

INSTITUT INDUSTRIEL DU NORD DE LA FRANCE

LEVER DES PLANS

ET

NIVELLEMENT

LEÇONS PROFESSÉES

PAR

M. A. BOULANGER

Ancien Elève de l'École Polytechnique

Docteur de l'Université


1902


INSTITUT INDUSTRIEL DU NORD DE LA FRANCE

LEVER DES PLANS

ET

NIVELLEMENT

LEÇONS PROFESSÉES

PAR

M. A. BOULANGER

Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique

Agrégé de l'Université


1902


Imp. J. Schaller, rue Lokermann, 9, Lille.

LEVER DES PLANS

ET

NIVELLEMENT

Programme

Objet et division du cours: -

Section préliminaire - Lunettes d'instruments; leur mise au point. -

Niveau à bulle d'air; réglage. - Niveau.

Première Section: Lever des plans. -

I: Mesure des distances.

Cracé des alignements: jalonnage, lunette d'alignement.

Chainage. - Précautions à prendre.

Tas étalonné.

Emploi de la stadia.

II: Mesure des angles.

Unités. - Goniomètres et goniographes.

Description, usage, vérification et degré de précision du cercle géodésique, du graphomètre, du pantomètre et de la boussole.

Planchette et alidade, déclinatoire.

Construction des angles sur le terrain. - Equerre d'arpenteur.

III: Procédés généraux du lever des plans. -

Établissement d'un canevas.

Serer du canevas : cheminement ; intersections ; recoupements ; relèvements.

Serer des détails : abscisses et ordonnées ; décomposition en triangles ;
rayonnement ; demi-cheminement.

Seconde Section : Nivellement.

I : Théorie du Nivellement.

Principe du nivellement - Niveau vrai, niveau apparent.

Erreurs de sphéricité et de réfraction. - Serre élimination.

II : Procédés de Nivellement.

Opération élémentaire. - Nivellement simple, composé.

Nivellement par cheminement et par rayonnement. - Carnets - Repères.

III : Instruments de Nivellement.

Nivires à voyants et parlantes.

Niveau d'eau.

Niveaux à bulle d'air de Bourdaloue, Edault, Senoir & Brunner Gravet.

Réglage de la bulle ; calage ; centrage de la lunette.

Méthode de la double visée d'Edault.

Vérifications à faire avant la réception d'un niveau.

Comparaison des divers niveaux - Degre de précision.

Niveau à prismes de Klein & Sallemand.

IV : Applications du Nivellement.

Profils en long ; en travers.

Nivellement du lit d'une rivière.

V : Nivellement indirect.

Nivellement trigonométrique. - Niveau de pente de Chézy. - Eclimètres

Nivellement barométrique.
Troisième Section : Exécution des plans ; cal-
culs et procès-verbaux. —

I : Exécution des plans. —

Choix des échelles - Plans du cadastre - Plans parcellaires.

Report des distances et angles - Rapporteur ; méthode de la corde de
l'arc.

II : Reproduction des plans. —

Copie : méthode géométrique ; moyens mécaniques.

Réduction : méthode géométrique et pantographe.

Emploi de la photographie et de l'autographie.

III : Arpentage. —

Observation des superficies

Partage des terres

Moyens d'abréger les calculs : vérificateur et planimètre d'Anstey.

Alignements et bornage.

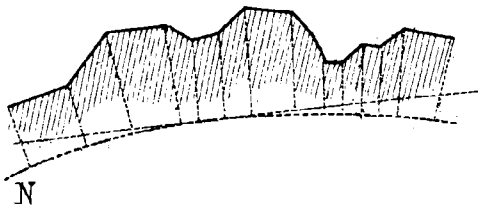
Ouvrages consultés.

Breton de Champ. —	Traité du lever des plans et de l'arpentage (1865) in 8°.
_____ d ^e _____	Traité du Nivellement. (1861) in 8°
S. Durand Raye.....	Lever des plans et Nivellement
Felletan et Sallemard }	(1889) in 8°
Et Haagre.....	Cours de Topographie: 1 ^{ère} et 2 ^{ème} parties - (1880-1881) Grand in 8°
"	
Moëssard.....	La Topographie - 1893 - in 12°
Ministère des Travaux pu- blies.....	Instructions publiées par la Direction des Cartes et plans.

Introduction

L'objet de ce cours est de décrire géométriquement la configuration d'un terrain de superficie restreinte, avec tous les détails qui se trouvent répandus à sa surface.

À cet effet, on considère une surface de niveau, c'est à dire une surface qui, en chacun de ses points soit perpendiculaire à la direction de la pesanteur indiquée par le fil à plomb. On choisit cette surface de niveau inférieure à tout le terrain à représenter. On projette par des normales les contours des arêtes de tous les objets répandus sur le sol, et on obtient ainsi une figure qui n'est autre chose qu'une projection orthogonale de celle que les différents objets forment entre eux dans l'espace, et dont on peut mesurer toutes les dimensions, angles et longueurs.



À ces éléments, pour définir le relief, on ajoute la longueur des ordonnées abaissées des différents points du terrain sur cette surface de niveau inférieure appelée alors surface de compa-

-raison.

Cette surface de comparaison se confond à d'ailleurs sensiblement, pour une étude restreinte, avec son plan tangent au point moyen.

Le lever d'un terrain comprend deux parties distinctes:

1^o le lever du plan consistant à mesurer dans toutes ses parties la projection orthogonale ou horizontale du terrain, c'est à dire tous les angles

et toutes les longueurs réduits à l'horizon, nécessaires pour définir géométriquement cette projection,

2° le nivellement fournissant la longueur des ordonnées ou les altitudes des différents points du terrain au dessus de la surface de comparaison.

Enfin à l'aide de ces mesures, il faut construire sur une feuille de papier une figure semblable à la projection du terrain, à une échelle plus ou moins réduite, rapport des longueurs graphiques aux longueurs réelles des différentes lignes: c'est le dessin du plan.

Nous sommes ainsi amenés à diviser le cours en trois sections.

Dans une section préliminaire, on étudiera quelques organes qu'on retrouve dans la plupart des instruments employés pour atteindre le double but signalé.

Section Préliminaire

I. Propriétés des lunettes d'instruments.

Une lunette astronomique ou à réticule se compose essentiellement de trois éléments que l'on peut déplacer l'un par rapport à l'autre, en faisant glisser les tubes de cuivre noircis à l'intérieur, sur lesquels ils sont montés :

1^o L'objectif, lentille convergente à long foyer, donnant des objets éloignés sur lesquels on la dirige, une image réelle renversée, située un peu au delà du foyer principal arrière.

Soit D la distance de l'objet, I la distance de l'image aux points nodaux, ou distance focale conjuguée de D , F la distance focale principale, c'est-à-dire la distance de chacun des foyers au point nodal correspondant; on a la relation :

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{F} = \frac{1}{P}$$

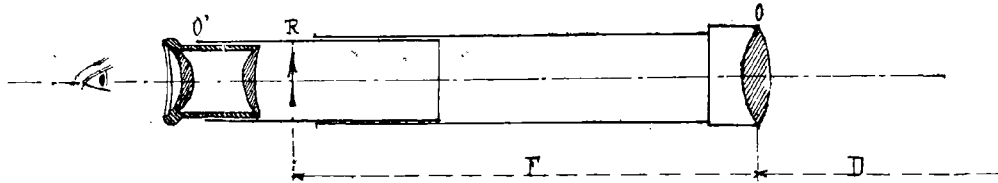
2^o Le réticule R formé de deux fils d'araignée en croix, ou le micromètre comportant une fine graduation tracée au diamant ou photographiquement sur une mince lame de verre.

Réticule ou micromètre, portés par un diaphragme, doivent coïncider avec l'image réelle fournie par l'objectif.

La ligne de visée s'appuie sur le point de croisement des fils du réticule et sur le centre optique de l'objectif; cette ligne est dite l'axe optique de la lunette.

3^o L'oculaire O' , système convergent à court foyer, composé en général

de 2 lentilles non achromatiques, qui sert à grossir l'image et à établir avec plus de netteté la coïncidence du centre du réticule avec l'image du point visé. - On emploie généralement l'oculaire positif de Ramsden, formé d'un verre d'œil et d'un verre de champ.



Mise au point - La lunette a deux tirages : 1^o celui de l'oculaire qui permet de faire varier, suivant la vue de l'observateur, sa distance au réticule de manière à voir nettement les fils ; 2^o celui du réticule ou de l'objectif, qui permet de faire varier leur distance relative, pour amener l'image focale dans le plan du réticule.

Mettre la lunette au point, c'est disposer l'objectif, le réticule et l'oculaire de telle sorte qu'on voie simultanément, le plus nettement possible, les fils et l'image. A cet effet :

1^o on agit sur le tirage de l'oculaire jusqu'à ce que les fils paraissent bien nets et le plus noirs possible ; pour cela on vise sur le ciel ou sur une feuille de papier blanc placée en avant de l'objectif. - Le premier réglage dépend de la vue de l'observateur.

2^o on dirige ensuite la lunette sur l'objet à viser, et l'on fait marcher, par rapport à l'objectif, le système du réticule et de l'oculaire jusqu'à ce que l'image de cet objet et le réticule aient la plus grande netteté possible. Le deuxième tirage dépend de la distance du point visé.

3^o Il peut subsister un petit défaut constituant la parallaxe optique,

et qu'on reconnaît à ce que en déplaçant légèrement l'œil devant le trou de l'oculaire, on voit osciller les fils sur l'image de l'objet: cela indique que l'image ne se fait pas exactement dans le plan des fils. On agit de nouveau sur le deuxième tirage jusqu'à ce que la parallaxe optique ait disparu.

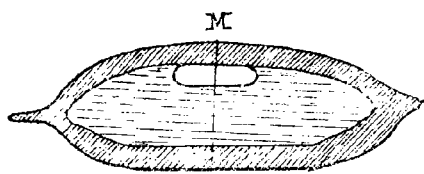
Soins à donner aux verres de lunette — On ne doit jamais passer les doigts sur les surfaces des verres, cela détruit leur transparence et la netteté des images qu'ils concourent à former.

