur d'une assise, on établit la règle sur cette assise en partant de la pierre servant de repère. Par conséquent l'about arrière est un point sur la première station. Si l'about avant est trop bas, c'est une preuve que la pierre correspondante a été trop démaigrie sur son lit et qu'il faut la relever par des cales. Si au contraire ce même about était trop haut, le lit supérieur de la pierre correspondante serait trop gras, et devrait être démaigri jusqu'à ce que le niveau fut au point.

On passera ensuite à la deuxième station en ap-

puyant l'about arrière de la règle sur le même point qui servait d'appui au bout avant dans la première; et l'on continuera jusqu'à la fin, ainsi que nous venons de dire.

194. Le même procédé peut être employé pour arraser les murs en moëlon, soit qu'on bâtit par assises réglées ou non. Mais en pareil cas le cordeau suffit, pourvu qu'il soit exactement tendu de niveau.

Quant aux appuis de croisées, aux marches d'escaliers, et autres objets pareils de détail, l'instrument fera connaître au premier abord et par la même méthode si le niveau y est exactement, et dans le cas contraire, de quel côté se trouve la hausse ou la baisse.

§. II.

Usage du niveau de paveur.

195. Nous avons dit (58) que ce niveau servait à régler les pentes et les bombemens des pavés. Dans l'usage qu'on en fait, après que la règle a été mise de niveau, elle doit être regardée comme l'axe des abscisses; car c'est à elle qu'on doit rapporter la position de la tête de chaque pavé d'après les profils donnés par l'ingénieur.

196. Supposons qu'il s'agisse de donner à un pavé une pente uniforme à partir du point C (fig. 47). Soit AB le dessus de la règle placée de niveau et AC son épaisseur. Que cette règle soit divisée en mètres aux points E, F et B. Puisque la pente par mètre courant est connue, on prendra EE' égale à AC plus la pente par mètre, FF' égale à AC plus deux

Cette manière s'applique à tous les usages.

La règle est regardée comme l'axe des abscisses.

Usage de ce niveau pour les pentes des pavés.

Fig. 47.

fois la pente par mètre ; BD égale à AC plus 3 fois la pente par mètre, etc. Ensuite on changera de station, et à la deuxième on aura soin de faire porter le bout A d'arrière sur le pavé D.

Au reste on doit observer que lorsqu'on est obligé de changer la règle et de faire plusieurs stations, il est plus sûr et plus expéditif d'employer un cordeau d'environ 15 ou 20 mètres, exactement tendu et fixé aux repères placés par l'ingénieur.

Usage du même niveau pour le bombement des pavés des chaussées.

Fig. 48.

197. Le principal avantage qu'on retire de ce niveau est relatif à la régularité des bombemens des pavés des chaussées. Soit CAD (fig. 48.) le profil transversal du pavé d'une chaussée dont le point de milieu est A. En plaçant la règle AB de manière que l'un des bouts porte sur le milieu A et qu'elle soit horizontale, on pourra par le moyen des profils cotés et par la théorie des abscisses et des ordonnées construire d'abord la partie AC, et ensuite, en tournant la règle, la partie AD.

§ III.

Usage du niveau de l'agronome.

198. Avant de faire usage de ce niveau, on doit fixer la profondeur à donner au fossé qu'on veut tracer. Cette profondeur dépend du volume d'eau que l'on se propose de dériver. On doit surtout faire attention que le fossé étant destiné à l'irrigation, la superficie de l'eau doit arriver au moins à celle du terrain. Il est ensuite nécessaire de déterminer le degré de pente à donner et par conséquent de connaître (63)

la

la division par laquelle l'aplomb doit passer sur la règle DE (fig. 9.) Tous ces préalables fixés, on opérera comme il suit.

Fig. 9.

199. On partira de l'endroit près du canal principal où l'on sera assuré que la surface de l'eau aboutira à celle du terrain, et l'on conduira le niveau de la même manière que l'on fait un compas sur le papier, observant que l'aplomb passe à chaque position sur la division qu'on aura choisie, et que la pointe *f* s'enfonce dans le terrain jusqu'à la semelle. La trace qu'on aura suivie sera celle du fossé à ouvrir, et le nombre de fois que l'instrument aura changé de place étant multiplié par 2 donnera la longueur du canal exprimée en mètres (60).

Manière de se servir de ce niveau.

SECTION II.

Usage des niveaux à eau et des instrumens accessoires.

§. I.

Observations générales et préliminaires.

200. Nous avons dit (177) que tout nivellement doit commencer par un point fixe et immuable. Cette mesure est d'autant plus nécessaire, que c'est ce point qui fixe celui du commencement du projet, et auquel on doit se rapporter pour l'établissement des ouvrages de la tête de l'entreprise. Ce point sera le *premier terme* du nivellement. Il doit être marqué d'une manière bien reconnaissable par une croix ou par toute autre figure qu'on taillera au ciseau (140), afin d'avoir, non une surface

Etablissement du premier terme de nivellement.

mais un point pour terme de comparaison, et où l'extrémité inférieure de la mire sera constamment à la même distance du centre du globe. Ce point sera aussi le premier terme arrière de la première station.

Etablissement du niveau sur la première station.

201. Le premier terme du nivellement ou le *terme de départ* étant ainsi fixé; on placera le niveau à-peu-près à égale distance de ce terme et du terme avant de la première station. Le pied du niveau doit être solidement établi avant d'y placer l'instrument, afin que pendant l'opération sur la station il n'y ait aucune variation. Dans le choix qu'on fera de l'endroit où le niveau doit être établi, s'il faut mesurer la longueur de la station à la chaîne, il sera nécessaire de ne pas se placer exactement sur la ligne des deux termes; car la chaîne pourrait frotter contre le pied et occasionner quelque altération dans l'instrument. Il faut alors se détourner plus ou moins de la ligne. Le genou du niveau étant à platines (91), on sent que lorsqu'il sera monté tous les points où passeront les rayons de visée seront dans le même plan du niveau (92).

Précautions à prendre en montant le niveau.

202. L'instrument ainsi placé, on le montera de niveau en dirigeant successivement le tube ou la règle dans le sens de chacune des vis du genou. Il sera même à propos de diriger l'une des vis sur la mire. Cette opération doit être faite avec soin, et il convient de la répéter: car souvent le niveau dans le sens d'une vis s'altère en opérant sur l'autre. Ce n'est donc qu'après avoir mis l'instrument parfaitement de niveau dans tous les sens que l'on commencera les opérations.

Opération sur l'arrière de la première station.

203. Tout étant ainsi disposé, le piqueur chargé de la mire et qu'on appelle *porte-mire*, doit la placer au premier terme arrière et au point qui y aura été marqué

(200). Alors le niveau sera dirigé sur la mire pour borner et faire placer le carton à la hauteur du rayon de visée. Mais avant d'aller plus loin nous devons dire un mot sur la manière dont on doit se servir de la mire, et sur les rapports qui doivent exister entre l'ingénieur placé au niveau et le piqueur placé à la mire.

204. La mire étant destinée à fixer la hauteur du rayon de visée au-dessus du point où elle est placée, doit nécessairement être parfaitement d'aplomb. Car si elle penchait, elle deviendrait l'hypothénuse d'un triangle rectangle et serait inclinée à l'horison. Or dans cette position elle serait plus longue que le côté de l'angle droit exprimé par l'aplomb partant du carton.

La mire doit être exactement d'aplomb.

205. Le *porte-mire* est le seul qui puisse juger si la mire penche en avant ou en arrière; car cette position se trouvant dans le plan vertical du rayon de visée, l'ingénieur placé au niveau ne peut point apercevoir l'angle de déviation fait dans ce sens avec l'aplomb. Quant aux déviations à droite ou à gauche, l'ingénieur les aperçoit facilement, et si la déviation n'était pas assez sensible à cause de la distance, le fil vertical de la lunette ou de la pinnule, et même le côté seul de la fiole du niveau d'eau simple, l'indiquerait suffisamment.

Par qui l'inclinaison de la mire sera aperçue.

206. On doit avoir des signes de convention pour faire mettre d'aplomb la mire lorsqu'elle penche à droite ou à gauche. Le signe le plus naturel est celui de porter la main vers le côté opposé à celui vers lequel la mire penche, et de répéter ce geste jusqu'à ce qu'elle soit parfaitement verticale; ce qu'on reconnaîtra lorsque le fil vertical ou le côté de la fiole sera exactement parallèle ou même se confondra avec elle.

Signes de convention pour mettre la mire d'aplomb.

Fixation du carton de mire à la hauteur du rayon de visée.

Fig. 33.

207. Lorsque la mire sera parfaitement d'aplomb, on remarquera si le carton est au-dessus ou au-dessous du rayon de visée. Dans le premier cas on le fera baisser, et dans le second on le fera hausser jusqu'à ce qu'il soit arrivé au point où le fil horizontal ou le rayon de mire se confonde avec la ligne du milieu EF (fig. 33). Alors on fera signe de serrer la vis (126) et de l'arrêter provisoirement. Et comme il est possible que pendant l'opération la bulle d'air ait un peu varié, on constatera la chose; et si en effet il était survenu quelque légère altération, on rétablirait le niveau du tube par le moyen de la vis dont la direction en approche le plus. On bornerait encore et l'on ferait enfin définitivement arrêter le carton à la hauteur du rayon de visée.

Signes de convention pour faire hausser ou baisser le carton de mire.

208. Dans l'opération dont nous venons de parler, il y a encore des signes de convention. Ces signes consistent à élever la main pour faire hausser le carton et à la baisser pour le faire descendre. Il arrive souvent qu'au commencement le carton est beaucoup trop bas ou beaucoup trop haut. Alors on doit faire des mouvemens grands et rapides pour faire entendre que l'on doit hausser ou baisser de beaucoup.

Signes de conventions pour fixer le carton de mire.

209. Il y a encore un signe particulier pour faire connaître que le rayon de visée coïncide parfaitement avec la ligne de milieu du carton, et qu'on doit serrer la vis. Ce signe est arbitraire. Il suffit qu'il soit convenu. Il semble néanmoins qu'un mouvement horizontal de la main de gauche à droite est très-propre à faire sentir que le fil horizontal du niveau ou le rayon de visée coïncide exactement avec le carton et qu'on peut l'arrêter à ce point.

210. Il arrive souvent que la mire principale est trop basse et qu'il faut avoir recours à la mire additionnelle. On le reconnaît en ce qu'alors le rayon de visée passe au-dessus de la mire principale. Alors on fixe le carton et on élève la mire additionnelle ainsi qu'il a été dit (127. 2.°) en employant les signes dont nous venons de parler (208 et 209).

Comment on connaît s'il faut employer la mire additionnelle.

211. Lorsqu'il faut avoir recours à la mire supplémentaire, on en donne avis au *porte-mire* en portant la main au-dessus de la tête et en l'élevant à deux ou trois reprises différentes. C'est le signe le plus analogue au prolongement de la mire. Cependant on peut en employer d'autres à volonté. Il ne s'agit que d'en convenir.

Signes relatifs à ce cas.

212. Il arrive aussi quelquefois que la mire étant placée sur un terme fixe, l'endroit qu'on choisit pour établir le niveau est trop bas; ce qu'on reconnaît lorsqu'après avoir monté l'instrument, on s'aperçoit que le rayon de visée ne peut pas atteindre l'extrémité inférieure de la mire. Il peut pareillement arriver que ce même endroit soit trop élevé, ce qui aura lieu lorsque le rayon de visée franchira même la mire additionnelle. Dans le premier cas on placera l'instrument à un endroit plus élevé, et dans le second à un endroit plus bas, de manière que le rayon de visée puisse atteindre la mire soit principale soit additionnelle.

Comment on trouve le lieu convenable pour placer le niveau.

213. Pour rendre plus sensibles les divers signes dont nous avons parlé, il est à propos d'avoir quelque chose de blanc dans la main qui les fait; comme, par exemple, un petit rouleau de papier. Sans cette précaution il serait possible qu'à une certaine distance ou par un tems couvert ils ne fussent pas clairement aperçus par

Moyen de rendre les signes plus sensibles.

le *porte-mire* ; ce qui entraînerait nécessairement des équivoques dans la manœuvre de la mire.

Comment on doit tenir la mire en manœuvrant.

214. Lorsque le carton ne doit glisser que le long de la mire principale, le *porte-mire* doit d'une main tenir la mire à plomb, et de l'autre la vis du carton. Si au contraire on emploie la mire additionnelle, d'une main il tiendra la mire principale dans la partie où elle contient encore la mire additionnelle, et de l'autre la vis de cette dernière. Dans tous les cas ses yeux doivent être fixés sur l'ingénieur placé au niveau pour en suivre les signes et s'y conformer.

Transport de la mire de l'arrière à l'avant de la première station.

215. Le carton ayant été arrêté sur la mire à la hauteur du rayon de visée, le *porte-mire* doit abandonner le terme arrière pour se porter au terme avant de la première station. Il emportera la mire avec lui ; et de peur que le carton ne se déränge par le transport, il aura soin de la porter dans une position horisontale. A mesure qu'il passe, l'ingénieur prend la hauteur du carton ; et le piqueur ayant fait rentrer dans la mire principale la mire additionnelle, supposé qu'on y ait eu recours, continue sa route vers l'avant.

Comment on prend la hauteur de mire.

216. Nous avons dit (127) que dans le nivellement on ne prenait pas la hauteur du rayon de visée, mais seulement celle du bord inférieur du carton. Soient AB (*fig. 49*) la mire arrière et CD la mire avant représentées l'une et l'autre de face pour rendre la chose plus intelligible. Soit encore EF l'horison du rayon de visée qui coïncidera exactement avec les lignes de milieu EG, HF, des deux cartons placés à leur véritable hauteur. Il est certain que la hauteur vraie du rayon de visée est BK pour l'arrière et DL pour l'avant. Cependant on est dans l'usage de ne prendre que BM dans le

Fig. 49.

premier cas et DN dans le second. Il s'agit de prouver que l'une et l'autre de ces hauteurs donnent le même résultat.

Par le point B menons BP de niveau. DP sera la différence de niveau entre les points B et D. L'on aura en même-temps $BK = PL$ et $BM = PN$.

Cela posé, si l'on prend BK et DL pour les hauteurs de mire, on aura (182) la différence de niveau $= DL - BK = DL - PL = DP$; et si l'on prend BM et DN pour les mêmes hauteurs, on aura la différence de niveau $= DN - BM = DN - PN = DP$.

Ainsi ces deux hauteurs donnent le même résultat, et l'on devait bien s'y attendre: car si de deux quantités quelconques on retranche la même grandeur, leur différence est toujours la même. Et puisqu'il est beaucoup plus simple de prendre la hauteur de mire au bord inférieur du carton, il s'ensuit qu'on doit la substituer à la place de la hauteur du rayon de visée.

217. La division des mires tant principale qu'additionnelle n'est poussée (119 et 123) que jusqu'aux centimètres. Or il est très-rare que le bord inférieur du carton quand on n'emploie que la mire principale, ou l'extrémité supérieure de cette mire quand on a recours à la mire additionnelle, affleure exactement une division centimétrique. Par conséquent lorsque la hauteur contiendra des millimètres, on les évaluera par le moyen du *nonius*, ainsi qu'il a été dit plus haut (128).

Usage du *nonius* pour cet objet.

218. Il y a trois cas à examiner au sujet de la position que le *porte-mire* doit prendre à l'avant de la première station.

Position du *porte-mire* en avant.

1.° Le premier cas est celui où le terme serait désigné comme terme du nivellement; et alors il devrait être

un point fixe et immuable marqué de la même manière que le terme de départ (200). Mais il est possible que ce terme soit trop haut, et que le rayon de visée ne puisse pas l'atteindre, ou trop bas et tel que les deux mires principale et additionnelle placées bout-à-bout ne puissent pas parvenir au rayon de visée. Dans ces deux positions, il faut nécessairement faire deux stations, ainsi que nous allons le voir.

2.^o Le terme avant peut être subordonné à certaines conditions. Si, par exemple, il doit servir au tracé d'un canal ou d'un autre ouvrage quelconque dont la pente soit déterminée et qu'il faille s'établir sur le penchant d'une montagne, on sent, et nous le verrons plus bas, qu'il faut choisir un point où le carton de mire soit à une hauteur donnée. Dans ce second cas nous verrons ailleurs ce qu'il faut faire.

3.^o Le troisième cas est celui où l'on n'a d'autre objet que de connaître la différence de niveau de deux points à une certaine distance, par un nivellement composé, sans être obligé de suivre une route déterminée. Alors le choix du second terme de la station est arbitraire. Néanmoins comme il exige des précautions, nous allons en parler avec quelque détail.

Distance à laquelle le porte-mire doit se placer.

219. Lorsque le piqueur sera arrivé à l'avant à une distance du niveau égale à-peu-près à celle entre le terme arrière et l'instrument, on lui fera placer la mire à un point qui ne soit ni trop haut ni trop bas. Nous avons vu (212) comment on pouvait s'en assurer.

Précautions à prendre dans le placement de la mire en avant.

220. Dans cette nouvelle position la mire doit être posée sur un point fixe et qui ne puisse pas varier au moins pendant l'opération. On choisira donc une pierre saillante enfoncée en terre, et ce sera sur sa pointe cul-

minante

minante qu'on placera la mire. S'il ne s'en trouve pas de pareille, on en choisit une terrente qu'on enfonce en terre avec le pied et qui sert ensuite au même usage. Il peut arriver qu'on opère dans un pays où l'on ne trouve point de pierres. Alors tout ce qu'il y a de mieux à faire est que le porte-mire emporte avec lui une petite boule qu'il enfonce dans la terre à chaque station et sur le point le plus haut de laquelle il place la mire. En changeant de position, il l'emporte avec lui et s'en sert de la même manière à la suivante.

221. La mire étant placée à l'avant et tournée vers le niveau, l'ingénieur tourne l'instrument sur ses platines, s'il est à lunette ou à pinnules, et bornoyant il fait arrêter le carton à la hauteur du rayon de visée, en faisant les signaux convenus et mentionnés ci-dessus (206. 213). Ici le piqueur doit rester à son poste et même laisser la mire à sa place; cette position devant servir pour la station suivante.

222. Il y a des cas où avant de prendre cette dernière position, le piqueur doit se placer à d'autres points, tels que les angles de la ligne qu'on doit suivre, pour y prendre la hauteur du carton sans changer de station. Nous en parlerons plus bas.

223. Le carton de mire à l'avant étant fixé à sa hauteur, on enlève le niveau de dessus son pied et on emporte le tout en avant pour le rétablir au-delà de la mire à-peu-près à une distance égale à sa portée, et former ainsi la seconde station. Dans cette translation, l'ingénieur passera à côté de la mire, prendra la hauteur du carton et la portera sur son registre. On doit avoir soin surtout d'ôter et de mettre dans la poche la clé des vis du genou, de peur qu'elle ne se perde.

Ce que doit alors faire l'ingénieur.

Cas où l'on donne plusieurs coups de niveau entre les deux termes de la station.

Ce qu'on fait dans le changement de station.

Ce qu'il faut faire sur la seconde station et les suivantes.

224. Le niveau étant monté sur la seconde station, on regardera la mire qui formait l'avant de la première comme formant l'arrière de la seconde, et l'on suivra sur cette station et sur les autres jusqu'à la fin du nivellement les mêmes procédés que sur la première. Ainsi il est inutile d'y insister d'avantage. On observera seulement que dans toutes les stations, excepté la dernière, la mire avant d'une station quelconque sert en même-tems de mire arrière de la station suivante.

Nécessité et choix des repères de vérification.

225. Dans les grands nivellemens il est essentiel de rapporter par intervalles les opérations à des *termes* ou repères intermédiaires de *vérification*. Ces repères doivent être des points immuables tels que les termes extrêmes du nivellement (200). Alors sur la station où l'on prendra un repère pareil on donnera trois coups de niveau, savoir : arrière, sur le repère de vérification, et avant ; observant de finir par ce dernier en changeant de station. Par ce moyen ce repère se trouvera lié à la série des opérations du nivellement. Il sera avantageux d'en prendre le plus grand nombre possible. Mais lorsqu'on ne sera pas le maître d'en choisir à volonté, il faut tâcher du moins d'en avoir un par kilomètre de longueur, et comparer la hauteur de chaque repère à celle du repère précédent (176 et 179). Ces repères sont infiniment utiles dans l'exécution des projets, et en particulier pour la vérification des opérations, et pour la dresse des tables de nivellement, ainsi que nous le verrons plus bas.

La réfraction du rayon de visée sera nulle.

226. Dans tout ce que nous venons de dire, nous n'avons point parlé de la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent, ni de l'effet des réfractions. D'après la manière dont nous avons dit qu'il fallait placer

tant le niveau que la mire, on peut voir (38) qu'on doit absolument négliger la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent. Quant à la réfraction dont l'effet est de briser le rayon de visée et d'empêcher qu'il ne se propage en ligne droite, on sait qu'elle n'a lieu que quand la lumière passe d'un milieu plus dense dans un milieu plus rare ou réciproquement, et que ce passage se fait obliquement. Or 1.^o cette différence de densité est particulièrement dûe à l'inégalité de hauteur dans les diverses couches de l'atmosphère ou aux grandes distances sur lesquelles les vapeurs peuvent être inégalement répandues; 2.^o le rayon de visée se propage à travers une même couche horizontale dont par conséquent la densité doit être uniforme, ainsi qu'on peut le voir au N.^o 30 de notre *Essai sur la théorie des torrens et des rivières*; 3.^o la portée du niveau étant en général peu étendue, les vapeurs sur la même station doivent être uniformément disséminées et donner la même densité sur tous les points de la ligne. Ainsi l'effet de la réfraction sur le rayon de visée sera nul.

227. Lorsqu'on termine la séance soit de la dinée, soit du soir, il est essentiel de se rapporter à un point fixe et immuable qui serve de terme provisoire ou de suspension, où l'on placera la mire au dernier coup de niveau et d'où l'on partira en reprenant les opérations. Sans cette précaution il pourrait arriver que pendant l'interruption le terme de suspension fut dérangé; et dans ce cas on serait obligé de revenir au terme de vérification le plus à portée.

228. Rapprochons à présent tout ce que nous avons dit au Chapitre IV de ce que nous venons de dire dans ce paragraphe, et pour cela reprenons la fig. 46 sur la-

Choix des termes de suspension, lorsqu'on interrompt les opérations.

La détermination de la hauteur relative des points nivelés exige continuité dans la série des nivellemens de station.

quelle les termes des diverses stations sont désignés par les lettres A, B, C, D, O, P et E. On en conclura évidemment ce qui suit :

1.° Par le nivellement sur la première station AB on connaîtra la position verticale de B par rapport à A.

2.° Par le nivellement sur la seconde station BC on connaîtra la position verticale de C par rapport à B. Mais par le nivellement sur la première station on connaît celle de B par rapport à A. Donc on connaîtra aussi celle de C par rapport à A.

3.° Par le nivellement sur la troisième station CD on connaîtra la position verticale de D par rapport à C. Mais (2.°) on connaît déjà celle de C par rapport à B et A. Donc on connaîtra aussi celle de D par rapport à C, B et A.

4.° Enfin par le même raisonnement on verra que par les nivellemens successifs sur les stations suivantes on connaîtra la position verticale de chaque terme avant non seulement par rapport au terme arrière correspondant, mais encore par rapport à chacun des termes qui le précèdent.

Mais pour cela qu'on fasse bien attention qu'il faut essentiellement que tous ces points soient liés entr'eux par la série des coups de niveau, et que sur chaque station le terme avant doit en même-temps servir de terme arrière pour la station suivante, ainsi que nous l'avons observé au N.° 224. Car si, par exemple, sur la station BC on prenait pour terme arrière tout autre point B' que le point B, le nivellement ferait connaître la position de C par rapport à B'. Mais comme on ne connaît par la première station que celle de B et non celle de B' par rapport à A, il s'ensuivrait qu'on ne pourrait

pas connaître celle de C par rapport à A, et que la série des nivellemens serait interrompue entre B et B'. Dans ce cas il faudrait rétablir la continuité par une station particulière entre ces deux derniers points.

229. Lorsque dans un nivellement on n'a d'autre objet que de déterminer si un point est plus ou moins élevé qu'un autre, il paraît assez inutile d'en mesurer la distance. A quoi d'ailleurs servirait cette opération ? Elle ne pourrait être utile qu'autant qu'elle aurait lieu sur la ligne du projet à exécuter pour pouvoir en régler les pentes. Mais dans un premier aperçu destiné à en constater la possibilité, on ne suit pas cette ligne. Ainsi dans ce cas le chaînage serait superflu ; et il ne devient réellement nécessaire que lorsqu'on fixe les points par lesquels l'ouvrage projeté doit passer.

230. Le chaînage doit commencer au terme arrière de la première station et il doit se diriger sur le terme avant de la même station, s'il n'y a point d'angle intermédiaire. Mais si sur la première station la ligne à suivre renferme un ou plusieurs angles, on la suivra dans toutes ses sinuosités. On fera la même chose sur les stations suivantes jusqu'à la fin, en se dirigeant d'un angle à l'autre.

231. Pour pouvoir convenablement diriger les piqueurs *porte-chaines* dans cette mensuration, et les empêcher de sortir de la ligne à mesurer, on doit placer un jallon au point où ils doivent aboutir, et un autre en avant et sur le prolongement de la ligne à suivre.

Soit ABCG (*fig. 50*) la ligne sur laquelle on doit chaîner en partant du terme A. On placera un jallon au point A et un autre au point B. Ensuite le piqueur *porte-jallons* s'avancera à environ 20 mètres de B et au point

Cas où la mensuration des longueurs est superflue dans le nivellement.

Le chaînage doit suivre toutes les sinuosités de la ligne nivelée.

Moyen de diriger les piqueurs *porte-chaines*.

Fig. 50.

D où le jallon B couvrira le jallon A il en plantera un troisième qui, avec les deux autres, ne formera qu'une seule ligne droite ABD. Il fera la même chose au point C et sur le prolongement F de la ligne BC ; et ainsi de suite jusqu'à la fin.

Plantation et enlèvement des jallons.]

232. Les jallons doivent être plantés à côté du point où la mire aura été placée, en observant de ne pas déranger la pierre sur laquelle elle aura été posée (220). Ils doivent être enfoncés d'aplomb et assez profondément pour ne pas se déverser par le vent. Le carton blanc qu'ils portent (105) doit être tourné vers les porte-chaînes.

Lorsque les porte-chaînes auront mesuré de A en B, le porte-jallons enlèvera les jallons A et D pour les transplanter en avant. Il enlèvera aussi le jallon B s'il a déjà placé le jallon F, et ainsi de suite. Par où l'on voit que dans les grands nivellemens on a besoin d'un piqueur spécialement affecté à planter les jallons en avant et à enlever ceux de l'arrière.

Opérations préliminaires des porte-chaînes.

233. Parlons à présent des fonctions des porte-chaînes et de la manière dont ils doivent se conduire dans les mensurations.

La première chose à faire est de déployer la chaîne et de l'étendre sur terre suivant la ligne à mesurer. On observera qu'il n'y ait rien d'embarassé ni dans les chaînons ni dans les anneaux.

Après cela l'un des piqueurs en prend la poignée arrière qu'il place au point même du départ, tandis que l'autre en prend la poignée de l'avant. Ce dernier prend aussi les dix fiches en fer (137) ; et il en tient une avec la poignée de la chaîne.

234. Tout étant ainsi disposé, le piqueur avant tend exactement la chaîne fixée au point A (*fig. 50*) par le piqueur arrière, et il s'aligne sur les jallons B et D de manière que le premier couvre le second. Lorsque la chaîne est parfaitement tendue sur la ligne AB, le piqueur avant plante en terre au point H et à l'extrémité de la poignée la fiche qu'il tenait de la même main. Il en prend une seconde et il s'avance en traînant la chaîne sur la même ligne, jusqu'à ce que le piqueur arrière soit arrivé au point H, où il fixe momentanément la poignée arrière à la fiche qui s'y trouve. Dans ce temps-là le piqueur avant plante la seconde fiche en K à l'issue de la chaîne tendue et alignée sur BD, et ensuite il marche en avant, tandis que le piqueur arrière arrache la fiche H et le suit jusqu'au point K pour opérer sur KL de la même manière que sur HK. L'on continue ainsi jusqu'à ce qu'on soit arrivé au point dont on voulait mesurer la distance. On doit observer de planter les fiches d'aplomb et que la poignée de la chaîne soit d'équerre à la ligne qu'on mesure.

Comment on procède au chaînage.
Fig. 50.

235. L'on voit par là que le nombre des fiches qui se trouvent dans la main du piqueur arrière, exprime le nombre de chaînées depuis le point du départ jusqu'à celui où il arrive. Multipliant donc le nombre de mètres de la chaîne par celui de ces fiches, on a la longueur de la ligne mesurée. L'on voit en même-temps la nécessité de ne pas placer le niveau sur la ligne à mesurer (201), pour que la chaîne ne passe pas entre les branches du pied de l'instrument.

Comment on connaît les distances par le nombre des fiches.

236. Dans les projets on se rapporte ordinairement à des repères placés par intervalles. Quelquefois ces repères sont également espacés entr'eux et à la distance de 100

Comment se fait le chaînage entre deux repères sur une ligne soit droite soit sinueuse.

ou de 200 mètres les uns des autres : souvent aussi on prend pour repères les angles même de la ligne, surtout lorsqu'il y a beaucoup de sinuosités; et tant les angles que les repères, tout doit être marqué par des piquets.

Fig. 50.

Dans le premier cas, s'il n'y a point d'angle sur l'espace compris entre deux repères, on mesure ainsi qu'il a été dit (234) jusqu'à ce qu'on soit arrivé au repère avant. Et comme cette distance contient un nombre exact de chaînées, il n'y a point de difficulté. Mais s'il y a des angles B et C (*fig. 50*) entre les deux repères A et G, après avoir planté la fiche en M le piqueur avant doit continuer sa route sur D jusqu'à la fin de la chaînée en N. Le piqueur arrière prend la distance MB par les anneaux de la chaîne, l'ajoute à AM et en tient compte. Ensuite fixant contre le point B le point correspondant de la chaîne, le piqueur avant se détourne par un arc de cercle et vient planter en N' la fiche qui, sans l'angle en B eut été plantée en N. L'on continue le chaînage sur BC où l'on marque de la même manière qu'en B la distance de C à A, et d'où l'on se détourne pareillement sur CG pour arriver enfin au repère G. Nous n'avons pas besoin de dire qu'ayant pris note des longueurs AB et ABC, on connaîtra aussi $BC = ABC - AB$.

Dans le second cas le repère au lieu d'être en G étant en B, la mensuration de la distance AB, quoique composée d'un nombre fractionnaire de chaînées ne souffrira aucune difficulté d'après ce que nous venons de dire au sujet du premier cas.

Manière de chaîner
sur un terrain en
pente.

Fig. 51.

237. Si le terrain AB (*fig. 51*) est en pente, à chaque chaînée la chaîne sera tendue horizontalement, comme on le voit par les chaînées AC, DE, FG, etc. Pour cela du

le piqueur du côté d'aval emploiera un jallon qu'il placera bien d'aplomb à l'extrémité de la chaîne, et au pied duquel il plantera la fiche s'il est de l'avant, ou il plantera le jallon à la place de la fiche s'il est piqueur d'arrière, c'est-à-dire, selon qu'on marchera de A vers B ou de B vers A.

Par cette méthode on aura $AC + DE + FG + HK + LM + NO = AP$, qui est la vraie distance horizontale de A en B; au lieu que AB étant l'hypothénuse du triangle rectangle APB est plus longue que AP.

238. Lorsque les pentes sont rapides, on sera assez souvent obligé de faire plus d'une station pour chaque longueur de chaîne; car le piqueur d'aval étant obligé de se servir d'un jallon pour tendre la chaîne de niveau, il peut arriver qu'il ne puisse pas y atteindre. Dans ce cas il doit marquer sur la chaîne le point qui aboutit au haut du jallon et le porter au bas pour la suite du chaînage. Il serait même à propos de n'employer alors que des chaînes de 10 mètres.

Comment on chaîne sur les pentes rapides.

§. II.

Usage du niveau à eau simple.

239. Souvenons-nous de ce que nous avons dit (76 et 77) des vices de ce niveau; que pour le corriger, il faut le monter sur un genou à platines (78), et qu'il est nécessaire de coller sur chaque tube montant et sur la fiole une bande de papier contenant une échelle. Avec ces précautions, l'instrument étant placé sur son pied à l'endroit convenable (201) on le montera de niveau, ainsi qu'il a été dit (202). Dans cette dernière opéra-

Comment on doit établir et monter le niveau.

tion, on connaîtra que les platines sont parfaitement de niveau, lorsque la liqueur s'élèvera dans les fioles à la même hauteur; ce qu'on verra par le moyen des échelles graduées. Alors on dirigera le tube principal vers la mire pour prendre la hauteur du carton.

Quelle doit être la direction du rayon de visée.

240. Le rayon de visée ne doit pas être dirigé suivant la ligne qui affleure le bombement du fluide dans les fioles (79. 1.°) : car le verre des fioles intercepterait en grande partie les rayons de lumière et l'on ne pourrait distinguer que confusément la ligne de mire sur le carton. La véritable direction du rayon de visée est la ligne qui passe par les points de contact de la surface du fluide et des parois extérieures des fioles. Mais qu'on ait soin de ne pas tomber à ce sujet dans l'erreur dont nous avons parlé au N.° que nous venons de citer, en confondant le bombement du fluide avec le point de contact du verre.

Transport du niveau d'une station à l'autre.

241. Nous avons détaillé dans le § précédent tout ce qu'il fallait observer en bornoyant tant arrière qu'avant. Il ne s'agit plus que de dire quelque chose au sujet du transport du niveau d'une station à l'autre.

1.° Nous avons vu (223) qu'il fallait séparer l'instrument de son pied dans le changement de station. Mais auparavant il faut avoir soin de boucher exactement le goulot des fioles avec un bouchon soit de liège, soit de bois, pour empêcher que pendant le transport la liqueur ne s'extravase.

2.° En transportant le pied de l'instrument, il faut prendre garde qu'il ne heurte les fioles et ne les casse. C'est pour cette raison qu'il serait à propos que le porte-jallon se chargeât du pied, et l'ingénieur ou un piqueur du corps de l'instrument.

242. Après avoir placé l'instrument pour la seconde station, avant de mettre les platines du genou de niveau, on doit déboucher les fioles pour permettre à la liqueur de se mettre de niveau dans chaque tube montant. On opérera ensuite de même que sur la première station, et l'on continuera ainsi jusqu'à la fin.

Ce qu'il faut faire après avoir changé de station.

243. Si le niveau n'était point à genou ou à platines, mais à douille adhérente au tube ou à noix, on n'aurait pas besoin de coller une échelle graduée sur les fioles, et pour opérer il suffirait de diriger l'instrument vers la mire en le faisant tourner sur le cône tronqué reçu par la douille ou sur la noix. Mais dans ce cas (76 et 77) on ne doit pas compter sur une grande précision. Aussi ne doit-on employer un pareil instrument que pour des opérations de peu d'importance.

Ce qu'il faut observer si le genou n'est pas à platine.

§ III.

Usage du niveau à bulle d'air et à pinnules.

244. Lorsque l'instrument aura été placé et que les platines du genou auront été mises de niveau, ainsi qu'il a été dit au § I, on dirigera la règle à pinnules sur la mire, et l'on fermera avec la plaque à coulisse (90) le chassis opposé pour substituer aux fils le petit trou servant d'oculaire. On bornoyera par cet oculaire de façon que le fil horizontal de la pinnule du côté de la mire se confonde avec la ligne de milieu du carton. Pour ce qui est des autres détails, on se conformera au § I.

Comment on doit se servir de cet instrument.

245. Dans les transports pour le changement de station, l'ingénieur seul doit se charger de l'instrument et en remettra le pied à un piqueur. On doit fermer les

Précautions à prendre dans le transport de l'instrument d'une station à l'autre.

chassis des pinnules, de peur que quelque accident n'en casse les fils. Il faut le ménager avec soin et surtout prendre garde de ne pas fausser la règle. Car alors il faudrait une nouvelle vérification.

SECTION IV.

Usage du niveau à bulle d'air et à lunette.

Comment on se sert de ce niveau.

246. L'instrument ayant été placé et monté ainsi qu'il a été dit au § I, on allongera ou l'on raccourcira le tuyau de l'oculaire pour mettre la lunette à la portée de la vue de l'ingénieur. Ensuite on bornoyera sur la mire et on fera arrêter le carton au point où sa ligne de milieu se confondra avec le fil horizontal de la lunette. Tous les autres détails sont les mêmes que ceux exposés dans le § que nous venons de citer et auquel nous renvoyons.

Ce qu'il faut observer dans le changement de station.

247. Dans les changemens de station, l'ingénieur doit exclusivement se charger du transport du niveau séparé de son pied. Cet instrument est très-délicat et il exige d'être transporté avec précaution. Ainsi à cet égard on observera ce qui suit :

1.° Après avoir enfoncé le tuyau de l'oculaire, on portera le niveau sous le bras en le tenant par la douille.

2.° L'objectif de la lunette sera par derrière et le tuyau incliné du même côté, pour avoir sous les yeux le tuyau de l'oculaire et l'empêcher de glisser et de tomber.

3.° Il faut avoir soin que rien ne se fausse, ni la règle, ni la lunette; et que les verres ne se salissent point.

4.° Celui qui portera le niveau ne doit porter ni le pied ni rien de dur, de peur de quelque choc qui en-dommage l'instrument.

5.° En le remettant sur son pied on doit le poser doucement et avec précaution pour éviter toute secousse qui ne pourrait que lui nuire.

SECTION III.

De la manière de tenir un registre de nivellement et du calcul des hauteurs.

§. I.

De la manière de tenir un registre de nivellement.

248. Nous avons observé plus haut (229) qu'il y avait des nivellemens sans chaînage et d'autres avec chaînage. Quoiqu'il y ait peu de différence dans la tenue du registre pour chaque cas, cependant comme il en existe une, nous allons examiner les deux cas.

Deux sortes de nivellemens , sans chaînage et avec chaînage.

249. Dans le cas où l'on n'emploie point le chaînage (229) on dressera un tableau composé de quatre colonnes, dont la première désignera le N.° de la station, la seconde contiendra la hauteur de mire arrière, la troisième la hauteur de mire avant, et la quatrième sera destinée aux observations. On aura la précaution de donner à la seconde et à la troisième la largeur nécessaire pour pouvoir y insérer au besoin à la suite du nombre qui exprime la hauteur de mire une lettre d'indication entre deux parenthèses, qui fasse connaître les observations qui s'y rapportent.

Dresse du tableau relatif aux nivellemens sans chaînage.

Modèle de registre
relatif à ce cas.

250. Comme les exemples instruisent plus que les explications, nous allons tracer un modèle que nous remplirons par des nombres et des observations arbitraires.

MODÈLE

De Registre de nivellement sans chaînage.

NUMÉROS des stations.	HAUTEURS		OBSERVATIONS.
	arrière.	avant.	
1	3. ^m 456 (A).	0. ^m 526.	(A) Terme de départ marqué par une croix sur le seuil de la maison de campagne de M. N.
2	2. 948.	0. 754.	
3	3. 344.	0. 941.	
4	1. 927. (B)	1. 436.	(B) Repère de vérification marqué par une croix sur un rocher dans la propriété de M. N.
5	0. 742.	3. 249.	
6	0. 222.	3. 434.	
7	0. 125.	3. 244 (C).	(C) Terme d'arrivée marqué par une croix sur le bahut du pont de..
TOTAUX.	12. 764.	13. 584.	

Modèle de registre
relatif aux nivelle-
mens avec chaînage.

251. Dans le cas où l'on emploie le chaînage (229) on emploie la même forme avec une colonne de plus destinée à recevoir les longueurs de chaque station. Cette colonne doit être placée immédiatement avant celle des observations, ainsi qu'on le voit dans le modèle suivant.

MODÈLE

De Registre de nivellement avec chaînage.

NUMÉROS des stations.	HAUTEURS arrière,	HAUTEURS avant,	LONGUEURS des stations.	OBSERVATIONS.
1.	3. ^m 456. (A)	0. ^m 520,	350 mètres	(A) Terme de départ marqué par, etc.
2.	2.534.	0.232,	380.	
3.	3.032.	0.454.	325.	
4.	1.927. (B)	0.924.	295.	(B) Repère de vérification situé etc.
5.	0.426.	3.254.	394.	
6.	0.245.	3.334.	342.	
7.	0.453.	2.345. (C)	378.	(C) Terme d'ar- rivée marqué par, etc.
TOTAUX.	12.073.	11.063.	2464.	

252. Lorsqu'on trace un projet et que la ligne du tracé contient beaucoup d'angles, ainsi que cela arrive ordinairement dans les pays montueux, on commence à fixer le sommet de tous ces angles, et alors d'une seule station de niveau on prend la hauteur de mire à chacun d'eux. Ces points intermédiaires aux deux termes extrêmes de la station ne sont à la rigueur ni termes avant ni termes arrière. Cependant quand on veut avoir la série de tous les coups de niveau qu'on donne, on

Cas où la station contient plus de deux coups de niveau.

peut encore les regarder comme formant des stations particulières.

Fig. 50.

Supposons que A et G (*fig. 50*) soient les deux termes extrêmes d'une seule station, et que sans déplacer l'instrument on prenne successivement la hauteur de mire aux points A, B, C et G. On peut regarder la station comme composée de trois stations particulières dont les termes d'arrière et d'avant sont, savoir : pour la 1.^{re} A et B ; pour la 2.^{me} B et C, et pour la 3.^{me} C et G. Dans ce cas la hauteur de mire aux points intermédiaires B et C est la même, considérée comme hauteur arrière et hauteur avant tout ensemble.

Modèle de registre
relatif à ce cas.

253. Le modèle de registre dans des cas semblables différera peu du dernier, et sera tel qu'il suit, ou à peu près.

MODÈLE

De Registre de nivellement à plusieurs coups de niveau sur la même station.

N. ^{os} des stations.	HAUTEURS arrière.	HAUTEURS avant.	LONGUEURS entre les coups de niveau.	OBSERVATIONS.
1.	1.432 (A)	1.541	70 mètres	(A) Terme de départ, etc.
	1.541	1.312	105	
	1.312	1.453	190	
2.	2.104	2.246	85	
	2.246	2.313	98	
	2.313	2.411	94	
	2.411	2.506	112	
3.	1.971	1.845 (G)	60	(G) Repère de vérification hors de la ligne, etc.
	1.845	1.314	112	
	1.314	1.607 (K)	156	
TOTAUX.	18.489	18.548	1082	(K) Terme d'arrivée, etc.

254. Dans

254. Dans le modèle ci-dessus on voit qu'il y a le terme de vérification G placé hors de la ligne du tracé et dont la distance au point précédent est de 60 mètres. Observations sur ce modèle.

Cette distance se prend du point du tracé, déterminé par la ligne d'équerre tirée du terme G.

255. Dans ce même cas il y a une autre manière de tenir le registre qui a également son mérite et qu'on trouvera peut-être préférable, parce qu'elle se rapproche d'avantage de la marche qu'on suit dans les opérations. D'ailleurs elle embrasse tous les cas soit avec chaînage, soit sans chaînage; quelque multipliés que doivent être les coups de niveau sur la même station. Enfin elle est beaucoup moins compliquée que les précédentes. Formation d'un registre qui embrasse tous les cas.

Dans cette manière de tenir le registre on n'a besoin que de trois colonnes. La première est affectée aux hauteurs de mire; la deuxième aux distances des repères précédens, et la troisième aux observations.

Dans la première colonne on écrit, les unes au-dessous des autres, les hauteurs de mire à mesure qu'on les prend; et lorsqu'on change de station on sépare les deux hauteurs de mire qui regardent le même point par une ligne qui peut représenter la mire.

Dans la deuxième colonne et sur la ligne des hauteurs on porte la distance du point correspondant au repère précédent.

Dans la troisième et au droit de ces diverses hauteurs on désigne les points auxquels elles se rapportent.

256. Nous allons donner un exemple de cette forme de registre. Il fera beaucoup mieux sentir la chose que tous les raisonnemens possibles. Modèle de ce registre.

Modèle général de registre de nivellement.

A

HAUTEUR DE MIRE.	DISTANCE AU REPÈRE.	OBSERVATIONS.
1. ^m 945		Terme de départ. Repère = I. situé, etc.
1.456	50 ^m	Angle à droite, situé, etc.
1.378	180	Angle à gauche, situé, etc.
1.798	260	Angle à gauche, situé, etc.
1.846	310	Angle à droite, situé, etc.
1.579		
	400	Repère 2. Angle à droite, situé, etc.
2.101		
2.307	60	Angle à gauche, situé, etc.
2.004	130	Angle à droite, situé, etc.
1.162 (P)	180	Terme de vérification, situé, etc.
2.313	210	Angle à gauche, situé, etc.
2.422	304	Angle à gauche, situé, etc.
2.013		
	396	Repère 3. ^e Angle à droite, situé, etc.
1.514		
1.409	80	Angle à droite, situé, etc.
1.345	130	Angle à gauche, situé, etc.
1.443	210	Angle à droite, situé, etc.
1.634	304	Angle à gauche, situé, etc.
1.394		
	410	Repère 4. ^e Angle à droite, situé, etc.
1.254		
1.545	70	Angle à gauche, situé, etc.
1.323	150	Angle à gauche, situé, etc.
0.634		
	300	Terme de vérification.
1.946		
1.341	400	Repère 5. ^e terme de vérification situé etc.

B

257. Si dans ce modèle on tire la ligne AB, et qu'on la regarde comme la ligne sur la direction de laquelle on opère, on verra 1.° que la disposition des hauteurs de mire suit l'ordre naturel suivant lequel ces hauteurs sont prises; 2.° que les traits horisontaux qui séparent les coups de niveau des diverses stations représentent la position de la mire au terme avant de chaque station; 3.° que lorsque ce terme est au repère ou qu'il appartient à la ligne sur laquelle on opère, sa distance se rapporte au repère précédent (236); 4.° qu'il en est de même de la distance des points intermédiaires d'une station, lorsqu'ils appartiennent à cette ligne (236); 5.° que dans le cas où les localités obligent à terminer la station à un point C pris hors de la ligne, la distance de ce point au repère qui précède se prend ainsi qu'il a été dit (254) au point du tracé correspondant au terme dont nous parlons, et déterminé par la ligne tirée quarrément de ce terme à celle du tracé.

1.° Observation sur ce modèle.

258. Ce même modèle nous fait encore voir qu'on peut d'une part multiplier à volonté le nombre de points intermédiaires de vérification, ce qui est essentiel dans les nivellemens de détail, tels que ceux de profil; et de l'autre faire sur chacun de ces points toutes les observations dont on peut avoir besoin. Il ne s'agit seulement que de laisser plus d'espace à proportion entre les nombres qui expriment les hauteurs de mire.

2.° Observation sur le même modèle.

259. Le seul inconvénient qu'ait ce tableau est qu'on ne peut pas, ainsi que sur ceux qui le précèdent (250, 251 et 253) faire au bas des colonnes les additions des hauteurs arrière et avant, et que dans les calculs qu'on a à faire on est obligé d'extraire ces diverses hauteurs

3.° Observation sur le même modèle.

et d'en dresser un tableau tel que celui du N.º 250. Nous sentons en effet qu'en pareils cas c'est un peu plus de peine à prendre. Mais en même-temps on conviendra qu'on en est amplement dédommagé par l'ordre, la clarté et les autres avantages (257 et 258) que ce tableau présente. D'ailleurs on doit observer que les calculs les plus essentiels dans les grands projets se font bien moins sur les lieux que dans le silence du cabinet où l'on a essentiellement besoin des plus grands détails sans aucune confusion d'objets, et que sous ce rapport le mode que nous présentons ne laisse rien à désirer.

§. II.

Du calcul des hauteurs.

Principe fondamental pour le calcul des hauteurs.

260. D'après le N.º 188 la différence de niveau de deux points liés par une série de nivellemens est égale à celle qui règne entre la somme des hauteurs de mire arrière et celle des hauteurs de mire avant. Nous allons appliquer ce principe aux différens tableaux que nous avons donnés dans le § précédent.

1.º Application au modèle du N.º 250.

261. Nous supposons d'abord qu'il s'agit d'un nivellement sans chaînage, et pour cela prenons le tableau du N.º 250. Dans ce tableau on a :

Somme des hauteurs avant.	13. ^m 584
Somme des hauteurs arrière.	12. 764

Différence 0.^m 820

Or la somme des hauteurs avant est plus grande que celle des hauteurs arrière. Donc (190. 2.º) le terme d'arrivée C sera plus bas que le terme de départ A de la quantité = 0.^m820.

262. Si nous voulons nous borner à la comparaison des hauteurs des points A et B, il faut prendre la somme des trois premières hauteurs d'arrière et d'avant, ce qui nous donnera, savoir :

2.^e Application au même modèle.

Pour la somme des hauteurs d'arrière. 9.^m 748

Pour la somme des hauteurs d'avant. 2. 221

Différence. 7.^m 527

Mais ici la somme des hauteurs arrière est plus grande que celle des hauteurs avant. Donc (190. 1.^o) le terme B sera plus élevé que le terme A de 7. 527

263. Si nous ne voulions connaître que le rapport des hauteurs des points B et C, d'après le même procédé nous aurions, savoir :

3.^e Application au même modèle.

Pour la somme des hauteurs d'avant. 11.^m 363

Pour la somme des hauteurs d'arrière. 3. 016

Différence. 8. 347

Et puisque la somme des hauteurs avant est plus grande que celle des hauteurs arrière, on aura (190. 2.^o) le terme C qui sera plus bas que le terme B de la quantité 8.^m 347.

264. Reprenons la figure 44, et supposons que dans un nivellement fort étendu dont les deux termes extrêmes sont A et K l'on ait fixé par intervalles des termes intermédiaires de vérification aux points C, D, E, F, G et H. Rappelons nous aussi le tableau du N.^o 179 qui fixe les rapports de hauteur de chacun de ces points et du terme K avec celui qui le précède. Nous verrons d'après ce que nous avons dit jusqu'à présent que dans ce cas on peut dresser un modèle de table semblable à celui du N.^o 250 pour exprimer toutes ces relations;

Modèle de table des repères de vérification pour les grands nivellemens.

Fig. 44.

car on peut regarder chaque intervalle tel que AC comme formant une seule station dont la hauteur arrière sera $= AL$, et la hauteur avant $= 0$; et si l'espace est descendant comme DE, l'arrière sera $= 0$, et l'avant $= EN$.

MODÈLE

De table pour les termes de vérification dans les grands nivellemens.

DÉSIGNATION des intervalles.	HAUTEURS		OBSERVATIONS.
	arrière.	avant.	
AC	AL	»	
CD	CM	»	
DE	»	EN	
EF	EO	»	
FG	»	GP	
GH	GQ	»	
HK	»	KR	

1.^o Application à ce modèle.

265. Il sera aisé d'après cette table de trouver la hauteur respective de deux points quelconques. Rapportons, par exemple, le point F au point A. On aura $AL + CM + EO - EN$ pour la différence de niveau entre ces deux points (188); et d'après le N.^o 190 on verra si le point le plus élevé sera A ou F.

Si l'on veut rapporter le point F au point K on aura (188) leur différence de niveau $= GQ - (GP + KR)$.

266. Dans les grandes opérations il est infiniment utile de rapporter la position verticale de tous les points de vérification à celle d'un seul point qui est ordinairement le terme de départ ; c'est-à-dire, de la rapporter à la ligne de niveau de ce dernier point. C'est ce qui se fait aisément d'après la table ci-dessus et d'après le principe général établi au N.º 188. En effet dans la figure 44 on aura la hauteur de C = AL = CC', celle de D = AL + CM = DD' ; celle de E = AL + CM - EN = EE' ; et ainsi de suite. Alors la ligne de niveau AB est l'axe des abscisses, et les hauteurs des divers points C, D, E, etc., en sont les ordonnées. D'où il suit que la position verticale d'un point quelconque D par rapport à un autre point quelconque G se trouvera en prenant la différence entre les ordonnées correspondantes DD' et GG' ; le tout conformément à ce qui a été dit au N.º 179.

2.º Application à ce même modèle,

267. Venons au nivellement à chaînage, et examinons d'abord le cas où chaque station ne contient que deux coups de niveau, l'un arrière et l'autre avant. Pour cela reprenons le modèle de table du N.º 251. En le comparant à celui du N.º 250, on voit qu'il n'y a d'autre différence que celle des longueurs des stations qui sont portées sur celui dont nous allons nous occuper et qui ne le sont pas sur l'autre. Ainsi tout ce que nous avons dit au N.º 261 au sujet du calcul des hauteurs respectives de divers points s'applique littéralement au cas dont nous parlons.

Observation sur le modèle du N.º 251,

268. Supposons donc qu'on veuille avoir la différence de niveau entre les deux termes extrêmes A et C du nivellement. Dans la table on aura, savoir :

La somme des hauteurs arrière.	12. ^m 073
La somme des hauteurs avant.	11. 063
Différence.	<hr/> 1. 010

1.º Application à ce modèle,

D'où il suit (190. 1.^o) que le terme de départ sera plus bas que celui d'arrivée de 1.^m010.

Mais la distance du premier terme au second est de 2464 mètres. C'est donc sur cette longueur qu'il faut répartir la quantité 1.^m010, si l'on veut avoir une pente uniforme; ce qui donnera la pente de 0.^m041 sur 100.^m de longueur.

2.^e Application au même modèle.

269. Si l'on ne voulait connaître que la différence de niveau entre les termes B et C, on aurait, savoir:

Somme des hauteurs avant.	9. ^m 857
Somme des hauteurs arrière	3. 051
Différence.	<hr/> 6. 806

Ainsi (190. 2.^o) le terme C est plus bas que le terme B de la quantité de 6.^m806.

Mais la distance du point B au point C est de 1409.^m Donc si l'on veut donner une pente uniforme entre ces deux points, cette pente doit être de 0.^m476 sur la longueur de 100.^m

Application au modèle du N.^o 253.

270. Le calcul est encore le même dans le cas où de la même station de niveau on prend la hauteur de mire de divers points intermédiaires aux deux termes extrêmes de la station et qu'on les rapporte sur le tableau y relatif. Ainsi on opérera sur le tableau du N.^o 253 de la même manière que nous venons de le faire sur celui du N.^o 251, tant pour déterminer les hauteurs comparatives de divers points, que pour distribuer uniformément les pentes.

1.^e Application au modèle général.

271. Prenons le modèle général du N.^o 256, et supposons qu'on veuille connaître la position du point de départ comparée à celle du repère 5.^e D'après ce tableau général il ne s'agit que de dresser un tableau particulier semblable

semblable à celui du N.º 251, et pour cela on n'y portera plus que les hauteurs arrière et avant de chaque station, ayant soin de les classer dans leurs colonnes respectives. On portera aussi sur la colonne des distances les longueurs d'un repère à l'autre. Alors il ne s'agira que d'un calcul semblable à celui du N.º 268.

Ainsi dans le modèle dont nous parlons il y a cinq stations dans chacune desquelles la première hauteur représente la hauteur arrière et la dernière la hauteur avant. On dressera donc le tableau comme il suit.

NUMÉROS des stations.	HAUTEURS arrière.	HAUTEURS avant.	DISTANCES des repères.	OBSERVATIONS.
1.	1. ^m 945.	1. ^m 579.	400. ^m	
2.	2. 101.	2. 013.	396.	
3.	1. 514.	1. 394.	410.	
4.	1. 254.	0. 634.	400.	
5.	1. 946.	1. 341.		
TOTAUX...	8. 760.	6. 961.	1606.	

Dans ce tableau on a, savoir :

Somme des hauteurs arrière. 8.^m 760

Somme des hauteurs avant. 6. 961

Différence. 1. 799

Ainsi (139. 1.º) le point du départ est plus bas que celui d'arrière de 1.^m799. Et puisque la longueur totale

est de 1606 mètres, la contre-pente uniforme sera de $0,^m_{112}$ sur $100.^m$ de longueur.

Ces deux résultats seront ensuite portés sur la colonne des observations.

2.^e Application au même modèle.

272. Si l'on voulait connaître la position respective de deux autres points quelconques, on se conduirait d'une manière semblable; et si l'on ne voulait connaître que cette position, on négligerait la colonne des distances.

En général on ne composera le tableau que nous venons de voir que des seuls élémens qui doivent y entrer et qu'on extraira du registre général.

SECTION IV.

De la vérification d'un nivellement.

La vérification d'un nivellement se fait par un autre nivellement.

Fig. 46.

273. La ligne EY (*fig. 46*) est (188) la différence de niveau entre les deux points A et E termes extrêmes d'un nivellement que nous avons supposé avoir été fait en franchissant le sommet D de la butte ADE, et en commençant par le point A. Or l'inspection seule de la figure fait voir qu'on trouverait le même résultat en prenant le point E pour le terme de départ. D'ailleurs cette différence de niveau entre les deux termes existant dans la nature indépendamment de la route qu'on peut suivre pour en constater la quantité, il est visible que, quelle que soit cette route, on trouvera toujours le même résultat. Ainsi *la vérification d'un nivellement se fait par un autre nivellement.*

274. Il suit de là que si, pour s'assurer de la possibilité d'un projet, par exemple, d'un canal en partant du terme A, on a nivelé suivant la ligne ABCDEFGHKL M (fig. 52) autour d'une chaîne de montagnes pour aboutir au terme M vis-à-vis le terme A, on peut vérifier ce nivellement par un nivellement direct suivant la ligne AM. Si les résultats sont égaux, le premier nivellement est exact. Il doit encore être regardé comme tel, s'il n'y a que peu de différence entre les résultats : car on sent bien que dans l'état naturel il est impossible d'atteindre à une précision géométrique, et que la seule épaisseur du fil de la lunette ou de la pinnule peut, après un grand nombre de coups de niveau, donner une différence sensible.

Dans quel cas on doit regarder un nivellement comme exact.

Fig. 52.

275. Dans le cas où il y aurait une différence considérable entre les résultats, ce serait une preuve que l'un des deux nivellemens serait defectueux; et comme rien ne prouverait si l'erreur affecte le nivellement développé ou le nivellement direct par AM, il faudrait répéter ce dernier, comme étant le plus court. Si l'on trouve toujours la même erreur, on peut être persuadé qu'elle a été commise sur le nivellement par ABC, etc...

Comment on s'assure si l'erreur est dans le nivellement ou dans la vérification.

276. Pour trouver cette erreur, il faut reprendre le nivellement sur ABC, etc... Mais pour simplifier il faut se rapporter aux repères de vérification. Supposons que ces repères se trouvent aux points d'angle B, C, D, etc. Par le premier nivellement on connaît la hauteur de B par rapport à A, de C par rapport à B, de D par rapport à C, etc. On vérifiera donc successivement les nivellemens de A en B, de B en C, de C en D, etc. Si l'erreur n'a été commise que sur un seul espace, on la trouvera sur cet espace. Mais si elle en

Si l'erreur est dans le nivellement développé, on la trouve par les repères de vérification.

affecte deux ou plusieurs, on ne la découvrira que par parties sur ces divers espaces. Si, par exemple, l'erreur est toute entière sur l'espace BC, on la trouvera en nivelant de B en C lorsque les deux résultats seront inégaux; et pour mieux s'en assurer on répétera le nivellement de B en C. Si au contraire elle affecte les trois espaces BC, DE et GH, on traitera les deux derniers espaces ainsi que le premier, et l'on verra si les trois erreurs partielles forment une quantité égale à l'erreur totale. Alors il suffira de la réparer sur le registre, et il sera inutile de pousser la vérification plus loin, puisqu'avec cet amendement les résultats par ABC, etc., et par AM seront égaux.

Par où l'on voit que si l'on n'avait pas pris des repères intermédiaires aux deux termes extrêmes, la vérification aurait exigé le nivellement sur toute la longueur de la ligne pour trouver l'erreur.

Cas où la vérification a lieu sur la même ligne que le nivellement.

277. Dans le cas où les deux termes du nivellement seraient A et D, la vérification se borne à niveller directement de A en B, de B en C, et de C en D, si chaque résultat partiel est égal dans chaque opération, le nivellement est en règle; et s'il s'en trouve qui ne soient pas égaux, on fera de nouveau le nivellement sur l'espace correspondant.

Quel est le vrai résultat lorsque les nivellemens ne se raccordent pas parfaitement.

278. En général sur les espaces où il a été commis des erreurs, il faut trois nivellemens, dont deux se raccordent. C'est alors à ces deux qu'on se rapporte et l'on abandonne le troisième comme erronné. Cependant comme on ne rencontre jamais une égalité parfaite entre deux nivellemens, lorsque leur différence est assez petite pour faire croire que l'opération est exacte, on prend alors la moitié de la somme des deux résultats

qui diffèrent le moins, et on la regarde comme le résultat vrai auquel on doit se rapporter dans les vérifications.

279. Au premier abord il paraîtra extraordinaire qu'après avoir soigneusement vérifié les instrumens et pris toutes les précautions dont nous avons parlé pour les opérations, on puisse commettre des erreurs considérables. Mais en pareil cas on doit observer que les erreurs proviennent bien moins de cette cause que des méprises qu'on fait en portant les hauteurs de mire sur le registre. C'est ainsi qu'au lieu d'écrire, par exemple, 3.^m925 ou 2.^m529 on écrira par mégarde 3.^m295 ou 2.^m952; comme on dit quelquefois par distraction, 3 et 4 font 6.

Les grandes erreurs ne proviennent que des méprises.

280 Nous terminerons cette section en observant que dans tous les nivellemens de vérification, il est inutile de faire usage de la chaîne pour la mensuration des distances; étant visible qu'on n'a uniquement besoin que des hauteurs verticales et aucunement des longueurs.

Les vérifications n'ont pas besoin de chaînage.

Nous allons à présent appliquer tout ce que nous avons dit au tracé des canaux et des aqueducs, travaux dont l'exécution n'est fondée que sur le nivellement préalable.

CHAPITRE VI.

APPLICATION DU NIVELLEMENT AU TRACÉ DES CANAUX ET AQUEDUCS.

Division des canaux.

281. **L**ES éaux ne pouvant point s'élever d'elles-mêmes au-dessus de leur niveau, il est clair que, s'il y a un genre d'ouvrages où le nivellement soit impérieusement nécessaire, c'est sans contredit dans les travaux destinés à la conduite des eaux. Ces travaux se divisent en deux classes. Dans la première sont compris les canaux à découvert qui se subdivisent en canaux d'arrosage, canaux de navigation, et canaux d'arrosage et de navigation tout ensemble. Dans la seconde classe se trouvent les canaux couverts et souterrains tels que les aqueducs et autres conduites d'eau pour fontaines soit publiques soit privées. Nous allons appliquer le nivellement à chacun de ces objets successivement.

SECTION PREMIÈRE.

Application du nivellement au tracé des canaux.

§ I.

Notions préliminaires sur les canaux.

Observations sur l'objet dont on traite. 282. Notre objet ne peut pas être de donner ici la théorie des canaux. Cette théorie exige un ouvrage *ex professo* qui paraîtra dans son temps. Il nous suffira dans

ce moment de faire seulement connaître les principales parties d'un canal et leurs rapports avec les nivellemens. Nous allons remplir cet objet le plus succinctement qu'il se pourra, en alliant néanmoins autant qu'il sera possible la brièveté avec la clarté.

283. Une tranchée destinée à conduire l'eau d'un point à un autre est ce qu'on appelle un *canal*. Il est rare qu'un canal soit entièrement creusé en pleine terre. Ordinairement il n'y en a qu'une partie. Le reste est fait en terres rapportées. C'est ce qu'on appelle *douves* ou *chaussées*. Dans les grands canaux on est en usage de construire latéralement des *contre-canaux* ou *contre-fossés*, soit pour mettre le canal principal à l'abri de tout accident par les eaux pluviales, soit pour intercepter les filtrations, s'il y en avait, et les empêcher de nuire aux propriétés riveraines.

Définition d'un canal.

284. Ainsi un canal est composé 1.^o d'une tranchée en pleine terre, 2.^o de deux chaussées latérales destinées à contenir les eaux et à fournir un passage sur leur couronnement. A ces deux parties il faut ajouter dans les grands canaux les contre-fossés établis le long des chaussées dont ils sont séparés par une *berme* ou lizière de terrain plus ou moins large suivant les circonstances.

Parties qui entrent dans la construction d'un canal.

285. Les canaux se distinguent par l'usage auquel on les destine, et c'est à cet usage que sont subordonnées leur forme et leur construction. Ainsi 1.^o si un canal est destiné seulement à porter un certain volume d'eau d'un endroit à un autre, pour servir à l'arrosage, il prend le nom de *canal d'irrigation*, 2.^o S'il est exclusivement affecté à la navigation, et que par conséquent les eaux doivent n'y avoir que très-peu ou même

On distingue trois sortes de canaux.

point de mouvement, il s'appellera *canal de navigation*.
 3.° Si enfin les eaux doivent y avoir un certain degré de vitesse pour fournir à l'irrigation et en même-temps une profondeur convenable pour recevoir des barques, il sera *canal d'irrigation et de navigation*.