Quand une surface paraît sale, on y condense la vapeur de l'haleine et on l'essuie immédiatement avec un linge de fil fin et propre; on recommence cette double opération jusqu'à ce que la vapeur, condensée de nouveau, forme une teinte mate régulière qui s'évapore concentriquement au verre.

Il est essentiel de ne jamais frotter les verres avec du drap ou avec des dants qui peuvent être gras.

II. Niveau à bulle d'air — Le niveau à bulle d'air est un tube de verre cylindrique, presque entièrement rempli d'un liquide (alcool ou éther) et fermé hermétiquement à la lampe à ses deux extrémités.

La bulle d'air mélangé de vapeur d'alcool ou d'éther qui reste dans la



fole tend à se placer toujours au point le plus haut, et pour faciliter l'effet de cette tendance, on a eu soin de roder intérieurement la paroi supérieure du tube, de manière à lui donner une courbure plus ou moins

prononcée dans le sens de sa longueur, le milieu du tube étant plus élevé que ses extrémités.

Quand la bulle s'arrête en un point de ce tore creux, le rayon de

courbure correspondant au milieu de la bulle est vertical; autrement dit, la tangente en ce point à la courbure intérieure est horizontale. Si donc on fixe extérieurement au tube une règle parallèle à la tangente menée au point milieu de la courbure extérieure (d'ordinaire la fiole porte des divisions symétriquement placées par rapport à ce milieu), - il suffira d'amener la bulle en ce point pour que la règle devienne elle-même horizontale. Cette tangente à la courbure intérieure de la fiole est ce qu'on appelle la directrice de la fiole.

Usage — Ce niveau est destiné à faire reconnaître si une ligne sur laquelle on place sa règle est horizontale: la bulle doit se placer symétriquement par rapport au point milieu (on dit alors que la bulle est entre ses repères).

Réglage de la bulle — On distingue:

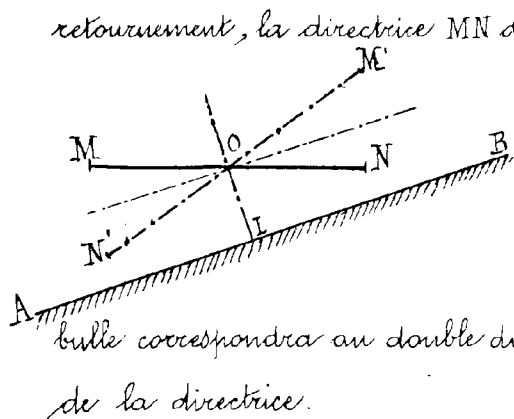
1° les niveaux fixes; ils ont la fiole fixée invariablement sur la règle en cuivre qui la porte, et qui par construction, doit être exactement parallèle à la directrice de la fiole;

2° les niveaux rectifiables; ils sont munis de vis de rectification qui permettent de corriger la position de la fiole par rapport à la règle si elle vient à se déranger.

Quel qu'il soit, on doit vérifier un niveau avant de s'en servir.

Pour cela, on le place sur une table bien stable, de façon que la bulle soit bien exactement au milieu du tube. On repère avec soin sa position et on le retourne bout pour bout. La bulle reste entre ses repères si le niveau est réglé.

Si au contraire le dessous de la règle n'est pas parallèle à la directrice de la fiole, la ligne AB de la table ne sera pas horizontale; après le



retournement, la directrice MN qui était tout à l'heure horizontale, sera venue prendre une position M'N' symétrique de la première par rapport à un axe OI perpendiculaire à la règle. Par suite le déplacement constaté de la bulle correspondra au double du défaut de parallélisme de la règle et de la directrice.

Pour faire la correction, si le niveau est à vis de rectification, on agira sur cette vis qui soulève ou abaisse l'une des extrémités de la fiole de manière à faire rétrograder la bulle de la moitié de son déplacement.

Si le niveau est fixe, on introduit des cales de papier sous l'un des supports de la fiole sur la règle, après avoir dévissé un peu la vis qui sert à le fixer.

On recommence alors la même épreuve et on fait la correction de la même manière jusqu'à satisfaction.

III - Vernier — Le vernier est un dispositif permettant de pousser aussi loin que possible l'approximation de la lecture sur un limbe ou une échelle graduée régulière circulaire ou rectiligne. Il tient son nom de l'inventeur, Pierre Vernier, de Besançon, qui l'a fait connaître en 1631.

Soit L la mesure d'une division du limbe; prenons $(n-1)$ de ces divisions. Sur une règle dite vernier, exactement jointive au limbe, mais pouvant glisser sur lui, on porte une longueur égale, soit $(n-1)L$. on partage cette longueur en n divisions égales que l'on chiffre de

0 à n et dont la mesure commune est V ; on a :

$$(n-1)L = nV,$$

d'où l'on tire :

$$L - V = \frac{L}{n}$$

Soit à évaluer avec le vernier la longueur MN qui sépare l'extrémité d'une mesure à effectuer, extrémité marquée par le zéro du vernier, de la division précédente du limbe. On regarde quelle division

du vernier coïncide avec une division de la règle; soit P cette division et p son numéro d'ordre. On a :

$$MP = MN + NP$$

ou
$$p \cdot L = MN + p \cdot V$$

Par suite
$$MN = p(L - V) = p \cdot \frac{L}{n}.$$

Mais en général il n'y a pas coïncidence; deux divisions consécutives du vernier telles que 3 et 4 ou Q, R tombent entre deux divisions du limbe S, T .

On prend celle des deux divisions du vernier qui est la plus proche de la division voisine du limbe, soit Q de numéro d'ordre q . On a :

$$MS = MN + NQ - QS$$

$$MT = MN + NR + RT$$

ou
$$MN = q \frac{L}{n} + QS = (q+1) \frac{L}{n} - RT$$

Comme on prend $q \frac{I}{n}$ pour valeur approchée, on commet une erreur QS . Or $QS < RT$; d'où $QS < \frac{QS+RT}{2}$, ou $< \frac{I}{2n}$. L'erreur est donc inférieure à la moitié de $\frac{I}{n}$.

Exemple numérique — Soit un vernier à 6 divisions, appliqué à un limbe dont les divisions valent 1° . On a: $\frac{I}{n} = \frac{60'}{6} = 10'$. Les lectures se font donc à $5'$ près.

Remarque. — Le vernier ne doit être appliqué qu'à des instruments dont la précision est réelle et pour des opérations qui sont reportées sur le papier par des procédés très exacts.

Première Section.

Lever des Plans.

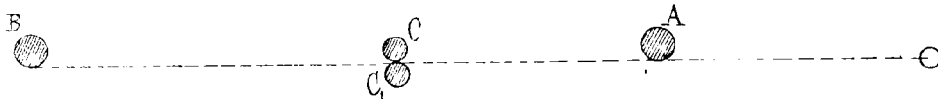
Chapitre I — Mesure des distances.

§ 1. — Tracé des alignements — Les points à relever sont rendus apparents par des jalons, tiges de bois ou en fer creux de 2^m de long et de 0^m,03 ou 0^m,015 de diamètre, terminées en pointe et qu'on enfonce verticalement dans le sol, juste aux points qu'on veut marquer.

Une direction est rendue apparente par deux jalons plantés aux 2 points qui la déterminent.

Si ces deux points sont fort éloignés, on est conduit à planter sur la même ligne des jalons intermédiaires : c'est ce qu'on appelle jalonner la ligne.

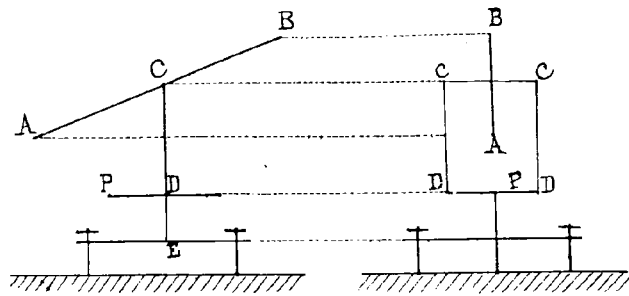
A cet effet, l'opérateur se place à 2 mètres au moins du jalon A



et vise suivant un plan tangent extérieurement aux 2 jalons A et B ; un aide présente le 3^e jalon C₁ tenu à bout de bras de l'autre côté de ce plan ; l'opérateur, par un signe convenu, fait avancer lentement le jalon C₁ et l'arrête au moment où il disparaît à sa vue. Il vérifie que ce moment

a été bien saisi par une autre visée suivant le 2.^e plan tangent extérieure à A et B.

Lorsque les jalons sont placés à trop grande distance pour être vus à l'œil nu, on s'aide d'une lunette d'alignement : c'est une lunette astronomique AB montée sur un arbre horizontal C qui peut se mouvoir sur deux



touillons supportés par des colonnes verticales CD. La base de ces colonnes est fixée à un plateau P capable de se mouvoir autour d'un pivot vertical DE.

L'ensemble est porté par un trépied à vis calantes. Si l'axe des touillons est horizontal et si l'axe optique de la lunette est bien perpendiculaire à l'axe des touillons, tous les points visés, quelle que soit l'inclinaison donnée à la lunette, sont dans un même plan vertical.

La 1.^{re} condition est réalisée par l'opérateur à l'aide d'un niveau à bulle d'air dont on place la règle sur les touillons. La 2.^e condition doit être vérifiée par le constructeur.

La lunette d'alignement s'emploie dans le tracé des voies de chemin de fer.

§ 2. - Généralités sur la mesure des Distances -

La loi ne reconnaît pour mesures de longueur que le mètre, ses multiples et sous-multiples décimaux.