Talus des bords
d'un canal.

286. Les bords intérieurs d'un canal quelconque doivent avoir un certain talus, soit dans la partie en pleine terre, soit dans celle en terres rapportées. Ce talus doit même avoir lieu dans la partie extérieure des chaussées du côté de la campagne. Le degré d'inclinaison de ce talus, n'est pas toujours le même. Il dépend de la viscosité et de la ténacité des terres, comme aussi de la destination du canal. Ainsi il est moindre lorsque les terres sont fortes et grasses, ou lorsque le canal n'est affecté qu'à l'irrigation; et il est plus grand lorsque les terres sont légères et sabloneuses, ou lorsque le canal est destiné à la navigation. En général le moindre talus est celui de la diagonale du carré, c'est-à-dire, sous un de base et un de hauteur, et le plus grand sous deux de base et un de hauteur.

Plat-fond et pente
d'un canal d'irri-
gation.

287. Dans un canal d'irrigation soutenu le fond, autrement dit *plat-fond*, ne doit former qu'un seul plan dont la pente soit constante et uniforme. Il faut néanmoins en excepter les endroits où l'on veut établir des engins, et ceux où, n'ayant plus besoin de le soutenir et à la fin de son cours, on le livre à la pente naturelle du terrain, pour laisser les eaux s'évacuer soit dans la mer, soit dans quelque rivière. La pente dans la partie soutenue sera en raison inverse de la grandeur du canal (62). Elle sera donc moindre dans les grands canaux et plus grande dans les petits. Elle dépend encore, toutes choses d'ailleurs égales, du degré de limpidité
des

des eaux qui doivent alimenter le canal. Si ces eaux sont habituellement troubles, la pente doit être un peu plus forte. Nous développerons tout cela dans un autre ouvrage. En attendant nous pouvons dire ici que dans les plus grands canaux et où la profondeur des eaux est proportionnée à la largeur, la moindre pente est de $0.^m017$ sur $100.^m$ de longueur, et que dans les petits canaux, tels que ceux qui servent à mouvoir un moulin à blé de la grandeur la plus commune sous la chute d'environ 3 mètres, elle doit être au moins de $0.^m041$ sur $100.^m$ de longueur.

288. Dans un canal de navigation, le plat-fond doit être parfaitement de niveau et ne former qu'un seul plan continu, à l'exception des endroits où il faudra ménager des chûtes pour les écluses.

289. Dans un canal d'irrigation et de navigation le plat-fond formera un plan continu et non-interrompu, excepté aux endroits où l'on doit établir des écluses. Ce plat-fond aura une pente réglée et uniforme, la moindre qu'il sera possible de donner pour que les eaux n'acquièrent pas trop de vitesse. Nous avons vu (287) que cette pente devait être de $0.^m017$ sur $100.^m$ de longueur.

290. L'économie et la bonne construction d'un canal quelconque exigent que le déblai fournisse les terres nécessaires au remblai pour les chaussées, afin qu'il n'y ait pas un seul coup de pioche inutilement donné. Il en faut néanmoins excepter le cas où les déblais ne fournissent que du rocher, de la terre graveleuse, ou d'autres matières peu propres à former des chaussées ou à contenir les eaux; ce qui obligerait à établir le canal en pleine terre dans toute sa profondeur.

Plat-fond et pente d'un canal de navigation.

Plat-fond et pente d'un canal d'irrigation et de navigation.

Dans un canal le déblai doit fournir au remblai des chaussées.

Objets à fixer avant
la construction d'un
canal.

291. Quand on a un canal à construire, on doit d'abord fixer d'après sa destination, 1.^o la largeur au plat-fond; 2.^o la profondeur des eaux; 3.^o la hauteur du couronnement des chaussées au-dessus du plat-fond; 4.^o la largeur de ce couronnement; 5.^o les talus tant intérieurs qu'extérieurs; et s'il doit y avoir des contre-fossés, 6.^o leur largeur au plat-fond; 7.^o leur profondeur; 8.^o enfin les talus de leurs bords. Avec toutes ces données on déterminera la profondeur à laquelle on doit s'enfoncer par la tranchée, pour que le déblai fournisse constamment au remblai des chaussées.

Quels doivent être
ces deux termes de
nivellement d'un canal.

292. Les deux termes du nivellement d'un canal quelconque sont, 1.^o un point pris à la prise d'eau, inférieur à la superficie des basses eaux de la rivière destinée à l'alimenter, d'une quantité égale au moins à la profondeur des eaux dans le canal; 2.^o le point auquel le canal doit s'évacuer soit dans la mer ou dans un étang, soit dans une rivière ou dans un autre canal. Ces deux points doivent être rapportés à deux repères immuables pris hors de l'eau et dont la hauteur relative soit exactement déterminée.

Avant tout, on doit
constater la possi-
bilité du canal.

293. Dans un canal quelconque on doit avant tout constater par un nivellement préparatoire la possibilité de l'exécution, c'est-à-dire, si le premier terme est plus haut que le second pour un canal d'arrosage, ou si du moins il n'est pas plus bas pour un canal de navigation. Il faut avoir soin surtout de vérifier ce nivellement par un second, ainsi qu'il a été dit au chapitre précédent, et à cet effet de choisir divers termes de vérification. Si la possibilité est bien reconnue, on procède au tracé.

Problème auquel se
réduit le tracé d'un
canal.

294. Le nivellement du tracé suppose qu'on ait déterminé (291) la profondeur d'excavation pour que le

déblai fournisse au remblai ; et si le canal doit avoir une pente, qu'on ait pareillement fixé cette pente pour chaque centaine de mètres. Alors on commencera le tracé qui se réduit à la solution de cette question : *trouver sur la surface de la terre autant de points qu'on voudra, tels qu'à chacun la profondeur d'excavation donne un déblai égal au remblai des chaussées ; et que le fond de la tranchée ait une pente déterminée ou nulle, suivant la destination du canal.*

Il arrive néanmoins assez souvent que dans les tracés on est forcé pour éviter de très-grands circuits de franchir des bas-fonds où, au lieu d'avoir des déblais, on a au contraire des remblais. Mais ce sont des cas particuliers ; et en général on a toujours incomparablement plus à déblayer qu'à remblayer.

295. Nous avons déjà dit un mot (236) des repères auxquels il convient de se rapporter. Dans les grands alignemens on doit les placer à des distances réglées et égales de 200 mètres. Mais lorsqu'on opère dans des pays de montagnes où l'on ne peut pas ménager des alignemens de plus de 200 mètres, il est à propos de placer les repères au sommet des angles qu'on sera obligé de faire, quelle que soit d'ailleurs leur distance respective ; observant néanmoins que lorsque les angles de déviation sont très-petits, il convient de les supprimer et de leur substituer un seul alignement. Nous sentons cependant qu'il serait avantageux que tous les repères fussent à égale distance les uns des autres : car alors en donnant *zero* pour numéro au premier, 1 au second, 2 au troisième, etc., on aurait la distance d'un repère quelconque au point du départ en multipliant par le N.º de ce repère la distance entre deux repères consé-

Problème de la so-
lution d'un quel-
qu'un des
problèmes de la
géométrie.

Repères à choisir
et leurs distances
respectives.

Ces objets sont
à l'usage de
divers ouvrages
de géométrie.

de l'art. 1.º à l'avant. Par conséquent on ne peut avoir

cutifs. Mais lorsqu'il y a beaucoup d'angles, la chose devient très-incommode pour la dresse des états rédigés de nivellement. Dans tous les cas, on a soin dans le tracé de marquer tous ces points par des piquets, en attendant de leur substituer des termes en pierre, avant de procéder au nivellement de profil, ainsi que nous le dirons plus bas.

Problème de la solution duquel dépend la fixation des repères.

296. La fixation de tous ces repères conformément à la question proposée au N.º 294, exige préalablement la solution de ce problème. *De ces cinq choses, la hauteur de la mire au repère arrière, cette même hauteur au repère avant, la quantité à creuser au repère arrière et au repère avant, et la pente à donner au canal sur une longueur déterminée, quatre étant connues, trouver la cinquième ?*

Soient CD (fig. 53) le rayon de visée, EF la ligne du fond du canal dont la pente est FG, AC la hauteur arrière, BD la hauteur avant, AE la profondeur à creuser arrière et BF la profondeur à creuser avant. Par les points E et F menons les lignes de niveau EG et HF. Nous aurons $FG = EH$, et $FD = HC$. Donc nous aurons l'équation : $CA + AE + EH = BD + BF$, de laquelle par une simple transposition on déduira la valeur de la quantité qu'on regardera comme inconnue.

Divers cas que présente ce problème.

297. En général c'est par le connu qu'on procède à la recherche de l'inconnu; et puisque dans les nivellements on opère de l'arrière à l'avant, tout ce qui se rapporte à l'arrière est censé connu et déterminé. Les inconnues ne peuvent donc affecter que l'avant. Ainsi dans les nivellements relatifs au tracé des canaux, on est toujours censé connaître trois choses, savoir : 1.º la hauteur de mire arrière; 2.º la profondeur du déblai ou la hauteur du remblai pareillement arrière; 3.º la pente à donner sur la longueur de l'arrière à l'avant. Par conséquent on ne peut avoir

pour inconnue que la hauteur de mire et la profondeur du déblai ou la hauteur du remblai avant ; observant néanmoins que ces deux quantités ne peuvent pas être regardées comme inconnues collectivement , mais séparément , de manière que l'une des deux soit toujours censée connue. Or chacune de ces deux quantités étant successivement regardée comme inconnue , nous donne divers cas à résoudre.

En effet , il peut y avoir arrière déblai ou remblai ou ni l'un ni l'autre , c'est-à-dire , zero. Et dans le cas où l'on prendra pour inconnue la hauteur de mire avant , on peut faire les mêmes suppositions pour l'avant , ce qui donne déjà neuf cas.

Lorsqu'au contraire on regardera la hauteur de mire avant comme connue et que l'inconnue sera la profondeur à y déblayer , ou à y remblayer , on pourra faire encore les mêmes suppositions pour l'arrière , ce qui donnera trois autres cas qui , à la rigueur , en entraînent chacun trois autres.

Nous allons donc examiner successivement ces divers cas , en considérant d'abord la hauteur de mire avant comme inconnue.

298. Supposons qu'il y ait déblai arrière et avant. L'équation ci-dessus donnera $BD = CA + AE + EH - BF$; ce qui nous fait voir que *pour connaître la hauteur de la mire avant , il faut ajouter la hauteur de la mire et la profondeur à creuser arrière à la pente à donner sur l'intervalle CD , et de la somme retrancher la profondeur à creuser avant.* La chose d'ailleurs paraîtra évidente si par le point B on tire la ligne de niveau BK qui donne $CK = BD$ et $KH = BF$. Mais $CK = CA + AE + EH - HK = CA + AE + EH - BF$.

Cas où la hauteur de mire avant étant inconnue , il y a 1.^o déblai arrière et avant.

2.° Déblai arrière
et remblai avant.

299. Dans le cas où la superficie B du terrain avant serait au-dessous du point F, le point B tomberait en B', et alors au lieu d'avoir le déblai BF à faire pour arriver au plat-fond F du canal, on aurait besoin au contraire d'un remblai B'F pour y atteindre. Le point F forme alors la limite entre le positif qui est au-dessus et le négatif qui est au-dessous. Par conséquent dans l'équation du N.° 296 BF devient $-B'F$, et cette équation se change en celle-ci : $CA + AE + EH = B'D - B'F$. En effet BK deviendra alors B'K', et $CA + AE + EH = CK' - K'H = B'D - B'F$.

Cette équation nous donne $B'D = CA + AE + EH + B'F$; ce qui signifie qu'alors *la hauteur de la mire avant se trouve en ajoutant la hauteur de la mire et la profondeur du déblai arrière avec la pente à donner et la hauteur du remblai avant*. Cela est évident par l'inspection seule de la figure.

3.° Déblai arrière
et ni déblai ni rem-
blai avant.

300. S'il y a déblai arrière et que le plat-fond arrive à la superficie du terrain avant, on aura $BF = 0$. L'équation du N.° 296 deviendra $CA + AE + EH = BD$ et nous fera voir qu'alors *la hauteur de mire avant est égale à la somme de la hauteur de mire et de la profondeur du déblai arrière, augmentée de la pente à donner*. En effet dans ce cas B tombant sur F, BD devient $= DF = CH = CA + AE + EH$.

4.° remblai arrière
et déblai avant.

301. Lorsqu'on aura remblai arrière, on aura $BD = CA' - A'E + EH - BF = CA' + EH - (A'E + BF)$; ce qui nous fait voir que dans ce cas *il faut ajouter d'une part la hauteur de la mire arrière avec pente à donner sur l'intervale CD; et de l'autre la hauteur du remblai arrière avec la profondeur du déblai avant*. La différence de ces deux sommes sera la hauteur de la mire

avant. En effet on a alors CA qui devant CA' et AE qui devient A'E. Or $A'C - A'E = CE$ et $BD = CE + EH - BF = A'C - A'E + EH - BF = A'C + EH - (A'E + BF)$.

302. Dans le cas où le remblai aura lieu à l'arrière et à l'avant, les deux points A et B de la surface du terrain arrière et avant se trouveront l'un et l'autre au-dessous du plat-fond du canal. Alors dans l'équation on aura les quantités AE et BF qui deviendront négatives et seront respectivement remplacées par $-A'E$ et $-B'F$. Cette équation se changera donc en celle-ci : $CA - A'E + EH = B'D - B'F$; ce qui est évident : car $CA - A'E = CE$; $CA - A'E + EH = CH = DF = B'D - B'F$. Or cette équation donne $B'D = CA + EH + B'F - A'E$; ce qui nous fait voir que la hauteur de la mire avant se trouve alors en ajoutant la hauteur de la mire arrière à la pente et à la hauteur du remblai avant, et retranchant de la somme la hauteur du remblai arrière; ce qui est sensible, puisque $B'D = CK' = CA' - A'K'$; que $A'K' = A'E - (EH + B'F)$, et que par conséquent $B'D = CA' + EH + B'F - A'E$.

5.° Remblai arrière et avant.

303. S'il y a remblai arrière et ni déblai ni remblai avant, l'équation du N.° 296 deviendra $CA' - A'E + EH = BD$; car alors on aura $BF = 0$ et $AE = -A'E$. Par conséquent on conclura qu'alors la hauteur de mire avant se trouve en ajoutant la hauteur de mire arrière à la pente, et en retranchant de la somme la hauteur du remblai arrière. En effet B tombant sur F, on a $BD = FD = CH = CA' - A'H = CA' - (A'E - EH) = CA' + EH - A'E$.

6.° Remblai arrière et ni déblai ni remblai avant.

304. Lorsque le plat-fond du canal coïncidera avec la surface du terrain arrière, et qu'il y aura déblai avant, on aura $AE = 0$, et l'équation du N.° 296 deviendra $CA +$

7.° Ni déblai ni remblai arrière, avec déblai avant.

$EH = BD + BF$; de laquelle on tire $BD = CA + EH - BF$. Ainsi dans ce cas on a la hauteur de la mire avant en ajoutant celle de la mire arrière à la pente, et en retranchant de la somme la profondeur du déblai avant. La chose est visible : car A tombant sur E, on a $CA = CE$. Mais $BD = CK = CE + EH - KH = CA + EH - BF$.

8.^o Ni déblai ni remblai arrière, avec remblai avant.

305. Le plat-fond arrière étant encore supposé à la surface du terrain, s'il y a remblai avant, BF sera négatif et $= -B'F$, et l'équation ci-dessus nous donnera $B'D = CA + EH + B'F$; c'est-à-dire, que dans ce cas la hauteur de la mire avant est égale à la somme de celle de la mire arrière, de la pente et de la hauteur du remblai avant. En effet $CA = CE$ et $B'F = HK'$. Mais $B'D = CK = CE + EH + HK'$.

9.^o Ni déblai ni remblai arrière et avant.

306. Enfin si le plat-fond arrière et avant coïncide avec la surface du terrain, on aura $CA = CE$, $AE = 0$, $BF = 0$, et $BD = FD$. L'équation ci-dessus nous donnera donc BD ou $FD = CA + EH$; c'est-à-dire, qu'alors la hauteur de mire avant est égale à la somme de celle de la mire arrière, et de la pente ; ce qui est évident : car $DF = CH = CE + EH$.

Cas où la hauteur de mire avant étant connue, il y a 1.^o déblai arrière.

307. Supposons à présent que la hauteur de la mire avant étant censée connue, on veuille connaître la position correspondante du plat-fond, d'après l'hypothèse qu'il y a déblai arrière. L'équation du N.^o 296 nous donnera $BF = CA + AE + EH - BD$. D'où l'on conclut que dans ce cas il faut ajouter la hauteur de la mire et la profondeur à creuser arrière avec la pente à donner, et de la somme retrancher la hauteur de la mire avant. Si le reste est positif, on aura la profondeur du déblai avant ; s'il est négatif, on aura la hauteur du remblai ;

et

s'il est zero, le plat-fond coïncidera avec la superficie du terrain. On s'en convaincra aisément en faisant attention que $CA + AE + EH = DF$, et que par conséquent $BF = DF - BD$.

308. Si l'on suppose qu'il y a remblai arriere on aura : $CA = CA'$, et $AE = -A'E$. L'équation nous donnera donc : $BF = CA' + EH - (A'E + BD)$. Par conséquent on ajoutera, 1.° la hauteur de mire arriere à la pente ; 2.° la hauteur de mire avant à celle du remblai arriere ; et l'on retranchera la seconde somme de la première. Si le reste est positif, on aura la profondeur du déblai avant ; s'il est négatif, on aura la hauteur du remblai avant ; et s'il est zero, le plat-fond avant coïncidera avec la surface du terrain. Cela est évident à cause que $CA' - A'E = CE$.

2.° Remblai arriere.

309. Supposons enfin qu'il n'y ait ni déblai ni remblai arriere. On aura $AE = 0$ et $CA = CE$. L'équation du N.° 296 nous donnera donc : $BF = CA + EH - BD$. C'est-à-dire, qu'il faut alors ajouter la hauteur de mire arriere à la pente, et de la somme retrancher la hauteur de mire avant. Si le reste est positif, on aura la profondeur du déblai avant. S'il est négatif, on y aura la hauteur du remblai ; et s'il est zero il n'y aura ni déblai ni remblai. L'inspection seule de la figure rendra la chose sensible.

3.° Ni déblai ni remblai arriere.

310. Dans les canaux de navigation (285) la pente est nulle. A cela près leur tracé se fait de la même manière que pour les canaux d'irrigation. Par conséquent les formules que nous venons de donner (298-309) s'appliquent littéralement à ces canaux, en supposant dans toutes la pente égale à zero.

Comment on applique les douze formules précédentes aux canaux de navigation.

311. Quant aux canaux d'irrigation et de navigation, leur plat-fond devant avoir, ainsi que dans les canaux

Ces formules s'appliquent sans restriction aux canaux d'irrigation et de navigation.

d'irrigation, une pente déterminée, les douze formules ci-dessus (298-309) s'appliquent sans aucune restriction à leur tracé.

Formule générale embrassant les douze cas précédens.

312. Nous avons cru devoir entrer dans tous ces détails pour nous rendre parfaitement intelligibles à ceux de nos lecteurs qui ne seraient pas familiarisés avec la théorie des équations. Mais on peut donner une formule plus simple et plus générale en faveur de ceux qui ont plus de connaissances. Dans la formule du N.º 296 affectons du double signe les \pm quantités AE et BF. Le signe supérieur exprimera le déblai et le signe inférieur le remblai. Cette équation prendra alors la forme suivante : $CA \pm AE + EH = BD \pm BF$.

Développement de la formule générale.

313. Dans cette formule générale on trouvera les douze formules particulières exposées aux N.ºs 298-309, ainsi que nous allons voir. Supposons d'abord qu'on cherche la hauteur de mire avant ou $BD = CA \pm AE + EH \pm BF$.

1.º Lorsqu'on a déblai arrière et avant, $BD = CA + AE + EH - BF$; formule qui est la même que celle du N.º 298.

2.º Lorsqu'on a déblai arrière et remblai avant, $BD = CA + AE + EH + BF$. Formule la même que celle du N.º 299.

3.º Lorsqu'on a déblai arrière et ni déblai ni remblai avant, $BD = CA + AE + EH$; formule la même que celle du N.º 300.

4.º Lorsqu'on a remblai arrière et déblai avant, $BD = CA + EH - (AE + BF)$; formule la même que celle du N.º 301.

5.º Lorsqu'on a remblai arrière et avant, $BD = CA + EH - BF - AE$; formule la même que celle du N.º 302.

6.° Lorsqu'on a remblai arrière et ni déblai ni remblai avant, $BD = CA + EH - AE$; formule la même que celle du N.° 303.

7.° Lorsqu'on n'a ni déblai ni remblai arrière avec déblai avant, $BD = CA + EH - BF$; formule la même que celle du N.° 304.

8.° Lorsqu'on n'a ni déblai ni remblai arrière avec remblai avant, $BD = CA + EH + BF$; formule la même que celle du N.° 305.

9.° Lorsqu'on n'a ni déblai ni remblai arrière et avant $BD = CA + EH$; formule la même que celle du N.° 306.

Supposons à présent que BD soit connue et BF inconnue, nous aurons les formules suivantes, savoir :

1.° Lorsqu'on a déblai arrière; $BF = CA + AE + EH - BD$, formule la même que celle du N.° 307.

2.° Lorsqu'on a remblai arrière; $BF = CA + EH - (AE + BD)$; formule la même que celle du N.° 308.

3.° Enfin lorsqu'on n'a ni déblai ni remblai arrière, $BF = CA + EH - BD$; formule la même que celle du N.° 309.

Par conséquent la traduction de toutes ces formules donnera le même texte que nous avons donné (298-309).

314. Si l'on veut adapter les douze formules ci-dessus aux canaux de navigation, on supposera la pente nulle ou $EH = 0$. On aura alors douze nouvelles formules plus simples que les précédentes et qui renfermeront tous les cas du nivellement du tracé de ces sortes de canaux.

Moyen d'appliquer ces formules aux canaux de navigation.

315. Il ne nous reste plus à présent qu'à appliquer au tracé de chaque espèce de canal les principes que nous avons établis dans ce §. C'est ce que nous allons faire en commençant par les canaux d'irrigation. Mais auparavant nous devons observer que l'application des prin-

Observation au sujet de l'application de ces formules.

cipes établis suppose que dans tous les canaux à pente, on opérera d'amont en aval, en commençant à la prise d'eau.

§ II.

Nivellement du tracé d'un canal d'irrigation.

Première opération de nivellement du tracé d'un canal d'irrigation.

316. Après avoir fixé le point de dérivation du canal et celui auquel on veut aboutir (292), et après avoir constaté par un double nivellement la possibilité du projet (293) d'après la pente à donner au plat-fond (294), on déterminera la profondeur à creuser à chaque repère pour que le déblai fournisse au remblai des chaussées (290). Cela fait, on prendra aux environs du point de dérivation un repère immuable (200). On placera d'abord la mire à la superficie des basses eaux de la rivière destinée à alimenter le canal; on prendra au niveau la hauteur du carton et l'on y ajoutera la profondeur du plat-fond projeté du canal au-dessous de cette superficie, après la chute qu'on ménage ordinairement à l'entrée des canaux pour y faciliter l'introduction des eaux. Cette somme sera la hauteur de mire au-dessus du plat-fond à l'origine du canal. On placera ensuite la mire au repère immuable ci-dessus, et on prendra encore la hauteur du carton. Cette dernière hauteur retranchée de la première fera connaître de combien ce repère est plus élevé que le plat-fond, ou ce qu'il y aurait à creuser en le supposant, ainsi qu'on doit le faire, au point même de dérivation, et en le regardant comme repère de départ à marquer par le N.° 1.

Comment on détermine les points par lesquels le canal doit passer.

317. Après cette première opération, on changera de station si les localités l'exigent, en plaçant le niveau en avant. Soient AB (fig. 55) la rivière dont on veut

dérivée les eaux, C le point de dérivation et D le repère N.º 1. Le niveau sera placé d'abord au point Q. On prendra la hauteur de la mire en D, et à cette hauteur on ajoutera la profondeur à creuser au point D pour arriver au niveau du plat-fond du canal au point C. On évaluera la distance CE à laquelle on veut placer le repère N.º 2 et d'après cette distance on déterminera la pente à donner de C en E que l'on ajoutera à la somme précédente. De cette somme on retranchera la profondeur qu'on doit avoir à creuser au point E. Le reste sera (298) la hauteur de la mire au point E. On fixera donc le carton à cette hauteur et en bornoyant vers E on fera placer le porte-mire au point E où le milieu du carton coïncidera avec le rayon de visée. On marquera ce point par un piquet, et ce sera le repère 2. On pourra alors placer; si l'on veut, une pierre à côté du piquet (220) et prendre exactement la hauteur du carton; mais dans le fait cela n'est nécessaire qu'au repère où l'on termine la station, à moins qu'on ne se propose de regarder ce nivellement comme définitif, et qu'on renonce tant au profil qu'aux termes en pierre à substituer aux piquets.

Le repère 2 étant fixé au point E on choisira un second point F tel qu'entre E et F il ne se trouve sur la ligne EF ni éminences ni bas-fonds et que le sol y soit uni. On évaluera la longueur EF et la pente à donner sur cette distance. On augmentera la hauteur du carton de cette pente, et on déterminera la position du point F de la même manière que l'on a déjà déterminé celle du point E. On le marquera encore par un piquet qui indiquera le repère 3.

318. On cherchera de la même manière la position

Comment on termine la station pour passer à la suivante.

des points G, H, et K qu'on marquera pareillement par des piquets qui représenteront respectivement les repères 4, 5 et 6. Nous supposons que le point K est le terme de cette station. En conséquence on y prendra les précautions prescrites aux N.^{os} 220 et 221, en y prenant très-exactement la hauteur du carton. On calculera la profondeur d'excavation qu'il doit y avoir pour arriver au plat-fond en faisant usage de la formule du N.^o 307; et ensuite on changera de station en transportant le niveau en R, situé de manière qu'il soit à-peu-près à égale distance et en vue des points K et P qu'on prendra pour les deux termes de cette nouvelle station.

Ce qu'on doit faire sur cette nouvelle station.

319. Dans cette nouvelle station après avoir monté le niveau on prendra de nouveau la hauteur du carton de mire au point K, et on l'ajoutera à la profondeur à creuser au même point. En ajoutant à cette somme la pente à donner sur KL et en retranchant de la totalité la profondeur de déblai qu'on veut avoir au point L, on aura (298) la hauteur de mire qui convient à cette profondeur, et l'on déterminera le point L ainsi qu'on aura déjà déterminé F. On le marquera encore par un piquet qui désignera le repère 7.^e On s'y prendra de la même manière pour déterminer les autres repères M, N et P de la même station: et pour passer à la station suivante on traitera le repère P ainsi qu'on a déjà traité le repère K (318).

Cas d'une vallée à franchir.

Fig. 54.

320. Supposons qu'à la suite du point P (*fig.* 55) se trouve une vallée à franchir et dont le profil suivant le cours du canal est représenté par A, B, C, (*fig.* 54). Supposons aussi que le plat-fond y soit exprimé par la droite XY. Par le moyen de la hauteur de mire et de

la profondeur d'excavation au repère P on trouvera (307) la hauteur du remblai au repère S. Par la hauteur de mire et de remblai au point S on trouvera (308) la hauteur du remblai au point B. Par le moyen des mêmes données au point B on trouvera par la même formule la même hauteur au point T. Enfin par les mêmes données au point T et par la formule du N^o. 301 on aura la hauteur de mire par laquelle on trouvera de l'autre côté de la vallée le repère V ou l'excavation sera la même qu'au repère P.

Il peut arriver que le bas-fond ABC soit franchi par un aqueduc au lieu de l'être par une chaussée. Mais dans tous les cas XY en sera le plat-fond. Ainsi les hauteurs de remblai aux points S, B et T seront les mêmes dans l'un et l'autre cas.

321. Il est inutile de pousser plus loin ces détails qu'on suivra d'après les mêmes procédés jusqu'à la fin du projet. Nous observerons seulement que la ligne brisée qui passera par tous les piquets sera l'axe ou la ligne de milieu du projet à exécuter. Nous observerons encore qu'à mesure qu'on passera à portée des termes de vérification choisis dans le premier nivellement (225 et 293), on doit avoir soin de s'y rapporter et de les lier avec le nivellement du tracé. Ce sera par le moyen de ces termes qu'on pourra à chacun d'eux s'assurer si jusques-là on a opéré exactement.

Supposons en effet que Z (fig. 55) soit un de ces termes dont la position verticale par rapport au terme D de départ soit connue par le nivellement préparatoire qui a constaté la possibilité du projet. Si par le nivellement du tracé on trouve le même résultat pour la position respective de ces deux points, c'est une preuve

On se rapportera aux termes de vérification.

Fig. 55.

Fig. 55.

de l'exactitude de ce dernier nivellement, et que les divers repères de C en P sont convenablement placés. Si au contraire on trouvait une différence sensible, on serait assuré qu'il y aurait des erreurs, et alors il faudrait reprendre le tracé de C en P.

Les coupemens exigent qu'on déroge au problème du N.º 294.

Fig. 52.

322. Il y a des cas où le tracé ne doit pas passer constamment par les points tels que le déblai fournisse au remblai des chaussées (294). Reprenons pour cela la *fig.* 52 dans laquelle le canal est obligé d'après cette condition de faire le circuit ABCDEFGHKL^M autour d'une chaîne de collines. Si à la hauteur de A et de M cette chaîne est peu élevée, on sent que pour éviter ce grand détour il faut se décider en faveur du coupement suivant AM. Or alors le nivellement s'écarte de la méthode précédemment suivie et se rapporte aux profils dont nous parlerons plus bas.

Chûtes pour usines.

323. Il y a aussi des cas où l'on a intérêt de ménager des chûtes pour l'établissement d'usines. Aux endroits où l'on veut former de pareils établissemens le plat-fond souffre solution de continuité et s'abaisse subitement de la hauteur qu'on doit donner aux chûtes Mais en aval de ces chûtes si le canal continue d'être soutenu, le tracé en sera toujours fait d'après les mêmes principes.

Cas où le tracé traverse des bruyères.

324. Outre ces deux cas il en existe encore quelques-uns qu'il faut examiner. Supposons d'abord que dans le tracé on fut obligé de traverser des bruyères. Comme la mire dominerait toujours, ces bruyères n'empêcheraient pas de voir le carton. Il suffira alors de placer le niveau aux endroits éminens pour pouvoir franchir tous les obstacles par le rayon de visée. Les piquets désignant les repères devront être assez longs pour être aperçus au-dessus des bruyères. On les laissera même subsister, après avoir

avoir placé des repères en pierre. Quant au chaînage, il ne pourra guères s'effectuer sans ouvrir le passage à la hache, et sans abattre tout ce qui est sur la route à suivre.

325. S'il s'agissait de traverser un bois taillis, après s'être assuré de la possibilité du projet par le premier nivellement (293) en suivant le bord extérieur du bois, le tracé du canal devient plus difficile. Dans le cas où la hauteur du bois n'excédera pas celle de la mire additionnelle, on placera le niveau sur des endroits éminens et d'où l'on puisse dominer les obstacles. S'il ne se trouve pas des endroits pareils, on doit employer un échafaud portatif sur lequel on montera le niveau à chaque station; et si le dernier moyen n'est pas praticable à cause des embarras, ou si le bois s'élève au-dessus de la mire additionnelle, il faut recourir à la hache et se faire jour sur la route à suivre. Dans tous les cas ce dernier parti devient même indispensable pour le chaînage. Mais il ne faudrait l'employer qu'après avoir fixé la route par le placement des repères qui dans ce cas doivent être marqués par des perches plus hautes que le bois.

Cas où le tracé traverse un bois taillis.

326. Il est moins difficile de faire le tracé dans une forêt de haute futaie. Car dans ces sortes de forêts on abat ordinairement la broussaille et le petit bois pour ne laisser que les arbres parmi les tiges desquels on peut bornoyer. Seulement les stations seront courtes et plus multipliées. Du reste, le tracé s'y fera de la même manière qu'en pays à découvert, observant de faire des marques sur l'écorce des arbres qui seront sur la route.

Cas où le tracé traverse une forêt de haute futaie.

327. Le tracé du canal peut quelquefois traverser un marais, ainsi qu'on le voit sur la figure 56. Soit donc l'alignement CD qui traverse le marais FHKGLMN. Ce

Cas où le tracé traverse un marais.
Fig. 56.

marais peut être praticable ou impraticable. Il sera praticable s'il est à sec dans certains temps de l'année et qu'alors on puisse y opérer. Il sera impraticable au contraire s'il est habituellement occupé par les eaux.

Lorsque le marais est praticable, le tracé sur la partie CD se fait de la même manière que sur la partie restante. On a seulement soin de choisir la saison où le marais est à sec.

Dans le cas où le marais est impraticable, on place deux repères immuables en F et G au bord même de ce marais, et l'on fait le nivellement de C en D en suivant la ligne CFNMLGD, ou la ligne CFHKGD à volonté. Pour ce qui est du chaînage, on pourra le renvoyer à l'époque où l'on prendra le profil du sol. Cependant comme on a besoin de connaître la distance de C en D pour fixer la profondeur à creuser en D et E, on déterminera provisoirement la longueur de FG par le moyen de la trigonométrie.

Venons à présent aux canaux de navigation.

§ III.

Nivellement du tracé d'un canal de navigation.

Mode à suivre dans le tracé d'un canal de navigation.

328. L'objet d'un canal de navigation est ordinairement de joindre deux rivières navigables ou deux mers. Dans l'un et l'autre cas ses deux termes extrêmes se trouvent à ses embouchures. C'est à l'une de ces embouchures que les opérations du tracé doivent commencer. En conséquence après l'avoir fixée, ainsi que la profondeur du plat-fond par rapport à un repère immuable choisi ou placé aux environs, de même qu'aux canaux d'irriga-

tion (316), on procédera au tracé suivant le même mode. La seule différence qu'il y aura, c'est que pour déterminer la hauteur du carton de mire avant et pour calculer la profondeur des déblais ou la hauteur des remblais, on emploiera les formules des N.^{os} 298 et 307 en supposant la pente = 0.

329. Les hauteurs et les emplacements des chûtes seront fixés avec soin. Mais en amont et en aval le plat-fond du canal continuera d'être de niveau et tracé suivant les mêmes principes. Dans tout le reste on se conduira de la même manière que pour les canaux d'irrigation.

Emplacement des
écluses.

330. Si le canal traverse un étang au lieu d'un marais FHKCLMN fig. (56.), on placera sur l'alignement CD et aux bords F et G de l'étang deux repères immuables dont la position verticale sera rapportée au niveau de la surface des eaux. Ainsi il n'y aura point de nivellement de F en G. La longueur même de FG sera inutile pour le moment, à cause que le plat-fond doit être de niveau.

Cas où le canal doit
traverser un étang.

Fig. 56.

Nous n'en dirons pas d'avantage, notre objet n'étant point de traiter *ex professo* des canaux de navigation, mais seulement de faire voir la manière d'y appliquer les lois du nivellement.

§. IV.

Nivellement du tracé d'un canal d'irrigation et de navigation.

331. Un canal destiné tout-à-la-fois à l'irrigation et à la navigation exigeant un grand volume d'eau doit nécessairement être dérivé d'une rivière considérable, et

Observation sur la
manière de tracer ces
sortes de canaux.

avoir une pente uniforme. Par conséquent son tracé sera exactement le même que celui d'un canal d'irrigation; observant seulement de choisir les emplacements pour les écluses de la même manière que nous avons dit pour celui des chûtes pour usines. On se conformera donc à ce que nous avons dit au § II.

SECTION II.

Application du nivellement au tracé des aqueducs.

Diverses sortes d'aqueducs et leur objet.

332. Les aqueducs sont destinés à conduire les eaux de source, d'étang, et quelquefois même de rivière, ainsi qu'on le voit par l'ancien aqueduc des Romains à Fréjus dans le département du Var et qui amenait autrefois à cette ville les eaux de la rivière de Siagnes. On en distingue trois sortes, savoir : 1.° les aqueducs voûtés et dont on peut parcourir l'intérieur; 2.° les aqueducs à ciel ouvert; 3.° les aqueducs en tuyaux de conduite établis sans voûte à une certaine profondeur dans la terre.

Les uns et les autres exigent une certaine pente qu'on doit préalablement fixer.

Comment on procède au tracé d'un aqueduc.

333. Notre objet n'est point de donner ici sur les aqueducs un traité qui trouvera sa place ailleurs, mais seulement d'appliquer les règles du nivellement à leur tracé. Par conséquent on déterminera d'abord la profondeur d'excavation d'après la hauteur de l'extrados de la voûte ou d'après la profondeur à laquelle on doit établir les tuyaux de conduite. On fixera ensuite le terme du départ et le fond de l'aqueduc à son origine, ainsi qu'il a été dit au N.° 316. Enfin on procédera au tracé de la même manière que pour les canaux d'irri-

gation dont nous avons parlé au §. II de la section précédente, soit que l'aqueduc doive être constamment, sous terre, soit qu'il doive en certains endroits s'élever au-dessus du sol tel que l'aqueduc de Fréjus, celui du Gard dans le département de même nom, celui de Barbégat près de Mont-Major-lez-Arles dans le département des Bouches-du-Rhône, etc.

SECTION III.

Observations générales sur le tracé des canaux et des aqueducs.

334. L'on peut voir clairement par tout ce que nous venons de dire que la manière de tenir registre des opérations du tracé tant des canaux que des aqueducs, et qui présente le plus d'avantages et de simplicité est celle que nous avons prescrite au N.º 256. Il faut seulement, ainsi que nous l'avons dit au N.º 295, avoir soin de fixer un repère au sommet de chaque angle. Du reste il est à propos de désigner le lieu des repères, si la déviation est à droite ou à gauche, les termes de vérification, leur hauteur respective, la profondeur à creuser ou la hauteur à remblayer surtout aux repères où l'on change de station, etc. Tous ces divers détails exigent d'être portés sur le registre qui pour cette raison doit avoir la forme du tableau que nous avons proposé.

Objets divers à porter sur le registre.

335. Dans tous les tracés soit de canaux soit d'aqueducs, on doit soigneusement mesurer les distances qui séparent les divers repères. Il faudra pareillement porter sur le registre la distance d'un repère d'arrière au point du tracé pris au droit d'un terme de vérification qui se trouvera correspon-

Nécessité de mesurer les distances d'un repère à l'autre.

dre entre ce repère et le suivant. Cette opération est un élément essentiel, surtout pour régler les pentes, ainsi que nous l'avons dit soit pour les canaux soit pour les aqueducs. Mais outre ces précautions communes, il y en a quelques-unes qui sont particulières à chacun de ces objets et qu'il est à propos de faire connaître.

§ I.

Observations particulières sur le tracé des canaux.

Repères d'un petit canal.

336. S'il ne s'agit que du tracé d'un petit canal d'arrosage, les piquets placés au sommet des angles pourront eux-mêmes servir de repères. Dans ce cas il convient de placer à côté même du piquet une pierre sur laquelle on pose la mire (220). C'est à ces repères qu'on se rapporte dans les profils et même dans l'exécution, surtout si l'on a soin de marquer la hauteur de cette pierre sur le piquet même. Mais on doit faire attention que personne n'y touche.

Repères d'un grand canal.

337. Dans les grands canaux on substitue à ces piquets des repères en pierre. Les pierres doivent avoir environ 30 centimètres d'équarrissage et au moins 80 centimètres de queue. Leur tête sera parfaitement dressée au ciseau et d'équerre à leur longueur. Elles seront plantées debout à la place des piquets de manière qu'elles ne surmontent le terrain que d'environ 8 centimètres, et que le plan de leur tête soit parfaitement de niveau (194). On y marquera au ciseau le N.° du repère et de plus une croix (200) qui désignera le point où la mire doit être placée. Par ce moyen les repères seront établis solidement, et non seulement ils serviront aux

opérations du nivellement mais encore on pourra s'y rapporter lors de l'exécution.

338. Pour retirer tout l'avantage possible de ces repères il sera à propos, du centre du quarré de leur tête, de tracer au ciseau deux lignes dont l'une sera dirigée sur le repère arrière et l'autre sur le repère avant. Alors on pourra voir sur un repère quelconque sur quelle direction se trouvent celui qui le précède et celui qui le suit ; et dans le cas où l'un ou l'autre se trouverait caché soit par des broussailles soit par d'autres obstacles, par le moyen de cette direction et du chaînage (335) on le retrouverait avec la plus grande facilité.

Directions à tracer sur les repères en pierre.

§ II.

Observations particulières sur le tracé des aqueducs.

339. Lorsqu'il ne sera question que d'un petit aqueduc, on pourra ainsi que pour les petits canaux (336) se borner aux piquets pour marquer les repères. Mais dans les grands aqueducs on leur substituera, de même que dans le tracé des grands canaux, des repères en pierre tels que nous venons de les décrire et dont l'usage sera le même que nous venons de dire dans le § précédent auquel nous renvoyons.

Repères des aqueducs.

340. On croira peut-être qu'il eut aussi fallu parler du nivellement appliqué au tracé des routes. Comme ce tracé se fait particulièrement avec le niveau de pente, nous avons pensé qu'une pareille application ne devait pas avoir lieu dans ce traité. Nous la bornerons seulement aux profils soit en long soit en travers, ainsi qu'on le verra plus bas.

Pourquoi nous n'ap-
pliquons pas le ni-
vellement au tracé
des routes.

CHAPITRE VII.

Application du nivellement au tracé rétrograde des canaux et des aqueducs.

En quoi consiste le
tracé rétrograde.

341. **D**ANS le chapitre précédent nous avons supposé que les opérations du tracé dans les canaux à pente et dans les aqueducs commençaient à la tête même du projet, et suivaient la pente d'amont en aval. Mais il y a des cas où les eaux devant aboutir à un point donné, il est nécessaire de commencer le tracé à ce point et de le continuer en remontant pour trouver sur la rivière qui doit alimenter le canal ou l'aqueduc le point où l'on doit établir la dérivation. Alors le tracé est rétrograde, et les principes établis ne peuvent servir qu'à celui des canaux exclusivement affectés à la navigation, à cause que la pente y est nulle (288). Nous allons donner succinctement l'application du nivellement à ce genre de tracé.

SECTION PREMIÈRE.

Notions générales et préliminaires.

Quel est l'arrière et
quel est l'avant.

Fig. 53.

342. Reprenons la fig. 53 et (296) l'équation y relative $CA + AE + EH = BD + BF$. Puisque le nivellement est rétrograde et que le tracé se fait en remontant, le point B sera l'arrière et le point A sera l'avant.

Or

Or (297) l'arrière étant censé connu, BD et BF sont données. Il en est de même de la pente EH qui est ici une véritable contre-pente. On ne peut donc dans cette équation regarder comme inconnue que CA ou AE. Nous allons successivement les regarder comme telles, en commençant par CA qui nous fournira neuf hypothèses (297), et conséquemment neuf formules fondées respectivement sur les diverses suppositions des N.^{os} 298-306.

343. S'il y a déblai arrière et avant, l'équation nous donnera $CA = BD + BF - (AE + EH)$. D'où nous concluons que dans ce cas on a la hauteur de la mire avant en retranchant la somme de la pente et de la profondeur du déblai avant de celle de la profondeur du déblai et de la hauteur de mire arrière. En effet $CA = CH - AH$. Mais $CH = BD + BF$; et $AH = AE + EH$.

Cas où la hauteur de mire avant étant inconnue, on a 1.^o déblai arrière et avant.

344. S'il y a déblai arrière et remblai avant, on aura : $CA = BD + BF + AE - EH$; c'est-à-dire qu'alors la hauteur de la mire avant se trouve en retranchant la pente de la somme de la profondeur du déblai et de la hauteur de la mire arrière, et de la hauteur du remblai avant; ce qui est évident par l'inspection de la figure : car dans ce cas CA devient $CA' = CH + HA'$. Or $CH = BD + BF$, et $HA' = AE - EH$.

2.^o Déblai arrière et remblai avant.

345. S'il y a déblai arrière et qu'il n'y ait ni déblai ni remblai avant, on aura $AE = 0$, et $CA = BD + BF - EH$. Par conséquent dans ce cas on aura la hauteur de la mire avant en ajoutant la hauteur de la mire et la profondeur de déblai arrière, et en retranchant la pente de cette somme. On s'en assurera en observant qu'alors on a : $AE = 0$, et $CA = CE$. Mais $CE = CH - EH$, et $CH = BD + BF$.

3.^o Déblai arrière et ni déblai ni remblai avant.

4.° Remblai arrière
et déblai avant.

346. S'il y a remblai arrière et déblai avant, on aura FB qui deviendra FB' et $BD = B'D$. Dans ce cas la formule sera $CA = B'D - (B'F + AE + EH)$ ce qui fait voir que dans cette hypothèse *pour avoir la hauteur de mire avant il faut ajouter la hauteur du remblai arrière avec la profondeur du déblai avant et la pente, et retrancher la somme de la hauteur de la mire arrière.* En effet $CA = CK' - AK'$. Mais $AK' = HK'$ ou $B'F + EH + AE$.

5.° Remblai arrière
et avant.

347. S'il y a remblai arrière et avant les points A et B tomberont sur A' et B' respectivement, et l'on aura $CA' = B'D + A'E - (B'F + EH)$ ce qui nous fait voir que dans ce cas *si l'on ajoute d'une part la hauteur de la mire arrière avec celle du remblai avant; que de l'autre on ajoute la hauteur du remblai arrière avec la pente, et qu'on retranche la seconde somme de la première, le reste sera la hauteur de la mire avant.* Pour s'en convaincre on doit observer que l'on a $CA' = CK' + K'A'$. Mais $CK' = B'D$, et $K'A' = A'E - (K'H$ ou $B'F + EH)$.

6.° Remblai arrière
et ni déblai ni rem-
blai avant.

348. S'il y a remblai arrière et ni déblai ni remblai avant, le point A tombera sur le point E , et l'on aura $CA = B'D - (B'F + EH)$. C'est-à-dire qu'alors *on connaîtra la hauteur de la mire avant en retranchant de celle arrière la somme de la pente et de la hauteur du remblai arrière.* Car dans ce cas $CA = CE$. Mais $CE = CK' - K'E$; $CK' = B'D$, $K'E = K'H$ ou $B'F + EH$.

7.° Ni déblai ni
remblai arrière avec
déblai avant.

349. S'il n'y a ni déblai ni remblai arrière avec déblai avant, on aura $BF = 0$, $BD = FD$ et $CA = BD - (AE + EH)$. Ce qui nous fait voir que dans ce cas *la hauteur de mire avant est égale à la hauteur de mire arrière diminuée de la somme de la profondeur du dé-*

blai avant et de la pente. En effet, $CA = CH - AH$. Mais $CH = BD$ ou FD , et $AH = AE + EH$.

350. S'il n'y a ni déblai ni remblai arrière avec remblai avant, en continuant d'avoir $BF = 0$ et $BD = DF$, on aura alors le point A qui tombera sur A' et la formule deviendra : $CA' = BD + A'E - EH$; c'est-à-dire qu'alors la hauteur de mire avant est égale à celle arrière augmentée de la hauteur du remblai avant moins la pente. Cela est évident : car $CA' = CH + A'H$. Mais $CH = BD$ ou BF , et $A'H = A'E - EH$.

8.° Ni déblai ni remblai arrière avec remblai avant.

351. S'il n'y a enfin ni déblai ni remblai arrière et avant, on a $CA = CE$ et $BD = DF$. La formule devient alors $CA = BD - EH$; ce qui signifie que dans ce cas la hauteur de mire avant est égale à celle arrière diminuée de la pente. Pour s'en convaincre on doit observer qu'alors $CA = CE = CH - EH$. Mais $CH = DF = BD$.

9.° Ni déblai ni remblai arrière et avant.

352. Supposons maintenant que la hauteur de mire avant étant connue, l'on veuille déterminer la position du plat-fond avant, lorsqu'il y a déblai arrière. L'équation du N.° 342 nous donnera $AE = BF + BD - (CA + EH)$; d'où l'on déduit la formule générale suivante : ajoutez d'une part la hauteur de mire et la profondeur du déblai arrière, et de l'autre la hauteur de mire avant et la pente; et retranchez la seconde somme de la première. Si le reste est positif, vous aurez la profondeur du déblai avant; s'il est négatif, vous y aurez la hauteur du remblai; et s'il est zero, le plat-fond coïncidera avec la superficie du terrain.

Cas où la hauteur de mire avant étant connue, il y a 1.° déblai arrière.

En effet, $AE = CH - (CA + EH)$. Mais $CH = BF + BD$.

353. Si l'on avait remblai arrière, le point B tomberait sur le point B', et la formule deviendrait : $AE =$

2.° Remblai arrière.

$B'D - (CA + B'F + EH)$. Ce qui fait voir qu'alors on doit ajouter la hauteur du remblai arrière à celle de mire avant et à la pente, et ensuite retrancher cette somme de la hauteur de mire arrière. Le résultat, selon qu'il sera positif ou négatif, fera connaître la profondeur du déblai ou la hauteur du remblai avant, et lorsqu'il sera zero, le plat-fond avant se confondra avec la surface du terrain. Car $AE = CK' - (CA + HK' + EH)$. Mais $CK' = BD$ ou $B'D$ et $HK' = BF$ ou $B'F$.

3.° Ni déblai ni remblai arrière.

354. Si le plat-fond arrière coïncide avec la surface du terrain, on aura : $BF = 0$, et le point B tombera sur F. La formule deviendra alors : $AE = BD - (CA + EH)$; d'où l'on conclut que l'on doit ajouter la pente à la hauteur de mire avant, et retrancher la somme de la hauteur de mire arrière. Le reste donnera la profondeur du déblai ou la hauteur du remblai avant, selon qu'il sera positif ou négatif; et s'il est zero, il fera connaître que le plat-fond avant se confond avec la surface du terrain. Cela est évident : car $AE = CH - (CA + EH)$. Mais $CH = DF$ qui alors est $= BD$.

Formule générale embrassant les douze formules précédentes.

355. Si l'on veut généraliser ce que nous venons de dire et tout comprendre dans une seule formule, on peut prendre l'équation du N.° 312, c'est-à-dire, $CA \pm AE + + EH = BD \pm BF$; dans laquelle le signe supérieur se rapporte aux déblais et le signe inférieur aux remblais. En prenant successivement pour inconnues CA et AE et imitant le procédé que nous avons suivi au N.° 313, on trouvera toutes les formules que nous avons données ci-dessus (343-354).

Comment on peut exprimer la pente et la contre-pente par la même formule.

356. Cette même formule peut être rendue encore plus générale en affectant du double signe \pm la quantité EH. Dans ce cas l'arrière serait constamment en A et l'avant

en B ; et alors le signe supérieur de EH se rapporterait à la pente , au lieu que le signe inférieur supposerait contre-pente.

SECTION II.

Nivellement du tracé rétrograde des canaux.

357. Soit le point P (*fig. 55*) le repère immuable auquel les eaux doivent aboutir sous une profondeur connue et une pente donnée. On placera le niveau en R , et la mire en P où l'on prendra la hauteur du carton. On ajoutera cette hauteur à la profondeur du déblai en P. On ajoutera pareillement la profondeur du déblai qu'on doit avoir en N à la pente du plat-fond de N en P. Retranchant cette dernière somme de la première , on aura (343) la hauteur du carton au point N dont la position sera alors déterminée et marquée ainsi qu'il a été dit (317). Prenant ensuite la somme de la profondeur à donner au déblai en M et de la pente de M en P , et retranchant cette somme de celle de la profondeur du déblai et de la hauteur du carton en P , on aura la hauteur du carton au point M qu'on déterminera et qu'on marquera de la même manière que le point N ; et ainsi de suite jusqu'au point K , où l'on changera de station et où l'on calculera d'une manière exacte (352) la profondeur du déblai.

358. On changera de station et l'on placera le niveau en Q. On prendra la hauteur du carton en K et on l'ajoutera à la profondeur de déblai au même point. D'après cette somme et la formule du N.º 343 , on déterminera la position des divers points H , G , F et E de la même manière qu'on a déjà déterminé celle des points N , M , L et K d'après les mêmes données au point P. Le

Comment on procède sur la première station.

Fig. 55.

Et sur les stations suivantes.

point E est le terme de cette station, et on le traitera ainsi qu'on a traité le point K. On continuera de même jusqu'à ce qu'on soit arrivé près du niveau des basses eaux de la rivière AB destinée à alimenter le canal.

Comment on trouve le point de dérivation sur la rivière

359. Supposons que le point E soit le terme avant de l'avant-dernière station. Après avoir placé le niveau entre ce point et la rivière, on aura par la formule du N.° 343 la hauteur du carton au-dessus de la superficie des basses eaux de la rivière, en regardant la profondeur à donner aux eaux dans le canal comme celle du déblai en C, et en augmentant convenablement la pente à donner à l'entrée du canal pour y faciliter l'introduction des eaux. Cette hauteur de carton ainsi déterminée, on placera la mire à la surface des basses eaux à un point C tel que la ligne de milieu du carton coïncide parfaitement avec le rayon de visée. Ce point C sera le point de dérivation.

Repère immuable près de la prise d'eau.

360. La superficie des eaux étant variable par les pluies, sur la même station on se rapportera à un repère immuable D qu'on choisira ou à défaut qu'on placera aux environs du point C et hors de la portée des eaux dans les crues. On considérera ce point comme s'il était placé en C et l'on calculera (352) sa hauteur au-dessus du plat-fond pris à l'entrée du canal.

Cas où l'on a une vallée à franchir.

Fig. 54.

361. Supposons que dans le cours des opérations on eut à franchir la vallée CBA (fig 54), et que la ligne YX soit le plat-fond du canal. Par le moyen de la profondeur de déblai et de la hauteur du carton en V on aura (352) la hauteur du remblai en T. Cette dernière hauteur et celle du carton au même point fourniront le moyen de trouver la hauteur des remblais en B et en S par le moyen de la formule du N.° 353; et enfin par le moyen de la hauteur tant du remblai que

de la mire en S et de la formule du N.º 346, on aura la hauteur de la mire au point P tel que la profondeur du déblai y soit la même qu'au point V, et dont on déterminera la position ainsi qu'il a été dit (357).

362. Quant aux termes de vérification et aux autres détails relatifs aux canaux dont nous parlons, on se conformera exactement à ce que nous avons dit à ce sujet dans le chapitre précédent. Au surplus nous n'avons pas besoin d'observer que la théorie du tracé rétrograde se rapporte particulièrement aux canaux à pente. Car si le canal n'en avait pas, il est indifférent d'en commencer le tracé par un bout ou par l'autre; et à cet égard on doit exclusivement se conformer à ce que nous avons dit au sujet des canaux de navigation dans le chapitre précédent

Termes de vérification et autres détails.

SECTION III.

Nivellement du tracé rétrograde des aqueducs.

363. D'après ce que nous avons dit des aqueducs dans le chapitre précédent, ces ouvrages exigent, ainsi que les canaux, une certaine pente et des tranchées d'une profondeur déterminée. Les données sont donc les mêmes que pour les canaux à pente. Leur tracé rétrograde sera donc le même et s'effectuera d'après les mêmes principes.

Le tracé rétrograde des aqueducs est le même que celui des canaux à pente.

C H A P I T R E V I I I .

APPLICATION DU NIVELLEMENT AUX PROFILS

SECTION PREMIÈRE.

Notions générales et préliminaires.

En quoi consiste le profil ou la coupe.

Fig. 44.

364. LA ligne ACDEFGHK (fig. 44) représente une ligne quelconque tracée sur la surface de la terre suivant une seule ou plusieurs directions. Par le point quelconque A imaginons une ligne de niveau correspondante à la ligne ACD etc. Menons de tous les points d'inégale hauteur de cette dernière des lignes d'aplomb sur la première. Il est visible (179) que par le moyen de toutes ces verticales on connaîtra la hauteur respective de tous les points de la ligne ACD etc. Il est visible encore que , connaissant la longueur de chacune de ces lignes d'aplomb et leur distance respective prise sur la ligne AB , on pourra décrire sur le papier d'après une échelle déterminée la ligne ACD etc. , telle qu'elle est sur le terrain. Dans ce dernier cas cette ligne est ce qu'on appelle *profil* ou *coupe*.

Quel est l'objet d'un profil.

365. L'art de profiler consiste à prendre la distance verticale de tous les points d'une ligne tracée sur le terrain, par rapport à une ligne horizontale donnée de position ou choisie à volonté , et les intervalles qui séparent toutes

toutes ces verticales pris et mesurés sur l'horizontale dont nous parlons; et l'objet d'un profil est d'exprimer sur le papier toutes les inégalités de hauteur d'une ligne tracée sur le terrain, tandis qu'un plan exprime la situation horizontale d'une figure. Ainsi le profil détermine la projection verticale, et le plan la projection horizontale.

366. On sait que toute la théorie des lignes courbes n'est fondée que sur le rapport qu'il y a entre les abscisses et les ordonnées. Ce rapport dans les courbes est exprimé par leur équation; et à l'aide de cette équation, connaissant l'abscisse, on connaît l'ordonnée correspondante. C'est d'après cela qu'on peut trouver autant de points qu'on voudra de la courbe. Dans les profils la ligne de niveau à laquelle on se rapporte est véritablement l'axe des abscisses et les lignes d'aplomb menées des divers points de la ligne profilée en sont les ordonnées. S'il était possible de lier par une équation les rapports qui regnent entre les abscisses et les ordonnées d'un profil, connaissant les abscisses on connaîtrait aussi les ordonnées correspondantes et par conséquent la position verticale des points y relatifs de la ligne profilée. Mais il n'est pas possible d'exprimer ces rapports par une équation. Par conséquent dans un profil la longueur de chaque ordonnée doit être mesurée partiellement.

Différence entre les co-ordonnées d'un profil et celles d'une courbe géométrique.

367. Dans la théorie des courbes, l'axe des abscisses est ordinairement une ligne droite, et il n'y a que quelques cas où il est une ligne courbe. Dans les profils au contraire cet axe étant exactement une ligne de niveau, est nécessairement une ligne courbe (11 et 12). Pareillement dans la plupart des courbes les ordonnées sont parallèles entr'elles; tandis que dans les profils ces ordonnées étant des lignes d'aplomb doivent concourir vers

Autre différence entre les mêmes co-ordonnées.

le centre du globe (19 — 21). Cependant comme les profils ne sont destinés qu'à faire connaître les rapports de hauteur des ordonnées dont les distances sont connues, on sent qu'on remplit également et même plus simplement cet objet en employant la ligne droite pour l'axe des abscisses et en rendant les ordonnées parallèles. Ce système a prévalu avec raison, et on l'a généralement adopté, quoiqu'à la rigueur il ne soit pas conforme à l'exacte vérité.

Dans quel cas l'axe des abscisses d'un profil ne formera qu'une ligne droite ou sera une ligne brisée.

Fig. 44.

368. La projection horizontale AK' de la ligne ACD etc., tracée sur le terrain sera donc l'axe des abscisses. Si cette ligne suit constamment la même direction ou si elle est dans un seul et même plan vertical, l'axe des abscisses ne formera qu'une seule ligne droite. Mais si elle suit diverses directions ou si elle est dans divers plans verticaux qui fassent des angles entr'eux, comme, par exemple, les feuilles d'un paravent, l'axe sera une ligne brisée composée d'autant de droites qu'il y aura de directions différentes, et ses angles seront les mêmes que ceux des plans qui comprennent la ligne dont il s'agit.

Il est convenu que le profil sera dans un seul plan et que l'axe des abscisses sera une ligne droite.

369. Il faudrait donc à la rigueur que l'axe des abscisses fut une ligne brisée, lorsque la ligne à profiler suit diverses directions. Mais comme il est impossible d'employer une pareille ligne sur le papier pour axe des abscisses, et que d'ailleurs quand même la chose serait possible il n'en résulterait aucun avantage, on est convenu de rectifier tant l'axe que le plan de la ligne à profiler; ce qui produit le même effet et simplifie beaucoup les opérations.

Position de l'axe des abscisses par rapport à la ligne de profil.

370. L'axe des abscisses est arbitraire et l'on peut le faire passer par tel point qu'on veut. Mais sa position doit essentiellement être connue par rapport au terme de départ d'un nivellement. Les uns le placent au-dessus

et les autres au-dessous. La chose considérée en elle-même et d'une manière isolée, est assez indifférente. Mais nous verrons ailleurs qu'en l'envisageant sous des rapports généraux la position de cette ligne ne doit pas être arbitraire.

371. Puisque (366) dans les profils les ordonnées doivent absolument être déterminées pour chaque point qui doit y entrer, et que ces ordonnées expriment les hauteurs respectives de ces points (179), il est évident qu'on ne peut les connaître que par le nivellement. Or (228) le nivellement les détermine par rapport à la ligne de niveau qui passe par le point de départ. Donc aussi ces ordonnées seront fixées par le même nivellement par rapport à tout autre axe dont la position sera connue à l'égard du point de départ.

Variations dont l'axe des abscisses est susceptible.

Ainsi les ordonnées des divers points C, D, E etc., ayant été déterminées par le nivellement et rapportées à l'axe AB qui passe par le point de départ A, si l'on veut les rapporter à un autre axe qui passe au-dessus ou au-dessous de A d'une quantité connue, il n'y qu'à diminuer dans le premier cas, ou à augmenter dans le second, la valeur de ces ordonnées de cette quantité.

Supposons, par exemple, qu'après avoir rapporté les ordonnées à l'axe AB, on veuille les rapporter à l'axe A'B' qui passe au-dessus du premier d'une quantité = AA'. La nouvelle ordonnée au point A sera = 0 - AA' = -AA'; celle au point C sera = CC' - AA' = CC' - C''C'' = CC''; etc.

Si au contraire on veut les rapporter à l'axe A''B'' qui passe au-dessous du premier de la quantité = AA'', la nouvelle ordonnée au point A sera = 0 + AA'' = AA''; celle au point C sera = CC' + C'C'' = CC''; etc.

Variations dont les abscisses sont susceptibles.

372. Les abscisses doivent se rapporter au sommet de l'axe, et ce sommet se rapporte lui-même au point de départ. Ainsi dans la figure 44 le sommet de l'axe se trouve au point A ou sur la verticale A'A" qui passe par le point A de départ. Si néanmoins on veut le rapporter ensuite à tout autre point S ou S' à gauche ou à droite du point A d'une quantité connue AS ou AS', on peut facilement l'effectuer en augmentant dans le premier cas chaque abscisse de la quantité AS, et en la diminuant dans le second de la quantité AS'.

La valeur absolue des abscisses se détermine par le chaînage.

373. Quant à la valeur absolue des abscisses, on ne peut la connaître que par le chaînage qui (237) doit être fait suivant l'horizontale ou parallèlement à l'axe des abscisses, et qui par conséquent donnera des quantités égales aux abscisses correspondantes.

On distingue deux sortes de coupes ou profils.

374. Dans les objets du ressort du génie des ponts et chaussées on distingue deux sortes de *coupes* ou de *profils*, savoir; 1.° les profils en long ou *profils longitudinaux*; 2.° les profils en travers ou *profils transversaux*.

Définition et objet du profil longitudinal.

375. Le profil longitudinal doit, dans un projet, être pris sur l'axe ou la ligne de milieu de ce projet. Il doit surtout se rapporter non-seulement aux termes extrêmes du nivellement, mais encore à tous les repères. Son objet est de faire connaître toutes les variations de la superficie du sol relativement à la ligne de niveau.

En quels endroits et dans quelle direction on doit prendre les profils transversaux.

376. Le profil transversal doit au contraire être pris en travers et au droit de chaque repère auquel on aura soin de le rapporter. Mais lorsque l'ouvrage à exécuter est sur un penchant dont la déclivité varie, ou lorsque cette variation affecte jusqu'à un certain point le profil longitudinal, on est souvent obligé d'en prendre plusieurs entre deux repères, ainsi que nous le

dirons plus bas. Dans tous les cas leur direction doit être d'équerre avec la partie correspondante de l'axe. Pour simplifier, nous n'en admettrons qu'au droit des repères, et nous les supposerons d'équerre avec la partie arrière de l'axe.

377. Dans un profil transversal on distingue la partie à droite et la partie à gauche. Pour cela on suppose l'ingénieur marchant sur l'axe dans le sens du cours de l'eau, ou dans le sens de ses opérations, selon qu'il y ait déjà ou qu'il doive y avoir un courant d'eau, ou que le projet n'en suppose aucun. Alors la partie à droite ou à gauche du profil se distinguera par la droite ou la gauche de l'ingénieur. Chacune de ces parties doit être assez étendue pour embrasser toutes les dépendances du projet ou de l'objet profilé.

Quelle est la droite ou la gauche d'un profil transversal.