Sur le terrain, les distances se mesurent :

1.^o à l'aide d'objets matériels de longueur connue, que l'on porte

successivement sur la ligne à évaluer, préalablement jalonnée, autant de fois qu'il est besoin;

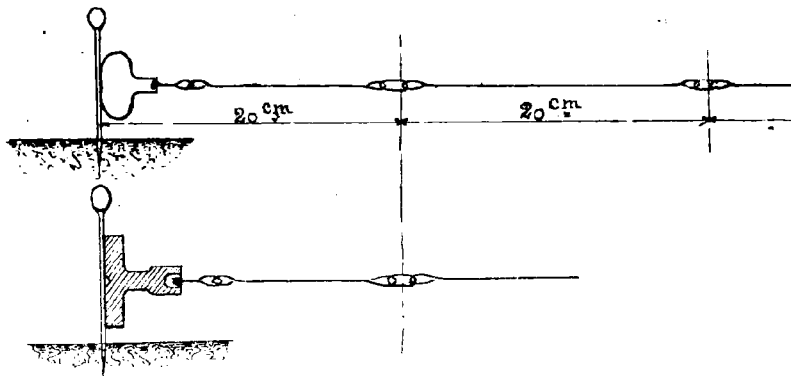
2^o à l'aide de dispositifs optiques n'exigeant ni le parcours ni le jalonnement de la ligne.

§.3. Chaînage — La chaîne d'arpenteur a 10 mètres de long; elle est formée de 50 chaînons en fort fil de fer de 20 centimètres de longueur chacun, y compris la longueur des anneaux qui servent à les réunir.

Les anneaux marquant les mètres sont de cuivre, et celui du milieu de la chaîne porte un appendice.

Les extrémités sont pourvues de deux poignées comprises dans la longueur des chaînons extrêmes: ces poignées sont en fil de fer dans les chaînes communes; elles sont en cuivre dans les chaînes soignées, et portent deux rainures en croix dans lesquelles on engage des fiches.

La chaîne est accompagnée de 10 fiches, tiges de fer de 30 centimètres bouclées à une extrémité.



Chaînage en terrain plat — La mesure est faite par un chaîneur et un aide. L'aide, portant les 10 fiches et l'un des bouts de la chaîne, s'éloigne de 10 mètres; il est assuré exactement dans la direction de sa rose à mesure par le chaîneur qui appuie l'autre poignée de la chaîne contre le point de

Départ de la mesure. L'aide plante une fiche contre la poignée de la chaîne bien tendue; tous deux font ensuite 10 mètres dans la direction de la base et recommencent la même opération; puis le chaîneur ramasse la première fiche, et le travail continue toujours de même. Tous les 100 mètres, il y a échange de fiches du chaîneur à l'aide.

À la fin du parcours, la distance est égale à autant de fois 100 mètres que d'échanges de fiches, plus autant de fois 10 mètres que l'opérateur a de fiches en main, plus la dernière lecture faite au bout de la base.

L'exercice avec cet instrument bien conduit ne doit pas dépasser un centimètre par portée.

Précautions à prendre — 1^o Il faut s'assurer au début que la chaîne ne contient ni nœuds ni anneaux bouchés; on en évite la formation ultérieure en ne repliant jamais la chaîne sur elle-même pendant le chaînage, surtout à l'échange des fiches et à la fin de chaque mesure: on pose alors la chaîne à terre.

2^o Il faut compter les fiches au début, à chaque échange et lorsqu'on arrive à l'extrémité de la base. On évite ainsi les fautes de 10 mètres que peut entraîner l'oubli d'une fiche.

3^o Il n'employez qu'une chaîne à boucles en forme de paire pour qu'il n'y ait pas de déformation de ces boucles par traction.

4^o La chaîne doit être vérifiée de temps en temps: on trace sur une aire plane deux traits distants de 10 mètres en se servant d'un mètre étalon et on présente la chaîne. En cas d'écart, on renvoie la chaîne chez le constructeur.

5^o La chaîne doit être tendue d'une manière constante, les deux

poignées au même niveau. Elle affecte la forme d'une chaînette dont on prend l'arc pour la corde. Pour une fiche d'environ 20 centimètres, il en résulte une erreur de 12^{mm} qu'on compense en donnant à la chaîne une longueur de 10^m,005 au lieu de 10 mètres et en escomptant l'élasticité de la chaîne.

6° Les fiches sont enfoncées bien verticalement. Le chaîneur, pour ne pas les décaler en y appuyant la poignée, doit prendre appui sur son javot ou sur un bâton.

Dans le cas des poignées en fil de fer, pour tenir compte de l'épaisseur des fiches, on a soin de les mettre alternativement en dehors et en dedans de l'anneau qui sert de poignée.

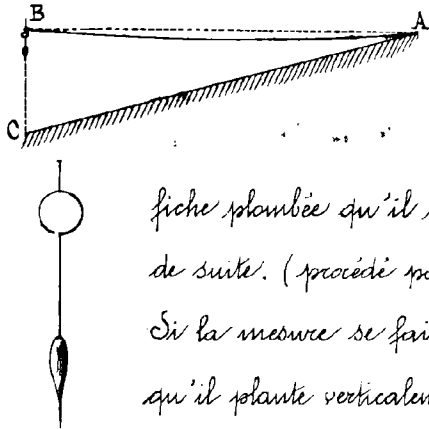
Ruban d'acier — L'Administration des Ponts et Chaussées substitue à la chaîne un ruban continu d'acier très-mince, de 15^{mm} de largeur, avec poignées à rainures. Les doubles décimètres sont marqués par des rondelles en cuivre rivées, les décimètres par des trous, les mètres par des rondelles plus grandes, celle du milieu étant remplacée par un losange.

On évite par son emploi la formation des nœuds; on peut le tendre fortement et diminuer la flèche sans crainte de déformation.

Par contre, il coûte cher, il est fragile et d'une réparation plus difficile que la chaîne.

Le ruban s'enroule sur un croisillon de bois.

Chaînage en terrain incliné — Quand le terrain est incliné il est plus commode d'opérer en descendant, en procédant par ressauts horizontaux de 10^m, ou de 5^m. Le chaîneur ayant sa poignée sur le sol contre la dernière fiche posée, l'aide élève la sienne jusqu'à ce que la chaîne



tendue autant que possible, lui paraisse horizontale à vue ; il projette alors l'extrémité élevée de la chaîne sur le sol à l'aide d'une

fiche plombée qu'il remplace ensuite par une fiche ordinaire, et ainsi de suite. (procédé par cultellation)

Si la mesure se fait en montant, le chaîneur est muni d'un jalou qui il plante verticalement à vue dans le tron de chaque fiche arrachée et le long duquel il élève la poignée de la chaîne jusqu'à ce que celle-ci tendue paraisse horizontale.

La précision est évidemment moindre qu'en terrain horizontal : l'erreur à craindre peut atteindre 20, 30 et quelquefois 40 centimètres pour 100 mètres.

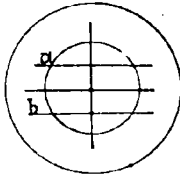
S.4. Mesure au pas — On peut évaluer approximativement une distance par le nombre de pas employés à la parcourir.

On étalonne son pas en le comparant à une distance bien connue ; soit 1 kilomètre (intervalle des bornes kilométriques routières). Soient n, n', n'' le nombre de pas à la parcourir en divers essais ; 1 kilomètre correspond à $\frac{n + n' + n''}{3}$ pas, et un pas vaut $\frac{3.000}{n + n' + n''}$ mètres.

L'emploi du podomètre évite le comptage des pas, c'est une sorte de montre au chaque seconde de marche agit sur un contrepois qui fait avancer l'aiguille d'un cran.

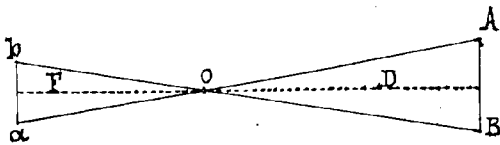
S.5. Emploi de la stadia — Le chaînage peut être très difficile au milieu de pierres, rochers, broussailles, cultures sur pied, et devenir impossible lorsqu'il s'agit de points inaccessibles. L'emploi de la stadia le remplace avec une exactitude égale à celle du chaînage en terrain uni, et permet de mesurer sans les parcourir des distances allant jusqu'à 150 et même 200 mètres.

L'instrument se compose d'une lunette et d'une mirre.



La lunette stadimétrique est une lunette astronomique dont le diaphragme porte 2 fils horizontaux a et b ; en outre il porte généralement un croisillon central.

La mirre ou stadia est une règle divisée en parties égales, de 1 centimètre par exemple, qu'on place en avant de la lunette perpendiculairement à son axe optique.



Deux traits A et B de cette règle viennent se peindre en a et b sur les fils du réticule et l'on pourra compter

dans la lunette le nombre de divisions comprises entre A et B . Soient :

N ce nombre de divisions ;

l la longueur de chacune d'elles ;

et par suite $H = Nl$ la longueur AB ;

D la distance de la règle au centre optique O de l'objectif ;

F la distance focale conjuguée de D ;

m l'écartement $a-b$ des fils micrométriques.

Les 2 triangles semblables OAB , Oba donnent :

$$D = H \cdot \frac{F}{m} = N \cdot \frac{lF}{m}$$

m et l sont invariables ; on peut supposer F constant ; le rapport $\frac{lF}{m} = \lambda$ est donc constant :

$$D = N \cdot \lambda$$

La distance de la règle au centre optique de la lunette est donc proportionnelle au nombre de divisions comprises entre les fils du réticule.

En pratique, on règle l'écartement des fils de manière que 100 divisions

soient interceptées à 100 mètres. D'où :

$$100 \text{ mètres} = 100 \lambda$$

et
$$D = N \times 1^m$$

Le nombre de mètres de la distance cherchée est alors égal au nombre de divisions lues sur la stadia.

Toute lunette d'instrument peut être transformée en lunette stadiométrique par un changement de réticule, et les mirres parlantes employés dans le nivellement peuvent servir de stadia.

Remarque — Nous avons supposé F constant ; en réalité on a :

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{F} = \frac{1}{P} \quad \text{ou} \quad F = \frac{PD}{D-P}$$

Par suite :
$$D-P = N \cdot \frac{FP}{m}$$

On règle l'écartement m de manière que pour $D-P = 100^m$, $N = 100$

D'où :
$$D-P = N \times 1^m$$

Le nombre de divisions compris entre les fils indique donc le nombre de mètres compris entre la stadia et un point situé en avant de l'objectif à une distance égale à la distance focale principale F .