378. Les profils transversaux sont destinés à faire connaître la position et les variations du sol pris en travers au droit de chaque repère, afin de pouvoir connaître toutes les opérations à porter sur les devis qu'on doit dresser. C'est ainsi que s'il s'agit, par exemple, d'un canal à soutenir sur le penchant d'une montagne, par le degré de déclivité de ce penchant et qui sera indiqué par le profil, on jugera si du côté d'aval on a besoin d'un mur ou si une chaussée sera possible.

Objet des profils transversaux.

379. Soit ABCDE (*fig. 57.*) la forme de la superficie du terrain suivant une portion A'B'C'D'E' de l'axe du tracé d'un projet quelconque. Supposons d'abord que le niveau étant placé entre les deux repères A et C donne pour rayon de visée FG, et imaginons des verticales partant des divers points inégalement élevés H, K, B, L, M, N, O. Toutes ces verticales seront, ainsi que AF et CG, les hauteurs de mire aux points correspondants.

Comment on rapporte au même axe les hauteurs de mire ou ordonnées de deux stations consécutives.

Fig- 57.

Par conséquent si sur la partie AC on prend FG pour l'axe des abscisses, ces verticales seront les ordonnées dont la valeur déterminera la position des points correspondans par rapport à cet axe.

Changeons à présent de station en plaçant le niveau entre C et E, et supposons que dans cette nouvelle position le rayon de visée soit PQ. Imaginons encore des verticales partant des divers points R, S, T, V, X, D, Y, Z. Elles seront, de même que CP et EQ, les hauteurs de mire aux points correspondans. Donc si nous regardons PQ comme l'axe des abscisses sur la partie CE, ces verticales seront les ordonnées qui feront connaître la position des points correspondans par rapport à cet axe.

Or ces deux axes quoique différens entr'eux sont néanmoins de niveau l'un et l'autre et par conséquent parallèles. D'ailleurs leur distance PG est connue, puisqu'elle est $= CP - CG$; que CG est la hauteur extrême de mire avant de la station sur AC, et que CP est la même hauteur de mire arrière de la station sur CE.

Donc 1.^o si l'on veut rapporter toutes les ordonnées à l'axe FG prolongé, il faut diminuer celles sur CE de la quantité PG; 2.^o si au contraire on veut les toutes rapporter à l'axe PQ prolongé, il faut augmenter de la même quantité PG celles sur AC.

380. Si au lieu de se borner à deux stations on en suppose un plus grand nombre, on verra par ce que nous venons de dire (379) 1.^o que les ordonnées de la troisième station, pourront se rapporter à l'axe des ordonnées de la seconde et par conséquent aussi à celui des ordonnées de la première; 2.^o que les ordonnées de la

Même moyen pour les ordonnées d'un plus grand nombre de stations.

quatrième pourront se rapporter à l'axe des ordonnées de la troisième, et par conséquent à celui des ordonnées de la première, et ainsi de suite jusqu'à la fin. D'où l'on conclura que, quelque soit le nombre des stations, toutes les ordonnées peuvent se rapporter à l'axe des abscisses ou au rayon de visée d'une seule station.

381. Souvenons-nous de ce que nous avons dit au N.^o 371, et nous verrons que nous pourrons aussi rapporter toutes les ordonnées ou hauteurs de mire d'un profil quelconque à tel axe des abscisses que nous voudrons, pris à telle distance qu'on désirera soit au-dessus soit au-dessous du sol.

Conséquence qui résulte de ce moyen.

382. On sait que la surface de la terre, même aux endroits où elle paraît le plus unie, est néanmoins parsemée d'une infinité d'inégalités plus ou moins considérables. Puis donc qu'il s'agit de la représenter en profil avec ces mêmes inégalités, on sent que s'il faut placer successivement la mire partout où il s'en trouve, on ne finira point. Il s'agit donc de savoir quels sont les points qui doivent entrer dans un profil et où il faut prendre la hauteur de mire.

Quels sont dans les profils les points où l'on doit prendre la hauteur de mire.

En considérant un profil comme une ligne quelconque mixte, il paraît qu'on doit exclusivement prendre la hauteur de mire aux points où la ligne change de direction soit pour monter soit pour descendre, de manière qu'en joignant ensuite tous ces points par des droites, il en résulte le profil cherché. Tels sont les points A, H, K, B, etc. Car on voit dans cette figure qu'il eût été inutile et superflu de prendre des hauteurs de mire entre A et H, ou entre H et K.

Fig. 57.

383. Si l'on tire une droite du point C au point S, elle passera au-dessous du point R; ce qui fait sentir la

Plus l'échelle du profil sera grande, plus il faudra de coups de niveau.

nécessité de prendre une hauteur de mire à ce dernier point. Cela doit avoir lieu toutes les fois que la flèche correspondante à R pourra être sensible sur le profil rédigé et rapporté sur le papier. Or cette flèche étant supposée constante sur le terrain, elle sera plus ou moins sensible sur le profil rapporté, selon que l'échelle sera plus ou moins grande. D'où l'on doit conclure qu'un profil exigera d'autant plus d'ordonnées qu'il sera rapporté sur une plus grande échelle.

Nécessité des profils dans les projets.

384. Il n'y a aucun projet tant soit peu considérable du ressort du génie des ponts et chaussées qui n'exige des profils en long et en travers. Aussi les emploie-t-on dans les canaux et aqueducs de tous les genres et dans les routes. Les rivières elles-mêmes sont dans ce cas, pour déterminer leur pente, et la forme de leur lit, surtout dans la construction des ponts et la navigation. Nous allons donc examiner le mode à suivre à cet égard dans chacun de ces objets.

SECTION II.

Nivellement des profils des canaux.

§ I.

Nivellement du profil longitudinal des canaux.

Manière de procéder au profil sur la première station.

Fig. 57.

385. Soient A'B'C'D'E' (fig. 57) le plan de l'axe du canal à profiler, F' le repère du départ (200 et 316), et A' le point de dérivation (317). Nous supposons, 1.^o que tous les repères se trouvent aux angles et les termes extrêmes aux points A' et E' (295); 2.^o que tous ces repères sont marqués par des bornes en pierre (337), ou en piquets avec

avec des points fixes (336), selon l'importance du canal.

La première chose à faire est de placer un jallon en A', un autre en B' et un troisième en B'' sur le prolongement de A'B' (231). On montera le niveau entre les points A' et B' que nous supposons assez distans l'un de l'autre pour fournir à une station. Ensuite avant tout on prendra la hauteur de la mire au point F' dont on connaît la position verticale par rapport au plat-fond du canal au point de dérivation A' (316).

Cela fait on commencera le chaînage au bord de l'eau A' ou A; et avant de passer de la première à la seconde chaînée, on prendra successivement la hauteur de mire du point A et des autres points inégalement élevés, et l'on aura soin de marquer exactement par le moyen de la chaîne la distance de chacun de ces points au commencement A du chaînage comme formant les abscisses dont les hauteurs de mire correspondantes sont les ordonnées (379). Par où l'on voit la nécessité de la forme du registre prescrite au N.º 256.

Les points inégalement élevés et compris sur la longueur de la première chaînée étant épuisés, on passera à la seconde sur laquelle on opérera de même; et ainsi de suite jusqu'à la fin de la station au point B, où l'on prendra très-exactement la hauteur de mire pour pouvoir passer à la seconde (220).

386. Avant d'aller plus loin nous devons faire ici les observations suivantes :

Observations essentielles sur cet objet.

1.º A mesure qu'on rencontre un repère, le chaînage doit s'y terminer pour être recommencé et poussé jusqu'au repère suivant.

2.º Les hauteurs de mire doivent être prises très-

exactement sur chaque repère qui se trouvera compris dans la station.

3.° On doit faire la même chose au sujet des termes de vérification (178) qui se trouveront soit sur l'axe, soit aux environs, et qui correspondront à la station.

4.° Quant aux autres points de profil, on n'a pas besoin, à beaucoup près, de la même précision : car outre qu'ils ne font pas partie essentielle du tracé, quelque grande que soit l'échelle qu'on adopte pour le profil (383), on verra qu'une inégalité de près d'un décimètre rapportée n'y serait presque pas sensible. Aussi en pareil cas on néglige les millimètres de hauteur de mire et l'on se borne aux centimètres.

Autre observation.

387. Nous observerons encore à ce sujet que la multitude de coups de niveau qu'on est obligé de donner sur chaque station pour profiler une ligne sur le terrain, justifie la préférence que nous avons donnée aux genoux à platine (91). Car si le niveau n'avait qu'une seule vis et qu'il fallut le monter à chaque visée, que de temps ne perdrait-on pas (94) ? Mais reprenons la manière de profiler.

Manière de profiler sur les stations suivantes.

Fig. 57.

388. Après avoir profilé l'espace compris sur la première station, on transportera le niveau sur la seconde B'C' ou BC; ensuite sur la troisième C'D' ou CD; et successivement sur D'E' ou DE, et les suivantes jusqu'à la fin. Sur chacune de ces stations on se conformera à ce qui a été prescrit pour la première aux N.°s 385 et 386. Mais il y a divers cas à considérer et que nous allons examiner en détail.

Cas où le canal doit couper un chemin.

389. Il est rare que le tracé d'un canal ne coupe quelque route qu'il faudra nécessairement rétablir par la construction d'un pont lors de l'exécution. En conséquence

il faut prendre le profil de la partie du tracé qui coupe le chemin et les fossés latéraux.

390. Lorsque le tracé d'un canal coupe un torrent, ou une rivière, ou un autre canal qui nécessitera la construction d'un aqueduc, il est essentiel de prendre le profil exact de la traversée de ce torrent, ou rivière, ou canal. On doit même y faire entrer la hauteur de mire au point des hautes, moyennes et basses eaux. Par ce moyen on pourra dresser les plans des aqueducs à construire quand on exécutera le projet.

Cas où le canal doit couper un torrent, une rivière ou un autre canal.

391. Il peut arriver qu'un canal soit obligé de traverser un marais FHKGLMN (fig 56). Dans ce cas il sera inutile de prendre au niveau le profil de F en G. Il suffira lors du tracé d'avoir établi des repères de vérification aux points F et G liés entr'eux par un nivellement le long du pourtour FNMLG. Le profil ayant été poussé de A en F, le sera ensuite de F en G de la manière suivante.

Cas où le canal doit traverser un marais,

Fig. 56.

1.° Si le marais à peu de profondeur d'eau et que les porte-chaînes puissent le traverser à pied, il suffira de prendre la profondeur des eaux au bout de chaque chaînée. Quant au chaînage, au lieu d'employer des fiches, on emploiera des piquets assez longs pour paraître au-dessus de la surface des eaux.

2.° Si le marais a une profondeur d'eau telle qu'on ne puisse pas le traverser à pied, on fera le chaînage avec deux bateaux et l'on prendra encore la profondeur des eaux au bout de chaque chaînée.

392. Lorsqu'un canal de navigation traverse un étang, on est obligé d'établir une chaussée de chaque côté pour le chemin de hallage, et l'on sent bien que la dresse du devis estimatif de ces chaussées exige que l'on connaisse

Cas où un canal de navigation doit traverser un étang.

la profondeur des eaux. Alors le chaînage et les sondes se feront ainsi qu'il vient d'être dit (391. 2.°)

Cas où le canal doit traverser des bruyères ou des bois taillis.

393. Nous avons vu (324 et 325) que dans le cas où le canal devait traverser des bruyères ou des bois taillis, il fallait pour le chaînage, s'ouvrir un passage à la hache. Alors la route du canal étant ouverte, on pourra suivre la chaîne et prendre le profil de la même manière qu'en pays découvert.

§ II.

Nivellement du profil transversal des canaux.

On doit rapporter le profil transversal au repère.

Fig. 56.

394. Nous avons dit (376) en quel endroit, suivant quelle direction et sur quelle étendue il fallait prendre les profils transversaux. Soit donc PQ (fig. 56) la longueur et la direction du profil transversal au repère B. Le nivellement commencera indistinctement au point P ou au point Q, et le profil se prendra de la même manière que suivant l'axe. La seule attention qu'on doit avoir est de prendre exactement la hauteur de mire au repère: car c'est par ce moyen que le profil sera lié au tracé du canal; ce qui est indispensable.

Quel doit être le profil transversal à l'endroit où l'on a un aqueduc à établir sous le canal.

395. Lorsqu'on soutient un canal sur le penchant d'une chaîne de collines, l'on est obligé par intervalles de pratiquer des aqueducs au-dessous du plat-fond pour évacuer les eaux pluviales reçues par le contre-canal du côté des collines. L'économie exige alors que ces aqueducs soient en demi scyphon ou à puisard, c'est-à-dire, que les eaux s'y précipitent par une chute à l'entrée. Alors le profil doit se prendre ainsi qu'il suit.

Supposons que l'aqueduc doive être construit au point R. La partie RS n'aura que la longueur relative à l'é-

tendue des ouvrages à l'entrée de l'aqueduc. Mais la partie RT doit être poussée jusqu'au point de la pente de la colline où le plat-fond du fossé d'évacuation dont la pente est censée connue, paraîtra au-dessus du terrain. Dans ce cas pour lier ce profil à celui suivant l'axe, le premier coup de niveau sera très-exactement pris au repère B le plus voisin du point R.

396. Il est possible que le terrain soit tellement en pente qu'on ne puisse pas prendre tout le profil transversal d'une station. Alors on le prendra en deux ou même en trois, suivant le besoin, observant dans les changements de station les mêmes précautions que pour le tracé et les profils longitudinaux (224 et 317.)

397. Lorsqu'un chemin se trouve coupé par le tracé, il est indispensable de prendre le profil transversal suivant ce même chemin. L'étendue de ce profil tant à droite qu'à gauche du canal doit être proportionnée à la longueur des rampes du pont à construire pour rétablir le passage. Mais pour le lier avec le nivellement général, qu'on n'oublie pas de le rapporter au repère le plus à portée (395).

Cas où le terrain est fort ardu.

Profil transversal sur une route coupée par le canal.

SECTION III.

Nivellement des profils des aqueducs.

398. Tout ce que nous avons dit au sujet des profils des canaux s'applique textuellement aux profils tant en long qu'en travers des aqueducs. Ainsi nous n'en dirons rien de plus.

Les profils des aqueducs se prennent de la même manière que ceux des canaux.

SECTION IV.

Nivellement des profils des routes.

Divisions des routes
en deux classes.

399. On doit diviser en deux classes les routes considérées par rapport aux profils. Dans la première classe sont les routes à construire à neuf et dont le tracé a été préalablement fait au niveau de pente. Dans la seconde se trouvent toutes celles anciennement construites sans profil.

Nous allons parler successivement des profils de chacune de ces classes.

§ 1.

Nivellement du profil longitudinal d'une route tracée et à construire.

Repères à placer et
termes de vérifica-
tion à choisir.

400. Lorsqu'on a à prendre un profil longitudinal sur une route tracée et non construite, on doit d'abord fixer des repères immuables auxquels on puisse se rapporter pendant la construction. Ces repères doivent être des bornes en pierre qu'on placera sur l'axe à des distances réglées et aux angles. Indépendamment de ces bornes on prendra aussi par intervalles et par les raisons que nous donnerons plus bas, d'autres repères immuables aux environs de la route, et surtout au fond des vallées, au sommet des montées, aux embranchemens, dans les traverses des communes et sur les ponts.

Du reste le profil se
prend ainsi que dans
les canaux.

401. Le repère du départ ayant été fixé on partira de ce point en suivant l'axe de la route à la chaîne et

au niveau, et l'on prendra le profil longitudinal de la même manière que celui d'un canal (385-393). Ainsi il est inutile d'en dire davantage.

§ II.

Nivellement du profil longitudinal d'une route en exercice.

402. C'est toujours sur l'axe de la route qu'on doit prendre le profil longitudinal. Mais comme elle est supposée en exercice, les repères auxquels on doit se rapporter par intervalles ne peuvent pas être pris sur cet axe, à cause que leur position peut être altérée par le roulage des voitures ou par un accident quelconque. On prendra donc pour repères soit les bornes établies au bord des empierremens, soit d'autres points fixes placés hors de la route. Parmi ces derniers points fixes on en choisira surtout au fond des vallées et aux autres endroits désignés à la fin du N.º 400. On doit surtout faire entrer dans le profil les ponts et pontceaux; et dans ce cas il est nécessaire de profiler le sol naturel et le dessus de l'aire de la route aux endroits où ces sortes d'ouvrages se rencontrent.

403. Le profil longitudinal de la route se prendra de la même manière que celui d'une route à construire. On aura seulement l'attention de terminer les chaînages au droit de chaque repère, tout comme on ferait si les repères étaient placés sur l'axe; mais en même-temps outre la hauteur de mire à prendre sur ces repères on doit avoir soin de prendre aussi celle sur l'axe aux endroits vis-à-vis et où le chaînage de repère à repère se termine. Chaque repère et le point correspondant de l'axe

Quels sont les repères à prendre sur les routes en exercice.

Comment on procède dans le profil en long de ces routes.

seront cotés sur le registre sous la même distance au repère précédent.

§ III.

Nivellement du profil transversal d'une route tracée et à construire.

Comment on prend le profil en travers de ces routes.

404. Les profils transversaux des routes à construire seront pris au droit des repères et d'équerre à l'axe. Du reste on se conformera en tout à ce qui a été dit à ce sujet pour les canaux (394-396).

§ IV.

Nivellement du profil transversal d'une route en exercice.

Ce qu'il faut observer dans les profils en travers d'une route en exercice.

405. Le profil transversal des routes en exercice sera pareillement pris au droit du repère et d'équerre à l'axe de la route sur laquelle on opère. Ce profil doit embrasser toute la largeur de la route et des ouvrages qui en dépendent, tels que fossés latéraux, murs de soutènement, etc., et en outre une certaine étendue au delà pour pouvoir profiler les augmentations d'ouvrages, si toutefois on avait le projet d'en exécuter, soit dans le moment soit dans le tems. Le nivellement le rapportera au repère correspondant. Du reste on procédera de la même manière que pour les routes à construire.

SECTION V.

Nivellement des profils des rivières.

Définition et objet des profils des rivières.

406. Le profil longitudinal d'une rivière a pour objet de faire connaître la pente des eaux et les inégalités du fond

fond suivant la direction de leur cours; et le profil transversal sert à constater ces mêmes inégalités en travers. Ces deux sortes de profils sont nécessaires dans un grand nombre de cas, et surtout lorsqu'il s'agit de la construction des ponts et de la navigation. Mais la manière d'y procéder diffère à certains égards de celle employée sur les canaux et sur les routes, ainsi qu'on va le voir par ce qui suit.

§. I.

Nivellement du profil longitudinal des rivières.

407. Dans les profils relatifs aux routes et aux canaux on opère sur la direction de l'axe. Dans les rivières cet axe se trouve sur le courant de l'eau. Il est donc impossible de le suivre, et l'on est forcé d'opérer sur les bords en côtoyant la rivière.

Le profil longitudinal d'une rivière se prend en opérant sur le bord.

408. Dans ces sortes d'opérations on plantera sur l'un des bords et de distance en distance des piquets qui serviront de repères. Ces repères seront placés au-dessus des plus hautes eaux, afin de pouvoir opérer dans tous les tems, quelle que soit la hauteur des eaux de la rivière. Leur distance dépendra de la rapidité des eaux. Elle pourra être de deux kilomètres sur une rivière qui ne charrie que du sable et dont le lit est par conséquent moins variable; et sur celles qui charrient du gravier et qui ont le plus de pente, elle pourra se réduire à 500 mètres et au-dessous, suivant les variations du fond et de la pente.

Repères amovibles et leur distance.

409. Outre ces repères au droit desquels on prendra les profils en travers, il y en a d'autres qu'il faut choisir et qui seront immuables, parce qu'ils serviront dans

Repères immuables et leur choix.

tous les tems de termes de vérification et de comparaison. Ainsi on prendra 1.^o deux termes extrêmes de nivellement dont l'un pour le départ et l'autre pour l'arrivée; 2.^o les quais, digues, déversoirs, écluses, ponts, seuils de maison, et autres ouvrages d'art qui se trouveront sur la rivière ou aux environs.

Comment on procède dans le nivellement en côtoyant la rivière.

410. On partira donc du repère de départ et l'on aboutira avec le niveau au premier piquet sur le bord de la rivière ou au repère N.^o 1 où l'on prendra exactement la hauteur de la mire. Du repère N.^o 1, on fera chaîner le long de la rivière et suivant ses sinuosités jusqu'au repère N.^o 2 auquel on arrivera aussi avec le niveau sans suivre la chaîne ni prendre les inégalités du sol. On fera la même chose du repère N.^o 2 au repère N.^o 3; de ce dernier au repère N.^o 4, et ainsi de suite jusqu'à la fin. On doit seulement observer deux choses, savoir: 1.^o de prendre exactement la hauteur de la mire à chaque repère marqué par un piquet; 2.^o de faire la même chose à mesure qu'on passera à portée de quelques-uns des ouvrages d'art mentionnés au N.^o 409.

Cas où la rivière est bordée de précipices.

411. Il arrive très-souvent dans les pays de montagnes, que le lit d'une rivière est placé au milieu de précipices inabordables sur une longueur plus ou moins considérable. Dans ce cas on place un repère à l'entrée et l'autre à la sortie des précipices, quelle qu'en soit d'ailleurs la distance qu'on prend en chaînant le long du bord de ces mêmes précipices. Quant au nivellement de l'un à l'autre de ces deux repères, il se fait à l'ordinaire et suivant telle route qu'on veut.

On doit mentionner la distance des repères immuables.

412. Lorsqu'on trouvera sur le cours de la rivière ou sur ses bords un des ouvrages d'art mentionnés au N.^o 409 et où l'on prendra un point fixe de comparaison,

on ne doit pas oublier de faire mention de sa distance au repère qui le précède : car on sent que c'est cette distance qui en détermine la position sur le cours de la rivière, et qu'elle est un élément essentiel pour connaître la pente du lit depuis le point correspondant.

413. Tous ces divers points ainsi fixés par le moyen du niveau, et leur distance respective déterminée par le chaînage, on les rapportera successivement à la superficie des eaux de la rivière par rapport à laquelle on prendra leur différence de niveau. On prendra en même-tems la profondeur des eaux du courant au droit de chacun de ces points. En ajoutant cette profondeur à l'élévation de chaque point au-dessus de la surface des eaux, on aura la différence de niveau entre ce point et le fond de la rivière pris vis-à-vis.

Par ce moyen on aura à volonté la pente de la rivière à la surface des eaux ou au fond du lit, entre deux points quelconques qu'on choisira.

414. Supposons, par exemple, les deux repères N.º 4 et 12, distans l'un de l'autre de 12000 mètres et tels que le repère 4 soit plus élevé que le repère 12 de 3.^m

48. Supposons encore 1.º que le repère 4 soit supérieur à la surface des eaux de 3.^m 14 et que la profondeur du courant au droit de ce repère soit de 1.^m 53 ; 2.º que le repère 12 soit supérieur de 2.^m 84 à la superficie du courant dont la profondeur en cet endroit sera de 1.^m 96. Il s'ensuivra de là :

1.º Que la pente de la surface de la rivière prise entre ces deux repères sera de 3.^m 18 sur 12000.^m de longueur.

2.º Que cette pente prise au fond sera de 3.^m 61 sur la même longueur.

On doit rapporter la position des repères à la surface des eaux vis-à-vis, et y prendre la profondeur du courant.

Exemple.

Par où l'on voit que le profil longitudinal d'une rivière diffère de celui d'un canal et d'une route. Nous parlerons ailleurs plus au long sur cet objet.

Cas où il se trouve un déversoir de barrage.

415. Il peut arriver que dans une rivière il se rencontre un déversoir de barrage. Dans ce cas il faut rapporter le repère correspondant à la superficie de l'eau et au fond du lit tant à l'amont qu'à l'aval du déversoir. Ce ne sera que par ce moyen qu'on aura la hauteur de la chute.

Cas où la pente varie rapidement.

416. Il arrive souvent, surtout dans les pays de montagnes, qu'une rivière varie dans sa pente d'une manière assez brusque. Si, par exemple, elle quitte un pays plat pour traverser des gorges ou des défilés, sa pente augmentera nécessairement, et elle augmentera d'autant plus que les matières du fond seront plus grossières, ainsi qu'on peut le voir dans notre *essai sur la théorie des torrens et des rivières* N.º 176. Dans ce cas, si l'on peut suivre le bord de la rivière, pour pouvoir exactement déterminer les diverses variations de la pente, on doit à chaque station se rapporter à la superficie de l'eau.

Cas où il s'agit, non d'une rivière, mais d'un canal occupé par les eaux.

417. Si au lieu d'une rivière il s'agissait d'un canal occupé par les eaux, on s'y prendrait exactement de la même manière pour en avoir le profil longitudinal.

Nivellement du profil transversal des rivières.

En quels endroits et suivant quelle direction les profils en travers des rivières doivent être pris.

418. Les profils transversaux d'une rivière sont surtout nécessaires lorsqu'il s'agit de la construction d'un pont ou de la navigation, ainsi que nous l'avons déjà observé (406). Dans tous les cas ces profils doivent

être pris au droit des repères et perpendiculairement à la direction du courant. On doit les rapporter à ces repères, et y faire entrer les lignes des hautes, moyennes et basses eaux.

419. Soit le point A (fig. 58.) un repère quelconque placé sur le bord d'une rivière dont la coupe transversale correspondante est BEH, et dans laquelle les lignes BH, CG et DF représentent respectivement la superficie des hautes, moyennes et basses eaux. Supposons que l'époque à laquelle on prendra ce profil soit celle des basses eaux DF. On fera placer la mire successivement aux points A, B, C et D, et l'on prendra à chacune de ces positions la hauteur du carton par le moyen du niveau; ce qui fera connaître la différence des positions des trois derniers points par rapport au point A.

Manière de procéder du repère à la surface de l'eau.

Fig. 58.

420. Le profil de la partie DEF couverte par les eaux n'a pas besoin du niveau; mais seulement de la sonde. Pour cela il serait nécessaire de tendre horizontalement une chaîne de D en F. Mais cette chaîne ne peut pas être tendue sans former une courbe connue sous le nom de *chaînette*; ainsi qu'on le voit dans les cables employés aux Bacs. Une ficelle divisée en mètres prendrait plus facilement cette direction. Mais sa longueur varierait par le plus ou moins de tension. Si l'on emploie une chaîne supportée de distance en distance par des morceaux flottans de liège, la *chaînette* n'aura pas lieu verticalement; mais elle aura lieu sur la surface des eaux par l'action du courant sur le liège. Ainsi tous ces moyens ont chacun leurs inconvéniens respectifs. Cependant comme il n'y en a pas d'autres, il faut choisir celui qui en éprouvera le moins.

Difficultés pour les abscisses dans les sondes de la partie occupée par les eaux.

Comment on peut se servir d'une ficelle pour cet objet sur une rivière non guéable.

421. Supposons que la rivière soit fort large sans être guéable. On prendra une ficelle plus longue que DF, et après l'avoir mouillée, on la tendra sur le bord de manière qu'elle soit sensiblement horizontale. On s'assurera du poids qui doit procurer cette tension. Alors on la divisera en mètres. On la fixera par un de ses bouts à un fort piquet planté en D. Avec le même poids déjà employé, on la tendra de D en F, et l'on prendra par le moyen d'un bateau la profondeur de l'eau au droit de chaque division, en ayant soin d'entretenir l'humidité de la ficelle. Quant au profil de la partie FGH on le prendra de la même manière que celui de ABCD.

Observations sur cette méthode.

422. Il faut convenir que cette méthode n'est pas de la dernière précision, à cause que la ficelle peut s'allonger, quoiqu'avec le même degré de tension, selon qu'elle se séchera plus ou moins pendant l'opération. Mais l'allongement s'apercevrait par la descente du poids de tension, et l'on pourrait y avoir égard. D'ailleurs on sent aussi qu'on n'exige pas une précision géométrique dans la forme du fond DEF, et que l'on aura toujours par ce moyen une approximation plus que suffisante pour l'objet qu'on a en vue. Pour ce qui est de la véritable longueur de DF, on la trouvera au besoin avec la plus grande exactitude par le moyen de la trigonométrie.

Si la rivière est guéable, on emploiera la chaîne.

423. Lorsque la rivière est guéable, quelle que soit sa largeur, on pourra en prendre le profil à la chaîne. Il faudra avoir soin d'employer seulement une chaîne de 10 mètres pour pouvoir la tendre plus aisément, et des jalons au lieu de fiches. Un piqueur intelligent entrerait dans l'eau, en prendrait la profondeur au droit de chaque division métrique et la ferait connaître à l'ingénieur qui serait sur le bord.

424. Dans les rivières qui charrient du gravier et qui ont la liberté de s'étendre par la corrosion des bords, il y a ordinairement une partie du lit qui n'est occupée par les eaux que dans les grandes crues et qui, hors cette époque, est à sec (Voyez notre *Essai sur la théorie des torrens et des rivières*. N.° 90). Soit (fig. 59) EF la partie dont il s'agit. Lorsque les sondes auront été prises sur BD, le profil de DEF se prendra ainsi que sur le tracé d'un canal (385), en partant avec la mire de la superficie des eaux prise au point D.

Comment on profile la partie à sec du lit de la rivière.

Fig. 59.

425. Dans le cas où l'on aura à prendre le profil transversal d'un canal occupé par les eaux, la méthode est la même que pour prendre celui de ABEH (fig. 58). On observera seulement d'employer la chaîne au lieu de la ficelle, à cause qu'en général la largeur des canaux n'est pas assez considérable pour qu'une chaîne tendue d'un bord à l'autre prenne une courbure qui s'éloigne trop de la ligne droite.

Cas où il s'agit de profiler en travers un canal occupé par les eaux.

Fig. 58.

SECTION IV.

De la manière de tenir les registres des profils.

§ I.

Du registre des profils longitudinaux des canaux, des aqueducs et des routes.

426. D'après ce que nous avons vu (364-370) un profil est une ligne quelconque dont les abscisses sont les distances à un point déterminé prises horizontalement par le moyen de la chaîne, et les ordonnées la hauteur de mire prise sur la même station aux points

On doit adopter la forme du modèle du N.° 256.

correspondans à l'issue de ces abscisses. D'autre part les ordonnées de deux stations différentes pouvant être rapportées au même axe des abscisses (379), on a la liberté de changer de station et de prendre pour termes de changement un point quelconque pris si l'on veut hors de la ligne de profil. D'où il suit évidemment qu'en écrivant la hauteur de mire ou la longueur de l'ordonnée à un point quelconque, on n'a besoin que d'écrire dans une autre colonne et sur la même ligne la distance horizontale de ce point à un point fixe connu, c'est-à-dire, la longueur de l'abscisse correspondante, et de porter en même-temps sur une troisième colonne et sur la même ligne les observations y relatives; ayant seulement soin de marquer les changemens de station. Par conséquent il est visible qu'on doit adopter la forme portée par le modèle du N.º 256 dont nous avons donné l'explication et l'usage aux N.ºs 255, 257, 259.

Observations à ce sujet.

427. En adoptant cette forme on pourrait figurer verticalement sur la ligne AB du tableau (256) les inégalités du sol, telles que les éminences, bas-fonds, fossés, etc. Mais à la rigueur il suffira de désigner la nature de ces endroits dans la colonne des observations, où l'on mentionnera en même-tems les ouvrages d'art à exécuter et les principales dimensions à leur donner.

Cas où le profil est pris sur un étang et par sondes.

428. Dans le cas où le profil se prendra par des sondes, comme sur un étang, on doit regarder cette partie comme formant une station particulière dont la ligne de mire serait la surface même de l'étang, et dont les diverses hauteurs de mire seraient représentées par les sondes. Ces hauteurs de mire seraient alors = 0 à l'entrée et à la sortie de l'étang, à cause que la profondeur des eaux y est nulle.

429. Comme

429. Comme on doit, même en profilant, se rapporter aux divers termes de vérification qu'on rencontre, lorsque ces termes ne font pas partie du tracé et qu'ils sont hors de l'axe, on y prend la hauteur de mire en désignant leur distance au repère précédent, distance mesurée sur l'axe depuis le repère qui précède jusqu'au droit de celui dont il s'agit, conformément à ce qui a été dit plus haut (254. 257 et 403.)

Repères de vérification et leurs distances à ceux qui les précèdent.

§ II.

Du registre des profils longitudinaux des rivières.

430. Il y a quelque différence entre la tenue des registres pour les profils longitudinaux des rivières et celle pour les profils dont nous venons de parler. Pour la rendre plus sensible, avant de l'expliquer, nous croyons devoir exposer la forme à donner aux tableaux que nous proposons.

Modèle de registre pour les profils longitudinaux des rivières.

Modèle de registre de nivellement pour le profil longitudinal
d'une rivière.

HAUTEUR. DE MIRE.	DISTANCE DES REPÈRES.	OBSERVATIONS.
3. ^m 123	Terme de vérification, situé, etc.
1. 943.	Repère 1., situé, etc.
0. 345.	Surface des hautes eaux. } Surface des eaux moyennes. } Surface des basses eaux. } Profondeur des basses eaux. } au droit du rep. 1.
2. 934.	
0. 475.	
2. 349.	Repère 1.
3. 748.	
0. 000.	Terme de Vérification, situé, etc.
2. 134	
2. 144.	Repère 2, situé, etc.
2. 034.	
1. 875.	Surface des hautes eaux. } Surface des moyennes eaux. } Surface des basses eaux. } Profondeur des basses eaux. } au droit du rep. 2.
1. 749.	
1. 475.	
1. 398.	1200. ^m	Repère 2.
0. 344.	
2. 938.	Repère 2.
0. 359.	
2. 233.	Repère 2.
2. 632.	
0. 000.	Repère 2.
2. 044.	
1. 494.	1145. ^m	
etc.		

431. L'on voit par ce tableau que la tenue du registre diffère peu de celle portée par les N.^{os} 255 et 256. La seule différence qu'il y a, c'est qu'à mesure qu'on arrive à un repère quelconque, avant de se diriger sur le repère suivant on prend et l'on écrit les hauteurs de mire relatives à la superficie des eaux et au fond du lit de la rivière. Ensuite on reprend le repère et l'on opère vers celui qui le suit et où l'on procède de la même manière. Nous avons supposé dans le modèle que la berge était alors assez élevée au-dessus de la rivière pour avoir besoin de deux stations avant d'arriver à la superficie des eaux. Mais il arrive souvent qu'on n'a pas même besoin d'une seule, et qu'on peut en prendre la position des stations de repère à repère. Au surplus nous verrons bientôt comment d'après ces nivellemens on peut dresser des états de pente.

Explication et usage de ce modèle.

§ III.

Du registre des profils transversaux des canaux, des aqueducs et des routes.

432. L'ordre à suivre pour porter sur le registre les hauteurs de mire relatives à ces profils est le même que celui prescrit par le modèle du N.^o 256. Il faut seulement convenir avec soi-même de quel côté on commencera, et si ce sera par la droite ou par la gauche. En général on peut commencer par l'extrémité de la partie à gauche de l'axe et finir à l'extrémité à droite. Qu'on ne perde pas de vue ce que nous avons dit (377) au sujet de la droite et de la gauche d'un projet. Mais pour plus de clarté et pour éviter tout équivoque on le mentionne en tête du tableau relatif à chaque profil.

Par quel à-bout doit commencer le nivellement du profil transversal.

Modèle de tableau de registre de nivellement pour ce profil.

433. Pour ne rien laisser à désirer à ce sujet, nous croyons devoir donner un tableau qui prescrit l'ordre et la forme à suivre dans ces sortes de profils.

Modèle de registre de nivellement pour les profils transversaux des canaux, aqueducs et routes.

Profil au droit du repère N.º du tracé.

HAUTEURS DE MIRE.	DISTANCES.	OBSERVATIONS.
0. ^m 230. . . .	» ^m »	Commencement du profil à gauche de l'axe.
1. 100. . . .	1. 5.	
2. 000. . . .	3. 0.	
3. 114.	5. 5.	
0. 478.		
1. 100. . . .	7. 5.	
2. 134. . . .	9. 0.	Repère N.º de l'axe du projet.
2. 500. . . .	10. 0.	
2. 800. . . .	12. 0.	
2. 900. . . .	14. 0.	
3. 100. . . .	18. 0.	Fin du profil à droite de l'axe.

Observations sur cet objet.

434. On voit par ce modèle qu'on doit particulièrement faire attention à la hauteur de mire, 1.º à l'endroit où l'on change de station; 2.º au repère au droit duquel on prend le profil. Si le profil se rapportait à un aqueduc ou à un pont à construire et qu'on ne fut pas au droit du repère, on n'en rapportera pas moins la hauteur de mire au repère le plus voisin (394 et 397) qu'on supposera au point d'intersection des deux profils.

§ IV.

Du registre des profils transversaux des rivières.

435. Le tableau suivant suffira pour expliquer la manière dont on doit porter sur le registre les mesures tant verticales qu'horizontales relatives aux profils transversaux du lit des rivières.

Modèle du registre pour les profils transversaux des rivières.

Modèle de registre de nivellement pour les profils transversaux du lit des rivières.

PROFIL au droit du repère N.°

HAUTEURS DE MIRE.	DISTANCES AU REPÈRE.	OBSERVATIONS.
0. m 345.	0. m	Repère N.°, (à droite ou à gauche) de la rivière.
3. 042.	9. 0.	
0. 241.	12. 0.	Surface des hautes eaux.
1. 378.	17. 0.	Surface des eaux moyennes.
3. 120.	21. 0.	
3. 702.	25. 0.	Surface des basses eaux au 1. ^{er} bord de la rivière.
0. 974.	29. 0.	Profondeur des eaux.
3. 015.	31. 0.	
0. 000.	34. 0.	
0. 710.	36. 0.	
0. 990.	40. 0.	
1. 250.	45. 0.	
1. 640.	49. 0.	
2. 150.	53. 0.	
2. 040.	55. 0.	
2. 050.	64. 0.	
2. 000.	70. 0.	
2. 100.	77. 0.	
1. 870.	82. 0.	
1. 540.	85. 0.	
1. 210.	90. 0.	
1. 020.	94. 0.	
0. 840.	99. 0.	Surface des basses eaux au 2. ^e bord de la rivière.
0. 310.	105. 0.	
0. 000.	109. 0.	
3. 412.	114. 0.	
1. 230.	119. 0.	Repère fixe au 2. ^e bord marqué par, etc.
0. 341.		
3. 431.		
2. 140.		
0. 456.		

CHAPITRE IX.

De la manière de rapporter les nivellemens de profil sur le papier.

SECTION PREMIÈRE.

Notions générales et préliminaires.

En quoi consiste le rapport d'un profil sur le papier.

436. **R**APPORTER un profil sur le papier, c'est rapporter par des perpendiculaires qui tiennent lieu d'ordonnées (364) tous les points de la ligne profilée à une seule et même ligne qu'on regarde comme horizontale et qui représente la ligne des abscisses. Ne pouvant pas lier par une équation le rapport qui regne entre les abscisses et les ordonnées, ainsi que cela se pratique dans les courbes géométriques, et chaque ordonnée s'exprimant par la hauteur de mire, tandis que chaque abscisse se détermine par le chaînage (373), il est évident que préalablement et avant tout il faut fixer l'échelle d'après laquelle le profil doit être construit.

L'unité d'échelle pour les trois dimensions est puisée dans la nature.

437. Ce qui se présente de plus naturel est d'employer une seule et unique échelle pour les abscisses et les ordonnées des profils tant en long qu'en travers, c'est-à-dire, pour les trois dimensions en longueur, largeur et hauteur: car dans l'ordre de la nature il n'y a pas diversité de mesures à ce sujet.

Vice des échelles doubles.

438. Cependant pour éviter les trop grandes longueurs

on emploie quelquefois dans les profils en long une échelle particulière pour les hauteurs et une autre moindre pour les longueurs. Il nous semble que cette méthode est vicieuse : car on ne peut alors juger des pentes qu'en comparant les nombres qui expriment les hauteurs avec ceux qui expriment les longueurs ; ce qui exige un calcul dont l'esprit fait tous les frais ; au lieu que l'échelle étant la même pour les hauteurs et les longueurs, ce sont alors les yeux qui jugent, puisque les rapports sont exprimés au naturel, et l'on n'a recours aux nombres que dans le cas où l'on veut connaître ces rapports avec la dernière précision.

439. Cette unité d'échelle pour les longueurs et les hauteurs est néanmoins quelquefois inutile et même incommode. Ce cas a lieu lorsque les hauteurs sont le principal objet qu'on a en vue. Alors on peut employer pour les longueurs une échelle particulière moindre que celle pour les hauteurs. Nous devons néanmoins convenir que ce système a ses inconvéniens, surtout lorsque le profil en long contient des ponts, pontceaux et aqueducs. Ces ouvrages d'art étant représentés par une plus grande échelle dans leur hauteur que dans leur largeur, leur voûte prend alors ordinairement la forme surhaussée, quelque surbaissée qu'elle puisse être d'ailleurs. Il serait pourtant très-utile qu'elle se présentât au premier aspect sous sa véritable forme, et qu'on n'eût pas besoin du compas pour la constater. Ce défaut ne peut être justifié que par le motif que les hauteurs sont alors le principal objet qu'on se propose.

440. En adoptant l'unité d'échelle pour les longueurs et les dimensions en travers, on pourra objecter que les rouleaux seront alors extrêmement longs, à cause que

Pour ne pas donner trop d'étendue aux planches, les figures à profil seront construites d'après une double échelle.

Cas où l'on peut employer deux échelles.

La première objection est que l'on prend les rayons de terre pour une des échelles, et les hauteurs de terre pour l'autre.

1.^e Objection contre l'unité d'échelle.

pour rendre sensibles les largeurs et les hauteurs dans les coupes transversales, on ne peut pas employer une échelle au-dessous de 4 millimètres pour chaque mètre mesuré sur le terrain.

Nous répondrons à cette objection par l'observation suivante.

Dans les projets on ne doit pas s'arrêter à la dépense du papier pour rouleaux. Cette dépense devient même indispensable; car pour qu'un projet ne laisse rien à désirer dans sa composition et qu'il puisse être exécuté de la manière la plus exacte, il est absolument nécessaire de pouvoir à chaque instant prendre connaissance des moindres détails. Or pour exprimer ces détails d'une manière sensible, il faut nécessairement une certaine longueur aux rouleaux. D'ailleurs la longueur n'est jamais embarrassante dans un rouleau.

2.^e Objection contre l'unité d'échelle.

441. On pourra encore objecter qu'en suivant le système d'unité d'échelle pour les trois dimensions, les profils des routes qui franchissent des montagnes exigeront des rouleaux d'une hauteur excessive.

Sur cela nous observerons 1.^o qu'à la rigueur on peut circonscrire et limiter cette hauteur par le moyen des profils brisés en décomposant la ligne de profil longitudinal en diverses parties, et en rapportant chaque partie à un axe particulier, ainsi que nous le verrons bientôt; quoique l'on ne puisse employer ce moyen sans détruire la loi de continuité qu'on doit regarder comme essentielle; 2.^o que sans altérer cette loi on peut, comme nous le démontrerons plus bas, ne donner aux rouleaux que la hauteur du papier qu'on y emploiera, et y pratiquer des échancrures ou coupures qui permettant de former des plis sous des angles déterminés, offrent

aussi

aussi le moyen d'élever ou d'abaisser à volonté et sans interruption la ligne profilée.

442. Les détails dans lesquels nous allons entrer exigent que nous mettions des profils sous les yeux de nos lecteurs. Si les profils longitudinaux étaient sur la même échelle que les profils transversaux, on sent au premier abord que les planches deviendraient des rouleaux. Ainsi pour éviter cet inconvénient nous dérogerons à cet égard au principe d'unité d'échelle que nous venons d'établir, et nous admettrons deux échelles dont la plus petite pour les longueurs et la plus grande pour les largeurs et les hauteurs.

Pour ne pas donner trop d'étendue aux planches, les figures à profil seront construites d'après une double échelle.

443. Quoique nous ayons un grand nombre de figures à profil, nous devons observer que nous ne pouvons pas les construire toutes sur les mêmes échelles. La figure 69 surtout destinée à servir d'exemple et à porter conséquemment plusieurs nombres en cote, sera construite sur une échelle plus considérable.

Observation sur les échelles de ces figures.

SECTION II.

Des profils longitudinaux.

444. Quand on rapporte des profils sur le papier, la première opération consiste à prendre pour axe des abscisses successivement tous les rayons de mire ou de visée, station par station, et à leur rapporter les hauteurs de mire respectives, ainsi qu'il a été dit au N.º 379. Ce procédé qui donne d'abord autant d'axes des abscisses qu'il y a de stations, est la vraie manière de figurer sur le papier tous les points de la ligne profilée tels qu'ils sont sur le terrain; et si l'on emploie une

La première opération exige qu'on prenne les rayons de visée pour axe des abscisses, et les hauteurs de mire pour ordonnées.

échelle assez considérable pour pouvoir coter les hauteurs de mire sur les ordonnées et les distances qui séparent les ordonnées sur les axes des abscisses, le profil exprimera non seulement la figure du terrain, mais encore toute la série des nivellemens par le moyen desquels on aura déterminé cette figure.

Il faut ensuite tout rapporter à un seul axe placé au-dessus ou au-dessous du profil.

445. La multiplicité des axes des abscisses ne pourrait que jeter beaucoup de confusion dans un profil : car pour connaître la hauteur respective de deux points quelconques, on serait obligé de recourir au calcul des hauteurs de mire arrière et avant (188). En conséquence il est infiniment plus simple de rapporter ensuite toutes les ordonnées ou hauteurs à un seul axe des abscisses, c'est-à-dire, à une seule ligne de niveau. Cet axe peut être pris au-dessus ou au-dessous du profil. La première méthode a assez généralement prévalu jusqu'aujourd'hui. Mais la seconde considérée sous des rapports généraux d'utilité publique, offre des avantages que n'a pas la première et dont nous parlerons au dernier chapitre de cet ouvrage.

D'après ces considérations nous allons donner la construction des profils longitudinaux rapportés 1.^o aux diverses stations; 2.^o à une seule ligne de niveau placée au-dessus; 3.^o à la même ligne placée au-dessous.

§. I.

Des profils longitudinaux rapportés aux diverses stations.

Nivellement de profil en long à rapporter sur le papier.

446. On sait que l'instruction est longue et pénible par les préceptes et qu'elle est courte et facile par les exemples. Nous croyons donc devoir adopter ce dernier mode, en construisant le profil relatif au nivellement suivant.

NUMÉRO de station.	HAUTEUR de MIRE.	DISTANCES.	OBSERVATIONS.
1.	1. ^m 934. . .	0. ^m . . .	Repère 1. ^{er} Terme de départ.
	2. 400. . .	7.	
	3. 100. . .	15.	
	2. 300. . .	30.	
	3. 100. . .	47.	
	3. 400. . .	62.	
	3. 700. . .	80.	
	3. 314.	98.	Repère 2.
2.	2. 575. . .	18.	
	3. 400. . .	33.	1. ^{er} Bord d'un canal.
	3. 100. . .	36.	
	3. 700. . .	42.	
	3. 700. . .	45.	2. ^e Bord dudit canal.
	2. 300. . .	51.	
	1. 900. . .	68.	
	0. 713.	84.	Repère 3. ^e
3.	3. 845. . .	20.	
	2. 100. . .	48.	
	1. 700. . .	64.	
	1. 100. . .	74.	Repère 4. ^e
4.	3. 541. . .	36.	
	2. 900. . .	54.	Repère 5. ^e
	2. 146. . .	28.	
	1. 400. . .	34.	
	1. 100. . .	48.	
5.	2. 400. . .	59.	Repère 6. ^e
	3. 754. . .	30.	
	1. 456. . .	46.	Point pris hors du tracé.
6.	1. 300. . .	64.	
	3. 475. . .	82.	
	1. 112. . .	89. 50	Terme de vérification, situé, etc.
	2. 400. . .	95.	Repère 7. ^e
7.	3. 756. . .	36.	
	3. 147. . .	58.	
	1. 564. . .	74.	
	1. 200. . .	88.	Repère 8. ^e
8.	1. 100. . .	6. 40	Terme d'arrivée.
	1. 900. . .		
	3. 454. . .		

Ce qu'il faut faire pour rapporter le nivellement sur le papier.

447. Le premier profil à rapporter doit être destiné à servir de minute, et en cette qualité il doit contenir toutes les mesures prises sur le terrain, et toutes les lignes qu'on a employées dans les opérations. A cet effet on s'y prendra de la manière suivante.

Après avoir collé du papier et fait un rouleau de la longueur relative à celle du profil suivant l'échelle arrêtée, on construira l'échelle sur ce même rouleau et une autre pareille sur une feuille volante. La première servira à prendre les diverses dimensions du profil lorsqu'il sera rapporté, et la seconde à le rapporter.

Cela fait, le point essentiel est de rapporter très-exactement tous les points du profil aux divers axes partiels qui sont les rayons de visée sur les différentes stations et de faire ensorte que tous ces axes partiels soient rigoureusement parallèles à la ligne de niveau. En conséquence par tel point qu'on voudra pris sur le rouleau on tirera sur toute sa longueur une ligne droite qu'on appelle *la directrice* et qui représentera une ligne de niveau. Et comme on n'a pas des règles assez longues pour pouvoir dans bien des cas la tirer d'un seul trait, on la tracera à plusieurs reprises par divers points marqués sur la direction d'un fil exactement tendu parallèlement à l'un des bords, supérieur ou inférieur du rouleau.

Comment on rapporte le nivellement sur la première station.

Fig. 60.

448. Soit donc AB (fig. 60) la directrice dont nous parlons. A telle hauteur qu'on jugera convenable, on tirera la parallèle CD qui représente le rayon de visée sur la première station et qu'on fera égale à 98 parties de l'échelle représentant la longueur en mètres de cette même station. Sur cette ligne on prendra $C_1 = 7$ parties de l'échelle; $1, 2 = 15 - 7 = 8$; $2, 3 = 30 - 15$

$= 15$; $3, 4 = 47 - 30 = 17$; $4, 5 = 62 - 47 = 15$; $5, 6 = 80 - 62 = 18$; et $6, D = 98 - 80 = 18$. Ces divisions désignent, comme l'on voit, les distances respectives des diverses ordonnées de la première station.

Au droit de chacune de ces divisions et aux extrémités C et D de cette ligne on tirera en embas des perpendiculaires dont les deux extrêmes seront poussées jusqu'à la directrice en A et d. On sait que ces perpendiculaires se tirent à l'équerre qu'on fait glisser le long d'une règle appliquée sur CD. Ce sera sur Ad qu'on marquera la longueur totale 98 de la station.

Tout étant ainsi disposé, on prendra sur l'échelle des hauteurs les nombres de la première station représentatifs des diverses hauteurs de mire, et l'on portera, savoir 1. 934 sur Co; 2. 4 sur 1, 1'; 3. 1 sur 2. 2'; 2. 3 sur 3, 3'; 3. 1 sur 4, 4'; 3. 4 sur 5, 5'; 3. 7 sur 6, 6'; et 3. 314 sur D 7, en partant constamment du rayon de visée CD considéré comme axe des abscisses sur cette partie. Le point o, représentera le repère 1 ou le terme de départ; le point 7, le repère 2, et les points 1', 2', 3', 4', 5', et 6' désigneront les points semblablement situés sur le terrain et où l'on aura placé la mire.

Ces points ainsi déterminés, on les joindra par une ligne tirée à la main et qui représentera la ligne du terrain profilé.

449. Le point 7 correspondant à l'ordonnée D 7 est le terme extrême avant de la première station; et D 7 représente la mire qui ayant servi à l'avant de cette station doit aussi (224) servir à l'arrière de la station suivante. En conséquence on prendra $7 E = 2. 575$, et par le point E, on menera la ligne EF parallèle à AB et $= 84$, longueur de la seconde station. On divisera cette

Comment on rapporte celui de la seconde station et des suivantes.

ligne de la même manière que l'on a déjà divisé CD; et d'après les diverses distances portées sur la 2.^e station par les points de division on menera aussi des perpendiculaires sur lesquelles, à partir de EF, on portera les hauteurs de mire respectives. Enfin on écrira ces mêmes hauteurs sur les ordonnées qui les expriment; et l'on joindra tous les points ainsi déterminés par une ligne qui formera la suite de la partie profilée $o, 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7$. L'on continuera de même jusqu'à la fin, et l'on aura une minute exacte du profil.

Observation sur un terme commun à deux stations, et situé hors du profil.

450. Pour parvenir du repère 6 au repère 7, on a été obligé de faire deux stations ayant pour terme commun le point G hors du tracé. Dans ce cas l'ordonnée GH est tirée en avant de KL à la distance portée par le nivellement (257. 5.^o); et le point G est déterminé de la même manière que les précédens. Mais comme il est censé hors du tracé, le profil sera tracé de K en M en faisant abstraction du point G.

Observation sur un repère de vérification.

451. Sur la sixième station on s'est rapporté à un terme de vérification situé pareillement hors du tracé. Ce point doit être traité de la même manière que le point G dont nous venons de parler (450). Ainsi sur la figure il a été placé en P, et l'ordonnée PQ a été déterminée de même que les autres. Ces sortes de points doivent être marqués par une croix dont le centre désigne leur position.

Observation sur le terme d'arrivée.

452. La dernière station n'est uniquement destinée qu'à rapporter le nivellement au terme d'arrivée R. Ce point étant supposé hors du tracé, l'ordonnée RS et sa distance au repère 8 (257. 5.^o), seront déterminées de la même manière que pour les points G et P (450 et 451).

Comment les ordonnées doivent être marquées.

453. On doit observer de marquer par des lignes pleines les ordonnées qui représentent les mires aux chan-

gemens de station, et alors les nombres qui en expriment les hauteurs doivent être écrits chacun du côté de la station à laquelle ils appartiennent. Quant aux autres ordonnées elles doivent n'être indiquées que par des lignes ponctuées et accompagnées seulement du nombre qui marque leur hauteur respective.

454. Si l'on compare toutes les lignes qui entrent dans la construction du profil avec les corrélatives sur le terrain, on verra que les angles homologues sont égaux et les lignes homologues proportionnelles, puisque celles du profil contiennent autant de parties de l'échelle que les autres contiennent de mètres. Donc les figures seront semblables, et le profil sur le papier représentera le profil sur le terrain.

Le profil ainsi construit forme une ligne semblable au terrain.

§ II.

Du profil longitudinal rapporté à une seule ligne horizontale supérieure.

455. Lorsqu'on veut rapporter un profil à une seule ligne supérieure, cette ligne doit franchir le point culminant. Par conséquent pour connaître la moindre hauteur à laquelle on peut tirer cette ligne, on doit préalablement déterminer l'élévation du point culminant du profil au-dessus du point du départ.

Quelle est la moindre hauteur d'un axe unique des abscisses placé au-dessus du profil,

Ainsi dans la *fig. 60* le point culminant est au point T entre les repères 5 et 6; et d'après le nivellement du N.^o 446. Il est plus élevé que le point o du départ au repère 1 de 6.^m 154. Donc la ligne dont il s'agit ne peut pas être tirée au-dessous de cette hauteur.

Fig. 60.

Position de cet axe.

456. Prolongeons la ligne verticale AC et prenons arbitrairement sur l'échelle des hauteurs 10 mètres que nous porterons de o en C'. Par le point C' menons la ligne C'B' parallèle à AB et par conséquent de niveau. Cette ligne est l'axe unique auquel il s'agit de rapporter les divers points du profil. Il n'est plus question que de déterminer le mode général à suivre pour cet objet.

De combien les nouvelles ordonnées sont plus grandes que les hauteurs de mire.

457. La ligne C'B' étant supposée de niveau sera parallèle à tous les rayons de visée tels que CD, EF, etc., des diverses stations. Donc les prolongemens des ordonnées $1', 1; 2', 2; 3', 3; \text{etc.}$, compris entre CD et C'D' seront égaux entr'eux et à CC'; ceux des ordonnées $8', 8; 9', 9; 10', 10; \text{etc.}$, compris entre D'F' et EF, seront pareillement égaux entr'eux et à ED', etc. D'où il suit : 1.° que pour connaître les ordonnées correspondantes à C'D' il faut prendre la valeur de CC' et l'augmenter successivement des diverses hauteurs de mire correspondantes à la station sur CD ; 2.° que pour avoir les ordonnées correspondantes à D'F' il faut ajouter successivement à D'E les hauteurs de mire correspondantes à EF ; et ainsi de suite.

Détermination des nouvelles ordonnées.

458. La hauteur $oC' = 10^m$. Par conséquent on aura $CC' = 10 - 1.934 = 8,066$. D'après cette valeur on trouvera les valeurs suivantes pour les ordonnées correspondantes à C'D', savoir : $oC' = 10$; $1', 1'' = 10.466$; $2', 2'' = 11.166$; $3', 3'' = 10.366$; $4', 4'' = 11.166$; $5', 5'' = 11.466$; $6', 6'' = 11,766$; $7D' = 11.380$; valeurs qu'on portera sur les ordonnées respectives, ainsi qu'on le voit sur la figure.

La valeur de $7D'$ est déterminée par l'opération précédente. Par conséquent on aura $D'E = D'7' - E7' = 11.380 - 2.575 = 8.805$. D'où l'on trouvera $8', 8'' = 12.205$; $9', 9'' = 11.905$; $10', 10'' = 12.505$; etc.

459. Ces

459. Ces détails suffisent pour faire voir la manière dont on doit opérer. Tout consiste, comme l'on voit, à déterminer la hauteur de C'B' au-dessus du rayon de visée de la station sur laquelle on veut opérer et à ajouter à cette hauteur celle des diverses mires contenues sur la même station. Or cette hauteur est toujours égale à l'ordonnée arrière diminuée de la hauteur de mire arrière de la station.

Règle générale pour connaître la quantité dont les hauteurs de mire de chaque station doivent être augmentées.

De là dérive naturellement un moyen extrêmement simple de rapporter toutes les ordonnées d'un profil à un seul axe supérieur sans employer préalablement ceux prescrits par les N.°s 448 et 449.

On voit par les N.°s 457 et 458 que sur chaque station il y a une quantité constante à ajouter aux diverses hauteurs de mire, pour que les ordonnées aboutissent à l'axe dont il s'agit. Il ne reste donc plus qu'à fixer cette constante pour chaque station en employant le principe que nous venons d'établir.

Reprenons à cet effet le tableau de nivellement du N.° 446. D'après le principe ci-dessus, nous formerons le tableau suivant, en supposant l'axe C'B' supérieur de 10 mètres au repère 1.

NUMÉROS DES STATIONS.	CONSTANTE de chaque station.	OBSERVATIONS.
1.	8. ^m 066.	
2.	8. 805.	
3.	5. 673.	
4.	2. 746.	
5.	5. 044.	
6.	7. 407.	
7.	8. 990.	
8.	10. 310.	

A l'aide d'un pareil tableau on pourra rapporter de suite toutes les ordonnées à l'axe C'B'. Il suffira pour cela d'ajouter 8.^m066 aux hauteurs de mire de la station N.^o 1; 8.805 à celles de la station N.^o 2; et ainsi de suite jusqu'à la fin.

On pourra même si l'on veut, comparer par ce moyen la position de deux points quelconques du nivellement de profil, par la seule connaissance de leurs hauteurs de mire respectives et du N.^o des stations auxquelles ils appartiennent.

Cas où l'on ne veut rapporter à l'axe précédent qu'une partie du profil.

460. Supposons qu'on ne voulut rapporter les ordonnées à la ligne C'B' que depuis le repère 5 ultérieurement. En tirant la ligne de niveau G'H' on trouverait d'après le nivellement du N.^o 446, et par la règle que nous avons donnée au N.^o 188, $oH' = 5.108$ et $C'H' = G'K' = 4.892$. Ainsi d'après cette valeur et ce que nous venons de dire (459), on déterminera toutes les ordonnées ultérieures.

Cas où l'on veut rapporter le profil à un autre axe.

461. Supposons encore qu'après avoir rapporté les ordonnées à l'axe C'B' on voulut les rapporter à un autre axe oX passant par le point connu o . D'après ce que nous avons dit au N.^o 371 il n'y a qu'à soustraire la valeur de Co de chaque ordonnée. Le reste exprimera la nouvelle ordonnée. S'il est positif, l'ordonnée sera supérieure à oX ; et s'il est négatif, l'ordonnée sera au-dessous. La seule inspection de la figure rend la chose évidente.

Ces opérations ne supposent pas celles de détail.

462. Dans tout ce que nous avons dit jusqu'ici pour rapporter les ordonnées du profil au seul axe C'B' nous avons supposé que les nivellemens stationnaires et de détail portés par le § précédent ne se trouvent point sur le profil qui, dans ce cas, doit être construit exclusi-

vement d'après le mode que nous venons de prescrire : car on sent que si ce profil contenait les nivellemens de détail, il en résulterait la plus grande confusion par la multiplicité des lignes à tirer et des nombres à coter ; tandis que pour la clarté et la simplicité il ne faut que l'axe des abscisses, les ordonnées et la ligne de profil. Ainsi en employant la figure 60 avec les nivellemens de détail et par stations, nous avons eu en vue de démontrer le procédé prescrit ; ce qui ne pouvait avoir lieu d'une manière simple qu'en mettant sous les yeux du lecteur le profil dressé d'après le § précédent.

463. Pour ce qui est de la distance respective des diverses ordonnées, elle sera cotée sur l'axe C'B' ainsi qu'elle l'a été (448) sur les rayons de mire CD, EF, etc. Cependant comme il est encore nécessaire de connaître du premier coup-d'œil les distances des repères, au-dessus de C'B' on tirera une autre ligne C''B'' parallèle et égale, jusqu'à laquelle on prolongera les ordonnées correspondantes aux repères et sur laquelle on marquera, comme l'on voit, les distances entre ces mêmes repères.

Sur quelles lignes on doit coter les distances entre les ordonnées et entre les repères.

Nous verrons plus bas que dans les projets il est à propos d'en tirer une troisième qui fasse connaître la distance totale de chaque repère au point de départ.

§ III.

Du profil longitudinal rapporté à une seule ligne horizontale inférieure.

464. Lorsque l'axe doit être placé au-dessous du profil à dresser, il doit nécessairement passer au-dessous du point le plus bas. Ce point dans la figure 60 est situé

Détermination des limites de l'axe unique supposé au-dessous du profil.

sur la seconde station aux environs de l'ordonnée $10'.10''$. D'après le nivellement du N.° 446, et par la méthode portée par le N.° 188, on trouvera que le point $10'$ du profil est plus bas que le point de départ o de la quantité 1.805 . Par conséquent l'axe dont nous parlons doit être inférieur au point o au moins de 1.805 .

Position de cet axe.

465. Prolongeons en embas la ligne oC et prenons $oA' = 6$ parties de l'échelle des hauteurs. Cette quantité est ici arbitraire, et il suffit qu'elle soit plus grande que 1.805 . Nous verrons plus bas quels sont les cas où elle cesse d'être arbitraire. Par le point A' tirons la ligne $A'B''$ de niveau. Elle sera l'axe dont il s'agit, et cet axe sera parallèle aux rayons de visée CD , EF , etc., des diverses stations.

Valeur des nouvelles ordonnées.

466. Prolongeons toutes les ordonnées du profil dressé d'après les diverses stations, jusqu'à ce qu'elles rencontrent la ligne $A'B''$. Il est visible qu'à cause du parallélisme, les ordonnées comprises entre CD , et $A'D''$ seront égales, et qu'il en sera de même de celles comprises entre EF et $D''F''$, etc.

Donc 1.° chaque ordonnée telle que $1'$, $1''$; $2'$, $2''$; etc., correspondante à la première station sera égale à $A'o + oC$ moins la hauteur de mire 1 , $1'$; 2 , $2'$; etc., y relative.

2.° Chaque ordonnée de la seconde station sera égale à $D''7 + 7E$ moins la hauteur de mire correspondante; et ainsi de suite.

Détermination des ordonnées.

467. Il suit de là que pour dresser le profil en rapportant directement et immédiatement les ordonnées à $A'B''$, on prendra d'abord $A'o$ qui, dans le cas dont il s'agit, est $= 6$, et on l'augmentera de la hauteur arrière $oC = 1.934$ de la mire sur la première station; ce qui donnera

A'C = 7.934. Retranchant ensuite de cette somme successivement les hauteurs de mire 1', 1; 2', 2; etc., correspondantes aux ordonnées, on aura, 1', 1" = 7.934 - 2.4 = 5.534; 2', 2" = 7.934 - 3.1 = 4.834; 3', 3" = 7.934 - 2.3 = 5.634; 4', 4" = 7.934 - 3.1 = 4.834; 5', 5" = 7.934 - 3.4 = 4.534; 6', 6" = 7.934 - 3.7 = 4.234; 7D" = 7.934 - 3.314 = 4.620; et l'on portera ces diverses valeurs sur leurs ordonnées respectives.