P est une constante de l'appareil.

D'ailleurs comme le centre du support de la lunette est toujours installé au dessus de l'extrémité de la base à mesurer, il faut encore ajouter à D l'écart d entre ce centre et l'objectif, autre constante de l'appareil.

On évite cette correction :

1° soit par l'emploi de la stadia Gauher dont une division centrale est plus petite que les autres ;

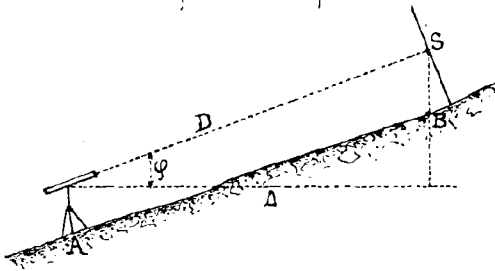
2° soit par l'association à l'objectif d'un verre convergent dit verre

anallatiseuse de Porro qui a pour effet de faire lire sur la stadia la distance du point visé à un point fixe choisi sur la lunette.

Stadia en terrain incliné - Echelle de réduction -

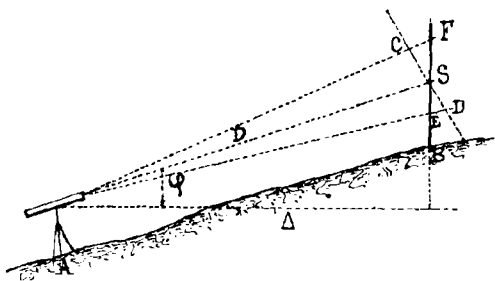
Lorsqu'on opère en terrain incliné, un éclimètre ou cercle vertical gradué monté sur l'axe de la lunette, permet l'inclinaison φ de l'axe optique sur l'horizon.

On pourrait opérer comme précédemment en fixant en S vers le milieu de la stadia une petite équerre dont l'aide dirigerait le côté sur la lunette, et en ayant soin que le fil à plomb de S ait son pied à l'extrémité de la ligne à mesurer



On réduit alors la distance lue D à l'horizon : $\Delta = D \cos \varphi$

On préfère tenir la stadia verticale et diriger l'axe optique sur un point S situé à une hauteur égale à celle de l'instrument au dessus du sol.



On fait alors sur la stadia verticale une lecture EF tandis qu'on ferait une lecture CD sur la stadia perpendiculaire à l'axe optique. A cause de la petitesse de l'angle micrométrique, c. à d. de l'angle des lignes qui joignent le centre optique de l'objectif aux points de rencontre des fils horizontaux et du fil vertical du réticule, - les triangles CFS et DES sont sensiblement rectangles en C et D, et on a sensiblement

$$CD = EF \cos \varphi.$$

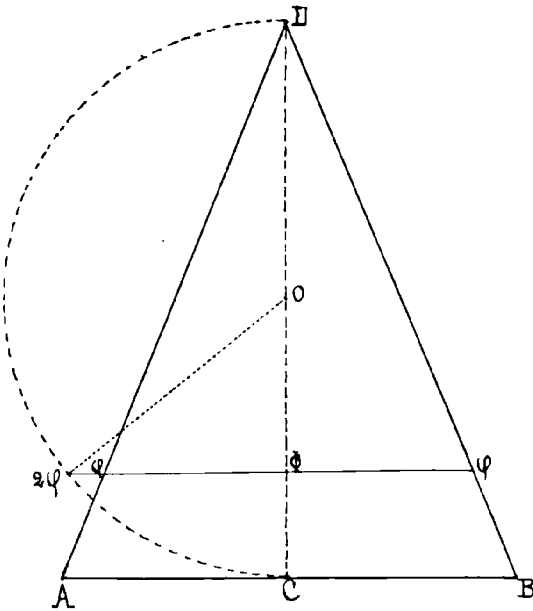
Soit I la lecture faite ; on a donc :

$$D = I \cos \varphi$$

$$\text{et } \Delta = D \cos. \varphi = L \cos^2 \varphi$$

$$\text{ou } \Delta = L - L \sin^2 \varphi$$

La correction exige une table des carrés soit des sinus, soit des cosinus. On peut aussi l'effectuer graphiquement par l'échelle Goulier. - Sur le milieu AB d'une échelle horizontale, on mène une perpendiculaire CD au moins égale à $\frac{3}{2}$ AB. Sur CD comme diamètre, on décrit une demi-circonférence qu'on divise à partir de C en doubles degrés. Par



les points de division, on mène des parallèles à AB et on joint le point D à chacune des divisions de l'échelle inférieure. Enfin aux extrémités de chacune des horizontales écrivons la moitié du nombre de degrés qui correspond à la division de l'arc par lequel elle passe, et l'échelle sera construite.

Chaque horizontale est divisée en parties proportionnelles à celles de AB; le rapport de réduction pour le N° φ est: $\frac{D\phi}{DC} = \frac{R + R \cos. 2\varphi}{2R}$, R étant le rayon du cercle, c. à. d. $\cos. 2\varphi$.

Donc pour réduire à l'horizon la lecture L relative à une pente φ , au lieu de prendre cette lecture sur l'échelle des distances horizontales AB, on la prendra sur l'échelle chiffrée φ .

Cette échelle peut être tracée mécaniquement sur cuivre.

Avantages de la stadia — La stadia économise le temps et donne une précision comparable au moins à la chaîne. Elle permet

de ne pas traverser le terrain et de ne pas abîmer les cultures. Toutefois les lectures sont pénibles et elle perd ses avantages dans la mesure des petites distances.

Chapitre II Mesure des angles.

§ 1 - Généralités — Les angles s'évaluent :

1° soit en degrés, minutes et secondes sexagésimales (Sonts et Chausseés, Astronomes et Marins)

2° soit en grades ou centièmes d'angle droit, subdivisés en minutes et secondes centésimales (Service géographique de l'armée)

Les instruments qui servent à mesurer les angles se divisent en goniomètres et en goniographes, selon qu'ils donnent la valeur numérique des angles ou leur valeur graphique.

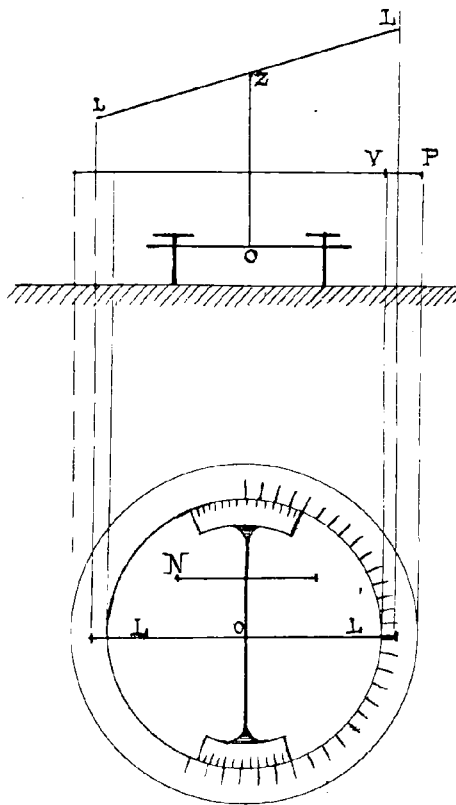
Les goniomètres permettent plus de précision et fournissent des résultats numériques immédiatement propres à entrer dans les calculs. Les goniographes présentent des avantages pour certains travaux de détails.

Le seul goniographe usité se compose de l'ensemble : planchette et alidade.

Les goniomètres se composent en principe : 1° d'un limbe gradué horizontal ; 2° d'un appareil de visée monté sur le centre du limbe et mobile autour de ce centre ; et 3° en général d'un vernier, fixé à l'appareil de visée et glissant pendant la rotation de cet appareil contre la graduation du limbe. Les dispositions sont très variées, et

on décrira successivement le cercle géodésique, le graphomètre, le pantomètre et la boussole.

§ 2- Cerle géodésique — Dans le cerle géodésique, le plus précis des goniomètres, le limbe, d'un diamètre de 30 à 40 centimètres, est monté sur un trépied à vis calantes, et muni de niveaux pour assurer



son horizontalité; il est mobile par rapport à ce pied, et peut, sans cesser d'être horizontal, être fixé dans une position quelconque. L'appareil de visée est une lunette suspendue sur deux tourillons horizontaux, de façon que son axe optique soit mobile dans un plan vertical et rende la visée possible, quelle que soit la hauteur de la mire. Enfin le vernier est double, aux extrémités d'un diamètre d'un second limbe concentrique au premier et faisant corps avec le support de la lunette.

Toutes les parties mobiles sont reliées les unes aux autres par des vis de pression et des vis de rappel à ressorts antagonistes, permettant de perfectionner les pointés.

Usage. 1^o On installe l'axe du cerle à l'aplomb du sommet de l'angle à mesurer, à l'aide d'un fil à plomb pendu à la pompe de la vis qui sert à fixer l'appareil sur un support à trois branches.

2^o On cale le cerle, c'est à dire qu'on assure son horizontalité.

Tout cela, on met le niveau N parallèle à la ligne d'arpent de deux vis calantées, et on amène la bulle entre ses repères en actionnant en sens inverse les deux vis calantées. On fait faire ensuite un quart de tour au plateau pour amener le niveau au dessus de la 3^e vis, et on amène de nouveau la bulle entre ses repères. On revient à la 1^{re} position par un mouvement rétrograde et on recommence le calage jusqu'à ce que la bulle ne quitte plus ses repères en passant d'une position à l'autre. Le limbe est alors horizontal, puisqu'il contient 2 horizontales rectangulaires.

Le calage suppose le niveau réglé; pour vérifier la bulle préalablement, on l'amène entre ses repères pour une position donnée du plateau; on fait faire ensuite demi-tour au limbe de manière à retourner la bulle bout pour bout. Si elle revient entre ses repères, elle est réglée; sinon, on corrige la moitié de son déplacement avec la vis de réglage du niveau, et l'autre moitié avec les vis de calage; on recommence l'opération jusqu'à satisfaction.