Passant ensuite à la seconde station on prendra D"7 + 7E qui donnera 4.620 + 2.575 = 7.195. En retranchant de cette somme les hauteurs de mire suivantes, on aura les ordonnées 8', 8" = 3.795; 9', 9" = 4.095; 10', 10" = 3.495, etc.; et ainsi de suite pour le reste de la station et pour les stations suivantes.

468. L'on voit d'après cela que la hauteur du rayon de visée de chaque station au-dessus de l'axe A'B" est la base de toutes les opérations à faire; et qu'en retranchant de cette hauteur celle des diverses mires, le reste donne les ordonnées correspondantes. Quant à cette même hauteur on la trouve *en ajoutant l'ordonnée et la hauteur de mire arrière de la station sur laquelle on opère.*

Règle générale pour cette détermination.

D'après cela on sent que dans le cas dont il s'agit on pourra faciliter le rapport des ordonnées à un axe inférieur, et dresser un tableau semblable à celui du N.º 459, mais basé sur le principe que nous venons d'établir.

469. Non seulement les valeurs des diverses ordonnées doivent être respectivement cotées sur ces mêmes ordonnées (467); mais encore les intervalles qui les séparent doivent être portés sur l'axe A'B". On tirera ensuite un second axe AB inférieur et parallèle au premier, sur lequel on marquera les distances respectives des repères.

Cote de la valeur des ordonnées, de leurs distances respectives et de celles des repères.

Cote des distances de chaque repère au point de départ.

470. Dans les profils d'une certaine longueur il est souvent nécessaire de connaître à chaque repère la distance de ce repère au point de départ. C'est ce qui peut avoir lieu surtout pour les canaux auxquels on est obligé de donner une pente réglée. Dans ce cas on tirera une autre ligne au-dessous de AB, ou au-dessus de C'B"; et aux points où elle sera coupée par le prolongement des ordonnées correspondantes aux repères on portera la somme des distances qui précèdent.

Lorsque l'axe est au dessous le profil peut supporter les détails de nivellement.

471. Lorsqu'on rapporte, ainsi que nous venons de faire, les ordonnées d'un profil à un axe inférieur, on peut aussi à volonté sur le même profil porter tous les nivellemens de détail tels qu'ils ont été décrits au § premier. On n'aura point à craindre de confusion par la multiplicité des lignes, à cause que les ordonnées de l'axe total A'B" seront d'un côté, et celles des axes partiels CD, EF, etc., seront de l'autre.

Cas où l'on ne veut rapporter à cet axe qu'une partie du profil.

472. Si l'on ne voulait rapporter à l'axe A'B" que la partie du profil depuis le repère 5, d'après ce qui a été dit au N.º 460, on aurait $oH' = 5.108$, et $A'H' = G'K = 11.108$ (467). D'où il suit qu'on pourra construire le profil d'après cette ligne et ce qui a été dit ci-dessus. (467 et 468.)

Comment on peut rapporter le profil à tout autre axe.

473. Si après avoir rapporté les ordonnées à l'axe A'B" on veut les rapporter à un autre axe oX donné de position et supérieur au premier de la quantité connue $A'o$; de chaque ordonnée on retranchera $A'o$. Si le reste est positif, le profil sera au-dessus du nouvel axe; et s'il est négatif, le profil sera au-dessous.

§. IV.

Des profils longitudinaux brisés.

474. Dans les pays de montagnes les profils en long, surtout pour les routes, exigent souvent des rouleaux d'une hauteur excessive, lorsqu'ils sont tracés et rapportés à un seul axe, ainsi qu'il a été dit aux §§ II et III. Par exemple, si dans le profil ABCDEFG (*fig. 61*) la hauteur DH prise sur l'échelle surpasse de beaucoup celle du papier sur lequel on doit le rapporter, il est visible qu'il faudrait augmenter plus ou moins la hauteur du rouleau. Pour l'éviter on emploie alors des profils brisés, ainsi que nous allons le voir.

Dans quel cas on emploie les profils brisés.

Fig. 61.

475. Supposons d'abord le profil tracé d'après les échelles de la *fig. 60*. Par le point culminant D et le point le plus bas G tirons les deux lignes de niveau KL et MG, et supposons encore que la hauteur DH du profil tracé soit à-peu-près triple de celle du rouleau sur lequel on doit le rapporter. Divisons DH en trois parties égales aux points N et P, par lesquels nous tirerons les lignes de niveau QR, ST.

Limites des axes entre lesquels on doit rapporter un profil brisé.

Menons H'K' de niveau. Portons PH de H' en L', et par le point L' tirons L'G' parallèle à H'K'. Ces deux lignes ainsi tirées sur le rouleau seront les axes entre lesquels on doit tracer toutes les parties du profil.

476. Supposons toutes les ordonnées du profil entier prolongées à travers le rouleau H'K'G'L'. Prenons d'abord H'A' = SA. En faisant 1', 2' = 1, 2; 3, 4' = 3, 4; 5', 6' = 5, 6; et 7', 8' = 7, 8; on aura la partie du profil A', 2', 4', 6', 8', B' parfaitement la même que A, 2, 4, 6, 8, B.

Comment on rapporte un profil brisé.

Le point B' tombant sur H'K', on le rapportera au point B'' sur L'G'. On fera encore 9', 10' = 9, 10; 11', 12' = 11, 12; 13', 14' = 13, 14; 15', 16' = 15, 16; et 17', 18' = 17, 18; ce qui donnera B'' 10', 12', 14', 16', 18', C' parfaitement égale et semblable à la partie B, 10, 12, 14, 16, 18, C. On continuera de même jusqu'à la fin, et l'on aura C''D'E' = CDE; E'F' = EF et F''G' = FG.

Par où l'on voit que les abscisses étant les mêmes et les ordonnées ayant la même direction dans le profil continu et dans le profil brisé, si dans ce dernier on ajoute toutes les parties bout-à-bout, on reproduira le profil continu ABCDEFG.

La hauteur du rouleau détermine le nombre de parties du profil.

477. D'après ce que nous venons de dire, la première opération à faire est de calculer sur le nivellement et conformément à la règle du N.° 188, la différence DH de niveau entre le point le plus haut D et le point le plus bas G. Cette quantité étant déterminée et l'échelle des hauteurs arrêtée, on comparera la hauteur totale DH suivant l'échelle à la hauteur du rouleau sur lequel on doit rapporter le profil, et l'on divisera DH en un certain nombre de parties égales telles que HP, PN, etc., moindres chacune que la hauteur du rouleau.

La forme des parties du profil ne sera point altérée par cette méthode.

478. Par cette opération on connaîtra les hauteurs respectives des points A, B, C, D, E, F, et G. On pourra donc, d'après les hauteurs de mire du nivellement, et ce qui a été prescrit au § II calculer les ordonnées correspondantes à SB en les rapportant à ST, et porter la valeur sur 1', 2'; 3', 4'; 5', 6'; 7', 8', et B'; ce qui donnera A'B' égale et semblable à AB. On calculera de même les ordonnées correspondantes à VC dont on portera la valeur sur le rouleau, et l'on aura B''C' semblable et égale à BC; et ainsi de suite.

479. Le

479. Les intervalles qui séparent les ordonnées seront cotés sur $H'K'$ ou $L'G'$ à volonté. On cotera de même les hauteurs sur les ordonnées, ainsi qu'il a été dit au § II. Sur cela on doit observer que, si pour les parties AB et FG on prend ST pour axe des abscisses, on ne cotera sur les ordonnées que les valeurs de ces mêmes ordonnées comprises entre cet axe et les parties AB et FG du profil, et qu'on fera la même chose à l'égard des ordonnées correspondantes d'une part à BC et EF , et de l'autre à CDE , si on les rapporte aux axes QR et KL respectivement : mais si on les rapporte toutes à l'axe KL , dans les valeurs cotées on augmentera de la quantité SK ou PD la valeur des ordonnées correspondantes à AB et FG ; et de la quantité QK ou ND celle des ordonnées correspondantes à BC et EF .

Cotes des abscisses et des ordonnées.

480. Ce que nous avons exposé dans ce § suffit pour faire comprendre la manière dont on doit procéder lorsque dans le même cas on rapportera les ordonnées à un axe pris au-dessous du profil. Ainsi nous ne dirons rien de plus sur cet objet.

Ce procédé s'applique aux profils rapportés à un axe quelconque, soit au-dessus soit au-dessous.

481. Il y a des profils qui sont brisés, non dans leur continuité, mais dans l'axe des abscisses. Dans ces profils, après avoir rapporté les ordonnées d'une partie à un axe des abscisses, on rapporte celles de la partie restante à un autre axe donné de position par rapport au premier. On en voit un exemple sur la *fig. 62*, dans laquelle les ordonnées de la partie AB sont rapportées à l'axe CD , tandis que celles de la partie BEF sont rapportées à l'axe GH supérieur à CD de la quantité GD , et néanmoins parallèle à cette même ligne. D'après ce que nous avons dit aux N.^{os} 460 et 472, on sent qu'il n'y a aucune difficulté à rapporter ainsi les diverses parties d'un profil à divers axes.

Profils à axes brisés.

Fig. 62.

§ V.

Des profils longitudinaux rapportés sur des rouleaux à coupe.

Manière de rapporter un profil sur un rouleau à coupe.

Fig. 63.

482. Il y a une manière de placer sur un seul et même rouleau et sans aucune solution de continuité le profil du terrain le plus inégal et le plus montueux. Soit (*fig. 63*) le profil $AaBbCcDdEeFfGgH$ que nous supposons avoir été décrit par parties AaB , BbC , CcD , etc., en rapportant toutes les ordonnées à l'axe KL . Il s'agit de tracer ce profil sur le rouleau $MNOP$ dont la largeur MN est beaucoup moindre que la hauteur EQ de ce même profil.

Sur ce profil tirons les cordes AB , BC , CD , DE , EF , FG et GH ; et à l'exception de la dernière, prolongeons-les toutes vers b' , c' , d' , e' , f' , et g' , respectivement. Les angles de déviation, $b'BC$, $c'CD$, etc., de toutes ces cordes seront connus, ainsi que ceux que les diverses ordonnées feront avec ces mêmes cordes.

Sur le milieu du rouleau et dans sa longueur tirons la ligne RS sur laquelle, à partir du point A' nous porterons bout-à-bout, savoir: AB de A' en B' ; BC de B' en C' ; CD de C' en D' ; DE de D' en E' ; EF de E' en F' ; FG de F' en G' , et GH de G' en H' . Aux points de jonction B' , C' , D' , etc., représentons par des lignes ponctuées $B'C''$, $C'D''$, etc., les déviations des diverses cordes par rapport à la direction de celles qui les précèdent immédiatement, et en même-temps au droit de chaque partie $A'B'$, $B'C'$, etc., traçons le profil correspondant à chaque corde respective AB , BC , etc.

Cela posé, pour que le profil sur le rouleau soit

exactement le même que le profil entier ABCDEFGH, il faut que B'C' tombe sur B'C''; C'D' sur C'D''; D'E' sur D'E'', etc. Par les points B', C', D', etc., tirons d'équerre à l'axe RS les lignes hh' , ii' , kk' , ll' , mm' , et nn' ; et par les mêmes points menons d'autres lignes telles que oo' , pp' , qq' , rr' , ss' , et tt' , qui fassent respectivement avec les précédentes des angles égaux à ceux de déviation correspondans, c'est-à-dire, que l'on ait $h'B'o' = C'B'C'$; $i'C'p' = D'C'D''$; etc.; en observant que ces angles pris inférieurement à l'axe RS doivent être à droite ou à gauche des lignes d'équerre hh' , ii' , kk' , etc., selon que la déviation de la ligne suivante sera au-dessus ou au-dessous de l'axe RS.

Coupons présentement le rouleau suivant la ligne hh' et fessons tourner autour du point B' la partie ultérieure à ce même point. Lorsque B'C' aura pris sa position sur B'C'', B'h tombera sur B'o, tandis que B'h' tombera sur B'o'. D'où il suit que pour fixer cette dernière position, et entretenir la continuité du rouleau, dans la coupure faite sur B'h' il faut coller une partie angulaire $h'B'o'$ de papier qui se repliera lorsque B'h' quittant la position B'o' reviendra sur B'h. Comme au point C' la déviation C'D'' est au-dessous de l'axe BS, après avoir coupé le rouleau sur ii' , l'on substituera dans la coupure sur iC' une partie angulaire de papier égale à $p'C'i'$ ou $pC'i$; ce qui permettra à C'D' dans le développement de prendre la position C'D''; et ainsi de suite pour les autres points D', E', F', etc.

483. L'on voit par là que la méthode dont nous parlons consiste à couper le rouleau au droit du point où l'on veut opérer une déviation, et à intercaler dans la coupure un angle de papier égal à celui de déviation et

Règle générale pour les coupures.

dont le sommet coïncidera avec le point où la déviation doit avoir lieu. On observera seulement que cette insertion doit toujours avoir lieu du côté opposé à la déviation ; c'est-à-dire , qu'elle sera au-dessous ou au-dessus de l'axe RS , selon que la déviation doit avoir lieu au-dessus ou au-dessous de ce même axe.

Démonstration de l'exactitude du profil rapporté.

484. En suivant ce procédé et en développant tous les angles additionnels insérés dans les coupures , il est aisé de voir qu'on engendrera un profil absolument le même que le profil supérieur de la figure. En effet :

1.° Lorsque B'C' aura pris position sur B'C" , l'angle A'B'C" sera égal à l'angle ABC , puisque C'B'C" = b'BC.

2.° Lorsque C'D' sera sur C'D" , l'angle B'C'D" sera égal à l'angle BCD , à cause que D'C'D" = c'CD.

3.° On démontrera la même chose pour toutes les lignes suivantes , lorsqu'elles auront pris leur position respective.

Ce qu'on doit faire pour ne pas trop multiplier les coupures.

485. Pour ne pas trop multiplier les coupures , on doit avoir l'attention de faire ensuite que les lignes AB , BC , etc. , tirées sur le profil à rapporter soient les plus longues possibles , sans toutefois que la partie correspondante du profil puisse franchir les bords du rouleau. C'est de quoi l'on s'assurera facilement par les diverses montées du profil au-dessus de ces lignes.

Autre moyen plus général sur le même objet.

486. Lorsqu'on ne veut pas s'assujettir à porter toutes les lignes sur l'axe RS ; et qu'en même-temps on veut diminuer le plus qu'il est possible le nombre de coupures sur le rouleau , on en vient à bout par un moyen très-simple. Soit le rouleau M'N'O'P' de même largeur que le précédent. Tirons sur le profil les lignes AE et EH telles que la somme des plus fortes saillies du profil au-dessus et au-dessous de chacune de ces lignes soit moi-

dre que la hauteur du rouleau. Portons sur ce rouleau la ligne AE de A'' en E''' de manière que la partie correspondante du profil n'excède pas ses bords. Portons pareillement et aux mêmes conditions EH de E'' en H'' sous une direction quelconque.

Tirons par le point E''' les lignes uu' d'équerre à la longueur du rouleau ; $E'''H'''$ faisant avec $E'''V'$ prolongement de $A''E''$ un angle $V'E'''H''' = AEH$ sur le profil ; et v' telle que $v'E''' = H''E'''H''$.

Coupons à présent le rouleau sur la ligne uu' et faisons tourner la partie antérieure autour du point E''' . La ligne $E''H''$ prendra la position qui lui convient lorsqu'elle coïncidera avec $E'''H'''$; et alors l'un des bords de la coupure sur uu' passera de $E'''u$ sur $E'''v'$, tandis que le même bord pris sur $E'''u'$ passera en $E'''v'$. D'où il suit que pour fixer au besoin cette position, il faut insérer dans la coupure sur $v'E'''$ une partie angulaire de papier égale au triangle $v'E'''v'$ et la coller de façon que la pointe de l'angle tombe sur E''' . Or cet angle $v'E'''v'$ est égal à l'angle $H''E'''H'''$ que $E''H''$ doit décrire autour du point E''' pour prendre sa véritable position sur $E'''H'''$.

487. En général, soit qu'on rapporte les diverses cordes d'un profil sur une seule ligne RS , ainsi que nous l'avons fait sur le rouleau $MNOP$; soit qu'on les rapporte arbitrairement, ainsi que nous venons de le faire pour $A''E''$ et $E''H''$ sur le rouleau $MN'O'P'$; on doit regarder comme une règle générale que l'angle de papier à intercaler dans la coupure doit être égal à celui que la ligne doit décrire pour arriver à sa vraie direction ; que son sommet doit aboutir à celui de l'angle formé par les deux cordes rapportées, et enfin qu'il doit être intercalé du côté opposé à la déviation. Nous verrons ailleurs que

Règle générale à ce sujet.

la même méthode et la même règle s'appliquent aussi textuellement aux plans de routes, canaux et rivières à rapporter sur le même rouleau.

Direction et cote
des ordonnées.

488. Dans tous les cas les ordonnées doivent être tirées de manière qu'elles fassent sur le rouleau avec les cordes correspondantes les mêmes angles qu'elles forment avec ces mêmes cordes sur le profil ABCDEFGH. Ces ordonnées deviendront toutes parallèles lorsque le rouleau sera développé avec toutes les sinuosités. Et comme elles doivent toutes se rapporter à un seul axe des abscisses KL qui ne peut point être placé sur le rouleau, cet axe sera seulement idéal. Mais on cotera sur la partie de chaque ordonnée comprise sur le rouleau la longueur totale de cette ordonnée supposée tirée dans toute son étendue. Par le moyen de ces cotes on pourra, par une simple soustraction, connaître la différence de niveau de deux points quelconques, quelque distans qu'ils soient, et quelle que soit la longueur du rouleau.

Cote des abscisses.

489. Parallèlement à la bordure inférieure du rouleau on tirera trois lignes. Sur la première on cotera les distances des ordonnées; sur la seconde on marquera les distances respectives des repères; et sur la troisième on désignera la distance totale de chaque repère au point de départ: mais on doit observer que ces lignes n'étant point perpendiculaires aux ordonnées, leur longueur ne sera point en proportion avec les côtes, et qu'on ne pourra pas y appliquer l'échelle.

Échelle à construire
et moyen d'en
faire usage.

490. On doit placer une échelle au commencement du rouleau. Mais pour en faire usage il faut nécessairement employer le moyen dont nous avons parlé au N.° 481; c'est-à-dire, que sur le rouleau développé avec toutes ses sinuosités on tirera des lignes de niveau Aa' , Bb'' ;

bc'' ; etc.; dont la distance respective soit telle qu'elles ne sortent pas du rouleau.

491. Cette manière de rapporter les profils offre de grands avantages en ce que sur un seul et même rouleau peu volumineux pour un bureau et peu embarrassant pour le transport, on peut représenter le profil, par exemple, d'une route sur une étendue très-considérable, et faire juger d'un seul coup-d'œil de l'inégalité du sol sur lequel elle est située.

Avantages de cette forme de profil.

492. Dans le cas où l'on est obligé, à cause de la longueur du profil, d'employer plusieurs rouleaux, on peut aussi les assembler bout-à-bout sans nuire à l'exactitude des profils. Supposons que la ligne uu' sur le rouleau $M'N'O'P'$ soit la fin du premier rouleau et le commencement du second. Nous avons vu (486) que lorsque $E''H''$ prendra la position $E''H''$, $E''u'$ tombera sur $E''v'$. Par conséquent en joignant le second rouleau au premier, on appliquera le point E'' du second sur le même point du premier, et la ligne $E''u'$ du second sur la ligne $E''v'$ du premier; et on arrêtera la partie $v'E''u'$ commune aux deux rouleaux par le moyen du clou dont on se sert quand on rapporte des plans au pantographe, si on étend ces rouleaux sur une table à dessiner, ou par le moyen de petites pinces qu'on presse à volonté par un anneau, si on les développe sur un terrain uni.

Comment on assemble divers rouleaux de même profil sans altérer la régularité de ce profil.

493. Dans ce dernier cas, si le développement est fort long, on pourra représenter l'axe des abscisses KL par une ficelle bien tendue et placée d'après l'échelle. Cette ficelle fera voir au premier coup-d'œil les montées et les descentes du profil, quelque long qu'il soit d'ailleurs, et les cotes des ordonnées en désigneront les hauteurs.

Comment dans ce dernier cas on peut figurer l'axe des abscisses.

SECTION III.

Des profils transversaux.

En quels endroits on doit rapporter les profils en travers.

494. Nous avons dit (376 et 434) quels étaient les endroits où l'on devait prendre les coupes en travers et quelle devrait être leur direction. Lorsqu'on les rapportera sur le papier, on aura soin de les placer au droit des points du profil en long qui représentent ceux où on les aura pris sur le terrain.

Manière dont cette opération doit se faire.

Fig. 64.

495. Soient ABCDEF (fig. 64) un profil longitudinal quelconque et GH l'axe de niveau. Supposons que la coupe transversale au droit du repère A soit exprimée par le nivellement du N.° 433. Prolongeons l'ordonnée AK indéfiniment vers K'. Ce prolongement considéré par rapport au profil en travers doit être regardé comme ligne de niveau. Vers le milieu A' de AK' représentons le repère A par le repère A'; et au-dessus de AK' d'une quantité = 2.134 prise sur l'échelle, menons-lui la parallèle LM qui représentera le rayon de mire à droite. A partir du point A' on marquera sur l'axe des abscisses AK' tant vers A que vers K' toutes les divisions portées sur la colonne des distances du nivellement, observant que la droite est vers A et la gauche vers K', position naturelle (377) lorsqu'on avance sur le profil de A vers F. On élèvera des perpendiculaires à AK' à chacun de ces points de division. Elles seront censées d'aplomb et seront considérées comme les ordonnées du profil dont on déterminera les divers points correspondants à la dernière station de la même manière que celle décrite au N.° 448.

A l'extrémité à gauche de cette station on passera à celle qui dans le nivellement du N.° 433 est la première; en se conformant au procédé prescrit au N.° 449.

Enfin joignant par une ligne tirée à la main tous les points ainsi déterminés sur les ordonnées, on aura le profil transversal correspondant au repère A du profil en long.

496. On procédera de la même manière dans le tracé de tous les profils transversaux au droit des points du profil longitudinal où ils auront été pris. Mais lorsque le profil en long s'élèvera de manière à ne pas laisser supérieurement assez d'espace pour y placer le profil transversal, ainsi que la chose a lieu au repère C, on tracera ce dernier au-dessous.

Cas où le profil en travers doit être placé au-dessous de celui en long.

497. En général dans le tracé des profils transversaux, on ne doit pas suivre l'ordre du nivellement de ces profils, mais se rapporter d'abord au repère à y marquer, et qui doit être toujours placé sur l'ordonnée correspondante prolongée au besoin. C'est ce point qui règle les divisions sur l'axe des abscisses qui est cette même ordonnée, et la position des rayons de mire d'après lesquels la forme du profil en travers est déterminée.

La position du profil en travers est déterminée par celle du repère correspondant du profil en long.

498. Lorsqu'un profil en travers a été dressé, on y trace la coupe de l'ouvrage auquel se rapporte le profil en long. Si, par exemple, il s'agit d'un canal, on en trace la section transversale avec toutes ses dépendances, en ayant égard à la profondeur du déblai ou à la hauteur du remblai au repère correspondant. Nous en parlerons plus amplement dans le chapitre suivant.

Sur le profil transversal on doit tracer la coupe de l'ouvrage à construire.

C H A P I T R E X.

Usage des principes précédens pour rapporter sur le papier les profils longitudinaux et transversaux relatifs aux canaux, aux aqueducs, aux routes et au lit des rivières.

SECTION PREMIÈRE.

Application aux profils des canaux.

Cas qui peuvent se rencontrer dans le tracé d'un canal. 499. **D**ANS le tracé d'un canal il peut se rencontrer les cas suivans, savoir :

- 1.° Que le canal doive être creusé en belle terre de façon que (290) le déblai fournisse au remblai des chaussées.
- 2.° Qu'il passe à travers une butte qu'on sera obligé de couper à ciel ouvert.
- 3.° Qu'il franchisse un bas-fond où il faudra le soutenir par des terres rapportées.
- 4.° Qu'il traverse une montagne par un percement souterrain.
- 5.° Qu'il soit soutenu sur le penchant d'un rocher.
6. Enfin qu'il franchisse le lit d'une rivière par le moyen d'un pont-aqueduc.

En conséquence nous allons tracer un profil longitudinal qui renferme ces six cas, et d'après lequel nous

tracerons pareillement les diverses coupes transversales qui s'y rapportent.

500. Supposons donc que sur l'axe des abscisses PQ (*fig. 65*), et d'après un nivellement de détail on ait construit le profil longitudinal ABCDEFGHJKLMNO conformément à ce qui a été prescrit ci-devant (464-473). Par les formules des N.^{os} 307, 308 et 309 respectivement on trouvera la profondeur à creuser aux repères 1, 2, 4 et 5; et la hauteur du remblai aux repères 3 et 6. On prendra donc sur l'échelle des hauteurs la profondeur des déblais et la hauteur des remblais calculées; on la portera sur la verticale qui passe par chacun de ces repères respectivement à partir de ces mêmes repères, savoir: les déblais en contre-bas, et les remblais en contre-haut, et par les points ainsi déterminés, on tirera la ligne du plat-fond RSTVXY. On marquera en même-temps au droit de chaque repère la profondeur à déblayer ou la hauteur à remblayer, selon qu'il devra y avoir déblai ou remblai. Enfin on prendra II' égale à la hauteur du couronnement des chaussées au-dessus du plat-fond du canal, et l'on tirera la ligne ponctuée IZ parallèle à celle RY du plat-fond.

Déterminez d'abord la ligne du plat-fond et celle du couronnement des chaussées.

fig. 65a

501. Ce profil ainsi tracé nous fournit les observations suivantes.

Ces deux lignes indiquent les endroits où il n'y aura que déblai, ou que remblai, ou l'un et l'autre.

1.^o Dans les parties où la ligne de terre tombe au-dessous de la ligne RY représentant le plat-fond du canal; il n'y aura que remblai.

2.^o Dans les parties où la ligne de terre passe au-dessus de la ligne IZ représentant le couronnement des chaussées; il n'y aura que déblai.

3.^o Dans les parties où la ligne de terre tombera entre

les deux lignes de plat-fond et de couronnement des chaussées, il y aura du déblai et du remblai.

Lieux où il faut construire des aqueducs.

502. Dans les endroits où il n'y a que remblai, tel que le bas-fond où se trouve le repère 6, s'il y passe une rivière, ou un canal, ou seulement des eaux pluviales, il faudra y construire un aqueduc qu'on désignera sur le profil, ainsi qu'on le voit sur la figure.

Lieux où l'on construit des usines ou des écluses.

503. Vers la fin O du profil le terrain baisse brusquement et le profil y prend la position OO'. C'est en ces sortes d'endroits qu'on établit des usines lorsqu'il ne s'agit que d'un canal d'irrigation, ou des écluses dans un canal de navigation. Dans tous les cas la ligne du plat-fond du canal RY s'y brise et prend la forme Yyy' relative à la chute nécessaire soit pour les engins soit pour l'écluse.

Il y aura trois axes pour eoter les abscisses.

504. Outre l'axe PQ on tirera encore deux autres axes P'Q' et P''Q'' qui lui seront parallèles. D'après ce qui a été dit plus haut (469) le premier portera les distances entre les ordonnées, le second les distances entre les repères, et (470) le troisième celles de chaque repère au repère où nous supposons le commencement du canal. Quant aux ordonnées, leurs longueurs entre la ligne de terre et l'axe PQ seront cotées sur chacune d'elles respectivement.

Dimensions hypothétiques transversales d'un canal.

505. Nous allons parler à présent des coupes transversales. Nous supposerons en conséquence aux diverses parties du canal les dimensions suivantes, savoir :

La largeur du plat-fond = 8 mètres.

La hauteur du couronnement des chaussées au-dessus du plat-fond = 2.^m5.

La largeur du couronnement des chaussées = 2.^m

La largeur du plat-fond des contre-canaux ou contre-fossés = 1.^m

Leur profondeur = 1.^m

Le talus tant intérieur qu'extérieur des chaussées du canal, et celui des bords des contre-fossés, le même que celui de la diagonale du carré, c'est-à-dire, sous l'inclinaison de 45 degrés donnée par *un* de base et *un* de hauteur.

Toutes ces dimensions seront prises sur la même échelle tant pour les largeurs que pour les hauteurs (437). Mais qu'on observe que ces dimensions ne sont qu'hypothétiques, et qu'elles se rapportent plutôt à un canal d'irrigation qu'à tout autre, étant visible, par exemple, que s'il s'agissait d'un canal de navigation, le couronnement des chaussées devrait avoir au moins 4 mètres de largeur pour le hallage.

506. Supposons d'abord (499. 1.^o) qu'au repère 1.^{er} le canal soit en belle terre. Prolongeons l'ordonnée $r'R$ correspondante jusqu'en R' et traçons le profil transversal $aa'a''$ conformément à ce qui a été prescrit au N.^o 495. Au point a' où nous supposerons que se trouve le repère 1.^{er}, élevons sur RR' la perpendiculaire indéfinie bb' . Portons la profondeur Rr' à creuser au repère 1 de a' en b'' , et la hauteur Rr'' du couronnement des chaussées au-dessus du plat-fond de b'' en b''' . Par les points b'' et b''' tirons deux lignes indéfinies parallèles à RR' . Tout étant ainsi disposé :

Comment se fait la coupe en travers dans le premier cas du N.^o 499.

1.^o Prenons sur l'échelle des coupes en travers, qui est ici la même que celle des hauteurs du profil en long, la moitié de la largeur du plat-fond ou 4 mètres et portons-la de b'' en c et de b''' en c' . On aura cc' qui représentera le plat-fond du canal.

2.^o Augmentons $b''c$ de la quantité $b''b'''$ et portons-la de b''' en d et de b''' en d' . Tirons ensuite les lignes

cd et cd' . Elles seront les talus intérieurs du canal suivant l'inclinaison de la diagonale du carré sur les côtés.

3.° Prenons sur l'échelle une ligne de 2 mètres, et portons-la de d en f et de d' en f' . Les lignes df et $d'f'$ exprimeront le couronnement des chaussées supposé de niveau. Sur quoi nous observerons que dans les canaux de navigation où la largeur du couronnement est plus considérable, df et $d'f'$ doivent avoir chacun environ un décimètre de pente vers la campagne pour empêcher que les eaux pluviales ne s'écoulent dans le canal.

4.° Ajoutons à $b''f$ la quantité $b''b'''$ et portons la de b'' en g et de b''' en g' . Tirons ensuite les lignes fg et $f'g'$ jusqu'à la rencontre de la ligne de terre. Elles exprimeront le talus extérieur des chaussées,

5.° On tracera ensuite du côté de la montagne et d'après les mêmes principes un contre-fossé $ih'hi'$ dont le plat-fond hh' ait un mètre de largeur et dont la profondeur réduite soit aussi d'un mètre; et on le séparera de la chaussée par une berme ii' de pareille largeur.

Dans cette figure la partie $a'''c'd'$ qui sera au-dessous de la ligne de terre aa'' sera la section du déblai, et les parties $afdd''$ et $a'''d'f'i''$ au-dessus de cette même ligne exprimeront les remblais à faire pour perfectionner les chaussées et donner au canal la grandeur et les dimensions $d'c'd$ qu'il doit avoir.

Observation sur la manière de déterminer les talus des coupes.

507. Ne perdons pas de vue que dans cette construction nous avons supposé les talus inclinés à l'horizon sous un angle de 45 degrés, ou sous *un* de base et *un* de hauteur (505). C'est pour cela qu'au N.° 506. 2.° et 4.° nous avons fait $b'''d = b''c + b''b'''$, et $b''g = b'''f + b''b'''$.

Mais si le talus avait dû être plus fort, par exemple, de deux de base sur un de hauteur, il eut fallu alors faire $b''d = b''c + 2b''b'''$, et $b''g = b''f + 2b''b'''$.

508. Le repère 2 est placé sur une butte à couper (499. 2.^o), et (501. 2.^o) il n'y aura que du déblai. Prolongeons l'ordonnée Ss' jusqu'en S' . Marquons le repère 2 au point k et traçons la coupe transversale du terrain. Élevons au point k la perpendiculaire kk' à SS' . Portons Ss' de k en k' , et la hauteur Ss'' du couronnement des chaussées au-dessus du plat-fond, de k' en k'' . Par les points k' et k'' menons des parallèles indéfinies à SS' . Cela fait :

Cemment on trace la coupe en travers dans le 2.^e cas du N.^o 499.

1.^o Prenons sur l'échelle la moitié de la largeur du plat-fond et portons-la de k' en l et en l' . Nous aurons ll' qui exprimera le plat-fond du canal.

2.^o Ajoutons $k'k''$ à $k'l$; portons la somme de k'' en l'' et en l''' , et tirons ll'' et ll''' . Ces deux lignes seront les talus intérieurs du canal.

3. Portons la largeur du couronnement des chaussées de l'' en m et de l''' en m' . Portons pareillement 3 mètres de m en m'' , et de m' en m''' . Les deux premiers espaces détermineront le couronnement des chaussées qui ne seront point ici en terres rapportées; et les deux seconds l'ouverture des contre-fossés latéraux.

4.^o Augmentons $k''m''$ de la quantité $k''k$; portons la somme de k en n et en n' , et tirons les lignes $m''n$ et $m'''n'$. Elles exprimeront le talus des deux côtés de la tranchée au-dessus de la ligne du couronnement des banquettes.

5.^o Prenons $k''p$ égale à un mètre, profondeur à donner aux contre-fossés (505), et par le point p menons une ligne indéfinie parallèle à $m''m'''$. Prolongeons

nm'' jusqu'en p' ; et $n'm'''$ jusqu'en p'' ; et prenons $p'q = p''q'' = 1$ mètre. En tirant les lignes qm et $q'm'$, on aura les contre-fossés latéraux $m''p'qm$ et $m'''p''q'm'$, destinés à recevoir les eaux et les terres qui dans les pluies descendront des glacis nm'' et $n'm'''$.

Ainsi le canal sera exprimé par le trapèze $l''ll'l'''$.

Comment on opère pour la même coupe dans le 3.^e cas du N.^o 499.

509. Au repère 3.^{me} le plat-fond du canal est supérieur à la ligne de terre, et le profil transversal est dans le cas mentionné au N.^o 499. 3.^o; c'est-à-dire, qu'il n'y aura que du remblai.

Prolongeons à l'ordinaire l'ordonnée tT passant par ce repère jusqu'en T' et profilons la ligne de terre $t't'$, passant par le repère 3.^{me} supposé au point t'' . Elevons sur ce point à la ligne TT' la perpendiculaire $t'''T'''$. Portons $T''T'$ de t''' en ν , et $T''\nu''$ de t''' en ν' ; et par les points ν et ν' menons deux parallèles indéfinies à TT' . Ensuite :

1.^o Portons la moitié de la largeur du plat-fond de ν en x et en x' . Nous aurons xx' qui représentera ce plat-fond.

2.^o Prenons $\nu'x'' = \nu'x''' = \nu x + \nu \nu'$, et tirons xx'' et $x'x'''$ qui seront les talus intérieurs du canal.

3.^o Faisons $x''y = x'''y' = 2$ mètres, largeur du couronnement des chaussées. Ces deux lignes exprimeront ce couronnement.

4.^o Prenons une ligne $= \nu'y + t''\nu'$, et portons-la de t''' en y'' et y''' . Tirons ensuite yy'' et $y'y'''$. Ces deux dernières lignes exprimeront les talus extérieurs tant de la plateforme $zz'y''y'''$ que des chaussées superposées $x'x''y'z$ et $xx''y'z'$.

La coupe en travers dans le 4.^o cas du N.^o 499, offre elle-même trois cas particuliers.

510. Le repère 4.^{me} est placé sur une montagne trop haute pour être coupée à ciel ouvert et qu'il faut

percer

percer par un canal souterrain, ainsi qu'il a été dit ci-devant (499. 4.°).

Il faut observer que dans ces sortes d'ouvrages les parois latérales ne sont point talussées, mais d'aplomb ou à peu-près.

Prolongeons à l'ordinaire VV'' jusqu'en V''' . Traçons la ligne de terre en supposant le repère 4 en X' . Elevons au point X' une perpendiculaire à VV'' , et sur cette perpendiculaire prenons $X'X'' = VV''$. Par le point X'' menons une parallèle à VV'' . Elle sera la ligne de plat-fond. Portons VV' de X'' en X''' , et par ce dernier point menons une seconde parallèle à VV'' . Elle sera la ligne du couronnement des banquettes, s'il doit y en avoir.

Il se présente ici divers cas qu'il faut examiner successivement.

511. 1.^{er} Cas. Le canal peut être seulement destiné à l'irrigation et dans ce cas le percement peut avoir lieu dans des matières solides et qui se soutiennent d'elles-mêmes, telles que la pierre, le tuf, etc. ; ou dans des matières qui ont besoin d'être soutenues telles que la terre, l'argile, etc.

1.^o Cas relatif à un canal d'irrigation.

Dans l'un et l'autre cas la largeur du canal y sera égale à sa largeur réduite prise aux endroits où il y a des chaussées pour faciliter le passage des eaux. On portera donc la moitié de cette largeur de X'' en Z' et en Z'' . Cette ligne exprimera la largeur du canal dans œuvre.

1.^o Si les matières peuvent se soutenir par elles-mêmes, on prendra une hauteur qui excède celle des eaux d'environ demi-mètre et à cette hauteur on établit le ciel du percement dont la forme sera par conséquent rectangulaire, ainsi qu'on le voit par la demi-coupe Z'' 1. 2. X'' .

2.^o Si les matières n'avaient pas assez de consistance

pour se soutenir par elles-mêmes, on construirait en bâtisse des piedroits de chaque côté fondés en contrebas du plat-fond; et aux deux tiers 3 ou à peu-près de la hauteur de la ligne de couronnement des chaussées, on établirait la naissance de la voûte destinée à supporter les matières supérieures. Ainsi la forme de la demi-coupe sera Z', 3, 2, X'.

2.^e Cas relatif à un canal d'irrigation et de navigation.

512. 2.^{me} Cas. Si le canal est tout à la fois destiné à l'irrigation et à la navigation, la largeur dans œuvre sera la même que dans le cas précédent. Dans ce cas :

1.^o Si le percement est fait dans le rocher, le tuf, etc., la forme sera rectangulaire et la hauteur du ciel 5. 6 au-dessus des eaux assez considérable pour qu'une barque chargée des matières les plus volumineuses ne puisse pas y toucher. Z'. 5. 6. X' en représente la demi-coupe.

2.^o Si le percement est pratiqué dans la terre, l'argile, etc., on fera ce qui est prescrit au N.^o 511. 2.^o observant que l'imposte de la voûte soit au-dessus du couronnement des chaussées et l'intrados assez élevé pour le passage des barques les plus volumineusement chargées. Z'. 7. 6. X' en représentera alors la demi-coupe.

3.^e Cas relatif à un canal exclusivement affecté à la navigation.

513. 3.^{me} Cas. Lorsque le canal est exclusivement affecté à la navigation et que par conséquent (285. 2.^o) les eaux doivent y être dormantes ou à-peu-près, sa largeur dans œuvre sera déterminée d'après des considérations dont nous parlerons dans un ouvrage particulier sur cet objet. Cette largeur supposée fixée :

1.^o Si les matières à exploiter peuvent se soutenir d'elles-mêmes, on fera la coupe ainsi qu'il a été dit ci-dessus (512. 1.^o)

2.° Si ces matières sont terre, argile, etc. on se conformera à ce qui est prescrit par le N.° 512. 2.°

514. Lorsqu'un canal est destiné à la navigation et qu'on ne veut pas s'y servir de la *cordelle* pour faire avancer la barque, on emploie des banquettes latérales d'environ un mètre de largeur et sur lesquelles les hommes destinés au tirage dans le percement peuvent facilement manœuvrer. Dans ce cas le couronnement de ces banquettes est à la même hauteur que celui des chaussées hors du percement, et l'on a soin de les marquer sur la coupe en travers.

Ligne des banquettes pour les canaux de navigation.

515. Le repère 5.^m est supposé placé sur le penchant d'un rocher. Prolongeons l'ordonnée correspondante; traçons la ligne de terre par le repère supposé au point 13; portons X. 14, de 13 à 13 et 14, 14' de 13' à 13", et par les points 13' et 13" menons les parallèles 14", 14" et 15, 15' à X, 13.

Manière de tracer cette coupe dans le cinquième cas du N.° 499.

Fixons ensuite la largeur du canal dans œuvre d'après les N.°s 511-513, et portons-en la moitié de 13' à 16" et à 15", et de 13" à 16 et à 16'. Tirons les lignes 15', 16 et 15", 16'; elles exprimeront les parois latérales intérieures du canal.

Portons l'épaisseur à donner au couronnement du mur aval de 16' en 16", et celle qu'il doit avoir à la base de 15" à 17, et tirons la ligne 16", 17 prolongée jusqu'en 17' où se trouve la ligne de terre. La figure 16", 16', 16", 17' exprimerà la coupe de ce mur qu'il faut substituer à la chaussée, faute de terres. Dans ce cas la coupe intérieure du canal sera 17", 15", 15", 16'.

Supérieurement on tracera le contre-fossé 17", 18, 18, 18" destiné à intercepter les eaux pluviales.

Si le canal est navigable, à la hauteur de la ligne 15, 15' on taillera une banquette dans le rocher du côté d'amont. Au droit de la partie 15", 16" il restera entre

le rocher 13, 16" et la ligne du plat-fond 15", 15" un petit espace triangulaire dont on fera le comblement, si on le juge à propos.

Tracé de la même coupe dans le sixième cas du N.º 499.

516. Le repère 6 est supposé placé dans un endroit où il y a un cours d'eau établi et qu'il s'agit de franchir par le moyen d'un pont-aqueduc (502).

L'ordonnée 8Y étant prolongée vers Y"; le repère 6 étant supposé en Y" et à ce point ayant élevé à YY" la perpendiculaire Y" & on opérera ainsi qu'il suit.

1.º On prendra sur le profil en long la hauteur de l'intrados au-dessus du repère : on la portera de Y" en 8', et l'on tirera par ce point une parallèle &&" à YY".

2.º On prendra la hauteur de l'extrados au-dessus du repère ; on la portera de Y" en 8", et par ce point on tirera une seconde parallèle 9, 9'.

3.º On prendra la hauteur du plat-fond au-dessus du repère et on la portera de Y" au point 9" par lequel on tirera une troisième parallèle 10, 10' qui marquera le plat-fond sur la coupe.

4.º On prendra la hauteur de la ligne IZ au dessus du repère, et on la portera de Y" au point 10" par lequel on tirera une quatrième parallèle qui déterminera la hauteur des murs latéraux.

Tout étant ainsi disposé, on fixera la largeur intérieure du canal d'après ce qui a été dit ci-dessus (511-513). On la portera par moitié à droite et à gauche de Y" &, sur la parallèle passant par le point 10" et sur 9, 9', et l'on tirera les lignes d'aplomb 11, 11', et 11", 11".

On fixera aussi la largeur à donner au couronnement des murs latéraux, et on la portera de 11' à 12' et de 11" à 12".

On fixera pareillement l'épaisseur à leur donner à la base; on la portera de 11 à 12 et de 11" à 12", et l'on tirera les lignes 12, 12' et 12", 12" qui exprimeront les talus extérieurs de ces murs.

Enfin aux points 12 et 12" on tirera deux lignes d'équerre à &&" , qui formeront les têtes de la voûte.

On doit remarquer que le petit espace compris entre l'arrasement de la voûte et le plat-fond du canal est destiné à un corroi de ciment.

517. Ce que nous venons de dire suffit pour faire voir la manière dont on doit procéder dans les autres cas qui peuvent se présenter; tels que celui où il serait question d'établir des écluses, des ponts, etc.

D'après cela on peut tracer la coupe pour d'autres cas non mentionnés.

SECTION II.

Application aux profils des aqueducs.

§. I.

Observations préliminaires.

518. Au N.° 332 nous avons distingué trois sortes d'aqueducs, savoir : 1.° Les aqueducs voûtés; 2.° les aqueducs à ciel ouvert; et 3.° les aqueducs en tuyaux de conduite. Tous ces aqueducs sont en bâtisse et doivent être classés parmi les ouvrages d'art. Nous allons examiner succinctement la forme particulière de chacun d'eux et la manière d'en tracer la coupe transversale.

Trois sortes d'aqueducs.

519. Dans les aqueducs voûtés, on distingue deux cas. Le premier cas est celui où l'eau occupe toute la largeur de l'aqueduc, ainsi qu'on le voit sur la *fig. 66*; et c'est ce

Il y a deux formes d'aqueducs voûtés.

fig. 66 et 67.

qui a lieu lorsque l'aqueduc doit porter un certain volume d'eau. Dans le second cas, on partage l'aqueduc en deux parties dans sa largeur. L'une des deux est occupée par une banquette d'environ un mètre de hauteur dans laquelle se trouve la rigole qui conduit les eaux et quelquefois une conduite en tuyaux soit de plomb ou de fer, soit de poterie; et l'autre est destinée au passage du surveillant, ainsi qu'on le voit sur la figure 67. Ce dernier cas a lieu lorsque le volume d'eau à conduire est peu considérable. Dans l'un et l'autre cas la voûte doit être assez élevée pour qu'un homme puisse parcourir l'aqueduc dans toute sa longueur intérieure, et dans le second cas la largeur du passage doit être au moins d'environ 6 décimètres.

Aqueducs à ciel ou vert.

Fig. 68.

520. Les aqueducs à ciel ouvert sont employés en maçonnerie lorsqu'on veut empêcher que les eaux ne se perdent par les filtrations et qu'on a intérêt de les ménager. Alors ces aqueducs ont la forme représentée par la figure 68.

Aqueducs en tuyaux de conduite.

Fig. 69.

521. Les aqueducs en tuyaux de conduite sont les plus économiques, surtout quand les tuyaux sont en bois ou en poterie. Ils sont particulièrement en usage pour les fontaines soit publiques soit particulières qui pour l'ordinaire n'exigent pas un grand volume d'eau. Dans ce cas les tuyaux sont placés dans un petit canal en maçonnerie recouvert en dalles qu'on peut enlever à volonté pour changer ceux qui se cassent. Voyez la figure 69.

Couverture des aqueducs voûtés au-dessus du terrain.

Fig. 70.

522. Lorsque les conduites voûtées ne sont pas entièrement dans la terre, elles doivent être couvertes en dalles et à deux égouts en forme de fronton, pour empêcher qu'elles ne soient dégradées par les eaux pluviales. On voit la forme de cette couverture dans la *fig. 70.*

523. En général dans toutes les sortes d'aqueducs, lorsqu'il sera question d'en tracer la coupe transversale, on doit d'abord tirer la ligne du plat-fond à la profondeur ou à la hauteur portée par le profil en long, et élever ensuite sur cette ligne une perpendiculaire passant par le repère et indiquant la ligne de milieu. Avec ces deux lignes on donnera telle forme et telle dimension qu'on voudra à la coupe en travers.

Deux lignes suffisent pour tracer la coupe transversale d'un aqueduc quelconque.

§ II.

Du profil des aqueducs.

524. Dans la construction des aqueducs il peut arriver :

Cas qui peuvent se rencontrer dans le tracé d'un aqueduc.

1.° Que l'aqueduc soit entièrement au-dessous de la surface de la terre, de manière néanmoins qu'on puisse le construire dans une tranchée à ciel ouvert.

2.° Qu'une partie de l'aqueduc soit au-dessous et l'autre au-dessus de la surface du terrain.

3.° Que l'aqueduc traverse une montagne par un canal souterrain.

4.° Enfin qu'il franchisse un bas-fond où il doit être entièrement établi au-dessus du terrain.

Nous allons examiner successivement ces quatre cas dans un profil qui les renferme tous.

525. Soient ABCDEFGHKL (*fig. 71.*) le profil longitudinal du tracé d'un aqueduc à construire, et OP l'axe des abscisses. Représentons par MN la ligne de plat-fond. Menons des ordonnées au droit de chaque repère aux points B, C, E, H, et prolongeons-les indéfiniment vers B''C''E''H''.

Construction du profil longitudinal.

Fig. 71.

Tirons pareillement O'P' et O''P'' parallèles à OP; et

marquons sur OP les distances des ordonnées ; sur O'P' celles des repères, et sur O''P'' celles de chaque repère au point de départ.

Tracé de la coupe en travers dans le 1.^{er} cas du N.^o 524.

526. Le repère 1 est supposé dans le 1.^{er} cas du N.^o 524. Plaçons donc ce repère au point b'' pris sur la ligne B'B''' et traçons le profil transversal bb' passant par b'' (497). Au point b'' élevons la perpendiculaire aa' . Portons BB'' de b'' en a'' , et au point a'' menons $a''c$ parallèle à B'B'''. Elle sera le plat-fond de l'aqueduc, et $a'a''$ la ligne de milieu sur la hauteur. Avec ces deux lignes on en construira la coupe d'après la forme qu'on adoptera et qui se rapportera à l'une des quatre figures 66, 67, 68, 69.

Observation relative au cas où l'on doit ménager des banquettes.

527. Il faut néanmoins observer que dans le cas où l'on adoptera la forme représentée par la figure 68, si la superficie du terrain domine la partie supérieure de l'aqueduc, pour empêcher que les pluies n'y entraînent de la terre, on doit, de chaque côté, établir des banquettes avec des contre-fossés ainsi qu'il a été prescrit au N.^o 508.

Tracé de la coupe en travers dans le 2.^e cas du N.^o 524.

528. Le repère 2 est situé à un endroit très-voisin de la ligne de plat-fond MN, et par conséquent l'aqueduc y sera dans le cas mentionné au N.^o 524. 2.^o Supposons donc le repère 2 au point c' pris sur la ligne C'C''' et décrivons le profil en travers passant par ce point. Élevons en même-temps au même point la perpendiculaire $c''c'''$ sur laquelle nous prendrons $c'd = CC''$; et par le point d menons $d'd''$ parallèle à CC''', et qui exprimera le plat-fond de l'aqueduc, tandis que $c''c'''$ en exprimera la ligne de milieu suivant sa hauteur.

Au moyen des deux lignes $c''c'''$ et $d'd''$ on pourra dresser la coupe de l'aqueduc d'après l'une des quatre figures

66, 67, 68, 69, observant d'employer le couronnement désigné par la figure 70, si l'on adopte la forme de la figure 66 ou 67; et d'assembler à joint de recouvrement les dalles de couverture, si l'on adopte la forme de la figure 69.

529. Le repère 3.^e est placé au sommet d'une montagne DEF que l'aqueduc doit traverser par un canal souterrain. Par conséquent il est dans le cas mentionné au N.^o 524. 3.^o

Supposons le repère 3.^e au point e pris sur la ligne $E'E''$ et traçons le profil transversal passant par ce point. Elevons au même point la perpendiculaire $e'e''$ à $E'E''$ et prenons $ee'' = EE''$. Par le point e'' menons ff' parallèle à $E'E''$ et qui sera le plat-fond de l'aqueduc. $e''e$ étant la ligne de milieu suivant la hauteur, on pourra par le moyen de ces deux lignes construire la coupe en travers, conformément à ce qui a été dit précédemment.

Observons présentement que, quelle que soit la forme qu'on adopte sur les quatre représentées par les figures 66, 67, 68 et 69, il est indispensablement nécessaire que le préposé à la conduite des eaux puisse parcourir le canal souterrain dans toute sa longueur, pour remédier aux accidens qui surviennent quelquefois, et en même-temps pour y faire les réparations convenables.

Il suit de là 1.^o que lorsqu'on adoptera la coupe exprimée par la figure 68, il faudra employer dans le percement celle représentée par la figure 66; 2.^o que lorsqu'on adoptera celle de la figure 69, il faudra y faire usage de celle de la figure 67.

Tirons DF parallèle à la ligne de plat-fond MN et telle que leur distance $E''D'$ excède d'environ un décimètre la taille d'un homme. $E''D'$ sera la hauteur de l'intrados de la voûte de l'aqueduc au-dessus du plat-fond.

Ainsi par le moyen des lignes $E'D'$, ee'' et ff' on pourra dresser la coupe transversale de l'aqueduc dans la partie souterraine correspondante à DF .

Tracé de la coupe transversale dans le 4.^e cas du N.^o 524.

530. Le repère 4.^e placé dans le bas-fond GHK est compris dans le quatrième cas du N.^o 524. Comme on ne peut pas établir un aqueduc en bâtisse sur des terres rapportées, ce bas-fond doit être franchi par le moyen d'arceaux en maçonnerie arrasés sur la ligne GK faisant partie de celle de plat-fond MN , et aux à-bouts par un mur plein arrasé sur la même ligne, ainsi qu'on le voit sur le profil longitudinal.

Transportons le repère 4 du point H au point h pris sur la ligne $H'H''$ à laquelle nous élèverons la perpendiculaire hh' , et traçons le profil transversal qui passe par le point h . Portons HH' de h en h'' , et par ce dernier point menons kk' parallèle à $H'H''$. Elle sera la ligne de plat-fond. Par le moyen de cette ligne et de hh' on dressera la coupe transversale d'après la forme qu'on adoptera sur les figures 66, 67, 68 et 69; si le choix porte sur la figure 66 ou 67, on aura soin d'employer le couronnement porté par la figure 70.

SECTION III.

Application au profil des routes.

§ I.

Du profil des routes tracées et à construire.

Cas qui peuvent se rencontrer dans le tracé d'une route.

531. Le tracé d'une route présente les cas suivans, savoir :

- 1.^o La route peut être établie dans un terrain plan et uni.
- 2.^o Elle peut rencontrer un bas-fond à franchir.

- 3.° Elle peut avoir une butte à traverser.
 4.° Elle peut être située sur le penchant plus ou moins ardu d'une montagne.
 5.° Enfin elle peut rencontrer une rivière à traverser.

Nous allons examiner ces divers cas sur un profil qui les renferme tous.

532. Soit ABCDEFGHKLM (*fig. 72*) le profil en long suivant l'axe d'une route dont les lignes de pente sont NF, FO et OP. Que la ligne de niveau QR soit l'axe des abscisses auquel nous menerons les parallèles d'usage Q'R' et Q''R''. Prolongeons jusqu'aux points B', C', E', G' et K' les ordonnées B''B, C''C, E''E, G''G et K''K correspondantes respectivement aux repères 1, 2, 3, 4 et 5.

Construction du profil longitudinal.

fig. 72.

D'après cette construction il y aura remblai partout où les lignes de pente seront supérieures au profil, et au contraire lorsqu'elles lui seront inférieures, il y aura déblai. D'où il suit qu'il n'y aura déblai que de D en F.

533. Nous supposons d'abord le repère 1.^{er} dans un terrain plan et uni. Transportons-le au point B''' et traçons le profil transversal qui passe par ce point. Élevons à ce même point la perpendiculaire B'''b à BB' et portons Bb' de B''' en b''. Par le point b'' tirons la ligne b'''c'' parallèle à BB'. Elle sera (197) la directrice du bombement à donner à l'aire de la route, et au point culminant duquel elle sera tangente.

Tracé de la coupe en travers dans le 1.^{er} cas du N.° 531.

Décrivons donc la ligne c'b''c'' de bombement en faisant $b''c' = b''c''$, et en laissant de chaque côté les largeurs égales c'd et c''d' pour les banquettes latérales à l'empierrement ou au pavé db''d'.

Présentement il faut observer qu'il y a deux cas, sa-

voir : celui où la chaussée est soutenue par un mur, et celui où elle est terminée en talus.

Dans le premier cas on marquera le mur de soutènement $c'd''d''f$ avec le talus extérieur convenable, et à côté le fossé $f''f''f''g$ tel que le plat-fond $f''f''$ soit supérieur aux basses fondations fd'' de ce mur.

Dans le second cas au-delà du talus $c'g'$ de la chaussée on laissera l'espace $g'g''$ d'un mètre de largeur au moins, et on tracera la coupe du fossé $g''g''hh'$.

Tracé de la même coupe dans le 2.^e cas du N.^o 531.

534. Prenons à présent le repère 2.^e situé dans un bas-fond à franchir. Ce cas est exactement le même que le précédent. La seule différence qu'il y a est que Ch'' qu'il faut porter de C'' en h'' et qui détermine la hauteur de la chaussée est plus grande que $B''b''$.

Ainsi on tracera le profil de la chaussée et de ses dépendances de la même manière que celle décrite au N.^o 533.

Tracé de la même coupe dans le 3.^e cas du N.^o 531.

535. Le repère 3.^e est placé sur une butte DEF à couper. Après avoir transporté ce repère de E en E'', tracé le profil transversal passant par E'' et élevé la perpendiculaire E''k, nous porterons Ek' de E'' en k' et nous tirerons la ligne ll' directrice et tangente au sommet k' du bombement que nous décrirons ainsi que nous l'avons déjà fait au N.^o 533..

Les fossés latéraux seront pareillement tracés de la manière qui a été prescrite dans le même N.^o; observant seulement que dans le cas où l'on substituera un terrassement en talus au mur de soutènement, on ne laissera point de bermé entre ce talus et le fossé, pour éviter un trop grand déblai dans le coupement de la butte.

Quant aux talus $l'l''$ et mm' du coupement, ils feront suite à ceux des fossés latéraux.

536. Le repère 4.^e au point G est supposé sur le penchant ardu d'une montagne. Transportons-le en G''' et décrivons le profil en travers passant par ce point. Élevons la perpendiculaire G''o à GG' et portons Gn de G''' en n'. Par le point n' menons parallèlement à G'G'' la ligne n''n''' directrice et tangente du bombement que nous tracerons ainsi que les précédents.

Tracé de la même coupe dans le 4.^e cas du N.^o 531.

Dans ce cas on marquera du côté d'aval le mur de soutènement pp'p'' sans basses fondations s'il est établi sur le rocher, ou avec des fondations convenables si le sol est terre ou argile. Il n'y aura point de fossé latéral.

On en désignera pareillement un du côté d'amont avec des fondations au-dessous du fossé latéral adjacent si le sol est en terre ou en argile, et si le sol n'est que rocher, on supprimera le mur.

Le côté d'amont du fossé latéral sera taillé d'aplomb si ce fossé est creusé dans le rocher, ou en talus convenable s'il est creusé dans la terre. Dans l'un et l'autre cas le côté o'o'' de la coupe suivra la direction du côté o' o'' du fossé.

537. Le repère 5.^{me} est placé dans un bas-fond à franchir par un pont. Après avoir transporté ce repère en K''', tracé le profil transversal par ce point et élevé au même point la perpendiculaire K'''q, on portera successivement la hauteur Kq' de l'intrados, celle Kq'' de l'extrados et celle Kq''' de la ligne du milieu OP de l'aire de la route, de K''' en r, r' et r'' respectivement. Les lignes tirées par chacun de ces trois points parallèlement à K'K' représenteront respectivement l'intrados et l'extrados de la voûte et la directrice du bombement.

Tracé de la même coupe dans le 5.^e cas du N.^o 531.

On prendra donc la moitié de la largeur de tête à tête et on la portera de r' en s et en s' . Ensuite on tracera le bombement, les banquettes et les parapets d'après les dimensions qui auront été arrêtées.

Observation sur les détails.

538. Au surplus nous croyons inutile d'entrer dans de plus grands détails sur cet objet. Comme en général il n'y est guères question que de talus relatifs à des déblais et à des remblais, on peut se conformer à ce que nous avons dit à ce sujet dans la section 1.^{re} où nous avons aussi parlé des ouvrages d'art.

§ II.

Du profil des routes en exercice.

Observation préliminaire.

539. Qu'on se rappelle ce que nous avons dit plus haut (402 et 405), et l'on sentira aisément que les profils tant en long qu'en travers des routes en exercice exigent des détails particuliers dans lesquels il est indispensable d'entrer, soit à cause de l'irrégularité de situation des repères qu'on est obligé de prendre, soit à cause des changemens en augmentation ou autrement qu'on peut faire aux ouvrages. Nous allons donc examiner la manière de rapporter ces sortes de profils sur le papier.

Construction du profil longitudinal.

fig. 73.

540. Soit donc (fig. 73.) ABCDEFGHKL la ligne du profil longitudinal sur l'axe d'une route en exercice et rapportée à l'axe de niveau MN par le moyen des abscisses et des ordonnées, ainsi qu'il a été prescrit au chapitre IX. Conformément à ce qui a été dit au N.° 402 on aura soin de profiler aussi la partie COE du bas-fond où la route est établie sur une chaussée percée d'un pontceau. Nous supposerons qu'on ait pris des re-

repères fixés au droit des points B, D, F, H, L. Ces repères (402) n'étant point sur l'axe, mais sur des bornes latérales ou à des endroits immuables pris hors de la route, et pour cette raison étant ordinairement plus hauts ou plus bas que les points correspondants de l'axe, sont marqués ici par les croix respectives B', D', F', H', L', dont le centre qui exprime leur position est placé sur l'ordonnée y relative au-dessus ou au-dessous du profil de la quantité égale à la différence trouvée par le nivellement.

541. Prolongeons au-dessus du profil longitudinal les ordonnées correspondantes à chaque repère. D'après ce qui précède on sait que ces ordonnées prolongées sont les directrices des profils en travers et que c'est sur ces prolongemens qu'il faut supposer les repères pour procéder au tracé de ces derniers profils sur le papier. Mais ces repères peuvent être situés à droite ou à gauche de l'axe sur le terrain. Il faudra donc sur le papier les placer ou à la droite ou à la gauche du profil transversal selon qu'ils se trouveront sur le terrain par rapport à l'axe. Or d'après ce qui a été dit (377) en avançant de A vers L la partie du prolongement des ordonnées la plus voisine du profil en long représentera la droite et la partie la plus éloignée désignera la gauche. Par conséquent lorsqu'on voudra rapporter sur le papier les profils en travers, les repères seront supposés sur les ordonnées prolongées dans la partie la plus proche ou la plus éloignée du profil en long, selon qu'ils seront situés sur le terrain à droite ou à gauche de l'axe.

Comment on doit désigner les repères sur les profils en travers.

542. Dans ces sortes de profils il y a deux cas. Le premier est celui où il s'agit d'une route en bon état et à laquelle on n'a aucun changement à faire, mais

Ces profils supposent deux cas.

qui n'a jamais été profilée. Le second est celui où la route n'ayant pas les dimensions nécessaires, on a le projet de l'élargir, de l'exhausser, etc.

Observations générales sur ces deux cas.

543. Dans l'un et l'autre cas, il est indispensable de profiler préalablement la route telle qu'elle est. Nous avons supposé (540) le profil en long rapporté conformément à ce qui a été expliqué au Chapitre IX. Il nous reste à parler des profils en travers, et c'est de quoi nous allons nous occuper. Nous traiterons ensuite du second cas.

1.^e Coupe en travers relative au 1.^{er} cas.

544. Le repère B' est supposé hors et à gauche de la route et inférieur au point correspondant B de l'axe de la quantité BB'. Transportons donc (541) le repère de B' en B'', et traçons le profil transversal d'après les règles prescrites et d'après le nivellement y relatif. Nous supposons que nous aurons la ligne $aB''a''a'''bb'b''b'''cc''c'''dd'd''$ dans laquelle $a''a'''b$ et $c''c'''d$ représentent les deux fossés latéraux, bb' et $c'c''$ les deux bermes et $b'b''b'''cc'$ la chaussée.

2.^e Coupe en travers relative au 1.^{er} cas.

545. Supposons que le repère D' soit situé à la droite et hors de la route, et qu'il soit plus bas que le point correspondant D de l'axe de la quantité DD'. Nous devons (541) porter le repère de D' en D''. Traçant ensuite le profil, nous aurons la figure $ff'f''f'''gg'g''g'''hh'D''$ sur laquelle $ff'h'D''$ qui se confond avec le prolongement de D'D'' représentera la ligne de terre, $f''f'''g''h$ l'épaisseur de la voûte du pontceau prise à la clef, et $f''gg'g''g'''$ la chaussée supportée par la voûte.

3.^e Coupe en travers relative au 1.^{er} cas.

546. Le repère F' est supposé placé sur une borne au bord de l'empierrement ou du pavé et à gauche de l'axe au point correspondant duquel il est supérieur de la quantité FF'. En conséquence (541) il sera transporté en

en F". Traçant donc le profil, nous supposons qu'on aura la ligne $h''kk'k''k'''ll'l''mm'm''m'''n$, dans laquelle $h''k$ et $m'''n$ représentent la ligne du terrain extérieur, $kk'k''$ et $m'm''m'''$ les deux fossés latéraux, $k''k'''$ et $l''m$ les deux bermes et $k'''ll'l''$ la chaussée.

547. Au point H la route est supposée placée sur un penchant dont la pente est de droite à gauche. Le repère H' y est pris hors de la route, à droite et sur le penchant supérieur, et il est supposé plus élevé que le point correspondant de l'axe de la quantité HH'. Il faudra donc (541) laisser le repère au point H' et décrire le profil que nous supposons devoir être la ligne $n'n''n'''oo'o''o'''pH'p'$, sur laquelle $n'n''$ et $pH'p'$ représentent le terrain naturel adjacent, $o'o''o'''p$ le fossé latéral du côté d'amont et $n'n''n'''oo'o''$ la chaussée avec ses deux murs de soutènement.

4.^e Coupe en travers relative au 1.^{er} cas.

548. La route au point L est encore supposée placée sur un penchant, mais dont la pente est de gauche à droite et le repère L' est pris sur ce même penchant hors et à gauche du chemin. Il faut donc le transporter au point L'' (541). Ensuite on tracera le profil que nous supposons être la ligne $p''L''p'''qq'q''q'''rr'r''$ dans laquelle $p''p'''$ et $r'r''$ représentent le penchant adjacent, $p'''qq'q''$ le fossé latéral du côté d'amont et $q'q''q'''rr'$ la chaussée avec ses deux murs de soutènement.

5.^e Coupe en travers relative au 1.^{er} cas.

549. Ces exemples suffisent pour faire voir comment on doit s'y prendre dans les autres cas pour rapporter sur le papier les profils en long et en travers d'une route en exercice. Il nous reste à voir à présent la manière de procéder si l'on veut agrandir ou exhausser la route.

Observation sur les coupes précédentes.

550. Supposons qu'on veuille établir l'axe de la route d'après des pentes réglées sur la ligne PQRSKT et qu'au

5. Coupes en travers relatives au 2.^e cas.

lieu de 8 mètres de largeur que nous avons donnés à la première on en donne 12 à la seconde

1.° Au repère B' on portera B'B''' de B'' en B⁴, et parallèlement à B'''B'' on tirera la ligne B⁴B⁵ qui sera la directrice du bombement. Par le milieu b''' du bombement de la première route on menera e'e'' perpendiculaire à B''B''' et à B⁴B⁵. Par le moyen des deux lignes B''B''' et e'e'' et d'après ce qui a été dit (532-537) on décrira le profil transversal de la nouvelle route et de ses dépendances tel qu'il est désigné par la ligne ponctuée.

2.° Au repère D' on prendra D'D''' et on la portera de D'' en D⁴. Par le point D⁴ on tirera la ligne D⁴D⁵ parallèle à D'f et par le point g' la ligne E'E'' perpendiculaire à cette dernière. Ces lignes suffisent pour tracer le nouveau profil ponctué.

3.° La ligne QR passant par le repère F', la ligne F'F'' sera la directrice du bombement. A l'aide de cette ligne et de sa perpendiculaire G'G'' passant par le point l', on décrira aisément le nouveau profil tel qu'on le voit par la ligne ponctuée.

4.° Au repère H' prenons H''H' et portons-la au point H''' par lequel nous menerons H'''H⁴ parallèle à H''H'. Nous tirerons ensuite par le point o la perpendiculaire K'K'' qui, conjointement avec H'''H⁴ nous fournit le moyen de décrire le nouveau profil ponctué dont il s'agit.

5.° Au repère L' on portera L'T de L' en T' et l'on tirera successivement T'T'' parallèle à LL'' et sa perpendiculaire M'M'' passant par q''. Au moyen de ces lignes on décrira le profil ponctué ainsi qu'il a été dit.

Observation à ce sujet.

551. Nous avons supposé que l'axe était constamment dans le même plan vertical pour chacune de ces deux routes. Si néanmoins la chose ne devait pas être ainsi,

on opérerait toujours de la même manière après avoir tiré la ligne de milieu $e'e''$, $E'E''$, etc. , par le point qu'on aurait choisi pour être le milieu de la chaussée.

SECTION IV.

Application au profil des rivières.

552. Nous n'examinerons ici que trois cas d'après les- Distinction de trois cas.
quels on pourra se diriger pour tous les autres. Ces trois cas sont , savoir :

1.° Celui où la rivière est réunie en une seule branche , et laisse sur l'un des bords un certain espace qu'elle couvre dans le temps des hautes eaux.

2.° Celui où elle se divise en deux branches séparées par une île qui n'est couverte que dans les grandes crues.

3.° Enfin celui où de chaque côté elle est bordée d'un quai.

553. Soient AA' (*fig. 74*) la ligne longitudinale du fond du lit d'une rivière , BB' celle de la surface de basses eaux , Construction du profil longitudinal.
 CC' celle de la surface des eaux moyennes , et DD' celle de la surface des plus hautes eaux , le tout tracé ainsi qu'il a été dit plus haut (407-416 et 430.431). Soient pareillement les repères H , K et L rapportés à leurs hauteurs respectives tant au-dessus du fond qu'au-dessus des lignes des basses , moyennes et hautes eaux (413). Tirons les trois lignes de niveau EE' , FF' et GG' . D'après ce que nous avons dit 469 et 470 on marquera sur la première l'intervalle des ordonnées ; sur la seconde on désignera la distance d'un repère à l'autre , et sur la troisième on coterà la distance de chaque repère au point de départ. Menons

Fig. 74.

pareillement par les repères H, K et L les ordonnées HH', KK' et LL' que nous prolongerons vers H', K' et L'.

Coupe en travers
relative au 1.^{er} cas.

554. Prenons d'abord le repère H au droit duquel la coupe transversale est dans le 1.^{er} cas du N.^o 552. Nous supposons que ce repère est situé sur la rive droite de la rivière. Par conséquent (377) nous le laisserons subsister pour la coupe en travers dans la position où il se trouve pour la coupe en long. Partant de ce point on tracera le profil en travers $aa'a''bb'b''$ d'après le nivellement y relatif de la forme de celui exposé au N.^o 435 ou à-peu-près, et d'après ce qui a été dit aux N.^{os} 494-498. On portera ensuite Hc, Hc' et Hc'' successivement de H en d, en d' et en d'' sur la ligne Hd'' perpendiculairement à HH', et par les points d, d' et d'' on tirera les lignes df , $d'f'$ et $d''f''$ parallèles à HH'. Ces lignes exprimeront, savoir : df la surface des basses eaux ; $d'f'$ celle des eaux moyennes et $d''f''$ celle des hautes eaux.

Coupe en travers
relative au 2.^e cas.

555. La coupe transversale au droit du repère K est dans le 2.^{me} cas du N.^o 552. Ce repère est situé sur la rive à gauche. En conséquence (377) on le transportera au point K' d'après lequel on tracera le profil $gg'g''hh'h''$, et on tirera les lignes kk' , ll' et mm' des basses, moyennes et hautes eaux, ainsi qu'il a été dit au N.^o précédent.

Coupe en travers
relative au 3.^e cas.

556. Au droit du repère L la coupe transversale est dans le cas du N.^o 552. 3.^o Ce repère est supposé sur le quai à droite de la rivière. On le laissera donc subsister au point L (377) et on décrira le profil tant des quais que du lit de la rivière accompagné des lignes des basses, moyennes et hautes eaux, ainsi qu'il a été dit pour les profils au droit des repères H et K.

CHAPITRE XI.

Observations sur l'usage des profils longitudinaux et transversaux.

557. **J**USQU'À présent nous avons parlé de la manière de prendre les profils sur le terrain et de les rapporter sur le papier. Il nous reste à dire un mot de leur usage dans les projets. Mais auparavant nous devons observer que les profils étant particulièrement destinés à évaluer les toisés des déblais et remblais, sont ordinairement inséparables de la connaissance de la nature du terrain à exploiter, connaissance que l'on ne peut acquérir que par les sondes. Ainsi avant de traiter des autres objets, nous allons parler de la manière de sonder le terrain sur lequel on doit opérer.

1.^{re} Observation.

558. Nous devons observer que notre objet n'est point de donner ici la manière de faire les toisés des travaux à exécuter. Ces procédés trouveront leur place naturelle dans les traités *ex professo* relatifs à ces mêmes travaux. D'ailleurs comme il ne s'agit que de mesurer des solides dont la forme et les dimensions sont connus, il ne faut que l'application des principes de la géométrie. Il nous suffira donc d'indiquer la manière d'employer les profils pour y parvenir.

2.^e Observation.

SECTION PREMIÈRE.

Description et usage des sondes.

Ce que c'est que
sonder le terrain.

559. *Sonder le terrain* est s'assurer de la nature des matières qu'on a à exploiter. Si, par exemple, il s'agit de creuser un canal, il faut savoir préalablement si l'on ne trouvera que de la terre, ou si l'on rencontrera le rocher, le tuf, etc. Cet objet est d'autant plus essentiel, qu'il influe tout à la fois sur la forme à donner aux coupes et sur les prix des travaux. Au surplus il est inutile d'observer qu'on n'a besoin de sonder le terrain que dans le cas où l'on a des fouilles à faire ou des pilots à enfoncer : car on sent que la chose est superflue lorsqu'on n'a que des remblais.

Trois manières de
sonder le terrain.

560. Il y a trois manières de sonder le terrain. La première manière qui est particulièrement en usage lorsqu'on n'a à creuser qu'à de très-petites profondeurs et à sec, consiste à se servir simplement de la pioche ou du louchet.

La seconde manière qu'on emploie lorsqu'on est obligé de creuser à de grandes profondeurs ou dans l'eau, consiste à se servir de la sonde dite *anglaise*.

La troisième manière en usage à sec et à des profondeurs moyennes est d'employer la tarière du mineur.

Description de la
sonde anglaise.

561. La sonde anglaise est en fer. Elle est composée de plusieurs pièces terminées à écrou par un bout et à vis par l'autre. Par ce moyen toutes ces pièces peuvent s'assembler bout-à-bout et allonger l'instrument à volonté.

Ces pièces ne sont pas toutes de la même longueur.

Les plus longues ont ordinairement 4 mètres et les plus courtes 1 mètre. Les autres en ont 2 et 3.

La forme de ces pièces est prismatique quadrangulaire, dont les angles sont coupés à pans. Le carré produit par la section a environ 4 ou 5 centimètres de côté.

La première pièce a ordinairement 1 mètre 30 centimètres de longueur. Sa tête est un peu renflée et percée d'un trou cylindrique d'environ 7 centimètres de diamètre destiné à recevoir un levier pour faire tourner la machine. L'autre extrémité porte un écrou.

Outre ces pièces il y a encore deux mèches qui sont les parties essentielles de la machine.

Qu'on se figure un cylindre creux d'environ 6 centimètres de diamètre extérieur ouvert dans sa longueur sur le quint ou le sixième de son pourtour, terminé dans le bas en forme de tarière ou de vilebrequin, fermé par le haut et portant une vis. Telle est la première de ces deux pièces qu'on n'emploie que dans la terre, l'argile et les autres matières qui opposent peu de résistance. Dans ce cas la partie évuidée se remplit des matières dans lesquelles elle s'enfonce et dont elle fait connaître la nature à mesure qu'on la retire. Cette pièce est ordinairement de 7 décimètres de longueur et elle s'adapte d'abord à la tige de tête et ensuite aux autres successivement à mesure que la sonde s'enfonce à une certaine profondeur.

La seconde de ces deux pièces est un ciseau à redans. Sa largeur est un peu plus forte que le diamètre extérieur de la première. Sa longueur est d'environ cinq décimètres. Elle est terminée dans la partie supérieure par une vis qui peut aussi s'adapter aux autres parties. Sa destination est d'être employée à percer le rocher, le tuf

et en général toutes les matières qui résistent à la tarière.

Comme la tige de tête ne s'emploie qu'au commencement de l'opération, lorsqu'on lui en substitue d'autres qui ne peuvent pas recevoir le même levier, on se sert pour tourner la machine de deux leviers en fer d'environ 66 centimètres de longueur et à-peu-près de même forme et de même grosseur que les tiges de la sonde. Ces leviers s'évasent à un des bouts où ils portent une échancrure quadrangulaire de calibre avec les tiges qu'elle reçoit et qu'elle embrasse. On peut alors faire tourner circulairement la sonde sur elle-même.

Enfin pour retirer la sonde lorsqu'on a cessé d'employer la tige de tête, on se sert de deux anneaux particuliers faisant les fonctions d'anses et qui sont construits ainsi que nous allons le dire. Qu'on se forme l'idée de deux quarrés de calibre avec les tiges de la sonde; que ces deux quarrés soient ouverts d'un côté et qu'ils soient ensuite assemblés de manière que leurs plans soient d'équerre et que leurs ouvertures soient extérieures l'une à l'autre. On aura l'anneau à anse dont il s'agit. Nous n'avons pas besoin de dire que ces anneaux doivent aussi être en fer.

Ce sont là toutes les parties qui entrent dans une sonde. Pour les mieux concevoir nous croyons à propos d'en donner une description succincte sur la figure 75.

Fig. 75.

AB est la première pièce dont la tête est percée par un trou cylindrique C qui reçoit un levier et dont l'extrémité inférieure B est creusée en écrou. DE est une des pièces additionnelles. A l'un de ses à-bouts D elle porte une vis qui est reçue par l'écrou en B; et à l'autre E elle est percée par un écrou le même que ce dernier. F représente la coupe à pans de ces deux pièces.

GH

GH est la mèche à tarière portant dans la partie supérieure la vis G destinée à être reçue par les écrous en B et E.

K est la coupe qui représente l'évuidement de cette pièce.

LM est le ciseau destiné à percer les matières dures et portant une vis dans sa partie supérieure L pour pouvoir s'adapter aux autres pièces.

N est la coupe de ce ciseau suivant la ligne VX.

OP est le levier dont l'enfourchure en O doit recevoir le corps de la pièce DE. La partie Q est le plan de l'anneau destiné à servir d'anse pour retirer la machine, et la partie T en est la coupe prise sur la ligne RS.

562. L'usage de cette machine exige un certain échafaudage plus ou moins compliqué, selon qu'on opère dans l'eau ou à sec, à une profondeur plus ou moins considérable, etc. Cet échafaudage est destiné 1.^o à tenir constamment la machine d'aplomb; 2.^o à la retirer pour évacuer les matières amassées dans la pièce GH, pour changer quelque partie, en ajouter quelqu'autre, etc.

La manière de s'en servir est la même que celle de la tarière. Au lieu de poignée on emploie le levier pour la faire tourner; et lorsque la pièce GH est remplie, on retire la machine pour la vider.

A mesure qu'on s'enfonce on ajoute successivement des pièces additionnelles; et si l'on trouve une barre de rocher ou de tuf à percer, à la partie GH on substitue le ciseau LM.

563. La tarière du mineur est composée d'une poignée en bois AB (*fig. 76*) adaptée à une tige de fer CD de même forme que DE (*fig. 75*), mais moins épaisse. Il y a ordinairement plusieurs pièces additionnelles telles

Usage de cette sonde.

Description de la sonde du mineur.

Fig. 76.

que EF qui s'assemblent à vis, ainsi que celles de la sonde anglaise, ou par enfourchement et par le moyen de vis à tête arrêtées par des écrous.

A toutes ces pièces est jointe la pièce essentielle GH la même, aux dimensions et à très-peu de chose près que GH (fig. 75) et qui s'assemble avec les autres de la même manière.

Usage de cette sonde.

564. Cette sonde exige beaucoup moins d'appareil que la précédente : seulement il faut la charger pour la faire mordre, au lieu que la sonde anglaise n'a besoin que de son propre poids. D'ailleurs on ne sonde avec cette tarière que jusqu'au rocher : car ordinairement on n'y adapte pas de ciseau. Du reste la manière de se servir de l'une ou de l'autre est la même que celle dont on se sert d'une tarière.

SECTION III. Usage des profils des canaux.

Les profils sont nécessaires au toisé des travaux.

565. Lorsqu'on dresse le devis d'un canal, il est indispensable de connaître préalablement le toisé non-seulement de tout ce qui tient aux ouvrages d'art tels que ponts, aqueducs, déversoirs, murs de soutènement, etc., mais encore de tous les déblais et des remblais pour chaussées. Dans le calcul des déblais il faut de plus distinguer les diverses qualités de matières à déblayer, telles que la terre franche, l'argile, le tuf, le rocher, etc. Les dimensions de ces divers élémens doivent donc être connues et par conséquent représentées sur les profils d'après les sondes. Des exemples rendront la chose plus sensible.

566. Soit AB (fig. 77) une portion de profil en long d'un canal dont CD est la ligne de plat-fond, AB' la ligne de couronnement des chaussées et l'horizontale EF l'axe des abscisses. Nous supposerons que la partie GH forme sensiblement une ligne droite, c'est-à-dire, qu'il n'y a ni flâques ni éminences bien remarquables. Nous supposerons encore qu'en sondant aux points G et H et à d'autres points intermédiaires pris à des distances connues de G on ait trouvé à une certaine profondeur le rocher caché sous une couche de terre. En rapportant ces profondeurs aux points y relatifs du profil GH, on aura la ligne de superficie du rocher KL. Ainsi dans cette partie de profil, GKLH exprimera de la terre et KMNL du rocher à déblayer.

Comment on détermine les lignes de division des diverses matières sur un profil en long.

Fig. 77.

567. Au droit des points extrêmes G et H de cette même partie et conformément à ce qui a été prescrit (494-498) traçons les profils transversaux OPQ, RST, accompagnés des coupes du canal *abdefgQ* et *hiklmT*. Sur chacun de ces profils en travers on doit avoir fait deux sondes particulières, l'une à droite et l'autre à gauche des points P et S et à des distances connues de chacun de ces deux points. A l'aide de ces sondes on aura déterminé la position du rocher dont nous supposons que la ligne de superficie dans ce sens est respectivement *no* et *pq*. Par conséquent dans la première de ces coupes, on aura 1.^o *nosr* pour la section du terrain à déblayer; 2.^o *ndeo* pour celle du rocher à enlever; 3.^o *abcr* et *sfgQ* pour celle des remblais à former; et dans la seconde on aura 1.^o *hpqkt* pour la section du déblai en terre; 2.^o *piq* pour celle des déblais en rocher; 3.^o *tlmT* pour celle des remblais.

Détermination des sections des diverses matières sur les profils en travers.

Solides résultans
pour le toisé des dé-
blais et des remblais.

568. D'après cela on sentira aisément la manière dont il faut procéder au toisé des divers genres d'ouvrages de cette partie. En effet :

1.° Le déblai de la partie en terre est représenté par un solide dont les deux bases opposées et parallèles sont les figures *nosr* et *hpqkt*, et dont la hauteur est *E'F'*.

2.° Le déblai de la partie en rocher forme un autre solide à bases parallèles représentées par les figures *ndeo* et *piq*, et dont la hauteur est pareillement *E'F'*.

3.° Le remblai de la chaussée à droite forme aussi un solide à bases parallèles *sfgQ* et *ilmT*, et de même hauteur *E'F'*.

4.° Enfin le remblai de la chaussée à gauche forme une espèce de coin dont la tête est la figure *abcr*, dont la pointe aboutit à *h*, et dont la longueur perpendiculaire à la tête est encore *E'F'*.

Cas où il n'y a pas
diversité de matières.

569. Si l'on suppose que le rocher disparaisse, les figures *ndeo* et *piq* s'anéantiront, et dans ce cas le déblai du rocher étant nul, celui de la terre sera représenté par le solide dont les bases opposées et parallèles seront exprimées par les figures *rdes* et *hikt* et la hauteur par *E'F'*.

Cas où il y a des murs
de soutènement.

570. Si la grande déclivité du terrain sur lequel on établit le canal ne permettait pas que l'on construisît la chaussée à droite et qu'il fallut lui substituer un mur de soutènement dont les coupes seraient tracées de la même manière que sur le profil transversal du repère 5.^{me} de la figure 65; le toisé de ce mur serait celui d'un solide dont les bases parallèles seraient représentées par les sections au droit des points *G* et *H* et dont la hauteur serait *E'F'*.

Cas où entre deux coupes
en travers et de même côté
il y a déblai et remblai.

571. Nous avons supposé que la chaussée à gauche

s'anéantissait au point *h*. Mais il est possible que ce point soit inférieur à la superficie du terrain, auquel cas la chaussée s'anéantirait entre G et H, au droit d'un point quelconque. Alors on aurait deux formes de coin dont les têtes seraient respectivement en G et H et les pointes en V, avec cette différence que celui dont la tête serait en G exprimerait un remblai et que l'autre exprimerait un déblai. Pour en déterminer les longueurs on suivra le procédé que nous allons exposer.

Soit AD (fig. 78.) la ligne du couronnement de la chaussée, BC la ligne du terrain sur l'axe de la chaussée à gauche, AB la hauteur de cette chaussée au point B, et CD la hauteur du terrain au-dessus de la banquette formant la continuité de la chaussée. On aura : $AB : CD :: AV : VD$; et $AB + CD : AB :: AV + VD = AD : AV$. Or les trois premiers termes de cette dernière proportion sont connus. Donc on connaîtra aussi AV, et par conséquent $VD = AD - AV$.

fig. 78.

Par où l'on voit la manière de déterminer la longueur EV' et VF' (fig. 77) des deux coins dont il s'agit.

Fig. 77.

572. Pour peu qu'on y fasse attention on verra que la cubature de tous ces divers solides se rapporte soit immédiatement soit par décomposition au prisme ou à la pyramide entière ou tronquée. Mais pour cela il faut que GH puisse être sensiblement regardée comme une ligne droite et que le plan passant par les lignes de terre OQ et RT, quoique plus ou moins gauche, ne soit point dégradé par des inégalités saillantes ou rentrantes : car dans ce cas il est visible que la face du solide de terre qui est terminée par les lignes *rs* et *h'* en altérant la forme du solide, en rendrait aussi le toisé defectueux.

Irrégularité qui peut provenir des inégalités de la surface du terrain.

En quels endroits
alors on doit prendre
des coupes en tra-
vers, s'il y a déblai.

Fig. 79.

573. Il résulte de là que lorsqu'un profil longitudinal contient des éminences ou des bas-fonds, comme, par exemple, le profil ABCDE (fig. 79) dans lequel FG exprime le plat-fond du canal, pour savoir en quels points on doit prendre des coupes en travers, on doit le décomposer en parties AB, BC, CD, DE, telles que les droites tirées de A en B, de B en C, etc., coïncident à-peu-près avec elles. Ces divers points A, B, C, etc., seront alors ceux où l'on doit prendre les profils transversaux, et l'on opérera sur chaque partie AB, BC etc., de la manière que nous avons indiquée pour la figure 77.

On s'il y a remblai.

Fig. 80.

574. Soit encore ABCDEF (fig. 80), une partie du profil en long d'un canal dont le plat-fond est GH. Il est visible qu'il doit y avoir remblai sur la partie BCDE. D'après ce que nous venons de dire (573) on trouvera que c'est au droit des points C et D qu'il faut prendre des coupes transversales par le moyen desquelles on aura le toisé des remblais.

Comment par les
coupes en travers,
on connaît la pro-
fondeur des soupi-
raux des percemens
souterrains.

Fig. 65.

575. Nous avons parlé au N.º 510 du cas où un canal devrait passer à travers une montagne EFV"GH (fig 65) trop élevée pour être déblayée à ciel ouvert. Lorsque ces percemens souterrains ont une certaine longueur, si l'on veut en accélérer la confection ou les aérer, on pratique des puits ou des soupiraux qui partant de la superficie du terrain aboutissent au plat-fond du canal.

Supposons donc qu'il soit question de pratiquer des puits aux points F, V" et G. Le profil longitudinal exprimera leur profondeur respective par les ordonnées FF', V"V' et GG'.

Cubature des déblais
des percemens sou-
terrains.

576. La coupe transversale d'un percement telle qu'elle est représentée sur la même figure au droit du repère 4.^e donnant les dimensions en largeur et hauteur du

canal souterrain, et le profil longitudinal en désignant la longueur, on aura les trois élémens nécessaires pour en connaître la cubature.

577. Quant aux ponts, aqueducs, déversoirs, etc., l'usage est d'en développer les détails sur une plus grande échelle qui puisse donner avec exactitude jusqu'aux centimètres. Or on sait que c'est par la combinaison du plan et des coupes qu'on peut en prendre la cubature.

Cubature des ouvrages d'art.

SECTION III.

Usage des profils des aqueducs.

578. Dans la construction des aqueducs, on doit distinguer deux choses, savoir : les ouvrages d'art et les déblais à faire pour les établir. Ainsi pour en dresser le devis estimatif il est indispensable de connaître la cubature de chacun de ces deux objets avec la diversité des élémens qui y entrent. Par exemple, dans les ouvrages d'art on doit distinguer la pierre du moëlon et dans les déblais on doit mettre la même distinction entre la terre, le sable, le rocher, le tuf, etc.

Objets à distinguer dans les aqueducs.

579. Pour toiser les déblais, la première chose à faire est de déterminer la largeur du plat-fond et les talus à donner aux côtés de la tranchée. En traçant cette coupe sur les profils transversaux et en se conformant d'ailleurs à tout ce que nous avons dit dans le § précédent sur le toisé des déblais des canaux, on aura la cubature des déblais de l'aqueduc.

Cubature des déblais d'un aqueduc.

580. Les remblais des aqueducs n'ont lieu qu'en bâtisse (530). Or en développant cette partie du profil (577) et en comparant le plan avec les coupes tant en long

Cubature des ouvrages d'art dans les bas-fonds.

qu'en travers, on en connaîtra le cube avec toute la précision possible.

Cubature des ouvrages d'art courans.

581. La cubature de la partie courante des ouvrages d'art, quelle que soit leur forme, se trouvera aisément par le moyen de la coupe en travers et de la longueur. Ainsi après avoir choisi sur les quatre formes représentées par les figures 66, 67, 68 et 69, et avoir pris la superficie 1.^o de la pierre; 2.^o des libages; 3.^o du moëlon, on multipliera successivement chacune de ces trois quantités par la longueur de la partie sur laquelle on conservera cette forme.

SECTION IV.

Usage des profils des routes.

§. I.

Usage des profils des routes à construire.

L'usage des profils est le même que pour les canaux.

582. Dans la construction à neuf d'une route, il y a ordinairement des déblais et des remblais. Les déblais peuvent être composés de diverses matières telles que la terre, le rocher etc. Les remblais sont en terre et peuvent être accompagnés de murs de soutènement. Or tous ces divers objets se toisent d'après les profils tant en long qu'en travers et d'après ce que nous avons dit dans la section II sur le toisé des déblais et des remblais des canaux.

§. II.

§ II

Usage des profils des routes en exercice.

583. Dans les routes en exercice et qu'on ne se propose pas d'agrandir le profil le plus intéressant est le profil longitudinal. Sa destination principale est de faire connaître les pentes comparativement aux longueurs.

Dans les routes qu'on n'agrandit pas, le profil en long est le plus intéressant.

584. L'inspection seule de la figure 73 fait voir qu'une route déjà construite et à agrandir peut exiger les mêmes ouvrages qu'une route à construire à neuf, c'est-à-dire, qu'il peut y avoir des déblais et des remblais accompagnés de murs de soutènement. Les profils en travers donnent la coupe des uns et des autres. Ainsi à cet égard nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit (section III) pour en avoir la cubature.

Dans les routes à agrandir, la cubature des ouvrages se connaît par les profils en long et en travers.

fig. 73.

SECTION V.

Usage des profils des rivières.

585. Nous avons observé (406) que le profil longitudinal du lit d'une rivière était principalement nécessaire lorsqu'il s'agit de la navigation. En effet on peut voir dans la 3.^{me} partie de notre *Essai sur la théorie des torrens et des rivières* N.º 435, que la navigation d'une rivière dépend de sa pente et de la profondeur de ses eaux. C'est donc par le profil en long qu'on s'assure si la pente est telle que la navigation l'exige, ou si dans certains endroits elle est trop forte et si par conséquent il faut la racheter par des écluses dont alors il est aisé de déterminer le nombre et la hauteur des chûtes.

Usage du profil en long pour la navigation.

Usage du profil en travers pour la construction des ponts et la navigation.

586. Nous avons pareillement observé (418) que les profils en travers du lit d'une rivière étaient surtout nécessaires lorsqu'il s'agissait de la construction d'un pont ou de la navigation. En effet;

1.° Dans la construction d'un pont c'est d'après le profil et la ligne des plus hautes eaux qu'on détermine le nombre, la largeur et la montée des arches nécessaires pour fournir le passage convenable à la rivière prise dans le temps des plus fortes crues. Si ensuite on sonde le fond, on s'assurera si l'on pourra établir les ouvrages sur le rocher ou s'il faudra piloter.

2.° Pour la navigation non-seulement il faut une certaine profondeur d'eau, mais encore il est nécessaire d'avoir un lit d'une largeur convenable. Or tout cela ne peut se constater que par les profils en travers.

Usage du même profil pour la réduction du lit des rivières.

Fig. 74

587. Ces derniers profils ont encore l'avantage d'être nécessaires lorsqu'il s'agit de réduire le lit d'une rivière qui a trop de largeur, ainsi que la chose a lieu dans le cas mentionné au N.° 552. 1.° et détaillé au N.° 554. Qu'on prenne en effet la coupe en travers correspondante au repère H (*fig. 74*), sur laquelle il faut gagner la partie *a'a*" de terrain qui n'est couverte que par les plus hautes eaux dont la surface s'élève à la ligne *d'f*". D'après les N.°s 332 et 333 de notre *Essai sur la théorie des torrens et des rivières*, il suffira de construire sur la ligne *a'a*" une chaussée accompagnée d'un épéron et dont le couronnement soit supérieur à la superficie des plus hautes eaux. Ce profil servira donc à dresser celui de la chaussée dont il s'agit.

CHAPITRE XII.

DE LA MANIÈRE DE DRESSER LES TABLES
DE NIVELLEMENT.

SECTION PREMIÈRE.

*De la dresse d'une table de nivellement pour les canaux
et les aqueducs**De la table de nivellement pour un canal d'irrigation.*

588. **N**ous avons vu (337) que la route d'un canal doit être marquée par des repères en pierre portant chacun leur N.^o et (293) que l'on doit se rapporter aux repères de vérification qui se trouvent à portée et dont on a fait usage pour constater la possibilité du projet. Ce sont ces divers points qui doivent entrer dans la table et auxquels il faut se rapporter comme à des termes de comparaison fixes, lorsqu'il sera question d'exécuter le canal et d'établir son plat-fond à la profondeur convenable. Les termes de vérification sont surtout essentiels-

Quels sont les points à faire entrer dans une table de nivellement,

lement nécessaires, à cause qu'étant immobiles (177 et 178) ils ne peuvent pas être dérangés; au lieu qu'on ne peut pas répondre de la même stabilité dans les repères d'art mentionnés au N.º 337.

On doit rapporter ces points à un axe horizontal.

589. Il ne suffit pas de rapporter le plat-fond du canal à ces repères soit artificiels soit naturels; il faut encore que ces repères soient eux-mêmes rapportés à un axe horizontal passant par un point fixe et immuable et dont la position soit connue (364). Ce point est arbitraire et il peut être pris au commencement ou à la fin du projet indistinctement. Cependant comme on est toujours censé mieux connaître l'endroit où l'on doit faire aboutir les eaux que celui où on les dérive, il paraît plus à propos le point dont il s'agit vers la fin du projet. C'est ainsi de choisir qu'à opéré M. Perronnet dans son projet de canal de l'Yvette.

On doit aussi faire entrer dans la table les distances des repères.

590. Un élément essentiel à faire entrer dans cette table est la distance d'un repère à l'autre: car la position des repères par rapport à l'axe de comparaison (589) et au plat-fond du canal (588) donnera la pente de ce plat-fond entre deux repères quelconques. Mais à la rigueur la pente n'est point absolue; elle est seulement relative à la distance.

Et la pente du plat-fond d'un repère à l'autre.

591. Ce sont là les trois élémens que M. Perronnet a fait entrer dans la table relative au canal de l'Yvette, et nous devons convenir qu'à la rigueur ils suffisent, puisque par le moyen d'une soustraction on peut connaître la pente du plat-fond d'un repère à l'autre. Cependant nous devons observer que le premier avantage d'une pareille table doit être de présenter tous les résultats au premier coup-d'œil sans qu'il soit nécessaire de faire aucune opération supplémentaire. Ainsi

nous pensons qu'il est à propos de mentionner dans ces sortes de tables la pente partielle du canal entre deux repères consécutifs quelconques.

592. D'après le même principe nous croyons aussi qu'il est à propos de désigner la distance de chaque repère au commencement du canal, ainsi que la pente totale du plat-fond jusqu'à ce même repère. Cette distance se compose de la somme de toutes les distances partielles de repère à repère, comme cette pente se compose de toutes les pentes partielles antérieures. Il ne s'agit donc que d'une addition pour soulager l'esprit et donner au premier abord des éclaircissemens qui ont toujours leur utilité.

Comme aussi la somme des longueurs et celle des pentes.

593. Il peut arriver que l'exécution d'un projet de canal soit ajournée et que soit par le laps du temps et le tassement des terres, soit par l'effet de la main de l'homme, les repères en pierre qu'on aura placés (337) soient dérangés ou même enlevés en partie. Par ce qui est prescrit au N.º 589 on trouvera aisément la hauteur respective de deux repères consécutifs, puisqu'il ne faudra qu'une simple soustraction.

Comment on retrouvera la hauteur des repères dérangés.

594. Il résulte de tout ce que nous venons de dire que la table d'un nivellement de canal d'irrigation, doit être composé de huit colonnes disposées ainsi que nous allons le dire.

Composition de la table N.º 1.

La 1.^{re} colonne contiendra le N.º de tous les repères placés sur l'axe du canal, et en même-temps les termes de vérification de départ et d'arrivée. Ces derniers ne portant point de N.º seront marqués par une croix dont la position sera désignée dans la colonne des observations.

Sur la 2.^{me} colonne on exprimera la distance d'un repère

quelconque à celui qui le précède ; et lorsqu'il sera question d'un terme de vérification , on marquera la distance du point correspondant au repère précédent.

La 3.^{me} colonne sera remplie par des nombres qui représenteront la longueur parcourue ou la distance totale d'un repère ou du point correspondant d'un terme de vérification au repère 1.^{er} où se trouve le commencement du canal.

La 4.^{me} colonne exprimera la hauteur de chaque repère au terme de vérification rapportée à l'axe de comparaison (58g).

La 5.^{me} colonne désignera la pente du plat-fond du canal entre deux repères consécutifs , ou entre un repère et le point correspondant au terme de vérification le plus voisin.

La 6.^{me} colonne exprimera la pente totale du plat-fond du canal depuis le repère 1.^{er} jusqu'à un repère ou au point correspondant à un terme de vérification quelconque.

La 7.^{me} colonne fera connaître la hauteur de chaque repère ou de chaque terme de comparaison par rapport au point correspondant du plat-fond du canal.

Enfin la 8.^{me} colonne sera affectée aux observations que nécessitent ordinairement ces sortes d'opérations.

Construction de la
figure 81.

595. Soit DEFGHKL (*fig.* 81) le profil du terrain suivant l'axe d'un canal d'arrosage dont le plat-fond est représenté par la ligne MNOPQ , et dont la prise d'eau est au point D. A l'imitation de ce qui a été fait sur la figure 60 d'après ce qui a été prescrit au § 1.^{er} de la section II du chapitre IX , nous rapporterons d'abord les hauteurs de mire au droit des repères et des termes de vérification , ainsi qu'aux changemens de stations ; mais

nous négligerons celles des points intermédiaires et de détail. Ensuite par le terme A nous tirerons la ligne de niveau AR servant d'axe des abscisses et de ligne de comparaison, sur laquelle nous marquerons les distances des ordonnées qui passent par les divers repères et les termes de vérification ; et au-dessous sa parallèle TV sur laquelle nous exprimerons les distances totales des diverses ordonnées à la première. Nous supposerons en même-temps que la pente est, savoir : 1.° de la 130.° partie de la longueur horizontale sur la portion MN comprise entre les repères 1 et 5 ; 2.° de la 300.° partie de la même longueur horizontale correspondante sur la ligne NO comprise entre les repères 5 et 7 ; 3.° de la 150.° partie de cette longueur entre O et P ou entre les repères 7 et 10 ; 4.° enfin de 1.^m8 sur la partie de PQ comprise entre P et l'ordonnée passant par le point A.

596. Cela posé, sur la table N.° I qu'on trouve à la suite des planches des figures, nous marquerons le N.° de chaque repère et nous désignerons les termes de vérification, ainsi qu'on le voit sur la 1.^{re} colonne.

Construction de la table d'après cette figure.

Sur la 2.^{me} colonne et au droit de chaque repère et de chaque terme de vérification nous porterons la distance de ce repère ou de ce terme à celui qui le précède et sur la 3.^{me} colonne nous exprimerons la distance de ce même terme ou repère au repère 1.

D'après ce qui a été dit au N.° 260 nous déterminerons la hauteur de chaque terme et de chaque repère par rapport à l'axe RA et nous la porterons sur la 4.^{me} colonne au droit du terme ou repère respectif.

En divisant par 130 chaque intervalle compris entre les ordonnées correspondantes à RN' ; par 300 chacun de ceux compris entre les ordonnées sur N'O' et par

150 chacun de ceux compris sur O'P', nous aurons les diverses pentes d'un repère à celui qui le précède, et nous les porterons au droit de leurs repères ou termes respectifs dans la 5.^{me} colonne.

Au droit de ces mêmes repères et dans la 6.^{me} colonne nous porterons la pente totale depuis le repère 1.^{er}

Supposant qu'au repère 1 la hauteur de ce repère au-dessus du plat-fond du canal fut de 2.^m600, d'après ce qui a été prescrit aux N.^{os} 307-309 nous trouverons cette même hauteur au-dessus ou au-dessous du plat-fond pour chaque repère et nous la porterons sur la 7.^{me} colonne au droit du repère ou terme y relatif.

Enfin dans la colonne des observations, nous désignerons les termes de vérification et nous ferons toutes les remarques que les circonstances exigeront.

Observation sur les résultats négatifs de la 7.^e colonne.

597. Sur la 7.^{me} colonne on s'apercevra qu'il y a des hauteurs négatives désignées par le signe — qui les précède. Sur cela nous devons observer que la ligne du plat-fond du canal est considérée comme la limite entre le positif et le négatif des ordonnées qui s'y rapportent ; que toutes les ordonnées ou hauteurs qui tombent au-dessus de cette ligne sont regardées comme positives, et que celles qui tombent au-dessous sont réputées négatives. Ainsi dans cette colonne toutes les quantités qui ne portent point de signe étant censées positives, indiquent des hauteurs au-dessus du plat-fond et celles qui sont affectées du signe négatif — désignent des hauteurs au-dessous et font voir qu'en ces endroits le plat-fond est supérieur à ces points.

Cas où l'axe des abscisses aurait été plus élevé.

598. Si au lieu de tirer l'axe des abscisses RA par le point A nous l'eussions tiré par le point C, nous aurions

en

eu une partie du profil qui aurait été supérieure et l'autre partie inférieure à cet axe. Dans ce cas parmi les ordonnées qui expriment les distances des divers repères ou termes de vérification et qui sont portées sur la 4.^{me} colonne, les unes auraient été au-dessus et les autres au-dessous. D'après ce que nous venons de dire (1597) les premières auraient dû être regardées comme positives et les secondes comme négatives ; et en cette qualité affectées du signe —.

599. Il y a néanmoins des cas où l'on doit classer les quantités positives dans une colonne et les quantités négatives dans une autre. La chose doit avoir particulièrement lieu lorsqu'il s'agit de hauteurs ascendantes et descendantes et qu'on veut connaître à chaque repère la différence entre leurs sommes. Mais ce cas est étranger aux canaux d'irrigation et ne peut se rapporter qu'à ceux de navigation dont nous parlerons bientôt.

Cas où le positif et le négatif se trouvent dans deux colonnes différentes.

600. Pour faire la vérification de la table dont il s'agit on doit observer que la hauteur DR du repère i au-dessus de l'axe des abscisses RA et qui est = 11.^m535 se compose savoir :

Comment on vérifie la table de nivellement.

- | | |
|---|---------------------|
| 1. ^o De la quantité DM, qui par la 7. ^o colonne est. | 2. ^m 600 |
| 2. ^o De la pente totale qui par la 6. ^o colonne est. | 8. 119 |
| 3. ^o De la distance de A au plat-fond, qui par la 7. ^o colonne est. | 0. 816 |
| TOTAL. | 11. 535 |

Or, on voit que ce total est égal à DR = 11.535.

§ II.

De la table de nivellement pour un canal de navigation.

Différence entre la table d'un canal d'irrigation et celle d'un canal de navigation.

601. Dans les canaux d'irrigation, le plat-fond a nécessairement (287) une certaine pente, au lieu que (288) dans les canaux de navigation cette pente est nulle. D'autre part dans les premiers il ne peut pas y avoir de contre-pentes, tandis que dans les derniers on en trouve souvent par les hauteurs à franchir. Ainsi la dresse de la table de nivellement d'un canal de navigation s'écartera jusqu'à un certain point de celle de la table d'un canal d'irrigation.

L'axe des abscisses doit être la ligne de plat-fond dans la partie la plus basse.

602. L'axe horizontal est toujours la ligne de comparaison des divers points de remarque tant sur le profil que sur le plat-fond du canal. Soit donc (*figure 82*) FGHKLMNO le profil du terrain suivant l'axe d'un canal de navigation dont les points F et O désignent l'entrée et la sortie respectivement, D le plat-fond au droit de F et P le plat-fond au droit de O. Le point D étant le plus bas du canal, il est visible que c'est la ligne de niveau DE passant par ce point qu'on doit prendre pour ligne ou axe de comparaison. Sa position d'ailleurs sera connue par celle du terme de vérification A qui se trouve aux environs. Nous supposerons ce terme supérieur à l'axe dont il s'agit de 4.^m100.

Fig. 82.

La table doit spécifier le nombre, les chûtes et la qualité des écluses.

603. On voit sur cette figure qu'il se rencontre une butte GHKL à franchir, ce qui ne peut avoir lieu que par le moyen d'écluses ascendantes sur GH et descendantes sur KL, et par le moyen d'une retenue sur HK qui sera alimentée par des eaux supérieures. On sait d'ailleurs que la hauteur des chûtes des écluses dépend de la pente de la butte à franchir. Nous supposons ici que cette pente

est telle que chaque chute est de 1.^m800. Or il est à propos que la table de nivellement fasse connaître le nombre et la hauteur de ces chûtes, et quelles sont les ascendantes et les descendantes. En conséquence il doit y avoir un repère au haut et au bas de chaque chûte.

604. La même figure indique aussi que depuis l'entrée D du canal jusqu'au pied de la butte en G le plat-fond coïncidera exactement avec l'axe DE de comparaison. Mais au de-là de la butte le plat-fond prenant la position LP sera supérieur à cet axe auquel d'ailleurs il sera parallèle. Dans la partie intermédiaire étant représenté par le radier des sas des écluses et par le plat-fond des retenues, il variera continuellement. Or tout cela doit être connu par la table de nivellement.

Les diverses variations du plat-fond.

605. Indépendamment de ces objets la table doit désigner, ainsi que celle N.^o I, non-seulement le N.^o ou le caractère des repères ou des termes de vérification, mais encore la distance d'un repère quelconque tant au précédent qu'à celui de l'entrée du canal, pour pouvoir à chaque instant connaître la longueur parcourue.

Et le N.^o et la distance des repères.

606. D'après ces observations il paraît que la table dont nous parlons doit contenir onze colonnes dont les quatre premières et la dernière auront le même objet que dans la table N.^o I. Quant aux autres, elles seront distribuées ainsi qu'il suit, savoir :

Composition de la table N.^o II.

La 5.^{me} exprimera la hauteur du plat-fond au-dessus de l'axe passant par le point D.

La 6.^{me} désignera la hauteur de chaque repère ou terme de vérification au-dessus et au-dessous du plat-fond du canal.

La 7.^{me} comprendra les hauteurs ascendantes du plat fond

entre un repère quelconque et celui qui le précède; hauteurs à franchir par des écluses.

La 8.^{me} représentera la somme de ces hauteurs depuis le bas de la première chute.

La 9.^{me} indiquera les hauteurs descendantes du plat-fond entre un repère quelconque et le précédent; hauteurs à franchir encore par des écluses; et la 10.^e exprimera les sommes successives de ces hauteurs depuis le plat-fond de la retenue.

Construction de la même table.

607. C'est sur ce plan et d'après la fig. 82, ainsi que d'après les hauteurs de mire qui y sont rapportées qu'a été dressée la table N.^o II.

Les deux premières colonnes de cette table ne sont que l'exposition des N.^{os} ou des marques des repères ou des termes de vérification et de leurs distances respectives.

La 3.^{me} colonne se forme par l'addition de toutes les distances qui précèdent.

La 4.^{me} colonne se calcule d'après le principe exposé aux N.^{os} 307-309.

La 5.^{me} colonne est aisée à construire; il ne s'agit que de prendre successivement les diverses hauteurs montantes et descendantes qui sont censées connues (603). En les ajoutant progressivement on parviendra au plat-fond de la retenue dont on connaîtra la hauteur; et si de cette hauteur on retranche successivement les diverses hauteurs descendantes, on arrivera au nouveau plat-fond situé au bas de la butte.

Pour former la 6.^e colonne il suffit de retrancher chaque résultat de la 5.^e du résultat correspondant de la 4.^e Le reste donnera les divers résultats de la 6.^e

La 7.^e et la 9.^e ne contiennent comme l'on voit que

Les hauteurs ascendantes et descendantes à franchir par des écluses et qui sont données. Ces hauteurs auraient pu être déduites de la 5.^e colonne en retranchant jusqu'au repère 10 chaque résultat du suivant et du précédent depuis le repère 12 jusqu'au repère 16. Mais il paraît préférable de les distribuer en deux colonnes différentes pour mieux distinguer les endroits où l'on doit établir les écluses et les hauteurs à racheter.

Pour ce qui est de la 8.^e et de la 10.^e elles se composent par l'addition des résultats de la 7.^e et de la 9.^e respectivement, pour faire connaître au premier abord la totalité des chûtes, à quelque hauteur qu'on s'arrête.

608. Au reste il est aisé de voir que les colonnes 5.^e et 6.^e se composent d'après la 4.^e Leur exactitude est donc subordonnée à celle de cette dernière. Or pour s'assurer des résultats de la 4.^e et qu'on a trouvés progressivement d'après les diverses hauteurs de mire et les N.^{os} 307-309, il faut (188) prendre la différence de niveau des deux termes extrêmes A et C de vérification, et ensuite par l'un des N.^{os} 307-309 calculer la hauteur du dernier (C) au-dessus de l'horizontale passant par D. Si les deux résultats sont les mêmes, on doit être persuadé que tous ceux qui les précèdent sont exacts.

Vérification de la même table.

§ III.

De la table de nivellement pour un canal d'irrigation et de navigation.

609. Dans un canal destiné tout à la fois à l'irrigation et à la navigation, la partie où il ne doit pas y avoir des écluses forme (289) un plan continu et d'une

Différence entre cette table et celle d'un canal d'irrigation.

pente uniforme. Cette pente dans le cas de la navigation doit être d'environ la 5000.^e partie de la longueur horizontale. Quant aux écluses elles doivent être essentiellement toutes descendantes. D'après cela il est visible que la table de nivellement d'un pareil canal sera, à très-peu de chose près, la même que pour un canal d'irrigation. La seule différence qu'il y aura, c'est que les chûtes à racheter par des écluses seront désignées par un astérisque.

Construction de la
table N.^o III.

Fig. 83.

610. Soit donc FGHKLMN (fig. 83) le profil longitudinal d'une portion de pareil canal dont la prise d'eau est supposée au point F et sur lequel on trouve deux chûtes HK et LM à racheter chacune par quelques écluses. Nous supposerons 1.^o qu'au repère 1 la profondeur d'excavation soit de 2.^m4000; 2.^o que la hauteur des chûtes des écluses sur HK soit de deux mètres; 3.^o que celle des chûtes des écluses sur LM soit de 2.^m5; 4.^o que sur le reste du canal la pente soit égale à la 5000.^e partie de la longueur horizontale; 5.^o enfin que l'axe DE de comparaison soit placé à 5 mètres en contrebas du terme B de vérification. Ce sera d'après ces données et ce qui a été prescrit au § I qu'on dressera la table de nivellement N.^o III, sur la construction et la vérification de laquelle il ne reste plus aucune difficulté.

§. IV.

De la table de nivellement pour un aqueduc.

La table d'un aqueduc est la même que celle d'un canal d'irrigation.

611. Nous avons dit (333) que le nivellement du tracé d'un aqueduc se rapportait à celui du tracé d'un canal d'irrigation. Par conséquent lorsqu'il sera question

d'en dresser la table de nivellement, on se conformera en tout à la table N.^o I et à ce que nous avons prescrit dans le § I de cette section.

SECTION II.

De la dresse d'une table de nivellement pour les routes.

§ I.

De la table de nivellement pour une route à construire.

612. Le tracé d'une route à construire à neuf exige des repères et des termes invariables de vérification (400), auxquels on rapporte les lignes de pente de l'axe du chemin, ainsi que la hauteur des remblais et la profondeur des déblais, lors de la construction; et la table de nivellement y relative doit exprimer la position respective soit verticale soit horizontale de ces repères et points de vérification, ainsi que les diverses montées et descentes et les hauteurs tant des remblais que des déblais comparativement à ces points et repères.

613. D'après ces considérations nous pensons que la table de nivellement relative à une route à construire à neuf peut être dressée conformément à celle portant le N.^o IV et qui se rapporte à la figure 84. Elle sera, comme l'on voit, composée de neuf colonnes dont les quatre premières et la dernière seront les mêmes que dans les tables N.^{os} I, II et III. Quant aux quatre restantes, elles seront telles qu'il suit, savoir:

La 5.^{me} sera affectée aux parties ascendantes en avançant dans le sens du tracé et elle sera divisée en

Vérification de cette table.

ab notation
Considérations préliminaires.

Composition de la table N.^o IV.

Fig. 84.

Différence entre cette table et celle des routes à construire.

deux dont la première exprimera les montées partielles d'un repère à l'autre et la seconde les montées totales à chaque repère.

La 6.^e sera destinée aux parties descendantes et ainsi que la précédente, elle sera décomposée en deux, dont la première contiendra les descentes particulières de repère à repère et la seconde le total de ces mêmes descentes.

La 7.^e fera connaître les hauteurs des remblais et la 8.^e les profondeurs des déblais comparativement à la position de chaque repère ou terme de vérification.

614. La table N.^o IV a été dressée d'après la figure 84 qui exprime le profil en long d'une portion de route à construire à neuf en partant du point fixe A. L'horizontale AD menée par le point A est la directrice à laquelle nous avons rapporté la position verticale de chaque repère et de chaque terme de vérification. La formation des trois premières colonnes ne souffre aucune difficulté et ne demande aucune explication. Ainsi nous n'en dirons rien.

La 4.^e colonne est calculée par le moyen de l'équation linéaire des N.^{os} 352-354.

La 5.^e et la 6.^e qui contiennent les montées et les descentes dépendent des règles relatives à la construction des routes et en partie aussi des localités; car on sait que les pentes et les contre-pentes sont soumises à un *maximum*. Ainsi leur formation est arbitraire jusqu'à un certain point.

La 7.^e et la 8.^e ont été construites par le moyen de la formule du N.^o 356 en supposant la pente négative dans les parties ascendantes, et positive dans les parties descendantes.

615. La vérification de cette table se fait aisément de la manière suivante :

Vérification de cette table.

1.° On prend la somme des montées et celle des descentes et leur différence fait connaître dans notre table que le point de départ de l'axe de la route est plus bas que l'autre extrémité de 2.^m907. Et puisque d'après la 7.^e colonne le point précité de départ est plus haut de 1.^m que la directrice AD, il s'ensuit que le point final est supérieur à cette même directrice de 3.^m907.

2.° La 4.^e colonne fait voir que le point B est supérieur à la directrice de 4.^m541. Mais par la 8.^e colonne le point final de la route est inférieur au point B de 0.^m634. Donc en retranchant cette dernière quantité de 4.^m541 nous aurons encore la hauteur du point final de la route au-dessus de la directrice et cette hauteur ainsi calculée sera = 3.^m907.

Il suit de là que la hauteur de l'ordonnée finale se trouvant la même par ces deux différentes opérations, il n'y a point d'erreur dans les divers éléments qui la donnent.

§ III.

De la table de nivellement pour une route en exercice.

616. La table de nivellement d'une route construite et en exercice est à très-peu de chose près la même que celle d'une route à construire. La seule différence qu'il y a c'est que dans celle dont nous allons parler les repères au lieu d'être placés sur l'axe se trouvent sur les bords et même quelques-uns hors de la route, ainsi qu'il

Différence entre cette table et celle des routes à construire.

a été dit plus haut (402) ; qu'il n'y a point de hauteur de remblais ni de profondeur de déblais , et que l'une et l'autre de ces deux quantités sont respectivement représentées par la hauteur de chaque repère au-dessus ou au-dessous du point correspondant de l'axe du chemin.

Construction de la table N.° V.

Fig. 84.

617. La formation des quatre premières colonnes de la table N.° V qui se rapporte au cas dont nous parlons et à la *fig.* 85 est donc absolument la même que dans la table N.° IV.

Les nombres qui entrent dans les deux colonnes partielles formant la 5.° sont censés donnés par le nivellement au droit de chaque repère.

Quant à ceux qui entrent dans la 6.° et la 7.° ils sont calculés d'après la formule linéaire du N.° 356 en supposant la pente négative pour les parties ascendantes et positive pour les parties descendantes.

Vérification de cette table.

618. La vérification de cette table est fondée sur le même principe et se fait de la même manière que celle de la table N.° IV. Pour cela, 1.° on prendra la somme des hauteurs ascendantes et on l'augmentera de la hauteur de la route au-dessus du repère 1 ; 2.° on prendra pareillement la somme des hauteurs descendantes et l'on y ajoutera celle de la route au-dessous du repère 13 diminuée de l'abaissement de ce repère au-dessous de la directrice AB. Si la table est exacte , on trouvera deux résultats égaux.

Observation sur les pentes.

619. Avant de finir cet article nous devons observer qu'il est rare que dans ces routes la pente soit constante et uniforme d'un repère à l'autre. Une table de nivellement ne peut donc pas dans ce cas en exprimer toutes les variations. Mais on les trouve alors dans le profil lon-

itudinal. Il suffit que la table fasse connaître les pentes par intervalles pris sur des espaces où elles n'éprouvent pas de trop grandes différences.

SECTION III.

De la dresse d'une table de nivellement pour une rivière.

620. Outre les trois premières colonnes qui doivent, ainsi que la dernière, être les mêmes que dans les tables précédentes, il nous paraît qu'il est à propos d'en placer trois autres qui seront telles qu'il suit :

Composition de la
table N.º VI.

La 1.^{re} de ces trois colonnes sera composée de deux colonnes partielles qui feront respectivement connaître la hauteur de chaque repère au-dessus de la directrice et de la surface du courant pris vis-à-vis.

La 2.^{me} exprimera la profondeur des eaux au droit de chaque repère.

La 3.^{me} sera encore composée de deux colonnes partielles dont l'une contiendra les pentes du courant entre deux repères consécutifs et l'autre la pente totale du même courant depuis le 1.^{er} repère.

621. En jettant les yeux sur la table N.º VI et sur la *fig.* 86 on verra que cette table a été dressée sur ces principes. L'axe AB y a été arbitrairement supposé à 15.^m466 au-dessous du repère immuable C, et les hauteurs des divers repères au-dessus de cette ligne ont été calculées d'après la règle des N.ºs 307-309.

Construction de
cette table.

Fig. 86.

La hauteur de chaque repère au-dessus de la surface de l'eau est immédiatement donnée par le nivellement (413).

Quant à la pente d'un repère à l'autre, elle se calcule d'après le principe du N.º 188.

Vérification de
cette table.

622. La vérification de cette table se réduit à celle de la hauteur du dernier repère au-dessus de AB et à celle de la pente totale au droit du même repère. L'une et l'autre se font par la formule du N.º 188. Si les résultats sont les mêmes que ceux qu'on aura obtenus par les opérations de détail, la table n'est point fautive.

Observation.

623. Nous finirons ce chapitre en observant qu'on pourrait donner beaucoup plus de latitude à chacune de ces tables et y faire entrer divers autres objets relatifs au projet qu'on a en vue lorsqu'on les dresse. Par exemple, dans la table relative à un canal à construire, on pourrait y classer les angles de déviation à droite ou à gauche, leur nombre de degrés, les lieux où l'on a sondé, la profondeur des déblais et la hauteur des remblais, la quantité des uns et des autres, la qualité des premiers, etc. Mais on sent que tous ces détails seraient déplacés lorsqu'il ne s'agit que d'un nivellement et qu'ils doivent être renvoyés ailleurs. Ainsi il nous paraît que ce que nous avons dit à ce sujet, doit suffire pour le moment.

Construction de
cette table.

Fig. 66.

CHAPITRE XIII.

*Considérations particulières sur les moyens de rendre utiles les profils
des canaux et aqueducs, des routes et des rivières.*

SECTION PREMIÈRE.

Observations préliminaires.

624. **P**ARMI les diverses provinces qui composaient la France sous l'ancien régime, les unes formaient des pays d'État et les autres des pays d'Élection. Les premières avaient chacune leur régime particulier et se gouvernaient pour la plupart comme des États isolés les uns des autres et presque étrangers au reste du royaume. Les pays d'Élection étaient régis d'une manière beaucoup plus uniforme; mais ils n'avaient aucun rapport avec les pays d'État. Il arrivait de là que dans une multitude d'objets et en particulier dans la partie des travaux publics, le Gouvernement avait rarement le pouvoir de faire exécuter dans toute l'étendue de l'empire les mesures qu'il jugeait à propos de prescrire pour l'utilité publique et qu'ordinairement il était entravé par les assemblées provinciales. C'était véritablement un abus qui paralysait très-souvent les mesures les plus salutaires. Aujourd'hui

Le Gouvernement
doit avoir la collec-
L'unité de régime est
indispensable pour
les progrès des arts
dans l'Empire.

cet abus est réformé. Cette espèce d'hétérogénéité toujours monstrueuse dans les diverses parties d'un même corps politique a disparu et a été remplacée par l'unité de régime dans l'administration de tous les Départemens. Tous les fils qui servent à mouvoir la grande machine de l'état aboutissent à un centre commun, et le Gouvernement qui les tient dans sa main peut avec la plus grande facilité imprimer aux diverses parties le mouvement qu'il croit le plus convenable aux progrès des arts et à la prospérité nationale. En conséquence nous pensons qu'on ne nous saura pas mauvais gré de donner ici nos idées sur les avantages que dans les circonstances présentes les arts et les sciences pourraient retirer de l'objet que nous traitons.

Le Gouvernement doit avoir la collection des profils des routes, canaux, aqueducs et rivières de la France.

625. D'après l'organisation uniforme des ponts et chaussées dans toute l'étendue de l'Empire, il est indispensable qu'on réunisse dans le dépôt général des plans les profils exacts et détaillés de toutes les routes, canaux et aqueducs à la charge de l'État, ainsi que ceux de toutes les rivières qui sillonnent la France. Cette mesure a été sentie de tout temps et elle est formellement ordonnée par l'art. 18 de l'instruction du 26 floréal an 4 adressée aux Ingénieurs des ponts et chaussées par M. Benezech alors Ministre de l'intérieur. En effet pour que cette partie du service public puisse marcher à souhait, il faut nécessairement que le Gouvernement réunisse sous sa main les diverses pièces nécessaires pour connaître à fond les localités et donner les ordres y relatifs sans se déplacer. Or on sent que parmi ces pièces les profils exactement dressés sont les plus essentielles. Ainsi il semble de toute nécessité que dans chaque département on s'occupe de cet objet.

626. Chacun sait que les diverses parties dont l'assemblage est destiné à former un tout doivent être en proportion entr'elles, et à cet effet construites d'après le même modèle. Les profils dressés dans chaque département doivent par leur réunion donner l'ensemble des routes, canaux et rivières de la France. Par conséquent il est visible qu'ils doivent être dressés partout d'après les mêmes principes.

Dans tous les départements les profils doivent être dressés d'après le même modèle.

627. La 1.^{re} question à résoudre à ce sujet est si l'on doit employer la même échelle pour les profils en long et pour ceux en travers, ou si celle des premiers doit être moindre que celles des derniers. On peut voir par ce que nous avons dit dans la section I du chapitre IX qu'il est toujours préférable d'employer la même échelle pour les uns et les autres. Ainsi à cet égard nous pensons qu'il convient d'adopter la même unité pour les profils longitudinaux et pour les profils transversaux.

On doit employer la même échelle pour les profils en long et pour ceux en travers.

628. La seconde question est de savoir quelle sera l'échelle qu'on adoptera. Nous avons dit dans la même section qu'il nous paraîtrait convenable de représenter chaque mètre de longueur naturelle par 4 millimètres, c'est-à-dire, par la 250.^e partie. A la vérité on aura alors des profils extrêmement étendus et c'est ce qu'on pourra nous objecter. Mais nous avons répondu (440) à cette objection. D'ailleurs dans cette hypothèse chaque distance de cinq kilomètres ne donnerait qu'un rouleau de 20 mètres de longueur; ce qui n'est pas exorbitant.

Quelle sera cette échelle.

Nous avons pareillement vu (486) que dans les pays montueux on éviterait la trop grande hauteur des rouleaux par le moyen des coupures sans altérer l'exactitude des profils.

Tous les profils doivent être rapportés à un seul plan de niveau dans toute l'étendue de l'Empire.

629. Un objet bien essentiel dans la dresse générale de tous les profils des routes, canaux et rivières de l'Empire serait l'unité de ligne horizontale de rapport ou de l'axe des abscisses. Jusqu'à présent cette ligne a été arbitrairement prise dans chaque opération de cette nature, et il serait peut être difficile de rencontrer deux profils où elle fut la même. Or si l'on réunit un jour tous les profils de chaque département et qu'on veuille les raccorder entr'eux pour en former un ensemble, il est visible qu'on ne pourra établir aucune comparaison entr'eux que par le moyen de calculs préalables dont plusieurs seront même longs et compliqués suivant l'éloignement des localités à comparer: au lieu que l'axe des abscisses étant le même dans toutes les opérations, chaque profil porte avec lui sa comparaison avec tous les profils de l'Empire, quelle que soit la distance des lieux y relatifs. Il nous paraît donc qu'il serait nécessaire que le Gouvernement fixât une seule et même ligne de niveau, ou plutôt une seule et même superficie horizontale dont la position fut connue et à laquelle on rapportât toutes les opérations de nivellement à sa charge dans chaque département de l'Empire.

Ce plan doit être le Niveau de la mer.

630. Il ne s'agit plus que de déterminer la position de cette superficie horizontale à laquelle toutes les ordonnées verticales doivent aboutir et se rapporter. Avec la moindre attention on voit que la nature nous l'offre dans la superficie des eaux de la mer: car nous avons vu (40) que toutes les mers même les plus éloignées étaient nécessairement de niveau. D'ailleurs non-seulement elle se trouve sur toutes les parties du globe, mais encore elle forme la limite naturelle de celle que nous habitons.

Ainsi

Ainsi sous tous les rapports c'est cette surface qu'on doit choisir de préférence pour l'objet dont nous parlons.

631. On observera sans doute que les côtes de la France sont baignées par l'Océan à l'ouest et par la Méditerranée au sud et à l'est, et l'on demandera conséquemment s'il est indifférent de se rapporter à la superficie de l'une ou de l'autre de ces deux mers. Sur cela nous devons faire remarquer que la superficie dont il s'agit et à laquelle toutes les ordonnées doivent se rapporter est nécessairement supposée fixe et invariable; que l'Océan étant sujet à la marée, sa superficie varie continuellement; que la Méditerranée n'ayant point de flux et reflux présente une surface plus stable; et que par conséquent c'est la superficie de cette dernière mer qu'il faut prendre pour terme de comparaison.

Le niveau de la Méditerranée doit être préféré à celui de l'Océan.

632. On observera aussi à ce sujet que la marée, à partir du détroit de Gibraltar, se fait encore sentir sur la Méditerranée et qu'elle ne sanéantit qu'à une certaine distance; d'où l'on demandera en quel endroit il faudrait prendre la superficie des eaux. Sur quoi nous observerons à notre tour qu'à Toulon la marée cesse d'être sensible, et que c'est dans le port de cette place qu'il conviendrait de prendre la superficie dont nous parlons.

Ce niveau devrait être pris dans le port de Toulon.

633. On observera enfin qu'à Toulon même la superficie des eaux de la Méditerranée varie très-souvent suivant les vents qui regnent et suivant les saisons. A quoi nous répondrons qu'il convient de prendre cette superficie à l'époque où elle est parvenue au *maximum* de dépression ou au point le plus bas possible; ce qui a lieu pendant la canicule et par un tems calme.

Et à l'époque des plus basses eaux.