3^o On fixe le limbe de manière que son zéro soit extérieure à l'angle à mesurer. On dirige la lunette sur le jalou qui marque le 1^{er} côté et lorsqu'on l'aperçoit, on fixe la lunette au limbe; on amène par une vis tangente le fil vertical du réticule à bissecter le jalou et l'on fait la lecture à chaque vernier.

On fait de même pour le 2^e côté, et la moyenne des différences des lectures donne l'angle corrigé de l'erreur possible d'excentricité.

Il y a avantage à faire la 1^{re} visée après avoir mis en coïncidence le zéro du limbe et le zéro d'un vernier; on évite ainsi une lecture.

Degré de précision — Les cercles sont divisés en demi-degrés

avec vernier au $\frac{1}{60}$; la lecture se fait à $\frac{1}{2}$ minute près.

En tenant compte de quelques petites erreurs accidentelles, on peut compter sur des mesures exactes à moins d'une minute près.

§ 3. Graphomètre — Le graphomètre est un cercle simplifié: il n'a plus qu'un demi-limbe gradué; l'appareil de visée est une alidade à pinnules, munies de fentes et de fils verticaux; le limbe intérieur n'existe plus et les verniers sont portés par l'alidade elle-même. Un autre jeu de pinnules, fixées au demi-limbe fixe, forme une seconde ligne de visée, correspondante au diamètre origine des graduations. On vise les deux signaux avec les alidades et on fait la lecture.

Le graphomètre est mobile autour d'un axe perpendiculaire à son plan, et peut être fixé sur un trépied à l'aide d'une douille munie d'un bouton à coquille.

Les graphomètres soignés portent 2 petits niveaux à bulle d'air à angle droit, au milieu un petit niveau spirituel, permettant d'assurer l'horizontalité du limbe.

Il faut s'assurer que les deux pinnules forment un plan de visée et que ce plan de visée est vertical quand le limbe est horizontal. A cet effet:

- 1° on vise un point bien net, l'œil étant à la partie inférieure d'une des fentes; puis on élève progressivement l'œil: le fil doit constamment couvrir le point;
- 2° le limbe étant bien horizontal, on vise un fil à plomb; le coin de la pinnule doit coïncider avec ce fil.

On reconnaît qu'il n'y a pas d'erreur d'excentricité appréciable en mesurant plusieurs fois un même angle avec diverses orientations

au limbe.

Enfin on s'assure que les lignes de foi coïncident avec les lignes de visée en s'écartant d'une même quantité en mesurant un même angle en utilisant l'alidade fixe, puis en utilisant seulement l'alidade mobile.

Le graphomètre peut donner une approximation de $10'$. Mais on ne peut compter sur cette précision avec les instruments qu'on trouve à bon marché dans le commerce.

§ 4. Pantomètre ⁽¹⁾. Le pantomètre est formé de deux tambours circulaires en cuivre, de même diamètre (6 à 12 centimètres) superposés l'un à l'autre. Le tambour inférieur est fixe et peut être monté sur un bâton fixé à l'aide d'une douille munie au non d'un genou à coquille et d'un axe de rotation avec plateau à pince. Il porte près de son bord supérieur une division en degrés, qui représente le limbe gradué, et est muni de deux fentes suivant deux génératrices diamétralement opposées et correspondant au diamètre 0° 180° de la graduation. Le tambour supérieur est mobile autour de l'axe commun des deux cylindres, au moyen d'un bouton molleté et d'un pignon qui engrène dans une roue dentée placée intérieurement. Ce second tambour sert d'alidade et est percé de 4 fentes opposées deux à deux suivant 2 plans diamétraux rectangulaires. Un et quelquefois deux verniers correspondent à l'un de ces diamètres et servent à lire les angles marqués sur le tambour inférieur.

Pour mesurer un angle, on plante le pantomètre au sommet, on dirige l'alidade du tambour fixe vers l'un des jalons, et on fait tourner

(1) L'idée du pantomètre est due à Faugnier, sous-lieutenant du Génie à l'École d'Application - 1822.

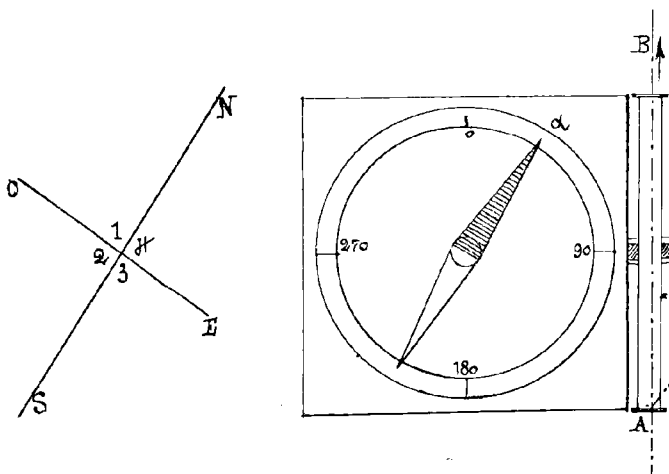
le tambour supérieur jusqu'à ce que le plan de visée qui porte les verniers passe par le 2^e filon. La lecture se fait à 5 minutes près.

Les vérifications à faire avant d'acheter un pantomètre, sont analogues à celles indiquées pour le graphomètre.

Il est illusoire de vouloir augmenter la précision du pantomètre par la complication de ses organes : elle est limitée par la petitesse du diamètre

§ 5. Boussole d'arpenteur — Une aiguille aimantée, suspendue sur un pivot, prend une position d'équilibre, à laquelle elle revient toujours, après un certain nombre d'oscillations, quand on l'en écarte. Le plan vertical passant par cette direction se nomme le méridien magnétique, et l'angle que ce plan fait avec le méridien vrai ou géographique du lieu, est ce qu'on appelle la déclinaison magnétique ; elle est orientale ou occidentale suivant que la pointe nord de l'aiguille (celle qui est bleue) se trouve à l'est ou à l'ouest du méridien vrai.

La déclinaison peut, en un lieu et pour le temps du lever, être considérée comme sensiblement constante.



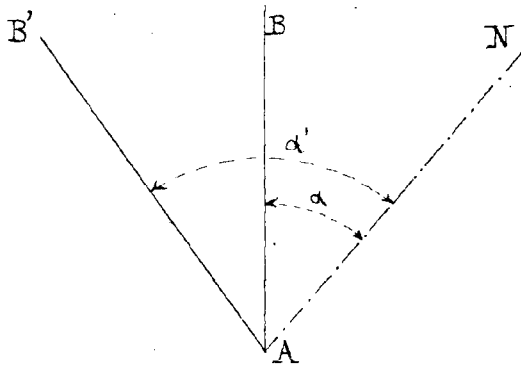
La boussole d'arpenteur se compose d'une aiguille aimantée, d'un limbe horizontal concentrique et affleurant aux pointes de l'aiguille et d'un appareil de visée invariablement lié au

limbe et mobile autour d'un axe P dans un plan vertical.

Le limbe est divisé dans le sens des aiguilles d'une montre de 0° à 360° , et le diamètre 0-180, qui passe par le point de suspension de l'aiguille est parallèle au plan vertical de visée.

Soit une direction AB. Le plan de visée étant dirigé sur B, on voit que la lecture α , faite à la pointe bleue, mesure l'angle NAB.

Cet angle se nomme l'azimut de la direction.



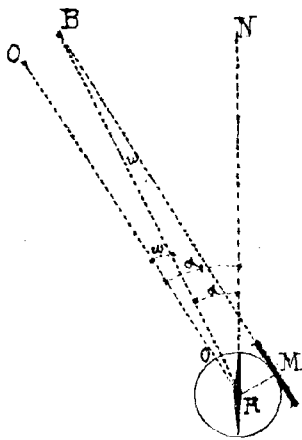
L'angle de deux directions AB, AB' est évidemment égal à la différence de leurs azimuts α' et α :

$$\widehat{B'AB} = \alpha' - \alpha.$$

Si, au lieu du diamètre 0-180, c'est un autre diamètre $\varepsilon - 180^\circ + \varepsilon$ qui

est parallèle au plan de visée, ce qui précède subsiste, mais les azimuts sont augmentés de ε ; cette erreur disparaît dans leurs différences.

Influence de l'excentricité du viseur — L'excentricité



du plan de visée par rapport à la verticale du point A sur laquelle on a établi le centre de l'instrument, fait qu'au lieu de mesurer l'orientation $\alpha = NAB$ de AB, on mesure l'angle $OAN = \alpha$.

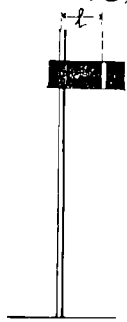
L'erreur commise ou parallaxe $\omega = \alpha' - \alpha$ est donnée par la relation

$$\sin \omega = \frac{l}{D},$$

l étant la distance du viseur au centre de l'instrument, et D la distance du jalou B au point A.

Cette erreur affectera de la même manière toutes les lectures d'azimuts si l'on peut planter toujours les jalons à une même distance approximativement de la boussole : elle n'influera pas sur la valeur des angles.

On peut aussi armer le jalon planté en B d'un petit voyant, *excentrique* portant une bande blanche sur fond rouge, dont l'axe est précisément à une distance de l'axe du jalon égale à l'excentricité du viseur : c'est alors sur l'axe de cette bande que l'on doit viser.



Variations de la Déclinaison — L'aiguille aimantée,

d'un emploi si commode, ne peut servir aux travaux de précision, à cause des variations de la déclinaison : variations diurnes, variations locales, variations annuelles.