634. Il semble que d'après ce système les divers profils dont nous parlons ne pourraient point être dressés

On peut opérer simultanément dans tous les départemens.

simultanément dans tous les départemens, mais seulement par gradation et à mesure que les ingénieurs du département du Var, parvenus aux limites de ce département, transmettraient le résultat de leurs opérations à ceux des départemens voisins. Toute difficulté sera levée à cet égard, si dans chaque département on rapporte les nivellemens à une seule ligne horizontale passant par un point fixe et immuable pris sur une grande route ou sur une rivière aux limites de ce département. Ainsi dans le département des Basses-Alpes toutes les opérations pourraient être rapportées à la ligne de niveau qui passerait par un point fixe pris, par exemple, sur le bahut du pont sur le Verdon à Vinon. Les opérations de Toulon à Vinon feraient connaître la hauteur de cet axe au-dessus du niveau de la mer. Alors d'après ce qui a été dit au N.º 461, il serait aisé dans la rédaction des opérations des Basses-Alpes de rapporter les ordonnées au niveau de la mer.

Exemple sur cet objet.

Fig. 87.

635. Pour rendre la chose plus intelligible, servons-nous d'un exemple et supposons que le profil d'une route partant du port A (fig. 87) de Toulon aboutisse à un point B de la France après avoir traversé six départemens quelconques. Représentons ce profil par la ligne ACDEFGB et désignons par les N.ºs 1, 2, etc. les divers départemens traversés à partir du département du Var qui sera indiqué par le N.º 1. Par le point A supposé à la surface des eaux de la plus basse mer, menons la ligne de niveau AO à laquelle il s'agit de rapporter tous les points du profil de cette route. Les points C, D, E, etc. placés sur la ligne de profil et intermédiaires aux deux points extrêmes A et B sont supposés fixes et

situés aux limites des divers départemens traversés par la route. Cela posé :

Dans le département N.º 1, les opérations commençant au point A, tous les points de la partie AC de profil seront immédiatement rapportés à l'axe général AO des abscisses. Par conséquent on connaîtra l'ordonnée CC' correspondante au point fixe C auquel se termineront les opérations de ce département.

Dans le département N.º 2, les opérations seront d'abord rapportées (634) à l'axe des abscisses CC" mené horizontalement par le point C. Donc en augmentant (461) chaque ordonnée de la quantité connue CC', elles se trouveront toutes rapportées à l'axe général AO et l'on connaîtra aussi l'ordonnée extrême DD' de cette partie.

Dans le département N.º 3, le profil sera rapporté à l'horizontale DD" passant par le point D; et puisque l'on connaît DD', on le rapportera (461) à l'axe général AO en augmentant les ordonnées de la quantité connue DD'.

Dans le département N.º 4, le profil sera rapporté à l'axe EE". Donc puisque EE' est connue, si l'on en retranche chaque ordonnée relative à l'axe EE", le reste donnera les ordonnées de la partie EF rapportées à l'axe AO.

Dans le département N.º 5, le profil étant rapporté à l'horizontale FF", une partie des ordonnées tombera au-dessus et sera positive, tandis que l'autre tombera au-dessous et sera négative. On augmentera les premières de la quantité connue FF', et l'on retranchera les secondes de la même quantité; les résultats donneront les nouvelles ordonnées relatives à cette partie du profil et rapportées à l'axe AO.

Enfin dans le département N.° 6, les ordonnées étant rapportées à l'axe partiel GG" et se trouvant les unes positives et les autres négatives, seront traitées de la même manière que dans le département N.° 5.

Par où l'on voit qu'on peut opérer en même-temps dans tous les départemens de l'Empire en rapportant dans chacun les opérations à des axes partiels tels que nous venons de les désigner, et que pour tout rapporter au niveau de la mer, il suffit que, lors de la rédaction définitive, les ingénieurs de chaque département fassent connaître leur dernière ordonnée à ceux du département suivant.

Il est inutile d'observer que le même procédé s'applique aussi aux profils de canaux et rivières qui traversent plusieurs départemens.

Termes immuables
choisir a u bord de
la Méditerranée et
de l'Océan.

636. Nous devons remarquer qu'en partant du niveau de la mer, il est à propos d'en constater la position par le moyen d'un repère inébranlable à prendre ou à établir sur son bord. Ainsi si les opérations commencent au port de Toulon, il conviendra de rapporter le niveau de la basse mer à un point fixe situé sur le quai ou ailleurs, afin que si par hazard il y a des variations, on puisse les connaître.

Quant aux opérations qui commenceront ou finiront aux bords de l'Océan, les variations continuelles de la superficie des eaux produites par le flux et le reflux exigent indispensablement qu'on s'y rapporte à des repères fixes et inébranlables. Outre qu'ils serviront au même objet que les précédens, nous verrons plus bas qu'ils auront une utilité particulière.

Classification des
rouleaux.

637. Les profils des routes, canaux et rivières dressés d'après ce système dans toute l'étendue de l'Empire don-

neront le moyen de comparer entr'elles les parties les plus éloignées et d'en connaître les différences de niveau. Il ne sera plus question que de les distribuer par rouleaux d'une longueur déterminée représentant, par exemple, chacun 5 kilomètres; ensuite de les classer par ordre et de les distinguer par numéros, et enfin d'en dresser un catalogue qui fasse connaître la case où ils se trouvent, à quelle route, rivière, etc. ils appartiennent, à quel département ils se rapportent, quelles sont leurs limites, etc., etc. Ce travail réuni au dépôt des plans des ponts et chaussées mettra le Gouvernement à portée d'avoir une connaissance exacte de chacun de ces objets, des ouvrages à y exécuter en construction à neuf ou en réparations, des dépenses à y faire, des améliorations dont ils peuvent être susceptibles, etc.

638. Cependant nous devons observer que ce système, quoique d'ailleurs très-avantageux, est insuffisant à certains égards, et qu'il laisse encore quelque chose à désirer pour être porté à sa plus grande perfection. On sent en effet combien tous les détails contenus dans cette multitude de rouleaux seraient étendus, et combien il serait difficile d'en embrasser l'ensemble et de faire les divers rapprochemens dont on peut avoir besoin dans une infinité de cas. C'est pourtant cet ensemble dont il faut faciliter la connaissance au Gouvernement. Il nous reste donc à examiner le moyen à prendre pour y parvenir.

639. Nous avons dit au N.º 225 qu'il est essentiel de rapporter par intervalles les opérations de nivellement à des *repères de vérification*. On a pu voir d'ailleurs que nous les avons toujours recommandés dans toutes les opérations relatives aux profils soit de canaux et aque-

Il faut faciliter le rapprochement comparatif des divers profils.

Des tables particulières de nivellement des principaux repères rempliront cet objet.

ducs soit de routes et de rivières, et que nous les avons constamment employés dans les tables de nivellement du chapitre précédent. Si ces repères de vérification sont convenablement placés, et qu'on en dresse des tables méthodiques, il est visible que leur réunion en un seul corps d'ouvrage exprimera l'abrégé et l'analyse de tous les profils, et qu'alors on pourra faire avec la plus grande facilité tous les rapprochemens et toutes les comparaisons que les circonstances nécessiteront. Il en résultera même un grand nombre d'avantages particuliers que nous ferons connaître dans la dernière section de ce chapitre. Ainsi pour remplir cet objet, nous allons examiner la position des repères à choisir et la forme des tables de nivellement à dresser, 1.^o pour les canaux et les aqueducs ; 2.^o pour les routes ; 3.^o pour les rivières.

SECTION II.

Des repères et des tables de nivellement des canaux et aqueducs.

Observation générale sur les canaux et aqueducs, leurs repères, etc.

640. Nous avons distingué (285) trois sortes de canaux, savoir : les canaux d'irrigation, ceux de navigation, et ceux d'irrigation et de navigation. Parmi les points à choisir il y en a qui leur sont communs. Mais il y en a aussi de particuliers pour chaque espèce de canal. D'ailleurs la dresse des tables n'est pas exactement la même pour les uns et les autres. Nous allons donc les examiner successivement.

§ I.

Des repères et des tables de nivellement des canaux d'ir-
rigation.

641. Dans les canaux d'irrigation les repères pour être immuables peuvent être placés aux endroits suivans, savoir :

Repères qu'on peut prendre sur les canaux d'irrigation.

1.° Sur les ouvrages d'art de l'écluse de la prise d'eau.
2.° Sur ceux des déversoirs soit de fond soit de superficie.

3.° Sur ceux des écluses à vane des dériviations qui accompagnent toujours ces canaux.

4.° Aux édifices des usines qui sont ordinairement construites sur les chûtes.

5.° Sur les ponts des routes qui les traversent.

6.° Sur les repères en pierre qui dans les canaux bien exécutés sont placés au plat-fond ou sur les chaussées.

7.° Sur les ouvrages d'art des aqueducs qui traversent des torrens, des rivières ou d'autres canaux.

8.° Sur les édifices qui se rencontrent aux environs du cours du canal.

9.° Sur des rochers immuables situés à portée.

10.° Au niveau des plus basses eaux de la mer (633) si les eaux s'évacuent dans la Méditerranée; ou sur un point fixe près de l'embouchure, si l'évacuation a lieu dans une rivière ou un autre canal.

642. Tels sont les points où l'on peut prendre des repères. Mais comme ces repères ne doivent pas être trop multipliés, nous allons désigner plus particulièrement :

Repères à prendre et à porter spécialement sur les tables.

ment ceux à porter sur la table. Ces repères seront pris, savoir :

- 1.° Sur les ouvrages d'art de l'écluse de la prise d'eau.
- 2.° Sur les déversoirs de fond ou de superficie.
- 3.° Sur la bâtisse des écluses à vane des principales dérivations.
- 4.° Sur les ponts des routes à la charge de l'Empire.
- 5.° Au haut et au bas des chûtes.
- 6.° A l'embouchure soit dans la mer soit dans une rivière.
- 7.° Dans les parties restantes, au moins un sur chaque kilomètre.

Forme de la table de nivellement.

643. La table de nivellement à dresser sera exactement la même que celle N.° I relative au § I de la section I du chapitre XII et à la figure 81. On observera seulement que les hauteurs portées sur la 4.^{me} colonne se rapporteront au niveau des plus basses eaux de la mer, ainsi qu'il a été dit plus haut (630-633).

§ I I.

Des repères et des tables de nivellement des canaux de navigation.

Repères qu'on peut prendre sur les canaux de navigation.

644. La plupart des points fixes qu'on rencontre sur les canaux d'arrosage et où l'on peut placer des repères se trouvent aussi sur ceux de navigation ; et outre ces points il y en a d'autres qui leur sont particuliers.

- 1.° Dans la 1.^{re} classe sont ceux mentionnés au N.° 641 1.°, 2.°, 5.°, 10.°
- 2.° Dans la 2.^{me} classe se trouvent les écluses soit ascendantes soit descendantes, celle de l'embouchure soit dans

dans la mer soit dans un fleuve, et les quais qu'on rencontre en divers endroits où se font les embarquemens et les débarquemens.

645. Les points fixes à prendre et à porter sur la table comme repères seront placés, savoir :

Repères à prendre et à porter sur les tables.

1.° Sur l'écluse de la prise d'eau.

2.° Sur chaque écluse ascendante et descendante.

3.° Sur l'écluse de l'embouchure, ou à la surface des basses eaux de la mer, si l'embouchure a lieu dans la Méditerranée.

4.° Sur le déversoir soit de fond soit de superficie.

5.° Sur les ponts des routes à la charge de l'État et qui traversent le canal.

6.° Sur les aqueducs qui traversent des rivières à profiler

7.° Dans la partie restante on en choisira un sur environ un kilomètre de longueur, et il sera placé ou sur les quais ou sur les points spécifiés au N.° 641. 8.° et 9.°

646. Tous ces repères seront portés sur la table de nivellement qu'on dressera conformément à celle N.° II relative au § II de la section I du chapitre XII et à la figure 82, observant encore que les hauteurs portées sur la 4.^{me} colonne doivent se rapporter au niveau de la mer.

Forme de la table de nivellement.

§ III.

Des repères et des tables de nivellement des canaux d'irrigation et de navigation.

647. On trouve en Italie des canaux qui réunissent l'irrigation à la navigation. Nous n'en avons point en France ; mais nous pouvons en avoir. Tel serait le canal

Ces canaux existent en Italie et peuvent avoir lieu en France.

à dériver du Rhône et dont nous avons parlé au N.^o 512. 4.^o de notre *Essai sur la théorie des torrens et des rivières*. Nous devons donc désigner les points à prendre pour repères sur leur cours afin de pouvoir après leur construction dresser les tables qui les concernent.

Repères à prendre et à porter sur les tables.

648. A l'exception des écluses ascendantes, qui ne peuvent pas se rencontrer dans ces canaux, on peut placer des repères sur tous les autres points détaillés aux N.^{os} 641 et 644. 2.^o Les points qu'on choisira à cet effet par préférence, sont :

1.^o Les écluses à vane des principales dérivations.

2.^o Les points détaillés au N.^o 645 à l'exception des écluses ascendantes.

Forme de la table de nivellement.

649. La table de nivellement de chaque canal de cette nature sera dressée de la même manière que celle sous le N.^o III relative au § III de la section I du chapitre XII et à la figure 83. On aura seulement soin de rapporter au niveau de la mer les hauteurs portées dans la 4.^{me} colonne.

§. IV.

Des repères et des tables de nivellement des aqueducs.

On ne peut pas être embarrassé pour trouver des repères dans les aqueducs.

650. Tout est ouvrage d'art dans les aqueducs. Ainsi on est peu embarrassé pour trouver des repères. En effet :

1.^o Les travaux de la prise d'eau doivent être en bâtisse.

2.^o Dans les parties souterraines on doit par intervalles ménager des regards en bâtisse.

3.^o Toute la partie à découvert est nécessairement en bâtisse. Or tous ces endroits offrent la plus grande stabilité.

651. Les repères à faire entrer dans les tables doivent être placés, savoir :

- 1.° Sur les ouvrages d'art de la prise d'eau
- 2.° Sur les regards dans les parties sous terre.
- 3.° Sur les parois latérales dans les parties visibles.
- 4.° Aux environs de l'intersection avec les routes à la charge de l'Empire.
- 5.° A l'intersection des canaux soit d'arrosage, soit de navigation, et des rivières à profiler.
- 6.° Sur les ouvrages d'art de la fin de l'aqueduc.
- 7.° S'il y a des chûtes, au haut et au bas de ces chûtes.

Repères à prendre et à porter sur les tables.

652. La table de nivellement sera dressée de la même manière que celle d'un canal d'irrigation (643).

Forme de la table de nivellement.

SECTION III.

Des repères et des tables de nivellement des routes.

653. Les repères des routes peuvent être placés :

- 1.° Sur des rochers lorsqu'il s'en trouve aux bords ou aux environs.
- 2.° Sur les parapets ou telle autre partie convenable des ponts et des pontceaux.
- 3.° Sur les pierres milliaires.
- 4.° Sur les piédestaux des monumens qui peuvent se trouver à portée.
- 5.° Sur des pierres fixes appartenant à des édifices construits au bord ou aux environs des routes.

Repères qu'on peut prendre sur les routes.

654. Les repères à porter sur la table seront placés, savoir :

- 1.° Au haut de toutes les montées.
- 1.° Au bas de toutes les descentes.

Repères qu'on peut prendre et à porter sur les tables.

3.° Sur les ponts et pontceaux qui se trouvent au fond des vallées.

4.° Sur les ponts à l'intersection des canaux.

5.° A tous les embranchemens de routes, ou aux environs.

6. Dans les traverses des Communes.

7.° A tous les kilomètres dans les parties en plaine et dans les longues montées et descentes.

Forme de la table de nivellement.

655. La table sera dressée de la même manière que celle N.° V relative au § II de la section II du chapitre XII et à la figure 85. On observera seulement que les hauteurs de la 4.^{me} colonne doivent être rapportées au niveau de la mer, ainsi qu'il a été dit pour les autres tables. Nous reviendrons bientôt sur cet objet.

SECTION IV.

Des repères et des tables de nivellement des rivières.

Repères qu'on peut prendre sur le cours des rivières.

656. Les repères des rivières pour être immuables et remplir leur objet pourront être placés, savoir :

1.° Sur des rochers.

2.° Sur les digues en bâtisse.

3.° Sur les quais.

4.° Sur les ponts.

5.° Sur les écluses des prises d'eau de canaux.

6.° Sur les pierres dépendantes des édifices pour usines et engins situés sur leur cours ou aux environs.

7.° Sur les déversoirs de barrage en bâtisse.

8.° Sur les édifices quelconques en bâtisse qui seront à portée.

9.° Enfin au niveau de la Méditerranée si l'embouchure

s'y trouve, ou à un point fixe pris au bord de la mer si l'embouchure est dans l'Océan.

657. Les repères à porter sur la table seront placés :

Repères à prendre et à porter sur les tables.

1.° A la source de la rivière.

2.° A son embouchure soit dans une autre rivière soit dans la mer.

3.° Sur tous les ponts.

4.° Sur toutes les écluses pour prises d'eau de canaux.

5.° Sur tous les quais.

6.° A tous les déversoirs de barrage.

7.° A toutes les usines.

8.° A toutes les embouchures des rivières affluentes.

9.° A tous les bacs et gués.

10.° Enfin à tous les kilomètres dans les endroits où les repères ci-dessus seront trop éloignés les uns des autres.

658. La table sera dressée d'après la forme de celle N.° VI relative à la section III du chapitre XII et à la figure 86, en continuant de rapporter au niveau de la mer les hauteurs de la première partie de la 4.^{me} colonne.

Forme de la table de nivellement.

SECTION V.

Observations générales sur les repères et les tables de nivellement des canaux, aqueducs, routes et rivières.

659. Tous les canaux formant des ouvrages isolés et distincts, chaque canal doit avoir sa table particulière. Cependant pour mettre tout l'ordre possible dans la collection qu'on en fera au dépôt des ponts et chaussées, il nous paraît qu'il serait à propos de classer toutes ces tables ainsi qu'il suit :

Registres particuliers pour les tables de chaque espèce de canal.

1.° Il serait nécessaire d'avoir des registres particuliers pour les tables des canaux d'irrigation. C'est sur ces registres qu'on les porterait ; et à mesure que l'on construirait de nouveaux canaux d'arrosage, les nouvelles tables seraient enregistrées à la suite.

2.° La même chose devrait avoir lieu respectivement pour les tables des canaux de navigation et pour celles des canaux de navigation et d'irrigation, si dans le temps on en construit.

Registres pour les aqueducs anciens, et d'autres pour ceux en exercice.

660. Les tables des aqueducs doivent aussi former une collection particulière ; mais on doit distinguer les aqueducs en exercice des aqueducs anciens et de construction Romaine. Ces derniers sont en grand nombre, et il est à propos que le Gouvernement les connaisse ; car il est possible que dans le temps l'État en ordonne la restauration. Tels sont entr'autres l'aqueduc du pont du Gard qui conduisait des eaux à Nîmes, celui de Barbegal qui en amenait à Arles, celui de Traconade dont on voit les restes aux environs d'Aix, celui de Fréjus que tous les voyageurs connaissent, etc. Les tables des aqueducs en exercice devraient former un registre différent de celui qui contiendrait les tables des aqueducs à restaurer.

Division des routes en classes, et registres pour chaque classe.

661. L'ouvrage que nous publions aujourd'hui est composé depuis quelques années. A cette époque la classification des routes n'était pas encore définitivement arrêtée. En conséquence nous crûmes devoir donner nos idées à ce sujet ainsi qu'il suit :

« La rédaction définitive des tables relatives aux routes, pour être faite d'une manière claire et véritablement utile, exige une distribution préalable et bien entendue de toutes les routes de l'Empire. Les Romains

» faisaient aboutir toutes les routes de l'Empire au *Forum*
» *romanum*, comme les rayons d'un cercle aboutissent tous
» au centre. Il paraîtrait par conséquent bien naturel d'i-
» miter en France ce procédé dans l'objet que nous trai-
» tons et de faire partir toutes les routes du premier ordre
» d'une colonne qui serait élevée sur une des places
» de Paris. En partant de cette colonne les routes seraient
» distribuées en diverses classes. Dans la 1.^{re} classe seraient
» celles qui, après avoir traversé tout le territoire fran-
» çais aboutiraient chez l'étranger. Les premières ramifica-
» tions seraient dans la 2.^{me} classe, les secondes seraient
» dans la 3.^{me} et ainsi de suite. Les divers embranchemens
» servant de communication aux routes des classes précé-
» dentes pourraient aussi se diviser et se subdiviser en di-
» vers ordres. Du reste nous nous bornons à donner une
» esquisse de nos idées à ce sujet. C'est à la sagesse du
» Gouvernement à les peser et à organiser le tout d'après
» ses lumières. Cependant pour asseoir notre système
» nous supposerons que toutes les routes sont ainsi distri-
» buées. Dans cette hypothèse, on dresserait une table
» particulière pour chacune et on les réunirait en plu-
» sieurs registres pour en former une collection. »

Les routes ayant été définitivement classées par le dé-
cret impérial du 16 décembre 1811, c'est à cette der-
nière classification qu'on doit se rapporter pour la dresse-
des tables particulières dont nous venons de parler. Mais
comme par ce décret beaucoup de routes ont été mises
à la charge des départemens, et que néanmoins le Gou-
vernement continue de les soumettre au même régime
que les autres, il semble que, pour distinguer ces
dernières et y mettre le plus d'ordre possible, on pour-
rait les classer suivant un mode analogue à celui adopté

pour les premières, et dresser pour chacune respectivement la table particulière qui lui conviendrait.

La même chose doit avoir lieu pour les rivières.

662. Les rivières doivent pareillement être distribuées en plusieurs classes. Dans la 1.^{re} classe seront celles qui portent leur nom jusqu'à la mer; dans la 2.^{me} classe celles qui le conserveront jusqu'aux rivières de la 1.^{re} classe où elles verseront leurs eaux; celles de la 3.^{me} classe seront les affluens des rivières de la 2.^{me} qui conserveront leur nom jusqu'à leur embouchure dans ces dernières; et ainsi de suite. Chacune de ces rivières doit avoir une table particulière, et toutes ces tables doivent être réunies en plusieurs registres proportionnellement à leur nombre et à leur étendue.

Chaque repère des tables doit se trouver sur les profils y relatifs.

663. Une observation essentielle que nous devons faire est que toutes ces tables soit pour canaux et aqueducs, soit pour routes ou pour rivières ne doivent contenir aucun repère qui ne soit porté sur les profils longitudinaux y relatifs. Car ces tables (639) ne doivent être considérées que comme l'abrégé et l'analyse de ces profils. Par conséquent leurs élémens doivent être les mêmes.

Moyen de trouver aisément les repères des tables sur les profils.

664. Les N.^{os} des repères sur chaque table suivront la série des nombres naturels 1, 2, 3, 4, etc. Ils ne se raccorderont donc pas avec les N.^{os} des repères des rouleaux y relatifs, 1.^o parce que sur les rouleaux les N.^{os} des repères formeront une suite continue et que dans la dresse des tables on n'en prendra qu'un petit nombre; 2.^o parce que d'ailleurs dans les profils des canaux, routes ou rivières qui traverseront plusieurs départemens, si les opérations se font simultanément, il y aura autant de N.^{os} multiples qu'il y aura de départemens traversés,

à cause que dans chaque département les ingénieurs commenceront tous leurs opérations par le N.^o 1, et suivant la série naturelle. Cependant comme il est indispensablement nécessaire que les tables et les profils puissent être comparés entr'eux, entre la 1.^{re} et la 2.^{me} colonne de chaque table on intercalera trois nouvelles colonnes dont la 1.^{re} désignera le département où se trouve le repère; la 2.^{me} exprimera le N.^o du rouleau y relatif; et la 3.^{me} portera le N.^o du repère sur ce même profil.

665. Il sera pareillement nécessaire d'avoir la collection des plans relatifs aux profils dont nous parlons, et assez étendus pour pouvoir y marquer tous les repères portés sur ces mêmes profils. Le travail des ingénieurs pour la carte générale des routes de l'Empire pourra remplir cet objet.

Il faudrait aussi l'collection des plans relatifs aux profils

SECTION VI.

Des avantages qui résulteraient des profils et des tables de nivellement des canaux, aqueducs, routes et rivières.

666. D'après ce que nous avons déjà dit (637) on sent l'avantage que le Gouvernement peut retirer de la collection générale de tous les profils dressés sur une seule et même échelle et rapportés au niveau de la mer. Les tables dont nous venons de parler comparées soit entr'elles soit avec les profils en offrent de leur côté de très-considérables, ainsi qu'on s'en convaincra aisément par les détails suivans.

Les tables de nivellement offrent grands avantages.

667. Les repères portés sur les tables sont tous des points fixes et remarquables. Leur hauteur est constamment rapportée au niveau de la mer. D'où il suit que

1.^{er} Avantage. connaîtra la différence de niveau tous les points plus remarquables

par une simple soustraction on connaîtra la différence de niveau de tels points remarquables qu'on voudra, quelle que soit d'ailleurs leur distance respective.

2.^e Avantage. On s'assurera des améliorations dont les canaux d'irrigation sont susceptibles.

668. Les tables des canaux d'irrigation feraient connaître quels sont ceux dont la pente n'a pas été ménagée, les dérivations mieux soutenues qu'on y pourrait pratiquer, et les usines que cet excès de pente permettrait d'y construire. A raison de cela il ne serait pas mal de mentionner dans la colonne des observations la vitesse des eaux. Cette vitesse et les dimensions transversales du profil en feraient connaître le volume; ce qui serait infiniment utile dans plusieurs cas.

C'est par ce moyen qu'on pourrait examiner si un canal d'irrigation ne peut pas devenir canal de navigation ou du moins être employé à la flottaison.

C'est encore par ce moyen que, d'après les notions que nous donnerons bientôt sur les arrosages dans un traité particulier sur les canaux, on pourra juger, sur la seule inspection de la carte, si un pareil canal suffit à l'irrigation d'une contrée, et dans le cas d'insuffisance évaluer d'après le profil et la pente de la rivière d'où le canal est dérivé si l'on peut en augmenter ses eaux, et approximativement supputer la dépense d'agrandissement sur les profils en long et en travers du canal.

3.^e Avantage. On pourra prendre des mesures pour rétablir plusieurs anciens aqueducs.

669. Les anciens aqueducs attestent qu'un des principaux soins des Romains était de conduire des eaux aux villes de leur domination, et l'on sent que cet objet mérite l'attention de tout bon Gouvernement. Par le moyen des profils dont nous parlons, le Gouvernement Français pourrait prendre les mesures convenables pour rétablir ceux qu'il croirait nécessaires.

670. La pente du lit d'une rivière fait toujours connaître à très-peu de chose près la vitesse des basses eaux. Les profils en donnent la coupe. Par conséquent on peut avoir facilement le volume des basses eaux d'une rivière. C'est sur ce volume que doivent être réglées les dimensions transversales d'un canal qu'on projeterait d'en dériver, suivant l'usage qu'on se proposerait d'en faire. On pourra donc par le moyen des profils et des pentes qui sont données tant par les profils que par les tables, constater la possibilité de dériver d'une rivière donnée à un endroit déterminé un volume d'eau connu.

4.^e Avantage. On pourra constater si une rivière peut alimenter un canal de dimensions connues.

671. Par le moyen des profils des rivières on connaîtra les dimensions de leur lit, et par les tables on aura la profondeur des basses eaux et la pente. D'où il suit que d'après les principes établis dans notre *Essai sur la théorie des torrens et des rivières* 1.^{re}, 2.^{me} et 3.^{me} section de la 3.^{me} partie on pourra décider :

5.^e Avantage. Il sera possible de savoir si une rivière sera navigable, hallable ou flottable.

1.^o Si une rivière dont la profondeur d'eau est telle qu'elle est requise par la navigation, a en même-temps la pente convenable pour naviguer à la voile ou seulement au hallage.

2.^o Si la pente étant propre à la navigation à la voile, la profondeur d'eau est aussi telle qu'elle doit être pour cet objet, ou s'il faut se borner à la flottaison.

3.^o Si certaines rivières dont la pente est trop forte et le volume d'eau trop petit, même pour la flottaison, ne pourraient pas au moins dans les crues ou pendant le temps des eaux moyennes être employées à la flottaison des bois.

6.^e Avantage. On connaîtra s'il est possible ou non de joindre deux rivières navigables par un canal de communication.

672. Lorsqu'il s'agira de faire communiquer deux rivières navigables par un canal et qu'il ne se rencontre pas d'obstacle dans l'entre-deux, les tables indiqueront laquelle des deux est la plus élevée et en quel endroit, ou à-peu-près, on doit établir le point de dérivation. Si au contraire il se rencontrait intermédiairement une chaîne de montagnes ou de collines qui séparât les deux vallées, comme il est fort rare que ces chaînes ne soient pas traversés par quelque route; que les routes en pareil cas franchissent ordinairement les montagnes aux endroits les moins élevés, et que (654 1.^o) les tables des routes portent essentiellement les repères placés au sommet des montées, on jugerait par la position de ces repères en quel endroit devrait être établie la dérivation sur le cours de la rivière pour franchir sans percement souterrain la chaîne de montagnes dont nous parlons.

7.^e Avantage. On jugera de la possibilité de réduire une rivière et de construire un pont.

673. Les profils transversaux des rivières, en faisant connaître la largeur du lit majeur ainsi que la hauteur des plus hautes eaux, donneraient les moyens nécessaires pour juger de la possibilité de la réduction de leur lit et de l'étendue de terrain qu'on pourrait gagner. Ils indiqueraient aussi les endroits les plus convenables pour construire des ponts.

8.^e Avantage. On pourra s'assurer si les rivières exhausseront leur lit, et connaître les progrès de l'exhaussement.

674. On prétend que plusieurs rivières exhausseront leur lit. Nous avons même démontré la chose aux N.^{os} 194. 4.^o et 273. de notre *Essai sur la théorie des torrens et des rivières*. Les repères portés sur les tables étant fixes et invariables serviront de termes de comparaison à cet égard, et en même-temps ils feront connaître les progrès annuels de cet exhaussement; d'où l'on pourra déduire les moyens à employer pour en empêcher les effets pernicioeux.

675. Les tables relatives aux routes offriront un moyen simple et facile d'avoir la distance de chaque repère au premier milliaire de l'Empire. Cette distance sera immédiatement donnée par les tables pour les routes de la 1.^{re} classe (661). Dans les routes de 2.^{me} classe on la connaîtra en ajoutant la distance de l'embranchement au 1.^{er} milliaire à celle du même embranchement au repère dont il sera question; et ainsi de suite pour les routes des classes suivantes et pour celles d'embranchement pour lesquelles il ne faudra jamais employer que l'addition d'autant de distances partielles qu'il y aura de classes différentes. On pourra donc avoir un itinéraire très-exact pour toute l'étendue de l'Empire, objet à bien des égards très-essentiel pour le Gouvernement.

676. Ces tables feront pareillement connaître au premier abord les parties de route dont la pente est trop rapide et qu'il faut adoucir.

Connaissant ces parties on pourra consulter les profils y relatifs qui donneront tous les détails et d'après lesquels on sera en état d'ordonner les changemens à faire.

677. En parcourant les profils transversaux des routes à roulage on verra quelles sont celles de ces routes qui ont besoin d'être élargies; et suivant leur importance on pourra prendre les mesures les plus propres pour leur donner la largeur convenable.

678. En un mot à l'aide seul des profils et des tables y relatives on peut, sans sortir du dépôt des plans, connaître parfaitement les canaux, les aqueducs, les routes et les rivières de l'Empire; et le Gouvernement aura toutes les données nécessaires pour juger les projets qu'on lui présentera et même pour former tous ceux

9.^e Avantage. On aura un itinéraire très-exact pour toutes les routes de l'Empire.

10.^e Avantage. On connaîtra les trop fortes pentes des routes et les changemens à ordonner.

11.^e Avantage. On connaîtra aussi les routes trop étroites et le moyen de les élargir.

12.^e Avantage. Du dépôt des plans on pourra former des projets et juger de ceux qui seront proposés.

qui n'ont pas encore été enfantés et dont la France est susceptible relativement à la partie des canaux, de la navigation intérieure et des ponts et chaussées. Il suffira pour cela d'avoir sous ses yeux des cartes bien détaillées, telles que celles de Cassini.

13.^e Avantage. On perfectionnera l'art de mesurer les hauteurs par le baromètre.

679. Indépendamment de ces objets il y en a d'autres qui retireront un très-grand avantage de ces tables en particulier. Nous pouvons mettre en première ligne le perfectionnement de l'art de mesurer les hauteurs par le moyen du baromètre. On sait que la méthode usitée à cet égard ne donne que des approximations et laisse encore beaucoup à désirer pour l'exactitude. Les divers repères portés sur les tables donneront avec la plus grande précision toute sorte de hauteurs depuis le niveau de la mer jusqu'au sommet du Mont-Cenis, du col de Tende, etc. On aura donc une infinité de termes de comparaison à l'aide desquels on pourra réformer la méthode usitée et la porter à la perfection dont elle est susceptible. Alors on pourra l'employer en toute sûreté pour prendre les hauteurs de toutes les montagnes; objet qui peut être de la plus grande utilité pour le Gouvernement.

14.^e Avantage. On connaîtra divers autres objets relatifs à la géologie.

680. Ces tables seront aussi très-utiles pour l'assent naturelle. En effet:

1.^o Les ravins et les fondrières des montagnes font connaître la contexture intérieure du globe en ces endroits. On en connaîtra la hauteur par les repères des tables les plus voisines. Or la connaissance de la hauteur de certaines matières; au-dessus du niveau de la mer, peut faire découvrir des vérités très-utiles aux progrès de la géologie.

2.° On sait qu'il existe une ligne au-dessus de laquelle la fonte des neiges cesse d'avoir lieu. Cette ligne s'abaisse continuellement en avançant du sud au nord. Elle est par conséquent moins élevée aux montagnes du département du Mont-Blanc qu'aux Pyrénées. On en connaîtra la hauteur sur chaque masse de montagnes par le moyen des repères les plus à portée.

3.° Il y a pareillement une ligne au-dessus de laquelle le bois cesse de croître. C'est encore par le moyen de ces repères qu'on pourra en déterminer la hauteur.

4.° Enfin l'expérience prouve que dans les forêts chaque espèce d'arbre ne croît que sur une hauteur déterminée prise dans l'atmosphère. A l'aide de ces repères on fixera les hauteurs des lignes de marcation de chaque espèce.

681. Nous avons dit (636) que toutes les opérations relatives aux profils et qui commenceraient ou finiraient aux bords de l'Océan devaient s'y rapporter à des repères immuables. Nous avons vu aussi (635) comment on pouvait lier entr'eux tous les nivellemens d'un bout à l'autre de la France. Par conséquent on aura la hauteur de ces repères au-dessus des plus basses eaux de la Méditerranée (632 et 633). On pourra donc alors s'assurer à quel point de la hauteur de la marée la superficie de l'Océan est de niveau avec celle de la Méditerranée.

Ce travail est dans les attributions des ingénieurs des ponts et chaussées.

Précautions à prendre par le Gouverneur.

15.° Avantage. On pourra comparer les niveaux de l'Océan et de la Méditerranée.

SECTION VII.

Des moyens à prendre pour la dresse des profils et des tables qui s'y rapportent.

Ce travail est dans les attributions des ingénieurs des ponts et chaussées.

682. Tous les objets dont nous parlons étant dans la sphère des attributions des ingénieurs des ponts et chaussées, nous n'avons pas besoin de dire que ce sont ces ingénieurs qui doivent être chargés de la dresse des profils et des tables dont il s'agit. Il ne nous reste donc qu'à exposer les mesures préalables que le Gouvernement pourrait prendre à cet égard.

Précautions à prendre par le Gouvernement.

683. Lorsqu'il aura été décidé qu'on doit s'occuper de ce travail, il nous paraît qu'il serait à propos que le Gouvernement adoptât le procédé suivant :

1.° On décidera d'abord si dans les profils on doit employer la même échelle pour les longueurs, les largeurs et les hauteurs. Nous pensons que la décision doit être pour l'affirmative (627).

2.° On fixera ensuite la grandeur de l'échelle à employer. Il nous paraît que celle de 4 millimètres par mètre (628) serait la plus convenable, sauf à la réduire si on le juge à propos.

3.° On fera le relevé de toutes les routes qui dans chaque département seront impériales ou départementales.

4.° D'après ce relevé on dressera deux états particuliers dont le premier ne comprendra que les routes qui passent d'un département à l'autre ou qui entrent chez l'étranger, et l'autre ne contiendra que celles qui ne sortent point des limites de leurs départemens respectifs.

5.° Le même relevé et les deux états dont nous venons de parler auront pareillement lieu pour les canaux et les aqueducs à la charge du Gouvernement, et pour les rivières.

6.° On fixera aussi la longueur à donner à chaque rouleau; nous pensons (628) que cette longueur doit moyennement représenter 5 kilomètres, sauf réduction.

7.° On dressera pareillement des modèles de tables de nivellement conformes à celles prescrites aux sections II, III et IV ci-dessus avec l'addition mentionnée au N.° 664. Ces modèles seront imprimés pour être remplis dans les départemens.

8.° On dressera enfin une instruction qui contiendra les vœux du Gouvernement à ce sujet, et la manière dont on doit procéder à la confection tant des profils que des tables dans chaque département.

9.° Cette instruction, les états des N.°s 4.° et 5.° et les modèles de table du N.° 7.° ci dessus, seront adressés à tous les ingénieurs en chef tant des départemens que de la navigation intérieure, pour la partie les concernant chacun respectivement.

684. Passons à présent au mode d'exécution.

Procédé à suivre
pour l'exécution.

1.° Les ingénieurs en chef des départemens limitrophes conviendront entr'eux des repères fixes et immuables à prendre aux limites de leurs départemens respectifs (634 et 635) sur les canaux, aqueducs, routes et rivières qui passent d'un département à l'autre.

2.° Dans chaque département les opérations seront distribuées par arrondissemens des ingénieurs ordinaires.

3.° Les ingénieurs ordinaires seront chargés de faire tous les nivellemens des profils dont il s'agit dans leurs

arrondissemens respectifs sous la direction de leur ingénieur en chef.

4.° En conséquence l'ingénieur en chef parcourra avec chaque ingénieur ordinaire les divers objets à profiler dans chaque arrondissement, et ils conviendront de concert des repères immuables à porter sur les tables de nivellement.

5.° L'ingénieur en chef réglera le mode à suivre pour lier entr'elles les opérations de tous les arrondissemens du département.

6.° Les opérations seront rédigées par l'ingénieur en chef et les profils et les tables de nivellement seront dressés dans son bureau.

7.° Après le calcul des hauteurs des repères mentionnés ci-dessus (1.°) au dessus du niveau de la mer, l'ingénieur en chef du département du Var les transmettra aux ingénieurs en chef des départemens des Bouches-du-Rhône, des Basses-Alpes et des Alpes-Maritimes. Ceux-ci calculeront d'après ces données les hauteurs des repères limitrophes ultérieurs et en communiqueront les résultats aux ingénieurs en chef des départemens voisins suivans; et ainsi de suite jusqu'aux extrémités du territoire Français (634 et 635).

8.° Chaque rouleau de profils portera sur le dos un N.° qui sera exprimé sur la table y relative (664).

9.° Au-dessous du N.° chaque rouleau portera l'étiquette qui désignera le département et l'objet auquel il appartient, ses points extrêmes, et la longueur du trajet qu'il représente.

10.° Les profils et les tables de nivellement seront dressés par *duplicata*. Une expédition sera adressée au Gouvernement pour être remise au dépôt des plans des

ponts et chaussées, et la seconde restera dans le bureau de l'ingénieur en chef du département y relatif.

685. Lorsque le gouvernement aura reçu les profils et les tables de nivellement de tous les départemens de l'empire, il restera à faire une dernière opération pour classer le tout avec ordre dans le dépôt, et une nouvelle rédaction des tables relatives aux canaux, aqueducs etc. qui passent d'un département dans un autre. Il nous semble qu'on pourrait suivre le mode que nous allons proposer pour la classification des profils.

Procédés à suivre pour la classification dans le dépôt.

1.° Dans le dépôt il y aura une tablette pour chaque département et au dessus de laquelle on lira le nom du département auquel elle appartiendra.

2.° La partie basse de la tablette sera destinée aux plans du département auquel elle appartiendra.

3.° La partie restante sera affectée aux profils.

4.° Cette dernière partie sera divisée en cases dont chacune ne recevra qu'un rouleau.

5.° La largeur de ces cases sera proportionnée au diamètre des rouleaux. Leur hauteur sera un peu plus grande, afin de pouvoir placer dans la partie supérieure un N.° et l'étiquette du rouleau (684. 9.°).

6.° On distribuera ces cases par rayons qu'on affectera respectivement aux canaux, aux aqueducs, aux rivières et aux routes.

7.° On dressera un répertoire général et par départemens. Ce répertoire sera composé de 4 colonnes. La 1^{re} contiendra la désignation des canaux, aqueducs, routes et rivières, conformément aux états mentionnés au N.° 683 4.° et 5.° La 2^{me} portera l'étiquette des profils

y relatifs (684 9.°) La 3.^{me} désignera le N.° du profil correspondant, et la 4.^{me} celui de la case où il sera placé.

Ce qu'il faudra
faire pour les tables.

686. Quant aux tables de nivellement, il est visible que chaque objet pris dans son ensemble doit n'avoir qu'une seule table. Par conséquent les tables des objets circonscrits dans les limites d'un seul et même département seront disposées telles qu'elles auront été dressées par les ingénieurs en chef. Mais les objets qui passent par deux ou plusieurs départemens ayant plusieurs tables partielles, exigent chacun, d'après ce qui a été dit dans les sections précédentes, une seule et même table dressée d'après ces tables partielles. En conséquence pour ces derniers objets, on dressera des tables générales et on les réunira dans des registres distincts suivant leur nature; le tout conformément à ce qui a été dit dans la section V.

Repertoire pour les
registres des tables.

687. Les divers registres qui formeront la collection de ces tables exigent aussi un répertoire. Ce répertoire sera en trois colonnes dont la 1.^{re} exprimera l'objet; la 2.^{me} portera le N.° du registre, et la 3.^{me} le nombre de la page. On sait d'ailleurs comment ces répertoires se dressent. Ainsi il est superflu d'en dire davantage.

Instrumens à procurer
aux ingénieurs.

688. Une pareille entreprise suppose que dans chaque département les ingénieurs soient munis de bons instrumens : car on sent que pour parvenir à la plus grande précision, on ne peut pas employer d'autre niveau que celui à bulle d'air et à la lunette, accompagné d'une excellente mire. Ainsi il paraît convenable que dans une telle opération, le Gouvernement procure préalablement à chaque ingénieur les instrumens dont nous parlons, ou que chaque ingénieur en fasse les frais, si le Gouvernement l'ordonne.

689. Nous avons vu dans le cours de cet ouvrage que les nivellemens ne peuvent pas se faire sans des porte-chaines et un porte-mire; ce qui entraîne nécessairement des dépenses d'autant plus considérables que les opérations sont plus longues. Par conséquent si un jour le Gouvernement juge à propos de faire dresser ces profils, il est indispensable d'en faire préalablement les fonds nécessaires pour pouvoir terminer l'entreprise.

Fonds préalables à faire pour cet objet.

690. Telles sont nos vues sur cet objet dont tout le monde peut sentir l'importance. Nous les avons communiquées à son Excellence le Ministre de l'intérieur dans un rapport en date du 6 nivôse an 6. Son Excellence en nous témoignant sa satisfaction, nous fit connaître qu'à raison des circonstances il était obligé d'en renvoyer l'exécution à un autre temps. Cependant notre système pouvant être susceptible de réformes et d'améliorations, nous avons cru devoir l'insérer dans cet ouvrage dont il est une dépendance et une suite nécessaire, et mettre par là non-seulement les ingénieurs, mais encore toutes les personnes instruites à portée de fournir leurs observations au Gouvernement. Comme nous n'avons que le bien public en vue et que nous pouvons nous tromper dans les idées que nous présentons, nous apprendrons toujours avec le plus grand intérêt qu'on a rectifié les erreurs ou les inexactitudes qui auraient pu s'être glissées dans ce projet.

Conclusion.

F I N.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS CE VOLUME.

CHAPITRE PREMIER.

De la surface du Globe terrestre, des lignes et des surfaces de niveau.

SECTION PREMIÈRE.

De la figure du Globe terrestre.

A TTRACTION des particules de matière. N.ºs 1	Applatissement du Globe et dimensions du demi-axe et du demi-diamètre de l'équateur. 6
L'attraction produit la forme sphérique. 2	Forme de la courbe génératrice du Globe. 7
La terre et les autres planètes affectent la forme sphérique. 3	Quelle est l'altération produite par les montagnes. 8
Cette forme est altérée dans la terre par l'hétérogénéité de ses élémens. 4	Quelle est la vraie forme du Globe. 9
Et par le mouvement de rotation autour de l'axe. 5	Figures résultantes des diverses sections du Globe. 10

SECTION II.

Des lignes et des surfaces de niveau.

Définition de la ligne de niveau en général. 11	La gravité agit perpendiculairement à la surface des fluides stagnans. 16
Le niveau vrai est une ligne courbe. 12	la direction de la gravité est la même que celle d'un pendule. 17
Exemple explicatif du niveau vrai et du niveau apparent. 13	L'aplomb et le niveau se coupent toujours à angles droits. 18
Conséquence qui en résulte. 14	Direction de la gravité dans l'intérieur du Globe. 19
Le niveau vrai est désigné par la superficie des fluides stagnans. 15	

Si la terre était sphérique, tous les aplombs prolongés passeraient par le centre. 20	Comment on dresse la table de haussement du niveau apparent pour un parallèle à l'équateur. 33
Dans l'état actuel il n'y a que l'équateur et les pôles où l'aplomb se dirige vers le centre. 21	Méthode pour calculer les haussements du niveau apparent sur une petite portion du méridien. 34
Rayon de courbure des méridiens. 22	Même méthode pour les sections obliques à l'équateur et passant par le centre. 35
Considérations sur les variations du rayon de courbure du méridien. 23	Observations à ce sujet. 36
Observation particulière sur le même rayon. 24	Dresse d'une table de haussement du niveau apparent. 37
Si la terre était sphérique, à égales distances les différences entre les niveaux vrai et apparent seraient égales. 25	Usage de cette table. 38
Des lignes qui s'élèvent ou s'abaissent également par rapport à celle du niveau vrai. 26	Niveau des mers et des lacs. 39
Cette différence sur la terre supposée sphérique est comme le carré des distances. 27	La surface des mers est de niveau. 40
Valeur de la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent. 28	Observation sur la distance des points de cette surface au centre de la terre. 41
Observation sur la table de Picard. 29	Observation sur le canal projeté de l'isthme de Suez. 42
Variations de la différence entre les niveaux vrai et apparent dans l'état actuel. 30	Observations sur la surface des lacs supérieurs ou inférieurs à la mer. 43
Une table de haussement du niveau apparent ne peut être généralisée. 31	Ce qu'il faut faire lorsqu'un nivellement conduit au bord d'un lac ou d'une mer à traverser. 44
Erreur de Picard sur le haussement du niveau apparent. 32	Observation sur la surface des eaux d'un canal de navigation. 45
	Ce qu'il faut faire pour niveller un canal de navigation. 46
	Cas où l'on a une rivière à traverser par le nivellement. 47
	Observation sur la surface des eaux des marais. 48

CHAPITRE II.

Des instrumens nécessaires au nivellement.

SECTION I.

Notions générales et préliminaires.

N IVEAU, rayon de visée et sa direction. 49	enlaire à l'aplomb. 50
La ligne de niveau doit être perpendi-	Deux sortes de niveau, à perpendiculaire et à eau. 51

SECTION II.

Des niveaux à perpendicule.

§ I.

Description du niveau de poseur.

Description du niveau de poseur.	52	Qualités de la règle sur laquelle on établit le niveau.	55
En quoi consiste l'exactitude de ce niveau.	53	Ce niveau est aussi en usage chez les maçons.	56
Moyens d'en augmenter la précision.	54		

§ II.

Description du niveau de paveur.

Description du niveau de paveur.	57	Moyen de le perfectionner au besoin.	58
----------------------------------	----	--------------------------------------	----

§ III.

Description du niveau de l'agronome.

Objet du niveau de l'agronome.	59	Manière de diviser l'instrument pour cet objet.	63
Description de ce niveau.	60	Poignée à placer au bout de l'instrument pour la manœuvre.	64
Semelles à y adapter.	61		
Ce niveau doit pouvoir servir de niveau de pente.	62		

§ IV.

Des niveaux de Picard et d'Huygens.

Description abrégée des niveaux de Picard et d'Huygens.	65
---	----

SECTION III.

Des niveaux à eau.

Observations sur les niveaux à perpendicule et à eau.	66	Diverses espèces de niveaux à eau.	67
---	----	------------------------------------	----

§ I.

§ I.

Description du niveau d'eau simple.

Description du tube et de ses parties montantes.	68	Quelle sera l'horizontale dans ce niveau.	74
Description de la douille.	69	L'eau doit être colorée.	75
On distingue deux sortes de pied.	70	Abaissement de la ligne de visée par l'inclinaison du tube.	76
La seconde sorte est préférable à la première.	71	Cet instrument tel qu'il est construit est défectueux.	77
Description de la partie supérieure du pied.	72	Moyen de corriger ce défaut.	78
Description de la partie inférieure du pied.	73	Inconvéniens de cet instrument.	79

§ II.

Description du niveau d'eau à pinnules.

Description et usage des niveaux à pinnules.	80	Inconvéniens de ce niveau.	81
--	----	----------------------------	----

§ III.

Description du niveau d'eau à lunette.

Ce niveau ne peut pas être employé par les Ingénieurs. 82

§ IV.

Description du niveau simple à bulle d'air.

Description et qualités du tube de verre.	83	Le tube de verre doit être enchassé dans un tube de métal.	85
Conditions pour que le tube soit de niveau.	84	Comment le tube doit être monté pour former le niveau simple.	86

§ V.

Description du niveau à bulle d'air et à pinnules.

De quelles parties ce niveau est composé.	87	Ce qu'il faut faire avant de se servir de ce niveau.	92
Description de la règle.	88	Portée de ce niveau.	93
Disposition du tube sur la règle.	89	Inconvéniens des niveaux qui n'ont qu'une vis sans fin.	94
Description des pinnules.	90	Inconvéniens des niveaux dont le genou est à boule.	95
Description du genou à platines et de ses dépendances.	91		

§ VI.

Description du niveau à bulle d'air et à lunette.

Avantages de ce niveau.	96	Conditions nécessaires à son usage.	101
Règle et genou.	97	Portée des stations de ce niveau.	102
Coussinets de la lunette.	98	Le genou à platine doit être seul adopté.	103
Lunette et dépendances.	99		
Tube à bulle d'air.	100		

SECTION IV.

Des autres instrumens nécessaires au nivellement.

Quels sont ces instrumens.	104
----------------------------	-----

§ I.

Des jallons et des piquets.

Description des jallons.	105	De quel bois ils doivent être faits.	107
Nombre des jallons nécessaires dans le nivellement.	106	Piquets à planter aux angles et aux repères.	108

§ II.

De la mire et de son carton.

La construction de la mire influe beaucoup sur l'exactitude des nivellemens.	109	Jeu à donner à ce collier.	118
Construction de la mire principale.	110	Division de la mire principale.	119
Moyen d'empêcher qu'elle ne se raccourcisse par embas.	111	Disposition des chiffres divisoires.	120
Même moyen pour en empêcher le raccourcissement par en haut.	112	Ordre suivant lequel on les placera.	121
Observation sur la longueur absolue de la partie en bois.	113	Cet ordre est inverse dans la mire additionnelle.	122
Construction de la mire additionnelle.	114	Division de la mire additionnelle.	123
Développement de la construction de ces deux mires.	115	Disposition des chiffres divisoires sur cette mire.	124
Observation à ce sujet.	116	Construction du carton de mire.	125
Collier attaché au bas de la mire additionnelle.	117	Thyau postérieur adhérent au carton.	126
		Comment on se sert de la mire dans les nivellemens.	127
		Moyen de connaître les millimètres et les parties de millimètre dans les hauteurs de mire.	128

§ III.

De la chaîne à mesurer les distances.

Quelles mesures on doit employer pour les distances.	129	On ne peut se servir que d'une chaîne.	131
Les cordons ne peuvent pas être employés.	130	Grosseur du fil de fer et forme des anneaux de la chaîne.	132

Forme du bout des chaînons.	133	Moyen de faciliter le compte des mètres d'une chaîne.	136
Forme et dimensions des poignées des deux abouts.	134	Description des fiches en fer.	137
Longueur des chaînons.	135		

§ I V.

Des autres objets nécessaires au nivellement.

Autres objets nécessaires.	138	Ciseau de tailleur de pierre.	140
Petite hâche.	139		

SECTION V.

Observations sur le transport des instrumens nécessaires au nivellement.

Boîte pour enfermer et transporter le niveau.	141	Objets qu'il faut exclusivement faire porter par les piqueurs.	145
Étui pour le carton de mire.	142	En employant le niveau d'eau, il faut se munir de fioles de rechange et de cire.	146
Fourreau et anneau pour le pied du niveau.	143		
Sac de peau pour la chaîne, les fiches, etc.	144		

CHAPITRE III.

DE LA VÉRIFICATION DES NIVEAUX.

AVANT de faire usage d'un niveau on doit le vérifier. 147

SECTION PREMIÈRE.

De la vérification des niveaux à perpendiculaire.

§ I.

De la vérification du niveau de poseur.

Comment on vérifie le niveau de poseur. 148

§ II.

De la vérification de niveau de paveur.

La vérification à l'équerre suffit au niveau de paveur. 149

§ III.

De la vérification du niveau de l'agronome.

La vérification du niveau de l'agronome est la même que celle du niveau de poseur. 150

SECTION II.
De la vérification des niveaux à eau.

§ I.

De la vérification du niveau d'eau simple.

Le niveau d'eau simple n'a pas besoin de vérification. 151

§ II.

*De la vérification du niveau d'eau simple à bulle d'air.*Manière de vérifier le niveau simple à bulle d'air. 152
Principes sur lesquels cette vérification est fondée. 153
Conséquence qui résulte de ces principes. 154

§ III.

*De la vérification du niveau à bulle d'air et à pinnules.*En quoi consiste la vérification du niveau à bulle d'air et à pinnules. 155
Comment on rend parrallèles le rayon de visée et le diamètre des platines. 156
Démonstration de ce procédé. 157
Comment on rend parrallèles le tube à bulle d'air et le diamètre des platines. 158
Démonstration de ce procédé. 159
Le tube et le rayon de visée seront parrallèles au plan des platines. 160
L'instrument étant monté, le tube et le rayon de visée seront de niveau dans tous les sens. 161
Moyen de niveller exactement avec un niveau défectueux. 162
Vérification mécanique d'un niveau à bulle d'air et à pinnules. 163

§ IV.

*De la vérification du niveau à bulle d'air et à lunette.*En quoi consiste la vérification du niveau à bulle d'air et à lunette. 164
Comment on rend les deux fils de la lunette l'un vertical et l'autre horizontal. 165
Comment on ramène le fil horizontal à l'axe de la lunette. 166
Démonstration de cette méthode. 167
Comment on y ramène le fil vertical. 168
Démonstration de ce procédé. 169
L'intersection des deux fils sera dans l'axe. 170
Comment on rend l'axe de la lunette parrallèle au plan des platines. 171
Démonstration de cette méthode. 172
Comment on rend le tube à bulle d'air parrallèle au plan des platines. 173
Alors le tube et l'axe de la lunette seront parrallèles au plan des platines. 174
Méthode mécanique de vérification. 175CHAPITRE IV.
DES LOIS DU NIVELLEMENT.OBJET du nivellement et manière d'établir la comparaison des hauteurs des points nivelés. 176
Termes extrêmes d'un nivellement. 177
Termes ou repères de vérification. 178

Drese d'une table comparative des hauteurs de divers points.	179	Règle générale du nivellement composé ascendant.	185
Cas où les hauteurs et la ligne de niveau représentent les ordonnées et les abscisses respectivement.	180	Cette règle peut être déduite de celle du N. ^o 182.	186
Les hauteurs respectives ne peuvent être connues que par un nivellement simple ou composé.	181	Règle générale du nivellement composé descendant.	187
Règle générale du nivellement simple ascendant.	182	Règle générale du nivellement composé ascendant et descendant.	188
Règle générale du nivellement simple descendant.	183	La règle subsistera lorsqu'il y aura des hauteurs de mire = 0.	189
Quel est le point le plus haut ou le plus bas dans un nivellement simple.	184	Quelle sera la hauteur respective des deux termes extrêmes.	190
		On peut négliger la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent.	191

C H A P I T R E V.

DE LA PRATIQUE DU NIVELLEMENT.

SECTION PREMIÈRE.

Usage des niveaux à perpendiculaire.

§ I.

Usage du niveau de poseur.

L reste peu à dire sur cet objet. 192
 Manière d'employer cet instrument pour mettre de niveau le lit d'une assise. 193

Cette manière s'applique à tous ses usages. 194

§ II.

Usage du niveau de paveur.

La règle est regardée comme l'axe des abscisses. 195
 Usage de ce niveau pour les pentes des pavés. 196

Usage du même niveau pour le bombement des pavés des chaussées. 197

§ III.

Usage du niveau de l'agronome.

Préalables à fixer. 198

Manière de se servir de ce niveau. 199

SECTION II.

Usage des niveaux à eau et des instrumens accessoires.

§ I.

Observations générales et préliminaires.

Établissement du premier terme de nivellement. 200

Etablissement du niveau sur la première station.	201	Ce que doit alors faire l'ingénieur.	227
Précautions à prendre en montant le niveau.	202	Cas où l'on donne plusieurs coups de niveau entre les deux termes de la station.	222
Opération sur l'arrière de la première station.	203	Ce qu'on fait dans le changement de station.	223
La mire doit être exactement d'aplomb.	204	Ce qu'il faut faire sur la seconde station et les suivantes.	224
Par qui l'inclinaison de la mire sera apperçue.	205	Nécessité et choix des repères de vérification.	225
Signes de convention pour mettre la mire d'aplomb.	206	La réfraction du rayon de visée sera nulle.	226
Fixation du carton de mire à la hauteur du rayon de visée.	207	Choix des termes de suspension, lorsqu'on interrompt les opérations.	227
Signes de convention pour faire hausser ou baisser le carton de mire.	208	La détermination de la hauteur relative des points nivelés exige continuité dans la série des nivellemens de station.	228
Signes de convention pour fixer le carton de mire.	209	Cas où la mensuration des longueurs est superflue dans le nivellement.	229
Comment on connaît s'il faut employer la mire additionnelle.	210	Le chaînage doit suivre toutes les sinuosités de la ligne nivelée.	230
Signes relatifs à ce cas.	211	Moyen de diriger les piqueurs <i>porte chaînes</i> .	231
Comment on trouve le lieu convenable pour placer le niveau.	212	Plantation et enlèvement des jallons.	232
Moyen de rendre les signes plus sensibles.	213	Opérations préliminaires des <i>porte chaînes</i> .	233
Comment on doit tenir la mire en manœuvrant.	214	Comment on procède au chaînage.	234
Transport de la mire de l'arrière à l'avant de la première station.	215	Comment on connaît les distances par le nombre des fiches.	235
Comment on prend la hauteur de mire.	216	Comment se fait le chaînage entre deux repères sur une ligne soit droite soit sinuëuse.	236
Usage du <i>nonius</i> pour cet objet.	217	Manière de chaîner sur un terrain en pente.	237
Position du <i>porte-mire</i> en avant.	218	Comment on chaîne sur les pentes rapides.	238
Distance à laquelle le <i>porte-mire</i> doit se placer.	219		
Précautions à prendre dans le placement de la mire en avant.	220		

§ I I.

Usage du niveau à eau simple.

Comment on doit établir et monter le niveau.	239	Ce qu'il faut faire après avoir changé de station.	242
Quelle doit être la direction du rayon de visée.	240	Ce qu'il faut observer si le genou n'est pas à platine.	243
Transport du niveau d'une station à l'autre.	241		

§ I I I.

Usage du niveau à bulle d'air et à pinnules.

Comment on doit se servir de cet instrument.	244	Transport de l'instrument d'une station à l'autre.	245
Précautions à prendre dans le trans-			

SECTION III.

Usage du niveau à bulle d'air et à lunette.

Comment on se sert de ce niveau. 246	Ce qu'il faut observer dans le changement de station. 247
--------------------------------------	---

SECTION IV.

De la manière de tenir un registre de nivellement et du calcul des hauteurs.

§ I.

De la manière de tenir un registre de nivellement.

Deux sortes de nivellemens, sans chaînage et avec chaînage. 248	Observations sur ce modèle. 254
Dresse du tableau relatif aux nivellemens sans chaînage. 249	Formation d'un registre qui embrasse tous les cas. 255
Modèle de registre relatif à ce cas. 250	Modèle de ce registre. 256
Modèle de registre relatif aux nivellemens avec chaînage. 251	1. ^e Observation sur ce modèle. 257
Cas où la station contient plus de deux coups de niveau. 252	2. ^e Observation sur le même modèle. 258
Modèle de registre relatif à ce cas. 253	3. ^e Observation sur le même modèle. 259

§ I I.

Du calcul des hauteurs.

Principe fondamental pour le calcul des hauteurs. 250	2. ^e Application à ce même modèle. 266
1. ^e Application au modèle du n. ^o 250. 261	Observation sur le modèle, du n. ^o 251. 267
2. ^e Application au même modèle. 262	1. ^{re} Application à ce modèle. 268
3. ^e Application au même modèle. 263	2. ^e Application au même modèle. 269
Modèle de table des repères de vérification pour les grands nivellemens. 264	Application au modèle du n. ^o 253. 270
1. ^e Application à ce modèle. 265	1. ^{re} Application au modèle général. 271
	2. ^e Application au même modèle. 272

SECTION V.

De la vérification d'un nivellement.

La vérification d'un nivellement se fait par un autre nivellement. 273	Cas où la vérification a lieu sur la même ligne que le nivellement 277
Dans quel cas on doit regarder un nivellement comme exact. 274	Quel est le vrai résultat lorsque les nivellemens ne se raccordent pas parfaitement. 278
Comment on s'assure si l'erreur est dans le nivellement ou dans la vérification. 275	Les grandes erreurs ne proviennent que des méprises. 279
Si l'erreur est dans le nivellement développé, on la trouve par les repères de vérification. 276	Les vérifications n'ont pas besoin de chaînage. 280

CHAPITRE VI.

APPLICATION DU NIVELLEMENT AU TRACÉ DES CANAUX ET AQUEDUCS.

DIVISION des canaux. 281

SECTION PREMIÈRE.

Application du nivellement au tracé des canaux.

§ I.

Notions préliminaires sur les canaux.

Observations sur l'objet dont on traite.	282
Définition d'un canal.	283
Parties qui entrent dans la construction d'un canal.	284
On distingue trois sortes de canaux.	285
Talus des bords d'un canal.	286
Plat-fond et pente d'un canal d'irrigation.	287
Plat-fond et pente d'un canal de navigation.	288
Plat-fond et pente d'un canal d'irrigation et de navigation.	289
Dans un canal le déblai doit fournir au remblai des chaussées.	290
Objets à fixer avant la construction d'un canal.	291
Quels doivent être les deux termes de nivellement d'un canal.	292
Avant tout, on doit constater la possibilité du canal.	293
Problème auquel se réduit le tracé d'un canal.	294
Repères à choisir et leurs distances respectives.	295
Problème de la solution duquel dépend la fixation des repères.	296
Divers cas que présente ce problème.	297
Cas où la hauteur de mire avant étant inconnue, il y a 1. ^o déblai arrière et avant.	298
2. ^o Déblai arrière et remblai avant.	299
3. ^o Déblai arrière et ni déblai ni remblai avant.	300
4. ^o Remblai arrière et déblai avant.	301
5. ^o Remblai arrière et avant.	302
6. ^o Remblai arrière et ni déblai ni remblai avant.	303
7. ^o Ni déblai ni remblai arrière, avec déblai avant.	304
8. ^o Ni déblai ni remblai arrière, avec remblai avant.	305
9. ^o Ni déblai ni remblai arrière et avant.	306
Cas où la hauteur de mire avant étant connue, il y a 1. ^o déblai arrière.	307
2. ^o Remblai arrière.	308
3. ^o Ni déblai ni remblai arrière.	309
Comment on applique les douze formules précédentes aux canaux de navigation.	310
Ces formules s'appliquent sans restriction aux canaux d'irrigation et de navigation.	311
Formule générale embrassant les douze cas précédens.	312
Développement de la formule générale.	313
Moyen d'appliquer ces formules aux canaux de navigation.	314
Observation au sujet de l'application de ces formules.	315

§ II.

Nivellement du tracé d'un canal d'irrigation.

Première opération de nivellement du tracé d'un canal d'irrigation.	316
Comment on détermine les points par lesquels le canal doit passer.	317

Comment

Comment on termine la station pour passer à la suivante.	318	Châtes pour usines.	323
Ce qu'on doit faire sur cette nouvelle station.	319	Cas où le tracé traverse des bruyères.	324
Cas d'une vallée à franchir.	320	Cas où le tracé traverse un bois taillis.	325
On se rapportera aux termes de vérification.	321	Cas où le tracé traverse une forêt de haute futaie.	326
Les coupemens exigent qu'on déroge au problème du N.º 294.	322	Cas où le tracé traverse un marais.	327

§ III.