Les variations diurnes sont les plus dangereuses ; elles peuvent atteindre 25 et 30 minutes ; la loi en est inconnue complètement et varie avec les lieux et avec les époques. Au lever du soleil, l'aiguille aimantée se met en mouvement, et sa pointe nord marche à l'ouest jusqu'à vers 1 heure de l'après-midi, moment où elle atteint son maximum de déviation occidentale ; puis, par un mouvement contraire, elle revient vers l'orient jusqu'à 9 ou 10 heures du soir et reste à peu près immobile pendant toute la nuit. Le seul moyen de se mettre à l'abri de cette cause d'erreur ; c'est de s'astreindre à mesurer les orientements entre 11 heures du matin et 3 ou 4 heures de l'après-midi, c'est à dire pendant les heures de la journée où, la variation étant voisine de son maximum, la déclinaison reste à peu près constante.

Les variations locales ont aussi un grand caractère d'irrégularité.

En 1^{re} janvier 1902, la valeur de la déclinaison était la suivante en divers lieux de la région :

Déclinaison occidentale :

Lille	_____	14° 34'	Veras	_____	14° 41'
Dunkerque	_____	15° 1'	Amiens	_____	15° 3'
Valenciennes	_____	14° 20'	Sedan	_____	13° 56'

En Europe et en Afrique, la déclinaison est occidentale ; elle est orientale en Asie et en Amérique ; elle est nulle à la Guadeloupe.

Ses variations annuelles ou séculaires obéissent à des lois aussi inconnues ; actuellement la diminution de la déclinaison est de 6' par an pour le nord de la France.

La déclinaison à Lille le 1^{er} mai 1904 à 6 heures du soir sera donc de $14^{\circ} 34' - 2.6' - \frac{4.6'}{12} = 14^{\circ} 20'$

Pour avoir la déclinaison ce jour-là à midi par exemple, on utilisera une table donnée par l'Annuaire du Bureau des Longitudes (p. 509) : la correction due pour le mois de mai est actuellement + 5' à midi. On aura finalement $14^{\circ} 25'$.

Vérifications de la boussole — La plus importante est la vérification de centrage, qui se fait en visant un point éloigné, visée à droite et visée à gauche ; les lectures doivent différer exactement de 180° . Si la boussole est mal centrée, on peut ou la corriger en inclinant le pivot dans le sens voulu, ou bien prendre la moyenne des deux lectures, après avoir corrigé de 180° la lecture faite sur la pointe sud.

Il faut de plus que la boussole soit sensible et non parceuseuse, c'est à dire que l'aiguille tourne avec un frottement négligeable, et qu'après déplacement

ment, elle revient en position après une quarantaine d'oscillations diminuant et s'éteignant insensiblement.

Il faut enfin que l'aiguille soit équilibrée : on réalise cette condition par l'addition d'un peu de cire au pôle ou par l'usure de la pointe laide.

On laissera ici de côté les vérifications relatives au viseur, qui sont au domaine du constructeur.

Précautions à prendre avec la boussole — Il faut éviter de stationner à proximité des masses de fer, se tenir à 4 ou 5 mètres d'une voie ferrée, à 7 ou 8 mètres d'une grille verticale, tenir son canif, son tourne-vis loin de l'aiguille, etc....

Détails Divers de construction — 1° L'aiguille a la forme d'un losange allongé, elle repose sur le pivot par l'intermédiaire d'une coupole en rubis ou en grenat, sertie au centre du losange : un dispositif permet de la soulever dans l'intervalle des observations, pour soulager la pointe aigüe du pivot.

2° Le limbe permet une lecture d'autant plus précise qu'il est de plus grand rayon. En raison ~~des~~ variations diurnes de la déclinaison, on n'a pas intérêt à pousser cette approximation de lecture au delà du $\frac{1}{4}$ de degré; aussi ne doit-on pas dépasser le diamètre de 15 centimètres avec des divisions en demi-degrés.

3° L'appareil de visée est une lunette à réticule, de 15 centimètres de longueur, servant de viseur à un appareil de nivellement dit éclimètre.

4° Deux niveaux rectangulaires indiquent l'horizontalité du limbe.

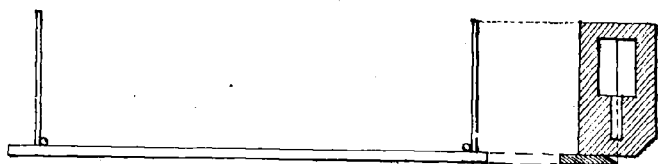
Degré de précision — On ~~ne~~ peut compter sur une approximation de plus de 15 à 30'.

L'avantage de la boussole est que chaque direction est déterminée d'une manière indépendante : une erreur commise sur un côté d'un camera n'entache pas les autres côtés.

§ 6. Planchette et Alidade — La planchette se compose :
 1° de la tablette, destinée à recevoir le papier sur lequel on dessinera, et formée de trois couches de peuplier à fibres contrariées, réunies à la gomme-laque ; 2° d'un support à trois doubles branches ; 3° d'un mécanisme de réunion permettant :

- a. un mouvement de genou pour rendre la tablette horizontale ;
- b. un mouvement de rotation autour d'un axe vertical pour orienter la tablette ;
- c. un mouvement de translation dans le plan horizontal, pour mettre un point choisi de la tablette sur la verticale d'un point du terrain.

L'alidade se compose : 1° d'une règle plate dont un des bords, taillé en biseau, est la ligne de foi ; 2° d'un appareil de visée, fixé à cette règle, formé d'un cilleton ou d'une fente étroite et d'une fenêtre un peu plus large, tenue d'un fil ou de deux fils (crins) en croix ; la ligne de visée ainsi déterminée est parallèle à la ligne de foi.



Il est recommandé, avec un appareil donné, de toujours appuyer la visée sur le même

bord de l'cilleton et sur le même côté du fil.

Mise en station — La minute étant fixée sur la planchette, on dispose celle-ci horizontalement à vue au-dessus du point de station, en agissant sur les pieds ou sur le genou jusqu'à ce qu'un crayon cylin-

triangulaire, placé sur la minute, reste en équilibre dans deux directions rectangulaires. On peut aussi s'aider d'un niveau à bulle d'air à faible sensibilité.

On plante une aiguille d'acier au point de la minute qui représente le point de station, et on agit sur le mécanisme de translation jusqu'à ce que l'aiguille soit sur la verticale de la station : on s'assure de cette correspondance en s'écartant de la planchette dans deux directions rectangulaires tandis qu'on présente sous la planchette un fil à plomb au dessus du point de station : l'aiguille doit paraître dans les deux positions dans un même plan avec le fil.

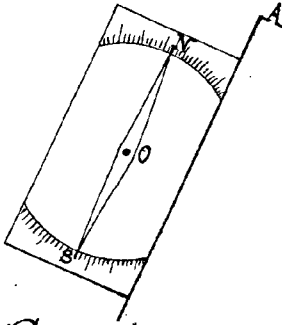
Il faut enfin orienter la planchette, c'est à dire rendre les lignes de la minute parallèles à leurs homologues du terrain. A cet effet, on applique la ligne de foi de l'alidade contre une direction déterminée de la planchette issue du point de station, on tourne la planchette de façon que la ligne de visée passe par le point jalou qui est sur cette direction. On serre alors à fond toutes les vis.

On fait pivoter l'alidade autour de l'aiguille et on vise sur le jalou qui marque le second côté de l'angle à lever : un trait de crayon donne la grandeur de cet angle.

Déclinatoire — Lorsque on doit se placer successivement en diverses stations, on a intérêt à orienter la planchette exactement dans la même direction. On se sert pour cela du déclinatoire, composé d'une aiguille aimantée, mobile devant un limbe portant un point de repère ou une graduation : le tout renfermé dans une boîte oblongue.

A la première station, on pose le déclinatoire sur la minute de

telle sorte que la pointe bleue de l'aiguille soit en face du repère; on marque sur la minute la position de la boîte, et il suffira, à une station ultérieure, pour orienter la planchette, de remettre le déclinatoire à la même place et de faire tourner la planchette qui l'entraîne, jusqu'à ce que la pointe bleue soive en face du repère.

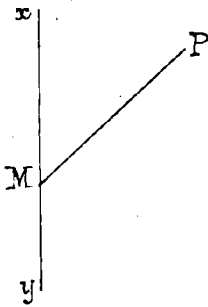


Avantages et inconvénients. — La planchette permet de faire directement le plan sur le terrain, et cela rapidement, dès que la mise en station est faite; mais celle-ci est longue.

Son emploi est délicat: il faut dessiner sans s'appuyer sur la tablette.

Elle ne peut enfin servir en temps de pluie ou de grand vent.

§ 7. Construction des angles sur le terrain — Equerre d'arpenteur — 1°. Par un point M d'un alignement donné $x y$, mener



une droite MP qui fasse avec $x y$ un angle donné. On installe un goniomètre en M ; on fixe le plan de visée dans une direction MP qui fasse avec la ligne de foi, dirigée suivant $x y$, l'angle donné; on fait planter un jalon P dans cette direction.

2°. Mener par un point P une droite PM qui fasse avec $x y$ un angle donné.

On procède par tâtonnements: on se place au jugé en un point voisin de M et on cherche si P est dans le plan de visée. Si non, on déplace l'appareil sur $x y$ dans le sens convenable et on recommence l'essai.

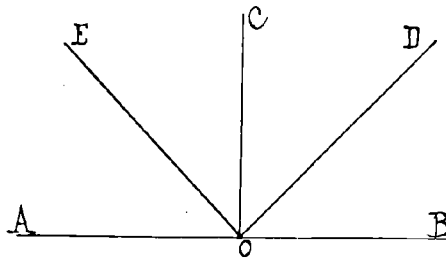
Cas des angles droits — Les angles qu'on a à construire le plus

souvent sont droits : on emploie alors l'équerre d'arpenteur, prisme octogonal régulier dont les faces sont munies de fentes et de fenêtres à crins, permettant par couples des plans de visée à angle droit ou à 45 degrés les uns des autres.

S'installation se fait comme pour le pantonètre.

Vérification de l'équerre — 1° On s'assure que deux fentes opposées déterminent un plan de visée. Déjà vu.

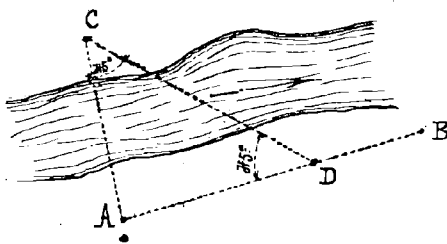
2° On vérifie si les quatre plans de visée font entre eux des angles de 45°.



Pour cela on installe l'équerre en O, on fait planter des jalons en A et B dans l'alignement déterminé par un des plans de visée, et en C, D, E sur chacun des alignements donnés par les autres plans de visée. On fait faire à l'équerre successivement d'un huitième de tour, d'un quart de tour..... en amenant la pinnule dirigée sur A, successivement sur E, C, D : les plans de visée se permutent, et s'ils font des angles égaux entre eux, on retrouve simultanément tous les jalons sous les pinnules.

Quand il n'y a que 4 pinnules, la vérification se fait de même par rotation d'un quart de tour.

Problèmes à résoudre par l'emploi de l'équerre — 1° Déterminer la distance d'un point A à un autre inaccessible C.

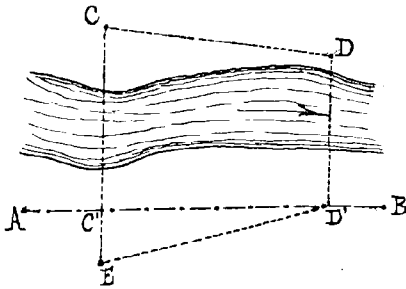


On établit l'équerre en A pour élever sur AC une perpendiculaire AB que l'on marque par deux jalons.

Ensuite on détermine sur la droite AB un

point D tel que CD fasse 45° avec AB . On mesure alors DA qui est égal à CA .

2^o. Déterminer la distance de deux points inaccessibles C et D :



On choisit une base AB sur laquelle on détermine les pieds C' et D' des perpendiculaires abaissées de C et de D .

On évalue CC' et DD' par la solution précédente. On porte sur le prolongement de CC' , une longueur $C'E = CC' - DD'$, et on mesure DE qui est égale à CD (trapèze isocèle).

Chapitre III : Procédés généraux du lever des plans.

§ 1. Établissement d'un canevas — On choisit sur le terrain et l'on piquète un certain nombre de points dont on détermine d'abord les positions relatives avec le plus grand soin. Ces points étant peu nombreux, on consacra tout le temps nécessaire pour obtenir une grande précision. Les droites qui joignent ces piquets deux à deux servent ensuite d'axes d'opérations, et on y rattache tous les détails voisins par des moyens plus simples et plus expéditifs. L'ensemble de ces lignes, formant une espèce de réseau polygonal, constitue le canevas du lever.

Ce canevas doit satisfaire à deux conditions générales :

- 1° Soigner d'aussi près que possible tous les détails qu'on y rapporte, afin d'en faciliter le lever;
- 2° être tracé dans les conditions les plus favorables à l'exactitude de son lever.

Tout lever se décompose donc en 2 opérations : lever du canevas et lever des détails.

§2 : Lever du Canevas — Le lever du canevas peut se faire : 1° par cheminement ; 2° par intersections ; 3° par recoupements ; 4° par relèvements.

1° Procédé par cheminement — Soit à relever les points A, B, C, D, E, F formant les sommets d'un polygone fermé. Le cheminement consiste à se transporter successivement d'un sommet à l'autre de ce polygone, en en mesurant tous les angles et tous les côtés.

On obtient ainsi 3 éléments de plus qu'il n'en faut strictement pour établir le plan ; car, arrivé sur le plan en F, il suffirait de joindre F à A. L'angle F, la longueur F.A et l'angle A sont superflus : ils servent de vérification.

La planchette n'est pas pratique avec ce procédé, à cause de la complication de la mise en station.

Vérification Des angles - On vérifie d'abord la somme des angles intérieurs du polygone : elle doit être égale à autant de fois deux droits qu'il y a de côtés moins deux.

Avec la boussole, cette vérification est remplacée par celle qui résulte, pour chaque orientation, de la comparaison des observations directe et inverse faites sur chaque côté.

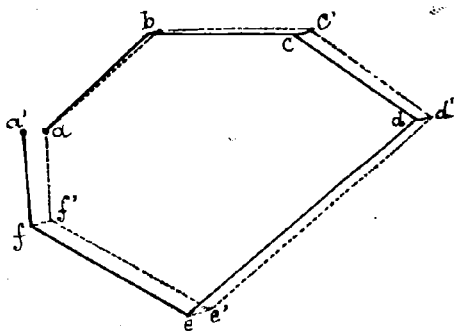
Si le désaccord est admissible, on le répartit également entre tous les angles.

Erreur de fermeture — A la fin du cheminement, après avoir construit en f l'angle voulu et porté la longueur FA à l'échelle, on tombe en a' distinct de a . L'écart aa' est l'erreur de fermeture : il provient de la construction et des opérations.

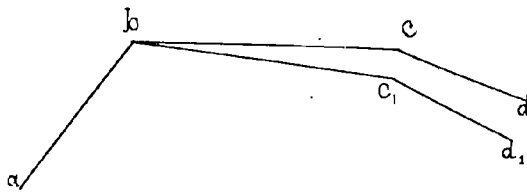
Si cet écart est notable, on vérifiera d'abord la construction, puis on recherchera les fautes d'angles ou de longueurs sur le terrain ; on contrôlera surtout les côtés qui sont parallèles à aa' .

Les fautes corrigées, il reste encore une erreur de fermeture qu'il faut répartir sur les différents sommets. Théoriquement, il faudrait, par les différents points b, c, d, \dots mener des parallèles à aa' et déplacer les points successivement suivant ces parallèles des quantités $\frac{aa'}{n}, 2\frac{aa'}{n}, \dots, n\frac{aa'}{n}$ étant le nombre des côtés du polygone. Mais l'erreur est si faible que ceci est impraticable.

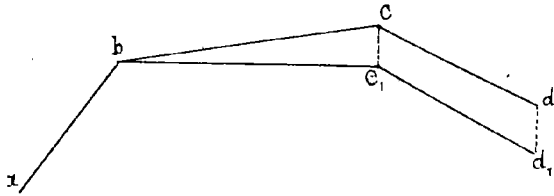
Le mieux est de reprendre la construction du polygone en sens inverse à partir de a : instinctivement on forcera légèrement les longueurs et les angles dans le sens convenable pour faire disparaître l'erreur de fermeture.



Avantage de la boussole sur les graphomètres. — Une faute commise par exemple sur l'angle b fait tourner tout le polygone d'un certain angle, et il en résulte pour chaque sommet un déplacement d'autant plus grand qu'il est plus éloigné de b . Avec la boussole, l'erreur commise en c ne se

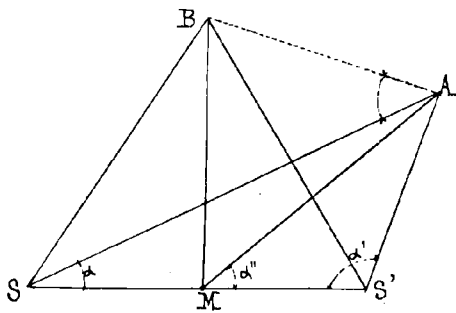


propage pas : l'orientation de c à d n'est pas modifiée, et tous les sommets suivants, s'il n'y a pas d'autres fautes auront même déplacements que c .



Pour éviter les fautes d'angles, il faut prendre des alignements très longs, et par suite éviter les côtés trop courts dans le camera.

2° Procédé d'intersection — Soit à déterminer les positions relatives des points A, B, C, \dots . On fait choix d'une base SS' , que l'on mesure



et, à l'aide de stations faites, en S et S' , aux extrémités de cette base, avec un goniomètre, on mesure les angles que font avec cette base les directions aboutissant aux points extérieurs, qui se trouvent dé-

terminés sur le plan par l'intersection de 2 droites.

Pour avoir une vérification, on fait une 3^e station sur la base, par exemple en son milieu M , et on y mesure les angles avec S, S' des droites MA, MB, \dots . En construisant ces angles sur le plan, on obtient, pour chaque point, une 3^e direction qui devra passer par le point de concours des deux premières.

Au lieu de faire la 3^e station en M , on peut mesurer $S'A$ pour assurer sur le plan la position du point a déjà déterminé par l'intersection de 2 droites; puis, transportant le goniomètre en A , on mesure les angles que font les directions aboutissant aux autres points, avec la ligne AS .

Pour que la position d'un point déterminé par intersections soit bien assurée, il faut que les trois directions qui concourent à sa détermination se coupent deux à deux sous des angles d'au moins 30 degrés.

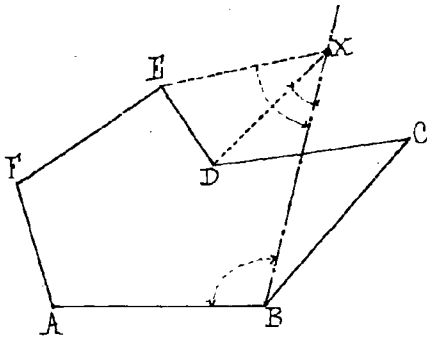
Les points déterminés par 3 bonnes directions peuvent servir de stations du 2^e ordre, extrémités de nouvelles bases qu'on n'aura pas à mesurer et où l'on installera le goniomètre; d'où de nouveaux points pouvant servir de stations du 3^e ordre.

Il convient de ne pas dépasser les stations du 3^e ordre.

Employé avec des instruments convenables pour la mesure et la construction des angles, la méthode d'intersections est excellente pour rattacher à une base des points très éloignés et fort écartés les uns des autres. L'erreur est toujours moindre que par cheminement. Il importe que le terrain soit découvert et la mesure de la base aisée.

Le cheminement sera employé surtout pour lever le canvas de détail, en s'appuyant sur des points déterminés par intersections.

3^o Procédé par recoupement — Ce procédé consiste à déterminer la position d'un point situé sur une direction prise d'un point connu, en la recoupant par une ou ^{deux} autres directions (pour vérification) prises du point à déterminer sur deux autres points connus.