Nivellement du tracé d'un canal de navigation.

Mode à suivre dans le tracé d'un canal de navigation.	328	Cas où le canal doit traverser un étang.	330
Emplacement des écluses.	329		

§ IV.

Nivellement du tracé d'un canal d'irrigation et de navigation.

Observation sur la manière de tracer ces sortes de canaux.	331
--	-----

SECTION II.

Application du nivellement au tracé des aqueducs.

Diverses sortes d'aqueduc et leur objet.	332	Comment on procède au tracé d'un aqueduc.	333
--	-----	---	-----

SECTION III.

Observations générales sur le tracé des canaux et des aqueducs.

Objets divers à porter sur le registre.	334	Nécessité de mesurer les distances d'un repère à l'autre.	335
---	-----	---	-----

§ I.

Observations particulières sur le tracé des canaux.

Repères d'un petit canal.	336	Directions à tracer sur les repères en pierre.	338
Repères d'un grand canal.	337		

§ II.

Observations particulières sur le tracé des aqueducs.

Repères des aqueducs.	339	nivellement au tracé des routes.	340
Pourquoi nous n'appliquons pas le			

 CHAPITRE VII.

*Application du nivellement au tracé rétrograde des canaux
et des aqueducs.*

EN quoi consiste le tracé rétrograde. 341

SECTION PREMIÈRE.

Notions générales et préliminaires.

Quel est l'arrière et quel est l'avant. 342	déblai avant. 349
Cas où la hauteur de mire avant étant inconnue, on a 1. ^o déblai arrière et avant. 343	8. ^o Ni déblai ni remblai arrière avec remblai avant. 350
2. ^o Déblai arrière et remblai avant. 344	9. ^o Ni déblai ni remblai arrière et avant. 351
3. ^o Déblai arrière et ni déblai ni remblai avant. 345	Cas où la hauteur de mire avant étant connue, il y a 1. ^o déblai arrière. 352
4. ^o Remblai arrière et déblai avant. 345	2. ^o Remblai arrière. 353
5. ^o Remblai arrière et avant. 347	3. ^o Ni déblai ni remblai arrière. 354
6. ^o Remblai arrière et ni déblai ni remblai avant. 348	Formule générale embrassant les douze formules précédentes. 355
7. ^o Ni déblai ni remblai arrière avec	Comment on peut exprimer la pente et la contre-pente par la même formule. 356

SECTION II.

Nivellement du tracé rétrograde des canaux.

Comment on procède sur la première station. 357	Repère immuable près de la prise d'eau. 360
Et sur les stations suivantes. 358	Cas où l'on a une vallée à franchir. 361
Comment on trouve le point de dérivation sur la rivière. 359	Termes de vérification et autres détails. 361

SECTION III.

Nivellement du tracé rétrograde des aqueducs.

Le tracé rétrograde des aqueducs est le même que celui des canaux à pente. 361
--

CHAPITRE VIII.

APPLICATION DU NIVELLEMENT AUX PROFILS.

SECTION PREMIÈRE.

Notions générales et préliminaires.

EN quoi consiste le profil ou la coupe. 364	Définition et objet du profil longitudinal. 375
Quel est l'objet d'un profil. 365	En quels endroits et dans quelle direction on doit prendre les profils transversaux. 376
Différence entre les co. ordonnées d'un profil et celles d'une courbe géométrique. 366	Quelle est la droite ou la gauche d'un profil transversal. 377
Autre différence entre les mêmes coordonnées. 367	Objet des profils transversaux. 378
Dans quel cas l'axe des abscisses d'un profil ne formera qu'une ligne droite ou sera une ligne brisée. 368	Comment on rapporte au même axe les hauteurs de mire ou ordonnées de deux stations consécutives. 379
Il est convenu que le profil sera dans un seul plan et que l'axe des abscisses sera une ligne droite. 369	Même moyen pour les ordonnées d'un plus grand nombre de stations. 380
Position de l'axe des abscisses par rapport à la ligne de profil. 370	Conséquence qui résulte de ce moyen. 381
Variations dont l'axe des abscisses est susceptible. 371	Quels sont dans les profils les points où l'on doit prendre la hauteur de mire. 382
Variations dont les abscisses sont susceptibles. 372	Plus l'échelle du profil sera grande, plus il faudra de coups de niveau. 383
La valeur absolue des abscisses se détermine par le chaînage. 373	Nécessité des profils dans les projets. 384
On distingue deux sortes de coupes ou profils. 374	

SECTION II.

Nivellement des profils des canaux.

§. I.

Nivellement du profil longitudinal des canaux.

Manière de procéder au profil sur la première station. 385	Manière de profiler sur les stations suivantes. 388
Observations essentielles sur cet objet. 386	Cas où le canal doit couper un chemin. 389
Autre observation. 387	

Cas où le canal doit couper un torrent, une rivière ou un autre canal.	390	Cas où un canal de navigation doit traverser un étang.	392
Cas où le canal doit traverser un marais.	391	Cas où le canal doit traverser des bruyères ou des bois taillis.	393

§ II.

Nivellement du profil transversal des canaux.

On doit rapporter le profil transversal au repère.	394	établir sous le canal.	395
Quel doit être le profil transversal à l'endroit où l'on a un aqueduc à		Cas où le terrain est fort ardu.	396
		Profil transversal sur une route coupée par le canal.	397

SECTION III.

Nivellement des profils des aqueducs.

Les profils des aqueducs se prennent de la même manière que ceux des	canaux.	398
--	---------	-----

SECTION IV.

Nivellement des profils des routes.

Division des routes en deux classes.	399
--------------------------------------	-----

§ I.

Nivellement du profil longitudinal d'une route tracée et à construire.

Repères à placer et termes de vérification à choisir.	400	Du reste le profil se prend ainsi que dans les canaux.	401
---	-----	--	-----

§ II.

Nivellement du profil longitudinal d'une route en exercice.

Quels sont les repères à prendre sur les routes en exercice.	402	Comment on procède dans le profil en long de ces routes.	403
--	-----	--	-----

§ III.

Nivellement du profil transversal d'une route tracée et à construire.

Comment on prend le profil en travers de ces routes.	404
--	-----

§ IV.

Nivellement du profil transversal d'une route en exercice.

Ce qu'il faut observer dans les profils en travers d'une route en exercice. 405

SECTION V.

Nivellement des profils des rivières.

Définition et objet des profils des rivières. 406

§ I.

Nivellement du profil longitudinal des rivières.

Le profil longitudinal d'une rivière se prend en opérant sur le bord. 407	On doit rapporter la position des repères à la surface des eaux vis-à-vis, et y prendre la profondeur du courant. 413
Repères amovibles et leur distance. 408	Exemple. 414
Repères immuables et leur choix. 409	Cas où il se trouve un déversoir de barrage. 415
Comment on procède dans le nivellement en côtoyant la rivière. 410	Cas où la pente varie rapidement. 416
Cas où la rivière est bordée de précipices. 411	Cas où il s'agit, non d'une rivière, mais d'un canal occupé par les eaux. 417
On doit mentionner la distance des repères immuables. 412	

§ II.

Nivellement du profil transversal des rivières.

En quels endroits et suivant quelle direction les profils en travers des rivières doivent être pris. 418	celle pour cet objet sur une rivière non guéable. 420
Manière de procéder du repère à la surface de l'eau. 419	Observations sur cette méthode. 422
Difficultés pour les abscisses dans les sondes de la partie occupée par les eaux. 420	Si la rivière est guéable, on emploiera la chaîne. 423
Comment on peut se servir d'une fi-	Comment on profile la partie à sec du lit de la rivière. 424
	Cas où il s'agit de profiler en travers un canal occupé par les eaux. 425

SECTION IV.

De la manière de tenir les registres des profils.

§ I.

Le registre des profils longitudinaux des canaux, des aqueducs et des routes.

On doit adopter la forme du modèle du N.º 256. 426

Observations à ce sujet.	427	Repères de vérification et leurs distances à ceux qui les précèdent.	429
Cas où le profil est pris sur un étang et par sondes.	428		

§ II.

Du registre des profils longitudinaux des rivières.

Modèle de registre pour les profils longitudinaux des rivières.	430	Explication et usage de ce modèle.	431
---	-----	------------------------------------	-----

§ III.

Du registre des profils transversaux des canaux, des aqueducs et des routes.

Par quel about doit commencer le nivellement du profil transversal.	432	Modèle de tableau de registre de nivellement pour ce profil.	433
		Observations sur cet objet.	434

§ IV.

Du registre des profils transversaux des rivières.

Modèle du registre pour les profils transversaux des rivières.	435
--	-----

CHAPITRE IX.

De la manière de rapporter les nivellemens de profil sur le papier.

SECTION PREMIÈRE.

Notions générales et préliminaires.

E N quoi consiste le rapport d'un profil sur le papier.	436	1 ^e Objection contre l'unité d'échelle.	440
L'unité d'échelle pour les trois dimensions, est puisée dans la nature.	437	2. ^e Objection contre l'unité d'échelle.	441
Vice des échelles doubles.	438	Pour ne pas donner trop d'étendue aux planches, les figures à profil seront construites d'après une double échelle.	442
Cas où l'on peut employer deux échelles.	439		

Observations sur les échelles de ces figures. 443

SECTION II.

Des profils longitudinaux.

La première opération exige qu'on prenne les rayons de visée pour axe des abscisses, et les hauteurs de mire pour ordonnées. 444

Il faut ensuite tout rapporter à un seul axe placé au-dessus ou au-dessous du profil. 445

§ I.

Des profils longitudinaux rapportés aux diverses stations.

Nivellement de profil en long à rapporter sur le papier. 446

Ce qu'il faut faire pour rapporter le nivellement sur le papier. 447

Comment on rapporte le nivellement sur la première station. 448

Comment on rapporte celui de la seconde station et des suivantes. 449

Observation sur un terme commun à deux stations, et situé hors du profil. 450

Observation sur un repère de vérification. 451

Observation sur le terme d'arrivée. 452

Comment les ordonnées doivent être marquées. 453

Le profil ainsi construit forme une ligne semblable au terrain. 454

§ II.

Du profil longitudinal rapporté à une seule ligne horizontale supérieure.

Quelle est la moindre hauteur d'un axe unique des abscisses placé au-dessus du profil. 455

Position de cet axe. 456

De combien les nouvelles ordonnées sont plus grandes que les hauteurs de mire. 457

Détermination des nouvelles ordonnées. 458

Règle générale pour connaître la quantité dont les hauteurs de mire de chaque station doivent être augmentées. 459

Cas où l'on ne veut rapporter à l'axe précédent qu'une partie du profil. 460

Cas où l'on veut rapporter le profil à un autre axe. 461

Ces opérations ne supposent pas celles du détail. 462

Sur quelles lignes on doit coter les distances entre les ordonnées et entre les repères. 463

§ III.

Du profil longitudinal rapporté à une seule ligne horizontale inférieure.

Détermination des limites de l'axe unique supposé au-dessous du profil. 464

Position de cet axe. 465

Valeur des nouvelles ordonnées. 466

Détermination de ces ordonnées. 467

Règle générale pour cette détermination. 468

Cote de la valeur des ordonnées, de leurs distances respectives et de celles des repères. 469	peut supporter les détails de nivellement. 471
Cote des distances de chaque repère au point de départ. 470	Cas où l'on ne veut rapporter à cet axe qu'une partie du profil. 472
Lorsque l'axe est au-dessous, le profil	Comment on peut rapporter le profil à tout autre axe. 473

§ I V.

Des profils longitudinaux brisés.

Dans quel cas on emploie les profils brisés. 474	La forme des parties du profil ne sera point altérée par cette méthode. 478
Limites des axes entre lesquels on doit rapporter un profil brisé. 475	Cotes des abscisses et des ordonnées. 479
Comment on rapporte un profil brisé. 476	Ce procédé s'applique aux profils rapportés à un axe quelconque, soit au-dessus soit au-dessous. 480
La hauteur du rouleau détermine le nombre de parties du profil. 477	Profils à axes brisés. 481

§ V.

Des profils longitudinaux rapportés sur des rouleaux à coupures.

Manière de rapporter un profil sur un rouleau à coupure. 481	Direction et cote des ordonnées 388
Règle générale pour les coupures. 483	Cote des abscisses 489
Démonstration de l'exactitude du profil rapporté. 484	Échelle à construire et moyen d'en faire usage 490
Ce qu'on doit faire pour ne pas trop multiplier les coupures. 485	Avantages de cette forme de profil. 491
Autre moyen plus général sur le même objet. 486	Comment on assemble divers rouleaux de même profil sans altérer la régularité de ce profil. 492
Règle générale à ce sujet. 487	Comment dans ce dernier cas on peut figurer l'axe des abscisses. 493

SECTION III.

Des profils transversaux.

En quels endroits on doit rapporter les profils en travers. 494	La position du profil en travers est déterminée par celle du repère correspondant du profil en long. 497
Manière dont cette opération doit se faire. 495	Sur le profil transversal on doit tracer la coupe de l'ouvrage à construire. 498
Cas où le profil en travers doit être placé au-dessous de celui en long. 496	

C H A P I T R E X.

Usage des principes précédens pour rapporter sur le papier les profils longitudinaux et transversaux relatifs aux canaux, aux aqueducs, aux routes et au lit des rivières.

SECTION PREMIÈRE.

Application aux profils des canaux.

Cas qui peuvent se rencontrer dans le tracé d'un canal.	499	vers dans le 2. ^e cas du N. ^o 499.	508
Déterminer d'abord la ligne du plafond et celle du couronnement des chaussées.	500	Comment on opère pour la même coupe dans le 3. ^e cas du N. ^o 499.	509
Ces deux lignes indiquent les endroits où il n'y aura que déblai, ou que remblai, ou l'un et l'autre.	501	La coupe en travers dans le 4. ^e cas du N. ^o 499, offre elle-même trois cas particuliers.	510
Lieux où il faut construire des aqueducs.	502	1. ^e Cas relatif à un canal d'irrigation.	511
Lieux où l'on construit des usines ou des écluses.	503	2. ^e Cas relatif à un canal d'irrigation et de navigation.	512
Il y aura trois axes pour coter les abscisses,	504	3. ^e Cas relatif à un canal exclusivement affecté à la navigation.	513
Dimensions hypothétiques transversales d'un canal.	505	Ligne des banquettes pour les canaux de navigation.	514
Comment se fait la coupe en travers dans le premier cas du N. ^o 499.	506	Manière de tracer cette coupe dans le cinquième cas du N. ^o 499.	515
Observation sur la manière de déterminer les talus des coupes.	507	Tracé de la même coupe dans le sixième cas du N. ^o 499.	516
Comment on trace la coupe en tra-		D'après cela on peut tracer la coupe pour d'autres cas non-mentionnés.	517

SECTION II.

Application aux profils des aqueducs.

§ I.

Observations préliminaires.

Trois sortes d'aqueducs.	518	Couverture des aqueducs voûtés au-dessus du terrain.	522
Il y a deux formes d'aqueducs voûtés.	519	Deux lignes suffisent pour tracer la coupe transversale d'un aqueduc quelconque.	523
Aqueducs à ciel ouvert.	520		
Aqueducs en tuyaux de conduite.	521		

§ I I.

Du profil des aqueducs.

Cas qui peuvent se rencontrer dans le tracé d'un aqueduc.	524	Tracé de la coupe en travers dans le 2. ^e cas du N. ^o 524.	528
Construction du profil longitudinal.	525	Tracé de la coupe transversale dans le 3. ^e cas du N. ^o 524.	529
Tracé de la coupe en travers dans le 1. ^{er} cas du N. ^o 524.	526	Tracé de la coupe transversale dans le 4. ^e cas du N. ^o 524.	530
Observation relative au cas où l'on doit ménager des banquettes.	527		

SECTION III.

Application au profil des routes.

§ I.

Du profil des routes tracées et à construire.

Cas qui peuvent se rencontrer dans le tracé d'une route.	531	Tracé de la même coupe dans le 3. ^e cas du N. ^o 531.	535
Construction du profil longitudinal.	532	Tracé de la même coupe dans le 4. ^e cas du N. ^o 531.	536
Tracé de la coupe en travers dans le 1. ^{er} cas du N. ^o 531.	533	Tracé de la même coupe dans le 5. ^e cas du N. ^o 531.	537
Tracé de la même coupe dans le 2. ^e cas du N. ^o 531.	534	Observation sur les détails.	538

§ II.

Du profil des routes en exercice.

Observation préliminaire.	539	3. ^e Coupe en travers relative au 1. ^{er} cas.	546
Construction du profil longitudinal.	540	4. ^e Coupe en travers relative au 1. ^{er} cas.	547
Comment on doit désigner les repères sur les profils en travers.	541	5. ^e Coupe en travers relative au 1. ^{er} cas.	548
Ces profils supposent deux cas.	542	Observation sur les coupes précédentes.	549
Observations générales sur ces deux cas.	543	3. ^e Coupe en travers relative au 2. ^e cas.	550
1. ^e Coupe en travers relative au 1. ^{er} cas.	544	Observation à ce sujet.	551
2. ^e Coupe en travers relative au 1. ^{er} cas.	545		

SECTION IV.

Application au profil des rivières.

Distinction de trois cas.	552	Coupe en travers relative au 2. ^e cas.	555
Construction du profil longitudinal.	553	Coupe en travers relative au 3. ^e cas.	556
Coupe en travers relative au 1. ^{er} cas.	554		

CHAPITRE XI.

Observations sur l'usage des profils longitudinaux et transversaux.

1.^{re} Observation. 557 2.^e Observation. 558

SECTION PREMIÈRE.

Description et usage des sondes.

Ce que c'est que sonder le terrain	559	Usage de cette sonde.	562
Trois manières de sonder le terrain.	560	Description de la sonde de mineur.	563
Description de la sonde anglaise.	561	Usage de cette sonde.	564

SECTION II.

Usage des profils des canaux.

Les profils sont nécessaires au toisé des travaux.	565	de même côté il y a déblai et remblai.	571
Comment on détermine les lignes de division des diverses matières sur un profil en long.	566	Irrégularité qui peut provenir des inégalités de la surface du terrain.	572
Détermination des sections des diverses matières sur les profils en travers.	567	En quels endroits alors on doit prendre des coupes en travers, s'il y a déblai.	573
Solides résultans pour le toisé des déblais et des remblais.	568	On s'il y a remblai.	574
Cas où il n'y a pas diversité de matières.	569	Comment par les coupes en travers, on connaît la profondeur des souterrains des percemens souterrains.	575
Cas où il y a des murs de soutènement.	570	Cubature des déblais des percemens souterrains.	576
Cas où entre deux coupes en travers et		Cubature des ouvrages d'art.	577

SECTION III.

Usage des profils des aqueducs.

Objets à distinguer dans les aqueducs.	578	bas-fonds.	580
Cubature des déblais d'un aqueduc.	579	Cubature des ouvrages d'art courans.	581
Cubature des ouvrages d'art dans les			

SECTION IV.

Usage des profils des routes.

§ I.

Usage des profils des routes à construire.

L'usage des profils est le même que pour les canaux.

582

§ II.

Usage des profils des routes en exercice.

Dans les routes qu'on n'agrandit pas, le profil en long est le plus intéressant.

583

Dans les routes à agrandir, la cabature des ouvrages se connaît par les profils en long et en travers.

584

SECTION V.

Usage des profils des rivières.

Usage du profil en long pour la navigation.

585

Usage du profil en travers pour la construction des ponts et la naviga-

tion.

586

Usage du même profil pour la réduction du lit des rivières.

587

C H A P I T R E X I I .

DE LA MANIÈRE DE DRESSER LES TABLES DE NIVELLEMENT.

SECTION PREMIÈRE.

De la dresse d'une table de nivellement pour les canaux et les aqueducs.

§ I.

De la table de nivellement pour un canal d'irrigation.

Quels sont les points à faire entrer dans une table de nivellement.

588

On doit rapporter ces points à un axe horizontal.

589

On doit aussi faire entrer dans la table les distances des repères.	590	figure.	596.
Et la pente du plat-fond d'un repère à l'autre.	591	Observation sur les résultats négatifs de la 7. ^e colonne.	597
Comme aussi la somme des longueurs et celle des pentes.	592	Cas où l'axe des abscisses aurait été plus élevé	598
Comment on retrouvera la hauteur des repères dérangés.	593	Cas où le positif et le négatif se trouvent dans deux colonnes différentes.	599
Composition de la table N. ^o I.	594	Comment on vérifie la table de nivellement.	600
Construction de la figure 81.	595		
Construction de la table d'après cette			

§ II.

De la table de nivellement pour un canal de navigation.

Différence entre la table d'un canal d'irrigation et celle d'un canal de navigation.	601	chûtes et la qualité des écluses.	603
L'axe des abscisses doit être la ligne de plat-fond dans la partie la plus basse.	602	Les diverses variations du plat-fond.	604
La table doit spécifier le nombre, les		Et le N. ^o et la distance des repères.	605
		Composition de la table N. ^o II.	606
		Construction de la même table.	607
		Vérification de la même table.	608

§ III.

De la table de nivellement pour un canal d'irrigation et de navigation.

Différence entre cette table et celle d'un canal d'irrigation.	609	Construction de la table N. ^o III.	610
--	-----	---	-----

§ IV.

De la table de nivellement pour un aqueduc.

La table d'un aqueduc est la même que celle d'un canal d'irrigation.	612
--	-----

SECTION II.

De la dresse d'une table de nivellement pour les routes.

§ I.

De la table de nivellement pour une route à construire.

Considérations préliminaires.	612	Construction de cette table.	614
Composition de la table N. ^o IV.	613	Vérification de cette table.	615

S II.

De la table de nivellement pour une route en exercice.

Différence entre cette table et celle des routes à construire.	616	Vérification de cette table.	618
Construction de la table N.° V.	617	Observation sur les pentes.	619

SECTION III.

De la dresse d'une table de nivellement pour une rivière.

Composition de la table N.° VI.	620	Vérification de cette table.	621
Construction de cette table.	621	Observation.	523

CHAPITRE XIII.

Considérations particulières sur les moyens de rendre utiles les profils des canaux et aqueducs, des routes et des rivières.

SECTION PREMIÈRE.

Observations préliminaires.

L' UNITÉ de régime est indispensable pour les progrès des arts dans l'Empire.	624	Ce plan doit être le niveau de la mer.	630
Le Gouvernement doit avoir la collection des profils des routes, canaux, aqueducs et rivières de la France.	625	Le niveau de la Méditerranée doit être préféré à celui de l'Océan.	631
Dans tous les départemens les profils doivent être dressés d'après le même mode.	626	Ce niveau devrait être pris dans le port de Toulon.	632
On doit employer la même échelle pour les profils en long et pour ceux en travers.	627	Et à l'époque des plus basses eaux.	633
Quelle sera cette échelle.	628	On peut opérer simultanément dans tous les départemens.	634
Tous les profils doivent être rapportés à un seul plan de niveau dans toute l'étendue de l'Empire.	629	Exemple sur cet objet.	635
		Termes immuables à choisir au bord de la Méditerranée et de l'Océan.	636
		Classification des rouleaux.	637
		Il faut faciliter le rapprochement comparatif des divers profils.	638
		Des tables particulières de nivellement des principaux repères rempliront cet objet.	639

SECTION II.

Des repères et des tables de nivellement des canaux et aqueducs.

Observation générale sur les canaux et aqueducs, leurs repères, etc. 640

§ I.

Des repères et des tables de nivellement des canaux d'irrigation.

Repères qu'on peut prendre sur les canaux d'irrigation. 641
 Repères à prendre et à porter spécialement sur les tables. 641
 Forme de la table de nivellement. 643

§ II.

Des repères et des tables de nivellement des canaux de navigation.

Repères qu'on peut prendre sur les canaux de navigation. 644
 Repères à prendre et à porter sur les tables. 645
 Forme de la table de nivellement. 646

§ III.

Des repères et des tables de nivellement des canaux d'irrigation et de navigation.

Ces canaux existent en Italie et peuvent avoir lieu en France. 647
 Repères à prendre et à porter sur les tables. 648
 Forme de la table de nivellement. 649

§ IV.

Des repères et des tables de nivellement des aqueducs.

On ne peut pas être embarrassé pour trouver des repères dans les aqueducs. 650
 Repères à prendre et à porter sur les tables. 651
 Forme de la table de nivellement. 652

SECTION III.

Des repères et des tables de nivellement des routes.

Repères qu'on peut prendre sur les routes. 653
 Repères qu'on peut prendre et à porter sur les tables. 654
 Forme de la table de nivellement. 655

SECTION IV.

Des repères et des tables de nivellement des rivières.

Repères qu'on peut prendre sur le cours des rivières. 656
 Repères à prendre et à porter sur les tables. 657
 Forme de la table de nivellement. 658



SECTION V.

Observations générales sur les repères et les tables de nivellement des canaux, aqueducs, routes et rivières.

Registres particuliers pour les tables de chaque espèce de canal.	659.	les rivières.	662
Registre pour les aqueducs anciens, et d'autres pour ceux en exercice.	660	Chaque repère des tables doit se trouver sur les profils y relatifs.	663
Division des routes en classes, et registres pour chaque classe.	661	Moyen de trouver aisément les repères des tables sur les profils.	664
La même chose doit avoir lieu pour		Il faudrait aussi la collection des plans relatifs aux profils.	665

SECTION VI.

Des avantages qui résulteraient des profils et des tables de nivellement des canaux, aqueducs, routes et rivières.

Les tables de nivellement offrent de grands avantages.	666	8. ^e Avantage. On pourra s'assurer si les rivières exhauscent leur lit, et connaître les progrès de l'exhaussement.	674
1. ^{er} Avantage. On connaîtra la différence de niveau de tous les points les plus remarquables.	667	9. ^e Avantage. On aura un itinéraire très-exact pour toutes les routes de l'Empire.	675
2. ^e Avantage. On s'assurera des améliorations dont les canaux d'irrigation sont susceptibles.	668	10. ^e Avantage. On connaîtra les fortes pentes des routes et les changemens à ordonner.	676
3. ^e Avantage. On pourra prendre des mesures pour rétablir plusieurs anciens aqueducs.	669	11. ^e Avantage. On connaîtra aussi les routes trop étroites et le moyen de les élargir.	677
4. ^e Avantage. On pourra constater si une rivière peut alimenter un canal de dimensions connues.	670	12. ^e Avantage. Du dépôt des plans on pourra former des projets et juger de ceux qui seront proposés.	678
5. ^e Avantage. Il sera possible de savoir si une rivière sera navigable, hallable ou flottable.	671	13. ^e Avantage. On perfectionnera l'art de mesurer les hauteurs par le baromètre.	679
6. ^e Avantage. On connaîtra s'il est possible ou non de joindre deux rivières navigables par un canal de communication.	672	14. ^e Avantage. On connaîtra divers autres objets relatifs à la géologie.	680
7. ^e Avantage. On jugera de la possibilité de réduire une rivière et de construire un pont.	673	15. ^e Avantage. On pourra comparer les niveaux de l'Océan et de la Méditerranée.	681

SECTION VII.

Des moyens à prendre pour la dresse des profils et des tables qui s'y rapportent.

Ce travail est dans les attributions des ingénieurs des ponts et chaussées.	682	Ce qu'il faudra faire pour les tables.	686
Précautions à prendre par le Gouvernement.	683	Répertoires pour les registres des tables.	687
Procédé à suivre pour l'exécution.	684	Instrumens à procurer aux ingénieurs.	688
Procédés à suivre pour la classification dans le dépôt.	685	Fonds préalables à faire pour cet objet.	689
		Conclusion.	690

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES



(N.º I.)

TABLE DU NIVELLEMENT D'UN CANAL D'IRRIGATION,

Relative au § I.^{er} de la Section I.^{re} du Chapitre XII et à la figure 81.

N.º des repères et marque des termes de vérification.	DISTANCE d'un repère ou d'un terme de vérification à celui qui le précède.	DISTANCE TOTALE jusqu'au repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au- dessus ou au-dessous de l'horizontale tirée par le terme A.	PENTE du plat-fond du canal entre un repère ou terme de vérifi- cation et celui qui le précède.	PENTE TOTALE du plat-fond du canal depuis le repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au- dessus ou au-dessous du plat-fond du canal.	OBSERVATIONS.
1.	m. »	m. »	m. 11. 535	m. » »	m. » »	m. 2. 600	
+ (B)	34.	34.	11. 461	0. 262	0. 262	2. 788	La + B est taillée sur un rocher situé , etc.
2.	76.	110.	9. 438	0. 585	0. 847	1. 350	
3.	101.	211.	8. 769	0. 777	1. 624	1. 458	
4.	118.	329.	7. 767	0. 908	2. 532	1. 364	
5.	98.	427.	7. 215	0. 753	3. 285	1. 565	
6.	139.	566.	4. 401	0. 463	3. 748	-0. 786	
+ (C)	55.	621.	4. 602	0. 183	3. 931	-0. 402	La + C est taillée sur le seuil de la porte de la maison de, etc.
7.	78.	699.	6. 503	0. 261	4. 192	1. 760	
8.	107.	806.	5. 548	0. 713	4. 905	1. 518	
9.	110.	916.	4. 559	0. 733	5. 638	1. 262	
10.	102.	1018.	4. 055	0. 681	6. 319	1. 439	
+ (A)	42.	1060.	» »	1. 800	8. 119	-0. 816	La + A est taillée sur un rocher situé, etc.

TABLE DE NIVELLEMENT D'UN CANAL DE NAVIGATION

Relative au § II de la section I.^{re} du chapitre XII et à la figure 82.

N.º des repères et marques des termes de vérification.	DISTANCE d'un repère ou d'un terme de vérification à celui qui le précède.	DISTANCE TOTALE jusqu'au repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au-dessus de la ligne de niveau tirée par le point D.	HAUTEUR du plat-fond au- dessus de l'axe passant par D.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au- dessus ou au-dessous du plat-fond du canal.	HAUTEURS ascendantes du plat-fond entre un repère et celui qui le précède et à racheter par des écluses.	SOMME des hauteurs ascendantes du plat-fond depuis le bas de la première chûte.	HAUTEURS descendantes du plat-fond entre un repère et celui qui le précède; et à racheter par des écluses.	SOMME des hauteurs descendantes du plat-fond depuis la retenue.	OBSERVATIONS.
1. "	m	m	3. 091	" "	3. 091	" "	" "	" "	" "	
+ (A)	44.	44.	4. 100	" "	4. 100	" "	" "	" "	" "	La + A est située, etc.
2.	36.	80.	1. 901	" "	1. 901	" "	" "	" "	" "	
3.	102.	182.	1. 803	" "	1. 803	" "	" "	" "	" "	
4.	78.	260.	1. 693	" "	1. 693	" "	" "	" "	" "	
5.	30.	290.	2. 896	1. 800	1. 096	1. 800	1. 800	" "	" "	
6.	30.	320.	4. 399	3. 600	0. 799	1. 800	3. 600	" "	" "	
7.	30.	350.	6. 597	5. 400	1. 197	1. 800	5. 400	" "	" "	
8.	30.	380.	8. 299	7. 200	1. 099	1. 800	7. 200	" "	" "	
9.	30.	410.	10. 389	9. 000	1. 389	1. 800	9. 000	" "	" "	
10.	30.	440.	12. 220	10. 800	1. 420	1. 800	10. 800	" "	" "	
11.	61.	501.	13. 516	10. 800	2. 716	" "	" "	" "	" "	
12.	57.	558.	12. 622	10. 800	1. 822	" "	" "	" "	" "	
13.	30.	588.	11. 412	9. 000	2. 412	" "	" "	1. 800	1. 800	
14.	30.	618.	8. 420	7. 200	1. 220	" "	" "	1. 800	3. 600	
15.	30.	648.	7. 073	5. 400	1. 673	" "	" "	1. 800	5. 400	
16.	30.	678.	4. 640	3. 600	1. 040	" "	" "	1. 800	7. 200	
+ (B)	49.	727.	4. 246	3. 600	0. 646	" "	" "	" "	" "	La + B est taillée sur, etc.
17.	31.	758.	1. 773	3. 600	-1. 827	" "	" "	" "	" "	
18.	115.	873.	4. 703	3. 600	1. 103	" "	" "	" "	" "	
19.	117.	990.	5. 350	3. 600	1. 750	" "	" "	" "	" "	
20.	123.	1113.	5. 190	3. 600	1. 590	" "	" "	" "	" "	
+ (C)	33.	1146.	6. 053	3. 600	2. 453	" "	" "	" "	" "	La + C est située, etc.

TABLE DU NIVELLEMENT D'UN CANAL D'IRRIGATION ET DE NAVIGATION.

Relative au § III de la Section I du Chapitre XII et à la figure 83.

Nota. Les nombres précédés d'un astérisque dans la 5.^{me} colonne désignent les chûtes à racheter par des écluses.

N.º des repères et marque des termes de vérification.	DISTANCE d'un repère ou d'un terme de vérification à celui qui le précède.	DISTANCE TOTALE jusqu'au repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au- dessus de l'horizontale D E.	PENTE ET CHUTE du plat-fond du canal entre un repère ou terme de vérifi- cation et celui qui le précède.	PENTE TOTALE du plat-fond du canal depuis le repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au- dessus du plat-fond du canal.	OBSERVATIONS.
1	" m	" m	22. 304 ^m	" m	" m	2. 4000 ^m	
+(A)	36.	36.	21. 159	0. 0072	0. 0072	1. 2622	La + A est taillée sur , etc
2.	86.	122.	21. 807	0. 0172	0. 0244	1. 9274	
3.	95.	217.	21. 800	0. 0190	0. 0434	1. 9394	
4.	108.	325.	22. 353	0. 0216	0. 0650	2. 5140	
5.	77.	402.	21. 569	0. 0154	0. 0804	1. 7454	
6.	83.	485.	21. 670	0. 0166	0. 0970	1. 8630	
7.	30.	515.	20. 829	* 2. 0000	2. 0970	3. 0220	
8.	30.	545.	18. 394	* 2. 0000	4. 0970	2. 5870	
9.	30.	575.	16. 109	* 2. 0000	6. 0970	2. 3020	
10.	30.	605.	14. 285	* 2. 0000	8. 0970	2. 4780	
11.	45.	650.	12. 329	* 2. 0000	10. 0970	2. 5220	
+(C)	82.	732.	11. 923	0. 0164	10. 1134	2. 1324	La + C est situé , etc.
12.	73.	805.	11. 714	0. 0146	10. 1280	1. 9380	
13.	30.	835.	10. 913	* 2. 5000	12. 6280	3. 6370	
14.	30.	865.	8. 221	* 2. 5000	15. 1280	3. 4450	
15.	45.	910.	4. 810	* 2. 5000	17. 6280	2. 5340	
16.	71.	981.	4. 111	0. 0142	17. 6422	1. 8492	
17.	92.	1073.	4. 007	0. 0184	17. 6606	1. 7636	
+(B)	34.	1107.	5. 000	0. 0068	17. 6674	2. 7634	La + B est taillée sur , etc.

(N.º IV.)

TABLE DE NIVELLEMENT D'UNE ROUTE A CONSTRUIRE A NEUF.

Relative au § I de la section II. du chapitre XII et à la figure 84.

N.º des repères et marque des termes de véri- fication.	DISTANCE d'un repère ou d'un terme de vérification à celui qui le précède.	DISTANCE TOTALE jusqu'au repère I.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au-dessus de l'horizontale AD.	PARTIES ASCENDANTES		PARTIES DESCENDANTES		HAUTEUR des remblais à chaque repère ou terme de vérification.	PROFONDEUR des remblais à chaque repère ou terme de vérification.	OBSERVATIONS.
				montée suivant l'axe de la route à chaque repère ou terme de vérification depuis celui qui le précède.	TOTAL des montées de chaque partie ascendante.	descente suivant l'axe de la route à chaque repère ou terme de vérification depuis celui qui le précède.	TOTAL des descentes de chaque partie descendante.			
1 (+C)	m	m	m C	m	m	m	m	m	m	La + C est taillée sur etc.
2.	100.	100.	1. 996.	1. 666	1. 666	».	».	0. 670	».	La 1. remontée commence au quartier de. Et finit.....etc.
3.	88.	188.	4. 943.	1. 760	3. 426	».	».	».	0. 517	
4.	80.	268.	6. 352.	2. »	5. 426	».	».	0. 074	».	
5.	90.	358.	9. 951.	3. »	8. 426	».	».	».	0. 525	
6.	70.	428.	14. 550	3. 500	11. 926	».	».	».	1. 624	
	85.	513.	11. 447	».	».	1. 125	2. 125	».	0. 646	La 1.º Descente commence etc.
	82.	595.	8. 317	».	».	2. 733	4. 858	».	0. 249	
	78.	673.	3. 019	».	».	3. 900	8. 758	1. 149	».	
+ (A)	72.	745.	1. 761	».	».	».	».	2. 407	».	La + A est située etc.
10.	81.	826.	6. 656	1. 620	1. 620	».	».	».	0. 868	La 1.º montée commence etc.
11.	89.	915.	8. 958	1. 483	3. 103	».	».	».	1. 687	
12.	75.	990.	5. 451	».	».	1. 071	1. 071	0. 748	».	La 1.º descente commence etc.
13.	69.	1059.	4. 511	».	».	1. 150	2. 221	0. 538	».	
+ (B)	80.	1139.	4. 541	».	».	1. 143	3. 364	».	0. 634	La + B est taillée sur etc.

(N.º V.)

TABLE DE NIVELLEMENT D'UNE ROUTE CONSTRUITE ET EN EXERCICE.

Relative au § II de la Section II du Chapitre XII et à la figure 85.

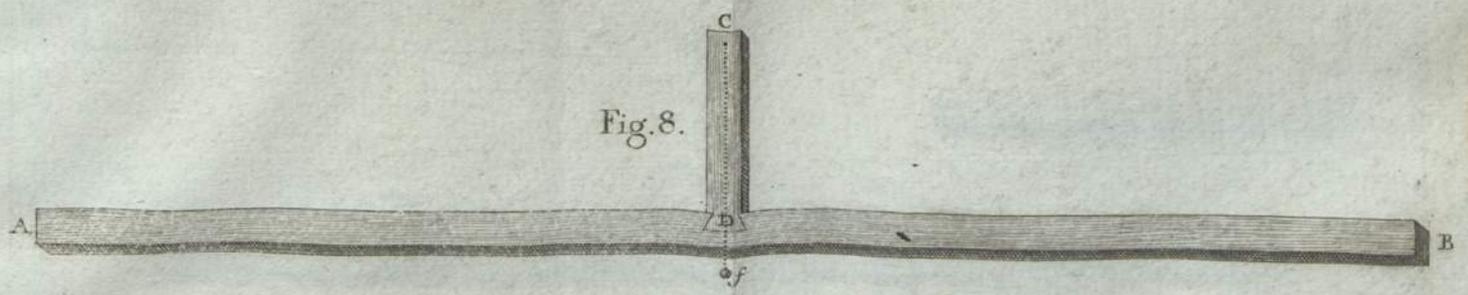
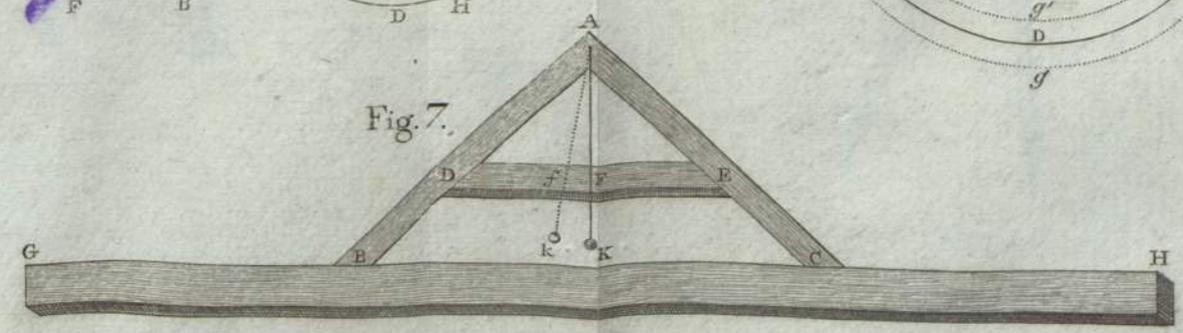
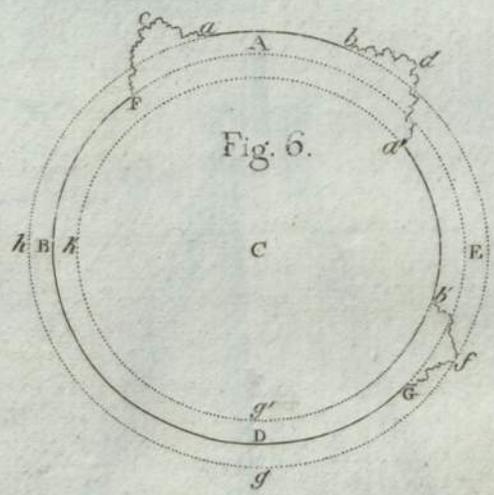
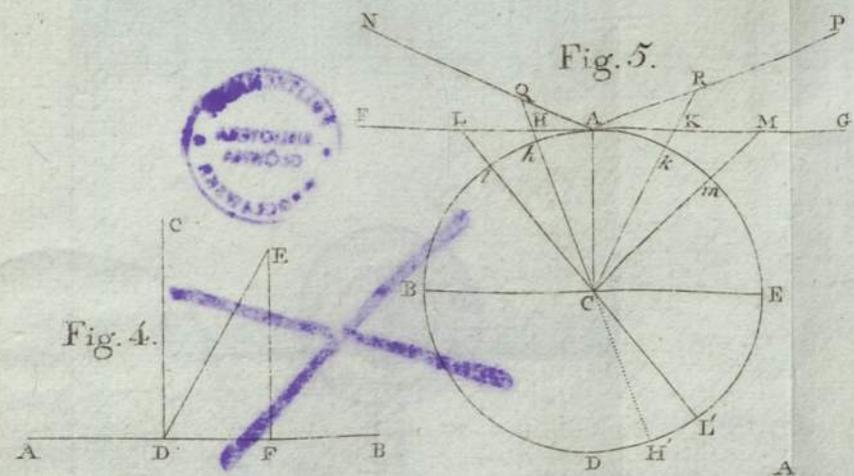
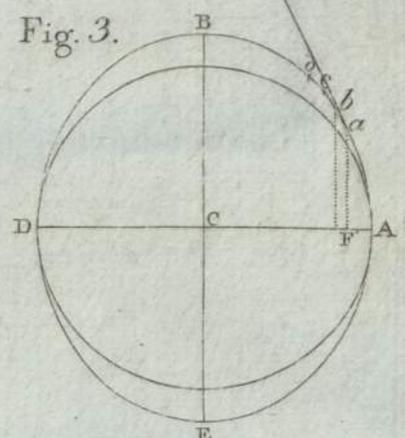
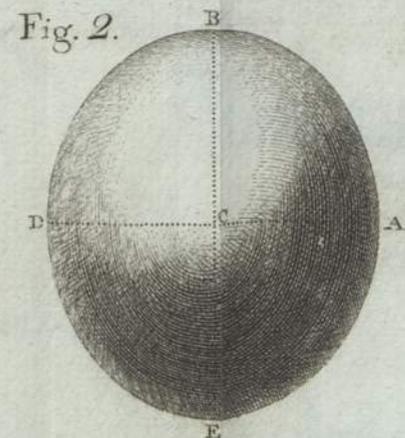
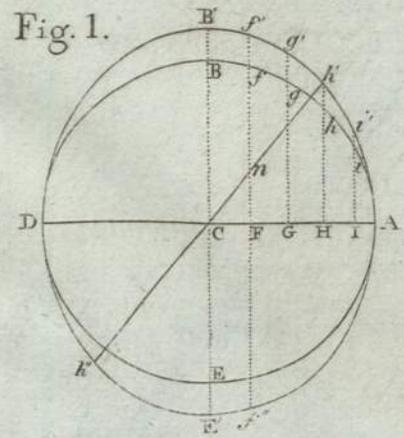
N.º des repères.	Distance sur la route du droit d'un repère au droit du repère précédent.	DISTANCE totale de la route du droit d'un repère au droit du repère I.	HAUTEUR de chaque repère au-dessus ou au- dessous de la ligne AB.	HAUTEUR DE CHAQUE REPÈRE.		PARTIES ASCENDANTES		PARTIES DESCENDANTES.		OBSERVATIONS.
				Au dessus du point de milieu correspondant de la route.	Au dessous du point de milieu correspondant de la route.	Montée suivant l'axe de la route au droit de chaque repère depuis le point au droit du repère qui précède.	Total des montées de chaque partie ascendante.	descente suivant l'axe de la route au droit de chaque repère depuis le point au droit du repère qui précède.	Total des descentes de chaque partie descendante.	
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	
1.	0.	0.	0.	0.	1. 612	0.	0.	0.	0.	Le repère 1 est situé à etc.
2.	96.	96.	4. 289	0. 522	0.	1. 955	1. 995	0.	0.	Le repère 2 est situé etc.
3.	93.	189.	7. 450	0. 604	0.	3. 279	5. 234	0.	0.	Le repère 3 est situé etc.
4.	102.	291.	11. 436	0. 742	0.	3. 848	9. 082	0.	0.	Le repère 4 est situé etc.
5.	94.	385.	12. 633	0.	0. 791	2. 730	11. 812	0.	0.	Le repère 5 est situé etc.
6.	98	483.	12. 249	0. 693	0.	0.	0.	1. 368	1. 868	Le repère 6 est situé etc.
7.	101.	584.	5. 092	0.	1. 212	0.	0.	5. 252	7. 120	Le repère 7 est situé etc.
8.	100.	684.	1. 890	0. 613	0.	0.	0.	5. 027	12. 147	Le repère 8 est situé etc.
9.	87.	771.	1. 885	0. 732	0.	0.	0.	0. 124	12. 271	Le repère 9 est situé etc.
10.	83.	854.	4. 114	0. 607	0.	2. 364	2. 364	0.	0.	Le repère 10 est situé etc.
11.	88.	942.	7. 550	2. 396	0.	1. 637	4. 001	0.	0.	Le repère 11 est situé etc.
12.	71.	1013.	3. 634	0. 627	0.	0.	0.	2. 147	2. 147	Le repère 12 est situé etc.
13.	96.	1109.	1. 419	0.	1. 991	0.	0.	2. 435	4. 582	Le repère 13 est situé etc.

(N.º VI.)

TABLE DE NIVELLEMENT D'UNE RIVIÈRE.

Relative à la section III du chapitre XII et à la figure 86.

N.º des repères.	DISTANCE sur le cours de la rivière du droit d'un repère au droit du repère précédent.	DISTANCE totale du droit d'un repère au droit du repère I.	HAUTEUR DE CHAQUE REPÈRE.		PROFONDEUR des eaux du courant au droit de chaque repère.	PENTE DE LA SURFACE des eaux au droit de chaque repère.		OBSERVATIONS.
			Au-dessus de la ligne AB.	Au-dessus de la surface de l'eau au droit de ce repère.		depuis le repère précédent.	depuis le repère I.	
1 + (C)	m	m	15. m446	6. m000	1. m610	m	m	La + C est taillée sur , etc.
2.	97.	97.	15. 056	6. 091	1. 750	0. 501	0. 501	
3.	112.	209.	15. 462	7. 103	1. 910	0. 606	1. 107	
4+ (D)	133.	342.	13. 574	5. 593	2. 000	0. 378	1. 485	
5.	198.	440.	14. 713	6. 694	2. 190	0. 795	2. 280	
6.	97.	537.	14. 859	7. 103	2. 190	0. 263	2. 543	La+ D est située , etc.
7.	104.	641.	14. 053	6. 492	2. 190	0. 195	2. 738	
8+ (E)	102.	743.	14. 162	6. 694	2. 200	0. 093	2. 831	La + E est placée , etc.
9.	97.	840.	14. 403	6. 998	2. 350	0. 063	2. 894	
10.	102.	942.	13. 793	6. 563	2. 360	0. 175	3. 069	
11.	82.	1024.	14. 112	6. 898	2. 360	0. 016	3. 085	
12 + (F)	85.	1109.	13. 507	6. 396	2. 490	0. 103	3. 188	La + F est taillée sur , etc.



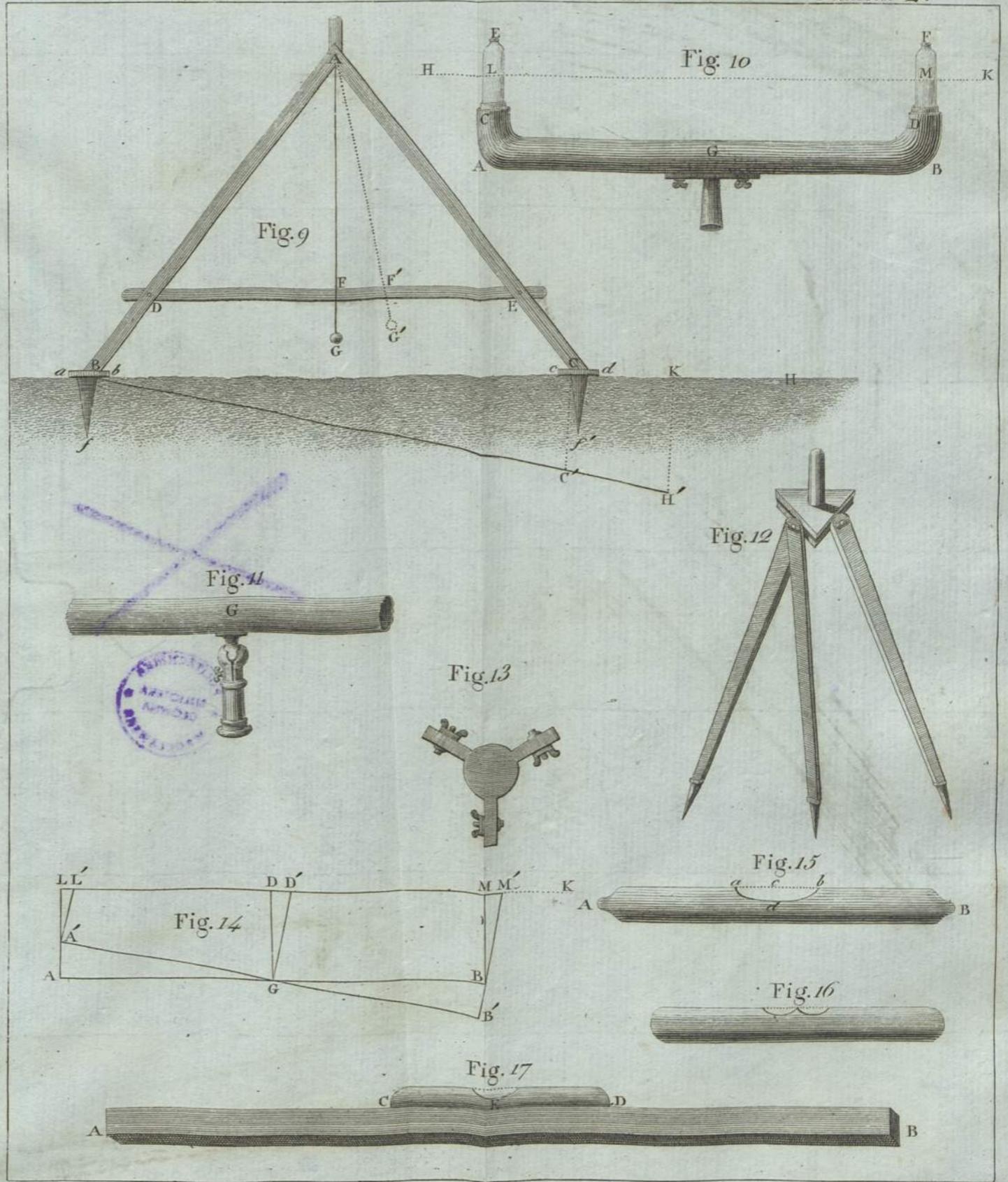




Fig. 18

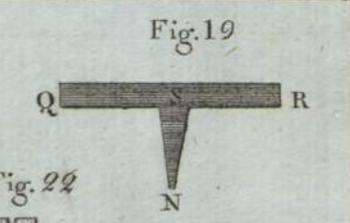


Fig. 19

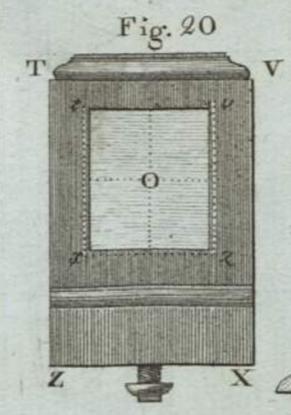


Fig. 20

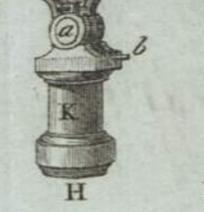


Fig. 21

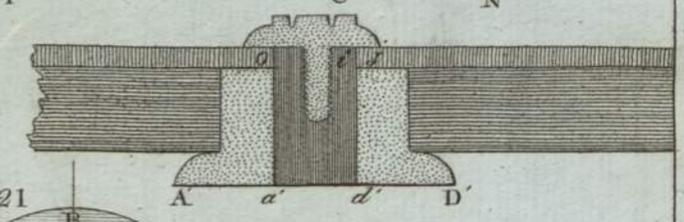


Fig. 22

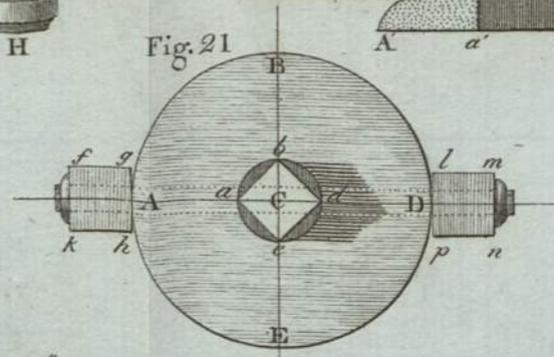


Fig. 23

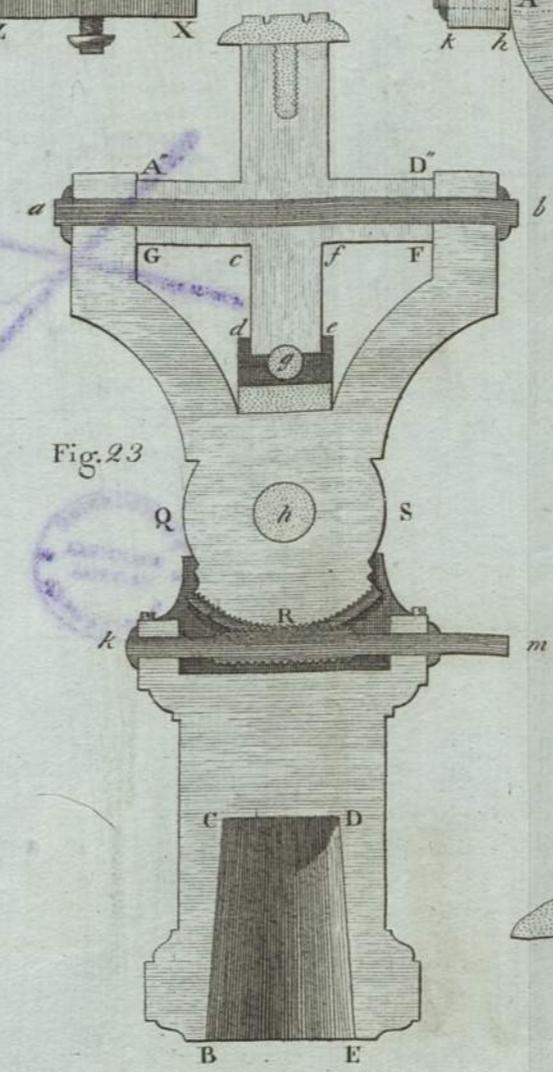


Fig. 24

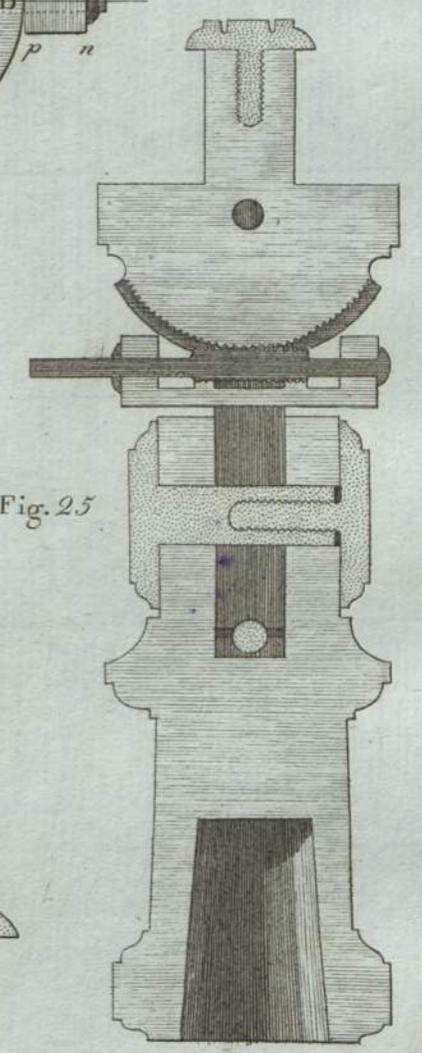


Fig. 25

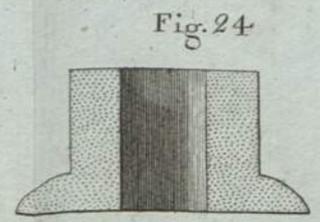


Fig. 26

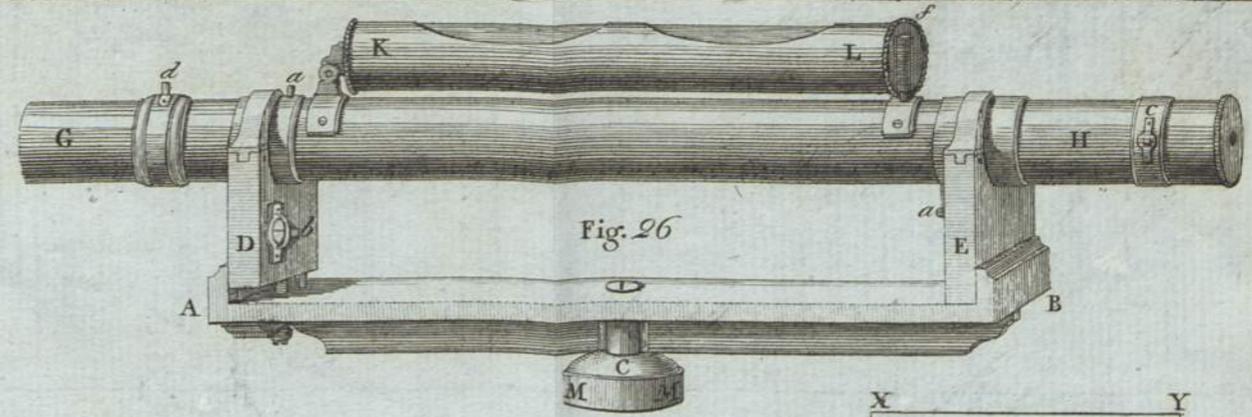


Fig. 26

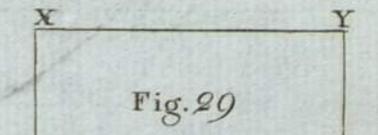


Fig. 29

Fig. 28

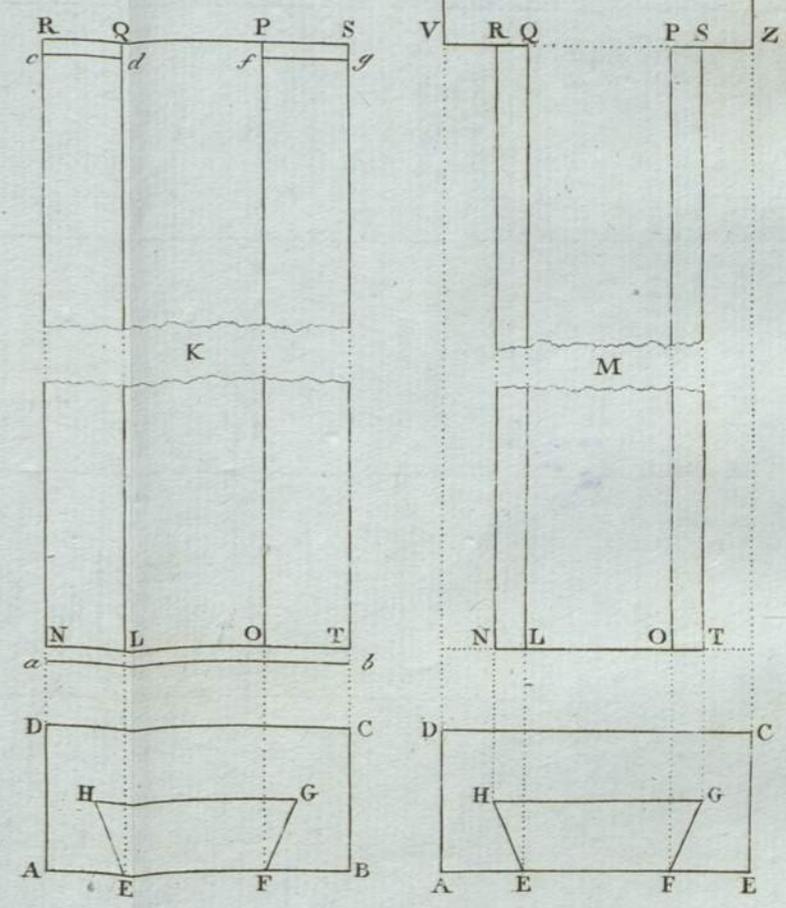


Fig. 27

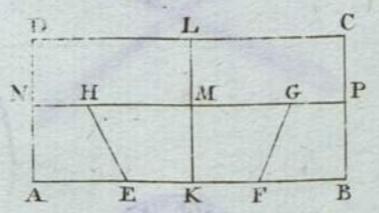
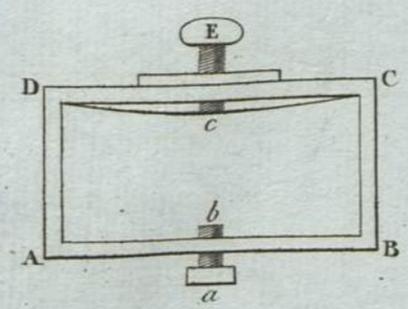


Fig. 30



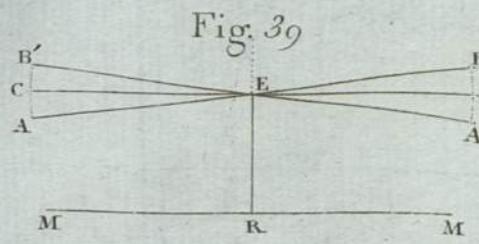
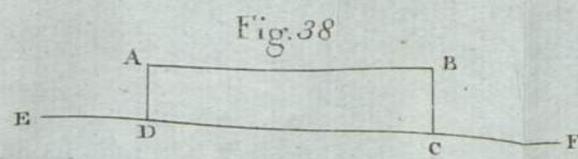
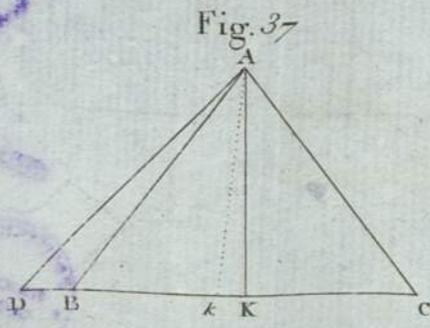
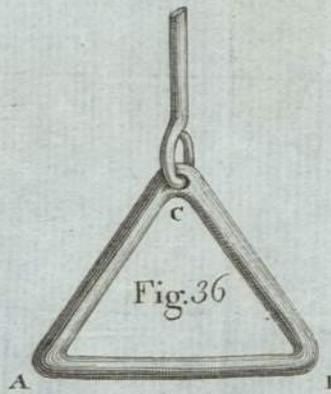
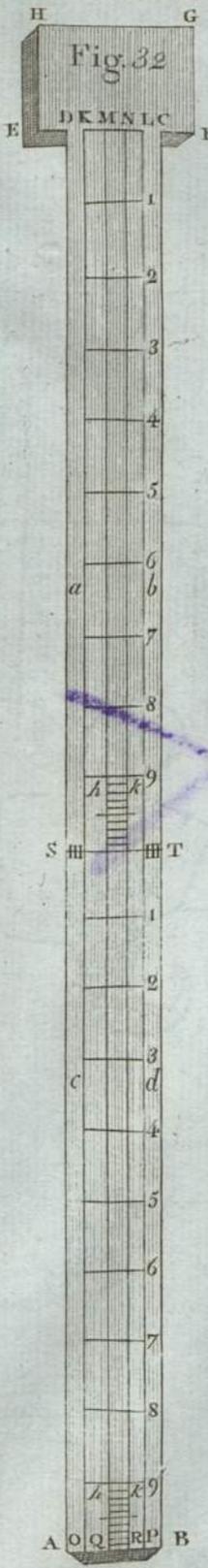
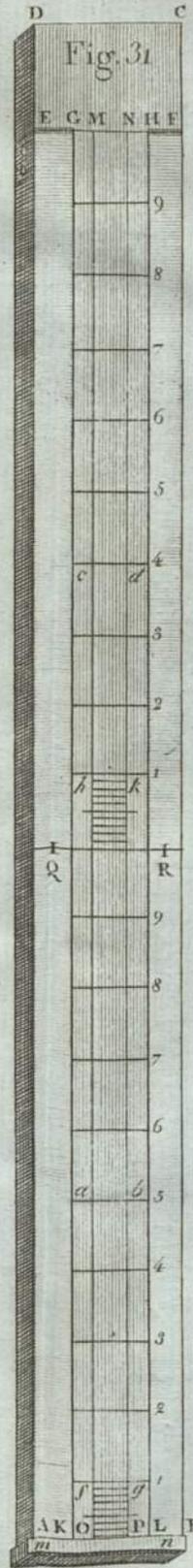


Fig. 33

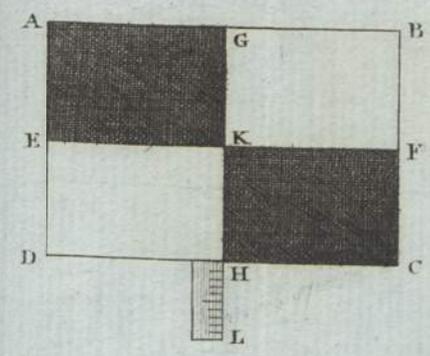


Fig. 35

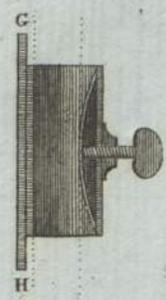


Fig. 34

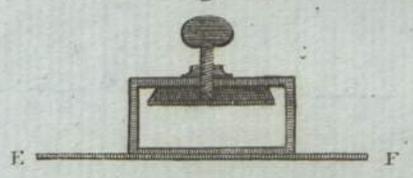
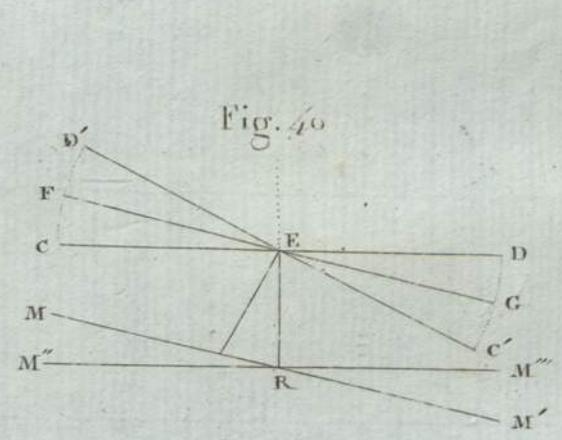
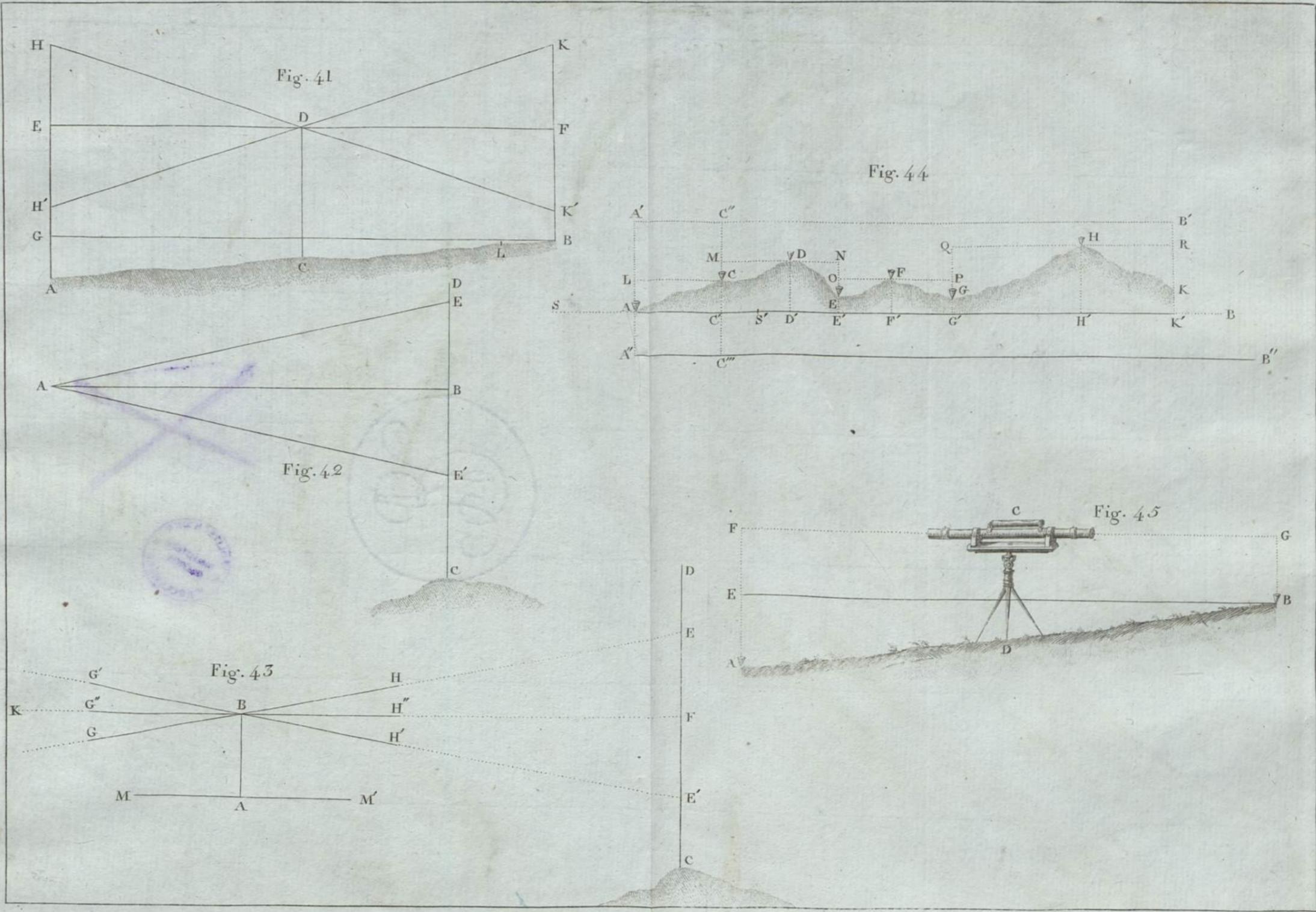
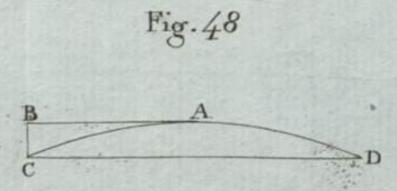
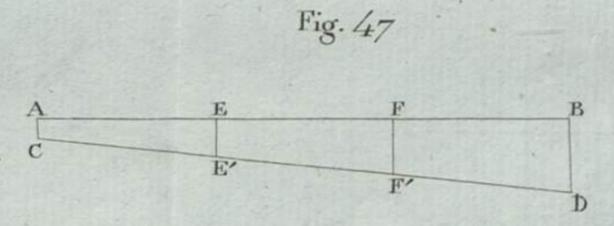
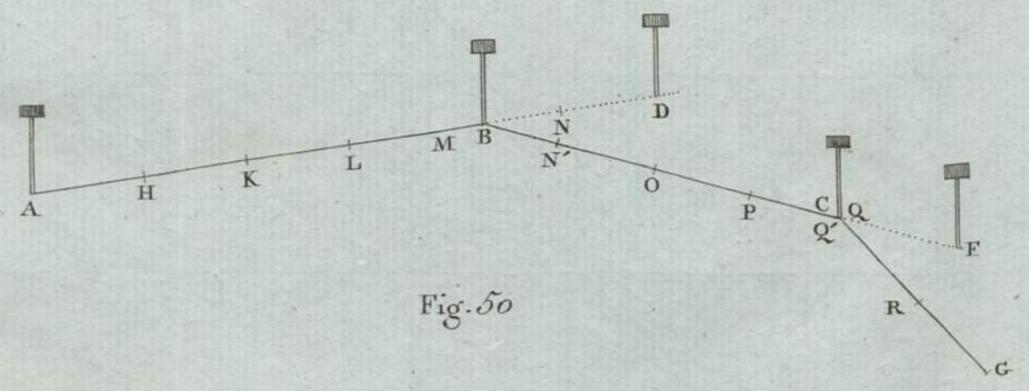
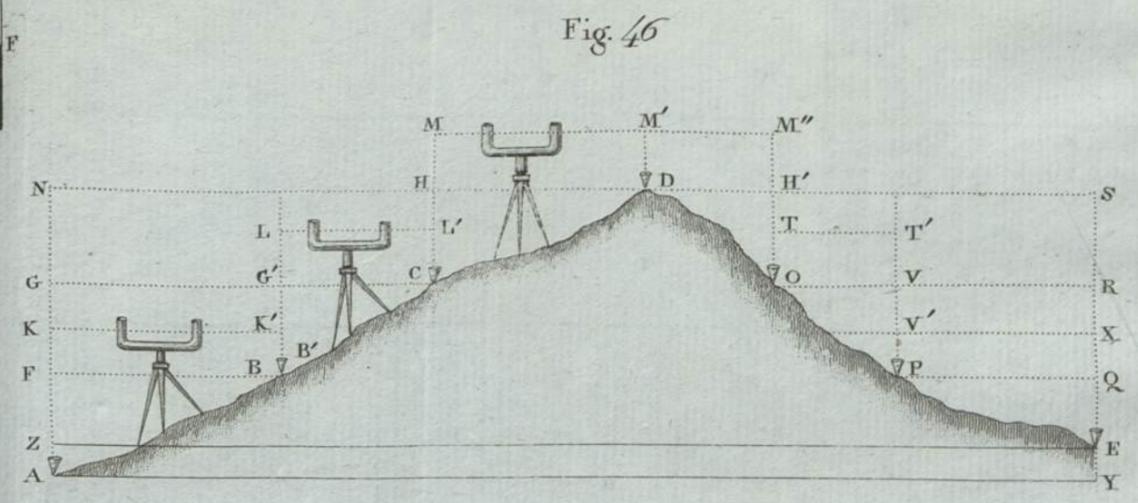
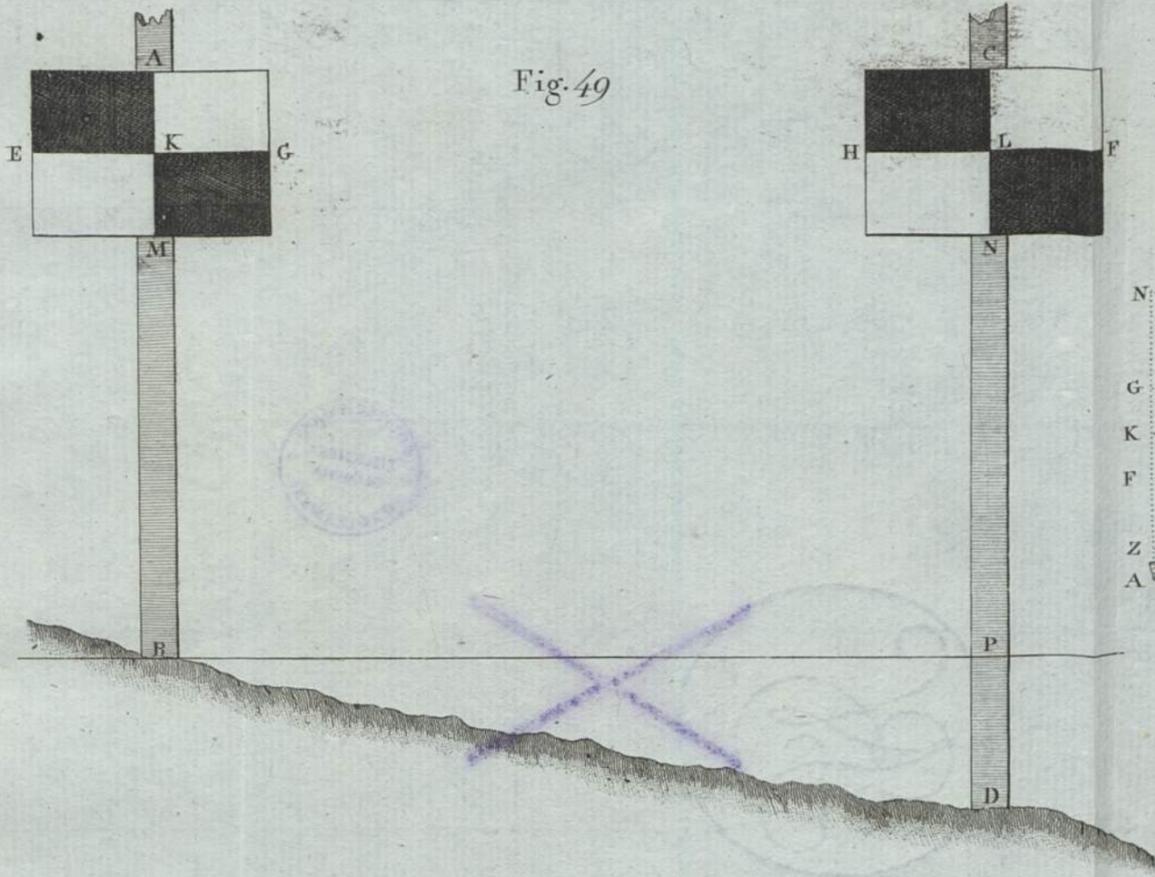


Fig. 40







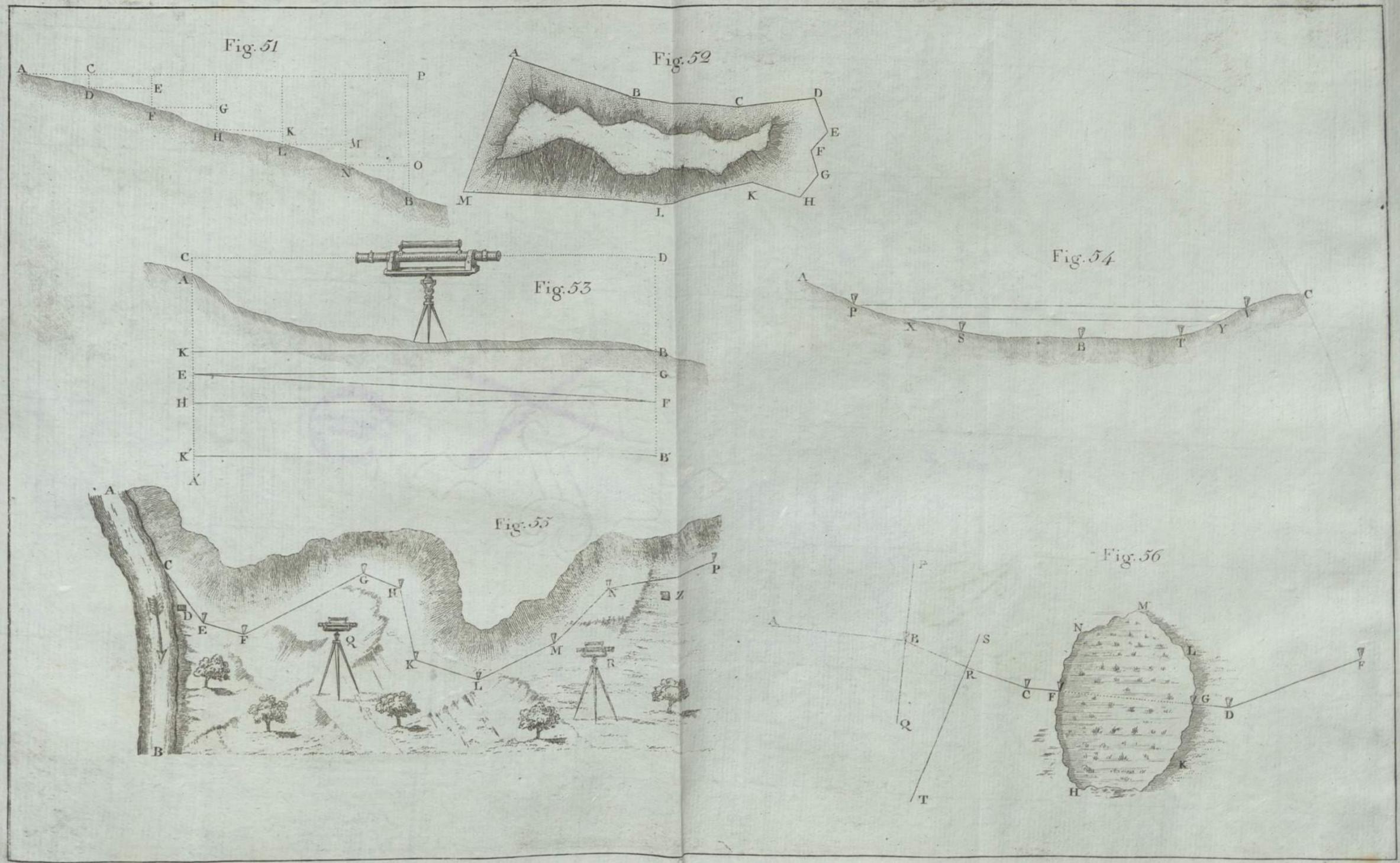


Fig. 57.

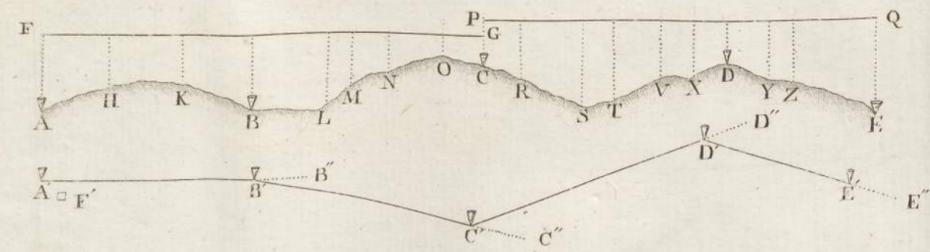


Fig. 58.

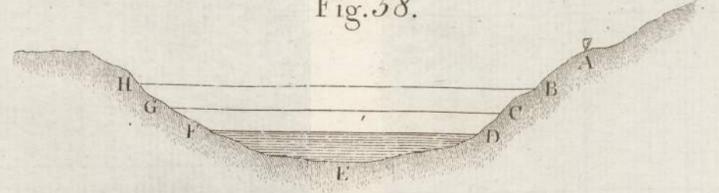
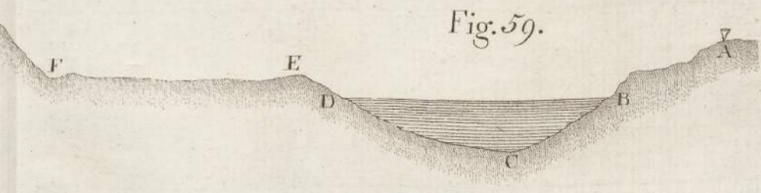
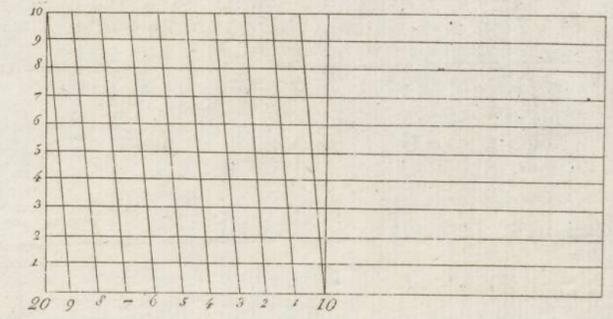


Fig. 59.



Echelle de 20. Mètres pour les hauteurs de la Fig. 60.



Echelle de 100. Mètres pour les Longueurs de la Fig. 60.

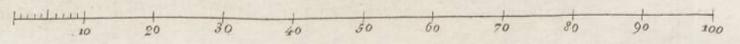


Fig. 60.

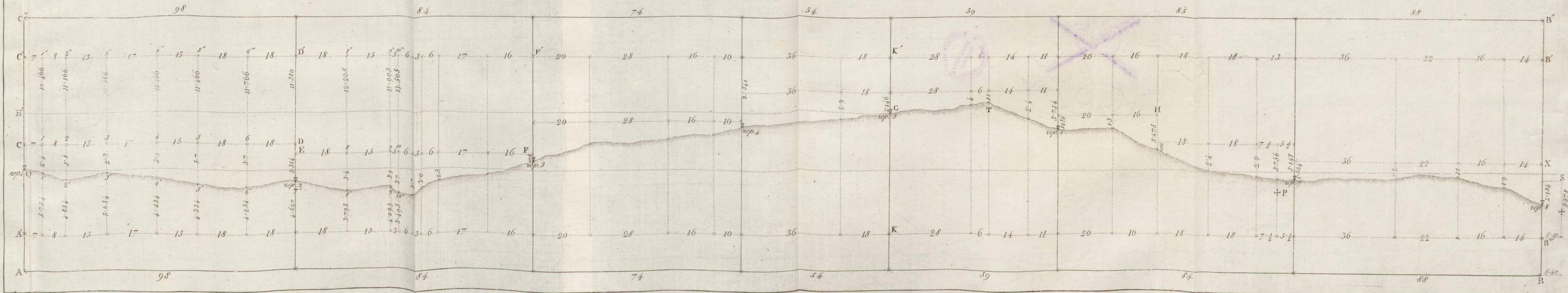


Fig. 61.

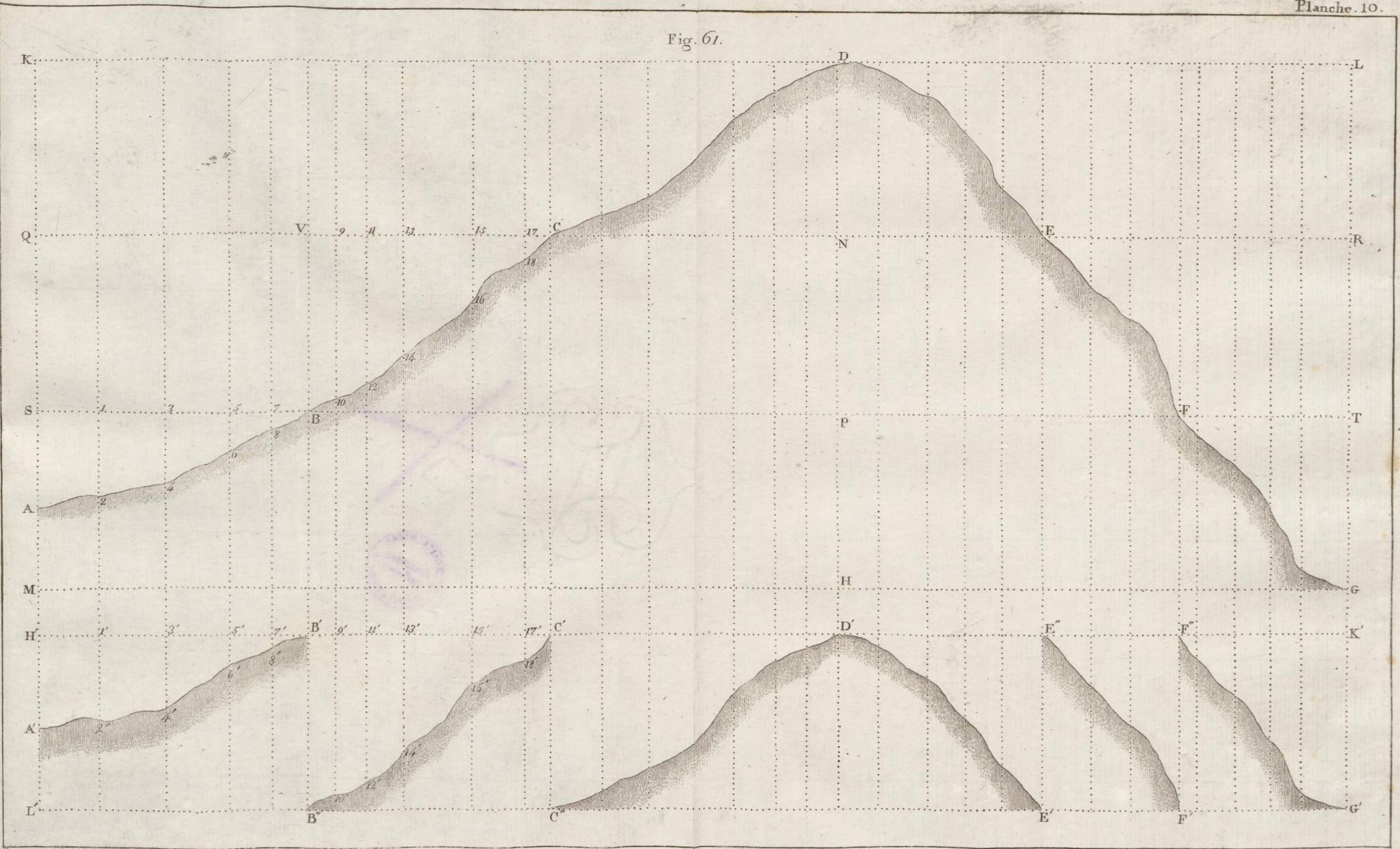


Fig. 62

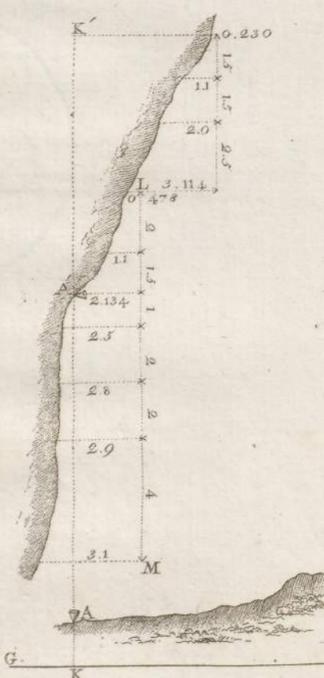
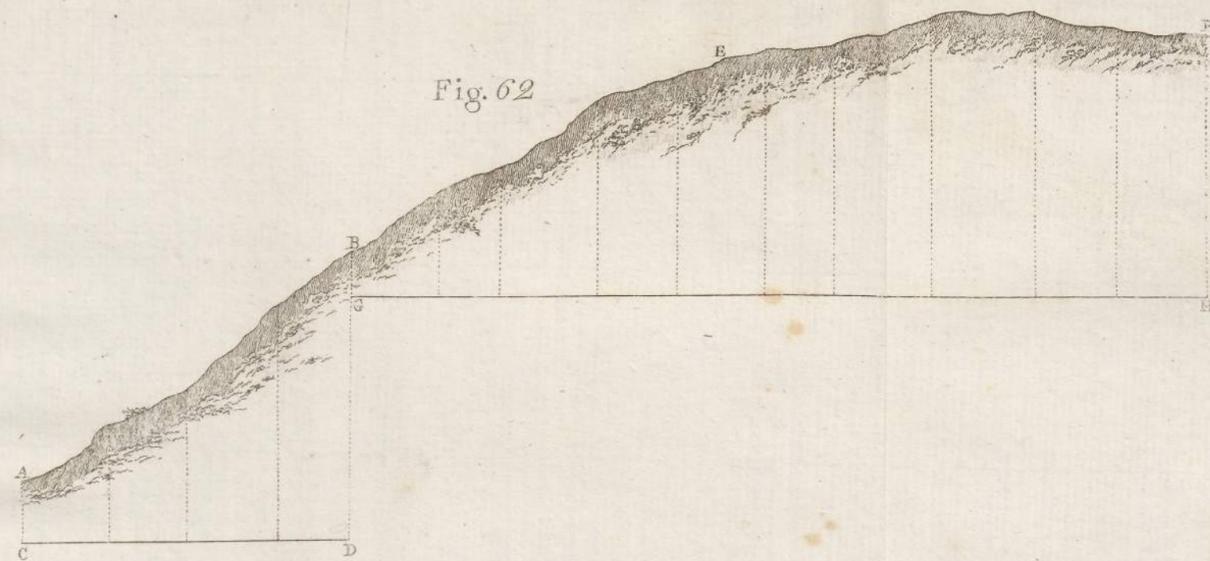


Fig. 64

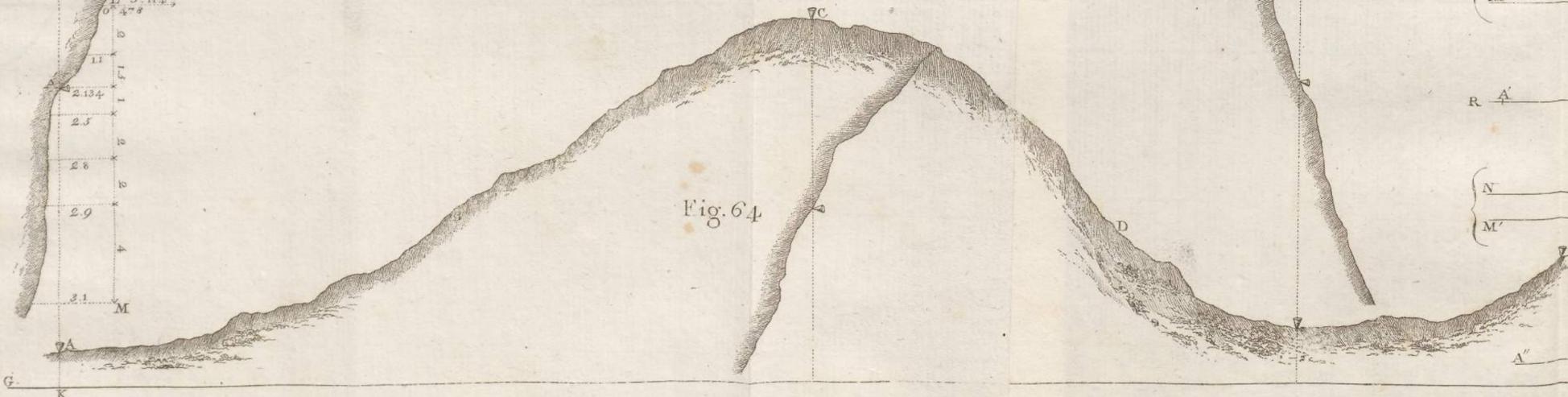
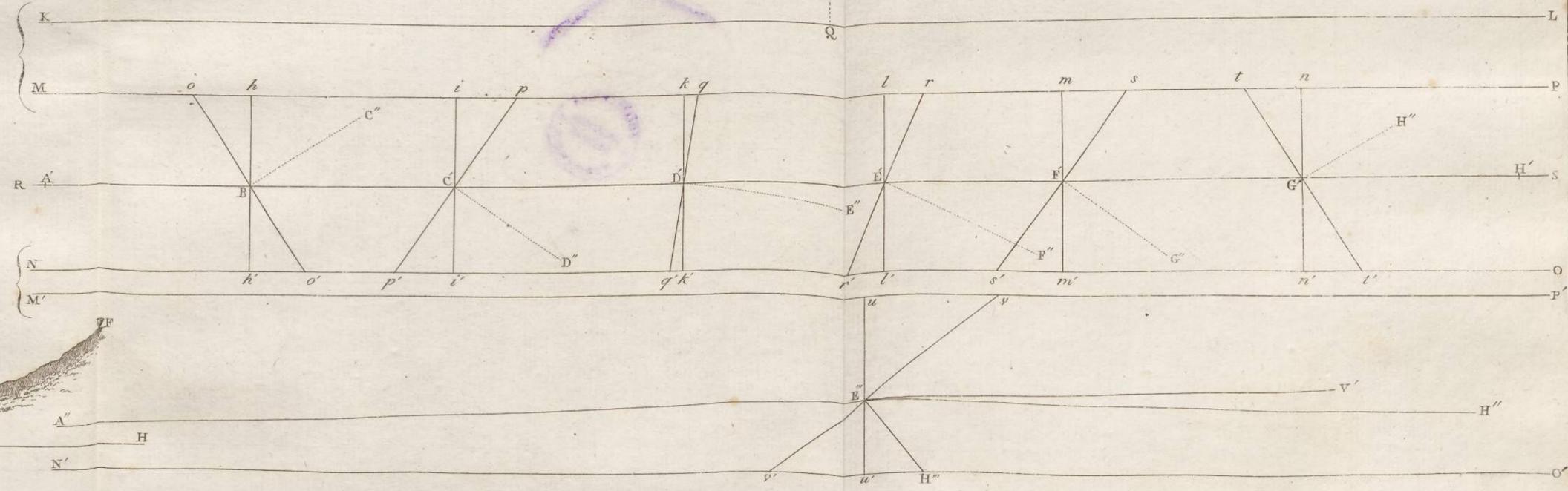
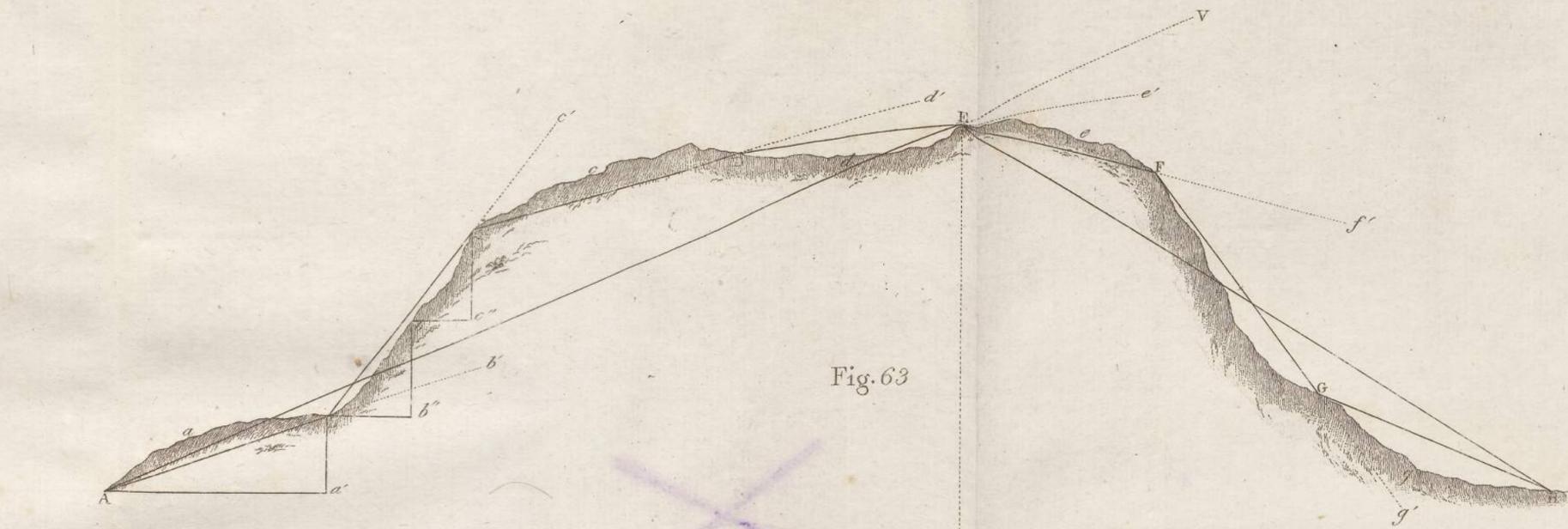


Fig. 63



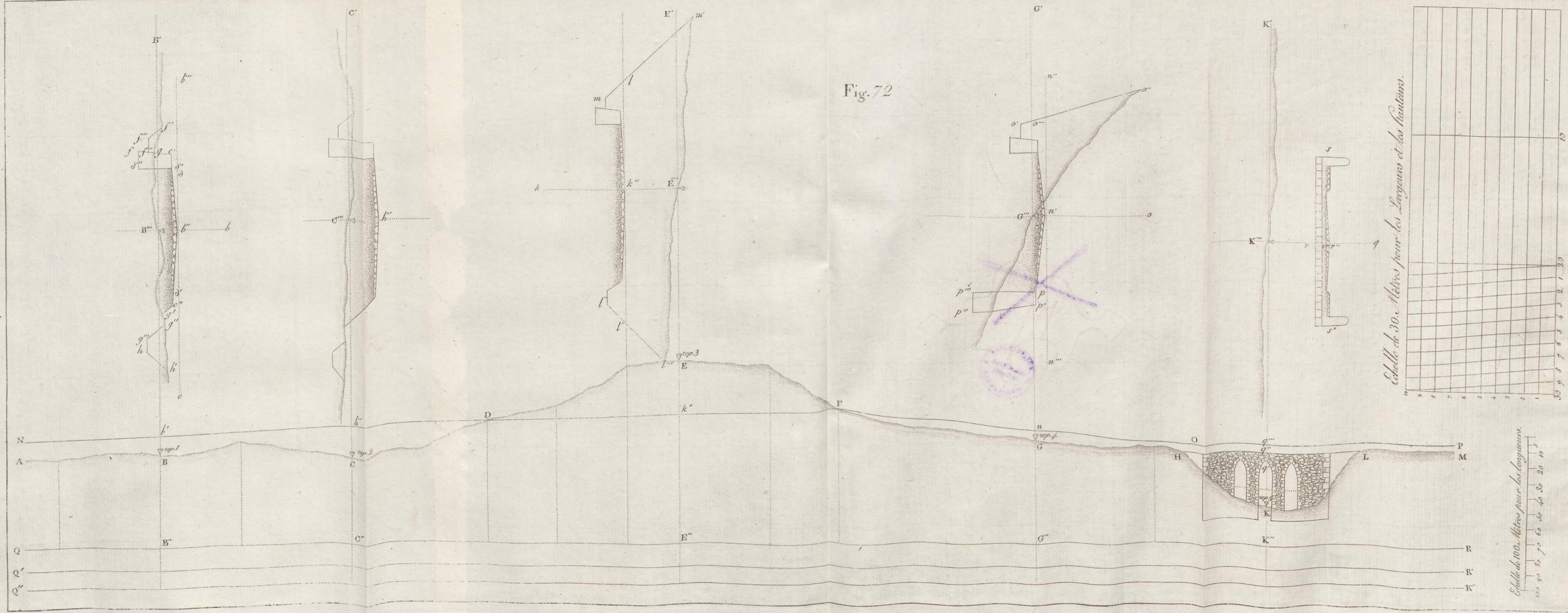


Fig. 72

Echelle de 30. Metres pour les Longueurs et les Hauteurs.

Echelle de 100. Metres pour les Longueurs.

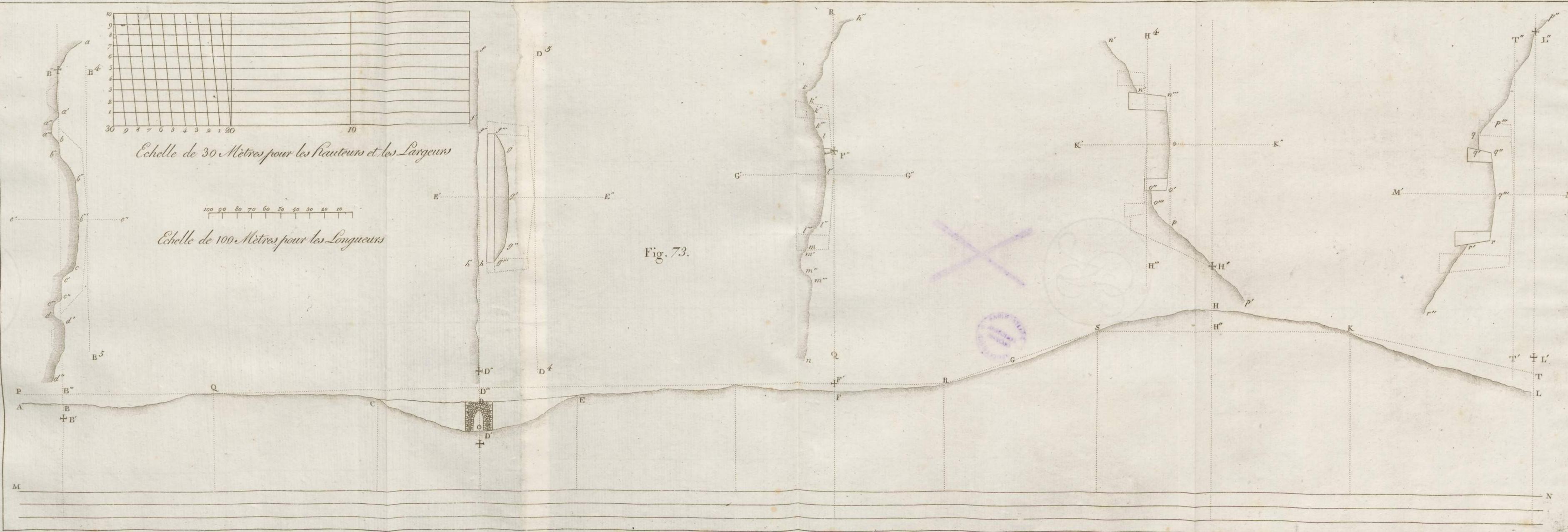


Fig. 73.

Fig. 75.

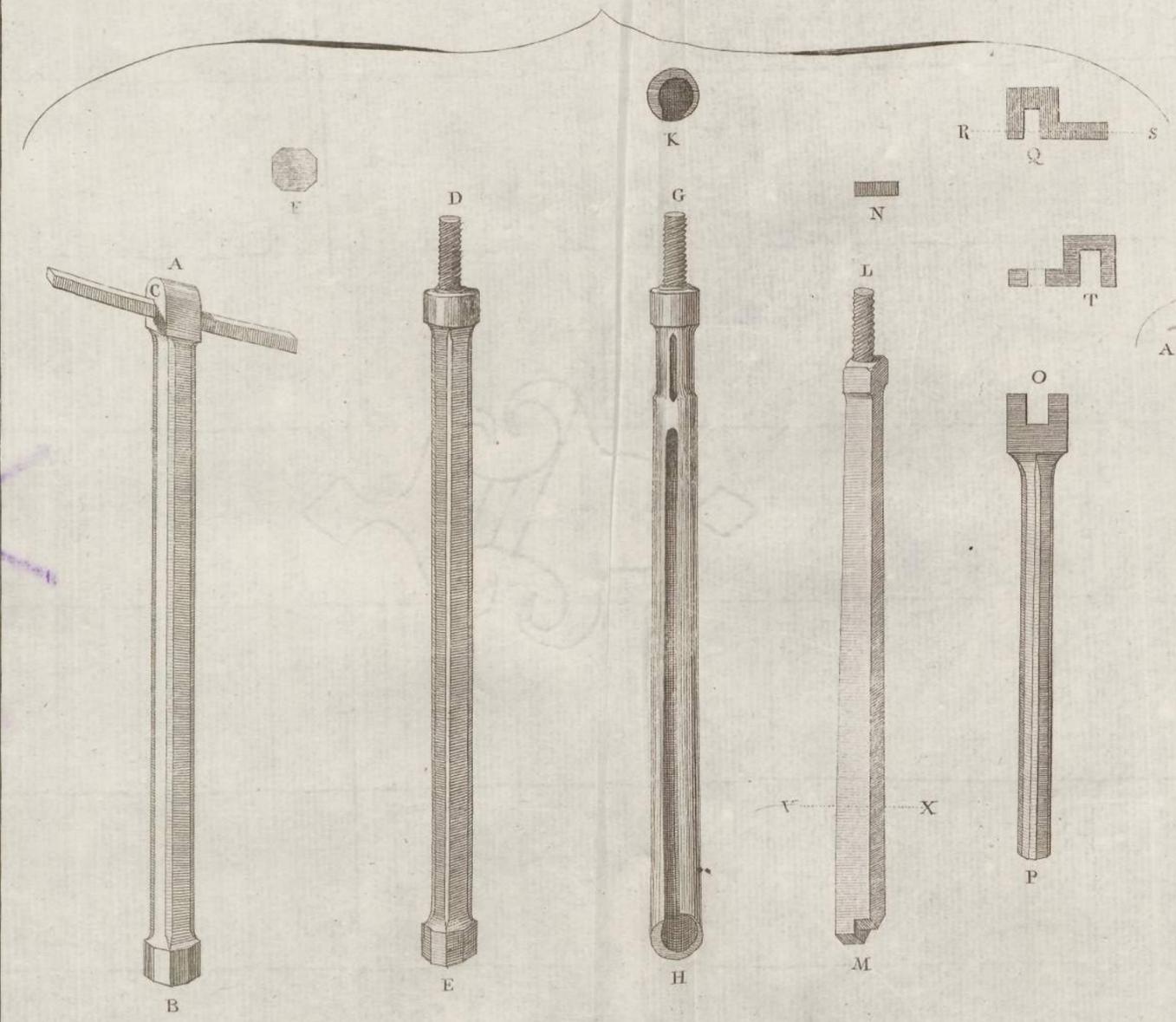
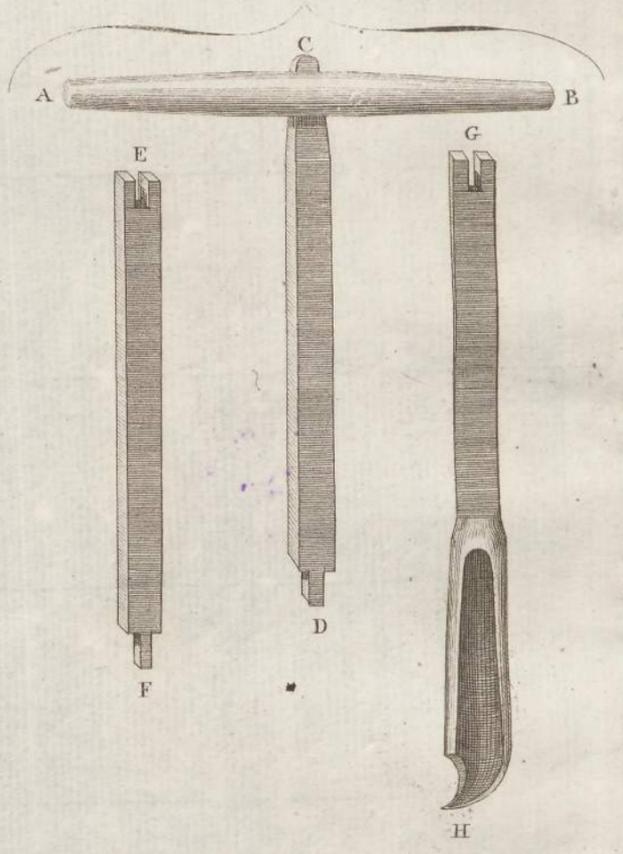


Fig. 76.



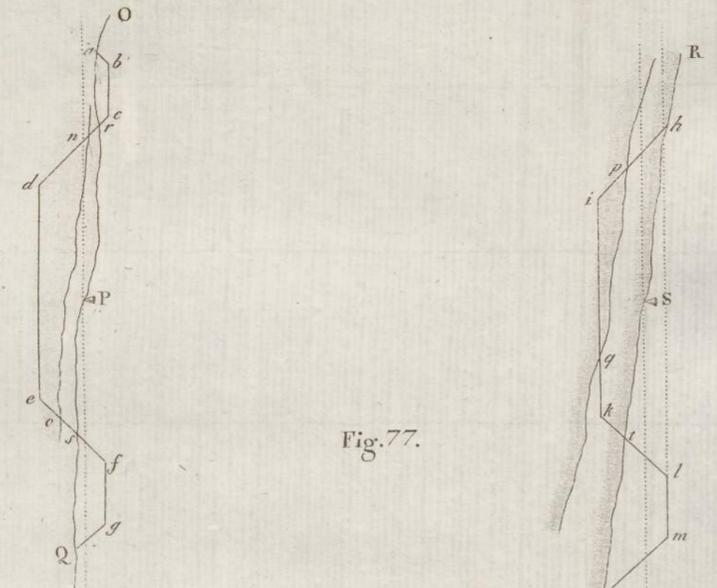


Fig. 77.

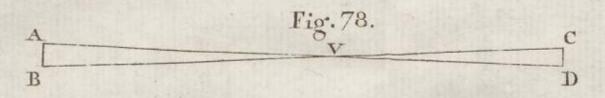
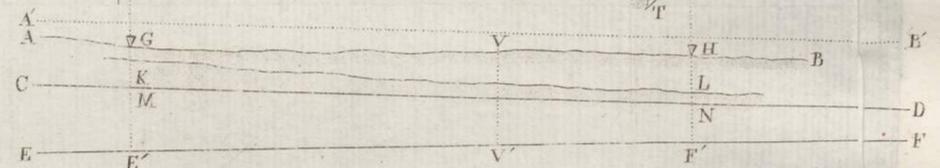


Fig. 78.

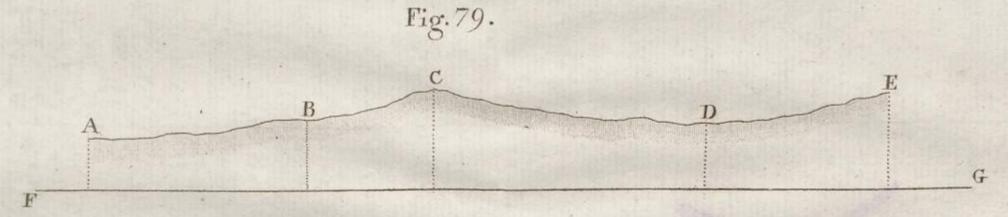


Fig. 79.

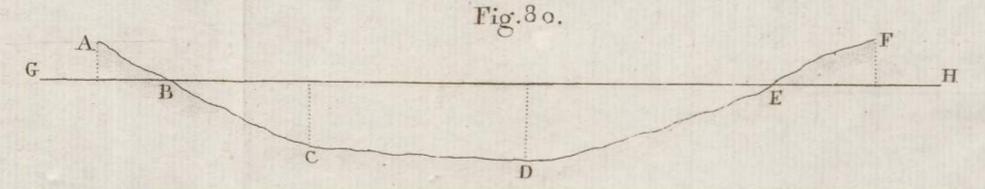


Fig. 80.

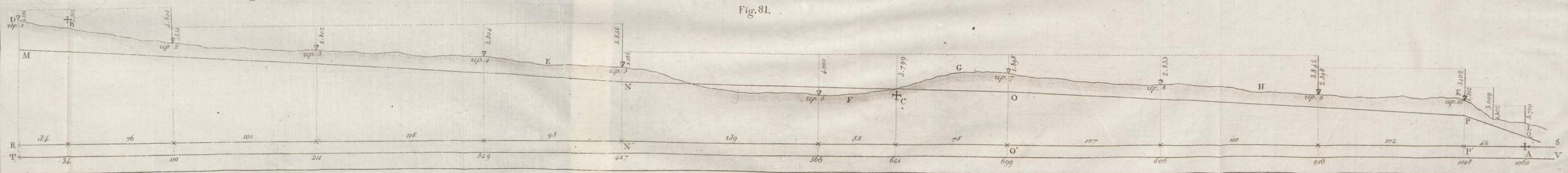
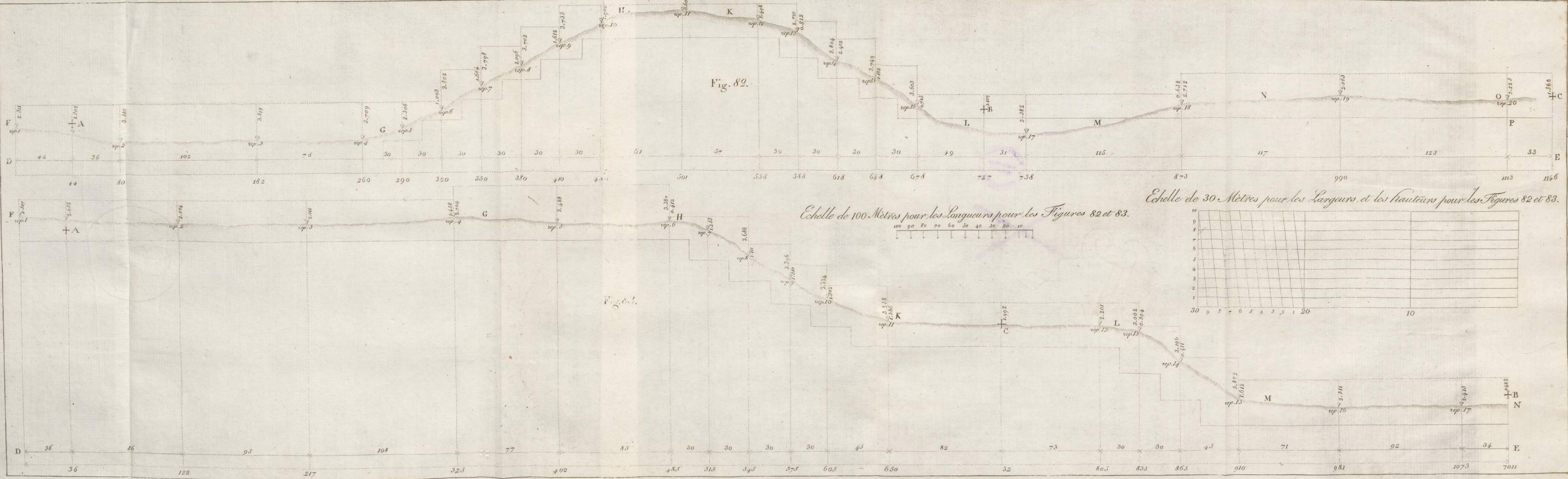
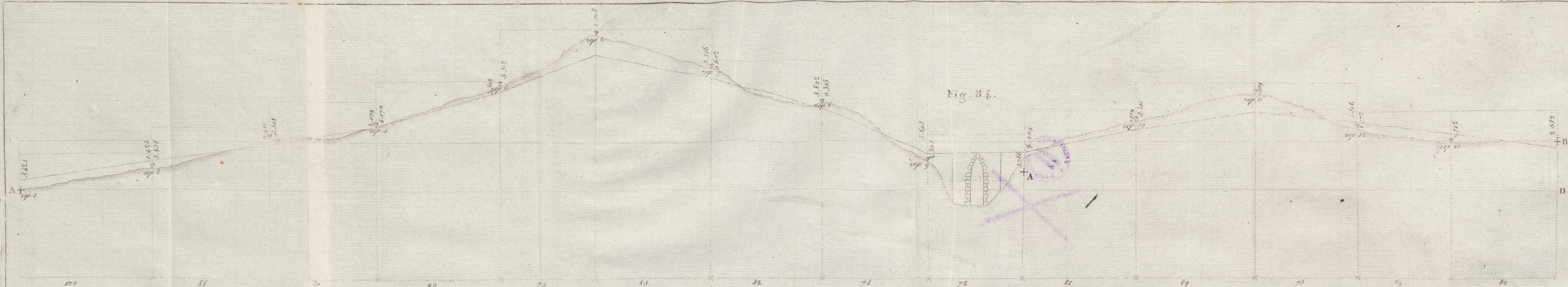
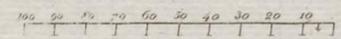


Fig. 81.





Echelle de 100. Mètres pour les Longueurs.



Echelle de 30. Mètres pour les Largeurs et les hauteurs.

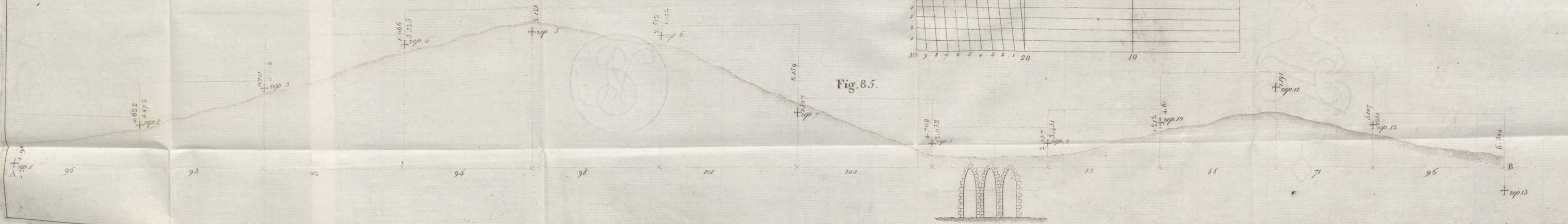
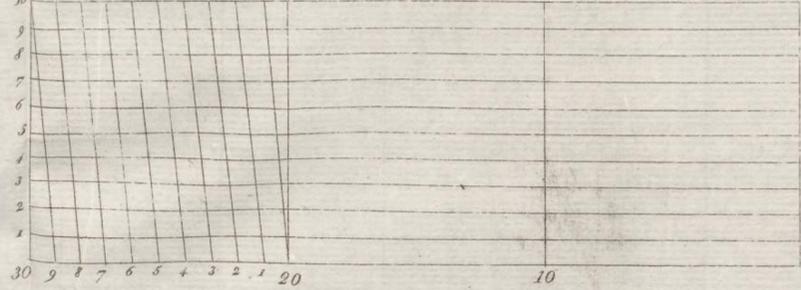
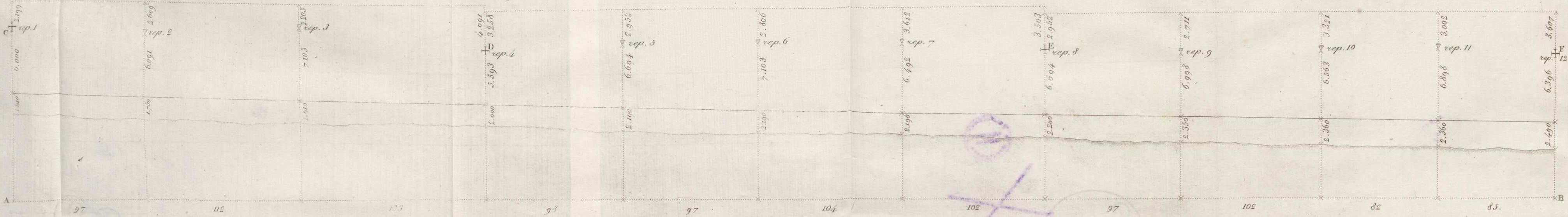


Fig. 86.



Echelle de 30. Mètres pour les hauteurs de la Fig. 86.

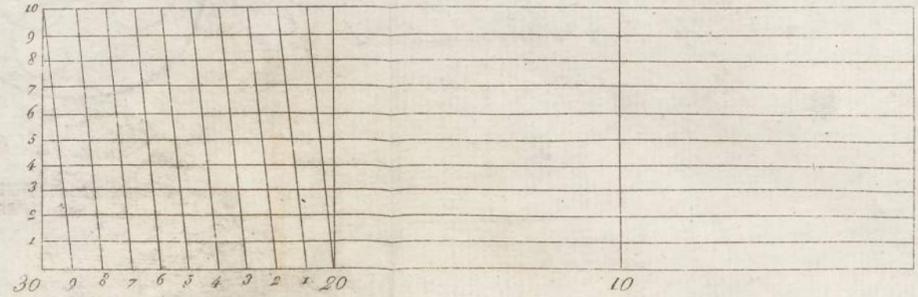
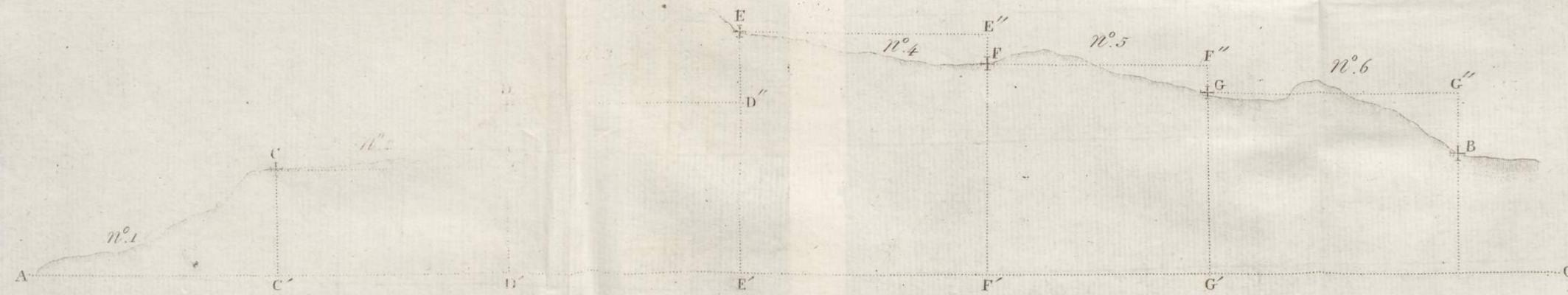
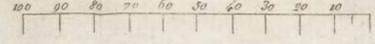
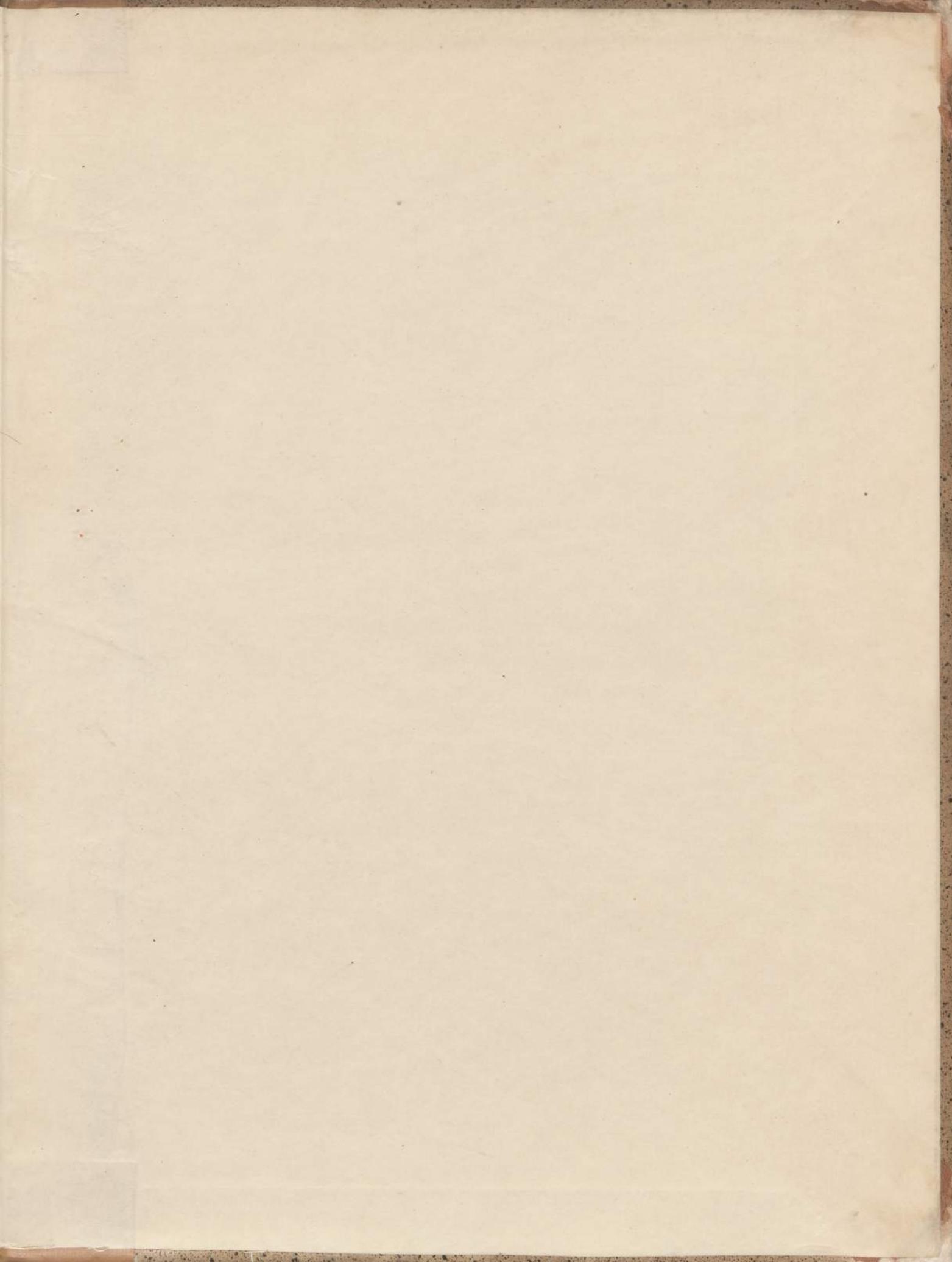


Fig. 87.



Echelle de 100. Mètres pour les longueurs de la Fig. 86.







BIBLIOTEKA GŁÓWNA

349038L/1