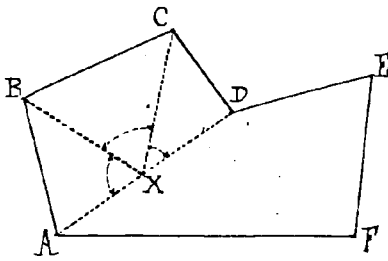
Soit un point X visé d'une station B; la mesure de l'angle ABX donne la direction BX. Ce point n'a pu être vu des autres stations faites ultérieurement, tandis qu'il serait visible de 2 points D et E auxquels on ne peut pas ou ne

doit pas stationner).

On se transporte directement au point X et on y mesure les angles des directions EX et DX avec la direction BX connue. On peut construire le point α sur le papier, car dans chacun des triangles BDX , BEX , on connaît un côté BD ou BE , un angle adjacent et un angle opposé à ce côté. Les 3 directions qui doivent concourir en X sont deux à deux des angles d'au moins 30° .

Ce procédé moins précis que les précédents ne doit être employé qu'accidentellement.

4° Procédé par relèvement. — Ce procédé consiste à déterminer



la position d'un point sur le terrain, au moyen des directions allant de ce point sur 3 points déjà connus.

En se met en station en X , on y mesure les deux angles AXB , BXC sous-tendus

par les lignes AB et BC . Le point α du plan est à la rencontre des segments capables des 2 angles observés construits sur les lignes $a'b$ et $b'c$ du plan.

Comme vérification, on relève un 3^e angle CXD fournissant un 3^e segment passant par α . Les 3 circonférences doivent se couper deux à deux sous des angles d'au moins 30° .

Ce procédé est encore moins exact que le précédent : on ne l'emploie que pour déterminer un point qu'on a intérêt à avoir, et qui a été oublié dans les stations faites aux points d'où il est visible.

§ 3: Lever des Détails — Le plan étant levé et construit sur le plan, il s'agit d'y rattacher les détails.

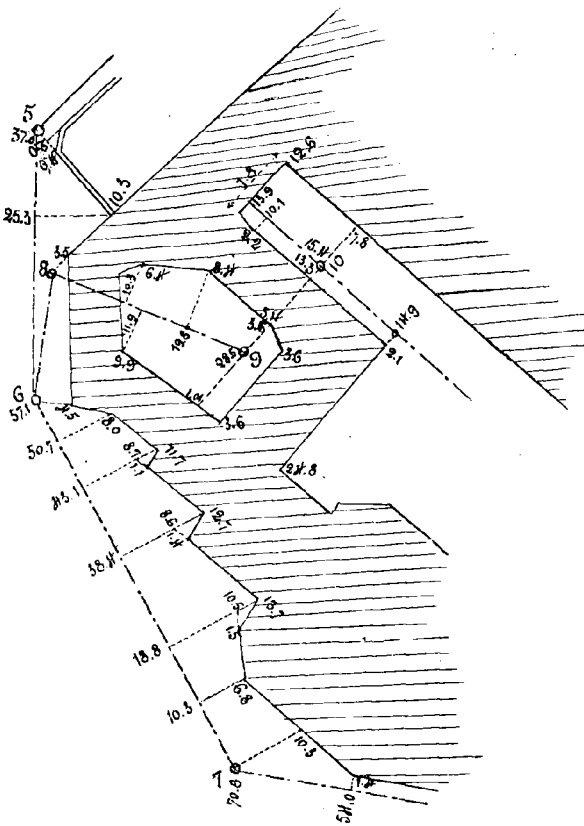
1° Procédé par abscisses et ordonnées — Ce procédé, le

plus usité, consiste à abaisser de tous les points de détail des perpendiculaires sur les différents côtés du canevas, puis comme lignes d'abscisses, et à mesurer la longueur de ces différentes ordonnées ainsi que les segments que leurs pieds interceptent sur les côtés du canevas.

La mesure des abscisses peut se faire de 2 manières :

a, mesurer successivement les intervalles qui séparent les pieds des diverses ordonnées ; comme vérification, la somme de toutes ces mesures partielles doit reproduire la longueur déjà connue du côté du canevas qu'on considère ;

b, faire un second chaînage complet de chacun des côtés du canevas, en lisant successivement sur la chaîne tendue les longueurs qui corres-



pondent aux pieds des diverses ordonnées, longueurs qui sont ainsi toutes comptées à partir d'une des extrémités de chaque côté. La vérification consiste dans la comparaison des deux chaînages.

La 2^e manière est plus expéditive, on la préfère généralement.

Les longueurs des ordonnées (il peut y avoir plusieurs points de détail sur chacune d'elles) se mesurent d'une manière analogue, et sont comptées à partir de leur pied sur la ligne des abscisses.

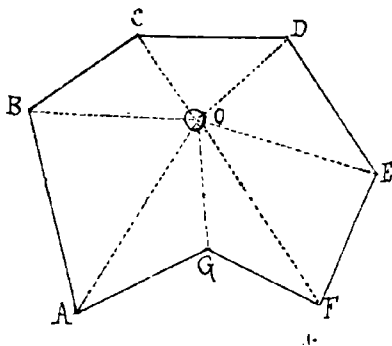
Outre les côtés du canevas, on peut

aussi quelquefois prendre pour axes des abscisses, des lignes auxiliaires, diagonales ou transversales, que l'on obtient en joignant 2 points connus du canevas, de manière à avoir des lignes passant de plus près les détails à lever.

Ce procédé est très avantageux quand le canevas est tel que toutes les ordonnées des points de détail soient courtes; si elles ne dépassent pas 3 mètres, on peut, sans inconvénient, estimer leur pied à vue, ce qui évite les lenteurs de l'emploi de l'équerre.

2° Décomposition en triangles — Il est des cas où l'emploi de l'équerre ne serait pas commode: courbes et rues pavées ou macadamisées. Dans l'impossibilité d'enfoncer le pied d'équerre dans le sol, il faudrait l'installer sur un trépied. Il vaut mieux alors rattacher les points principaux du détail au côtés du canevas par des triangles dont on mesure les trois côtés.

3° Rayonnement — On se place au centre O de la surface



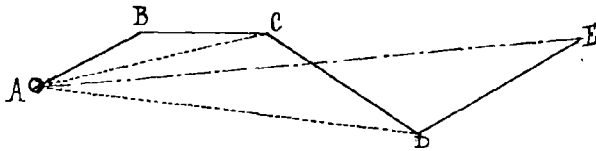
dont on veut lever le contour, et avec un goniomètre, on mesure les angles que font entre elles les directions aboutissant à tous les sommets du contour polygonal; on mesure de plus la longueur de tous ces rayons; et on a ainsi par rayonnement

les éléments nécessaires pour construire le polygone.

Comme vérification on mesure en outre tous les côtés de ce polygone.

Ce procédé ne convient que pour les petites surfaces, comme une cour intérieure. Il s'emploie soit avec la planchette, soit avec la boussole.

4° Demi-cheminement — Soit à lever la ligne brisée ABCDE, dont les extrémités A et E sont déjà déterminées. On se place en A et on



y mesure les angles formés par les directions aboutissant aux points intermédiaires avec la ligne AE;

puis on mesure successivement chacun des éléments AB, BC, CD, DE, de la ligne polygonale.

Chaque point d est déterminé par l'intersection d'une direction issue de a et d'un arc de cercle ayant pour centre c et rayon cd connu.

Vérification: on doit retomber au point e déjà placé.

Ce procédé ne doit être employé qu'avec réserve, et pour des lignes polygonales très tendues.

§.H: Carnet de lever — Quelque soit le procédé employé, on doit consigner méthodiquement sur un carnet toutes les quantités résultant de mesures prises sur le terrain.

Les croquis sont consignés sur la page de droite, chaque sommet d'angle étant désigné par une lettre.

La page de gauche est divisée en colonnes, où l'on note les stations, les droites mesurées et leurs mesures, les angles et leurs mesures; une large colonne d'observations reçoit toutes les annotations et renseignements qui peuvent être nécessaires pour qu'à une époque quelconque on soit en mesure de retrouver et de vérifier tous les éléments de l'opération.

§.5: Marche des opérations cadastrales — Un

Triangulateur spécial, commence par établir une triangulation qui embrasse une ou plusieurs communes, et qui donne sur le terrain des points distants de 700 à 800 mètres. Il forme avec tous ces points un réseau continu de triangles qu'il lève par des procédés trigonométriques du domaine de la géodésie.

Quis le géomètre chargé du lever de détail d'une commune ou d'une portion de commune, prend une feuille de papier sur laquelle il a rapporté à l'avance les points trigonométriques qui l'intéressent.

Il jalonne et chaîne les 3 côtés du triangle, en faisant le chaînage jusqu'aux différents points de détails (limites de parcelles, bords de chemins, prolongements de murs voisins) qu'il rencontre.

Sur divers de ces points, il appuie des alignements transversaux sur lesquels il procède de même. Occasionnellement, il emploie l'équerre d'arpenteur.

Ce procédé très simple, peu sujet à des fautes, est soumis à des vérifications constantes et très sûres, puisque les divers alignements qui sont chaînés en détail, ont tous une longueur connue à l'avance, soit par la triangulation, soit sur le plan.

Il donne de très-bons résultats dans un temps relativement court, avec des opérateurs d'une instruction moyenne.

Seconde Section.

Nivellement.

Chapitre I - Théorie du Nivellement

Le nivellement a pour objet de déterminer les hauteurs relatives de deux ou d'un plus grand nombre de points. Ces hauteurs sont mesurées sur les verticales passant par les différents points, à partir d'une surface de niveau dite surface de comparaison.

On nomme surface de niveau une surface, comme celle des eaux tranquilles, dont chaque élément est perpendiculaire à la direction de la pesanteur. Dans la suite, nous supposons les surfaces de niveau sphériques et ayant pour rayon le rayon de courbure moyen de l'ellipsoïde terrestre: $R = 6.366.500$ mètres. Nous admettrons de plus le parallélisme de ces surfaces, ce qui n'est pas rigoureusement exact; mais l'erreur qui résulte de cette hypothèse est complètement négligeable dans les plus grandes opérations de nivellement (cette discussion est du domaine de la géodésie).

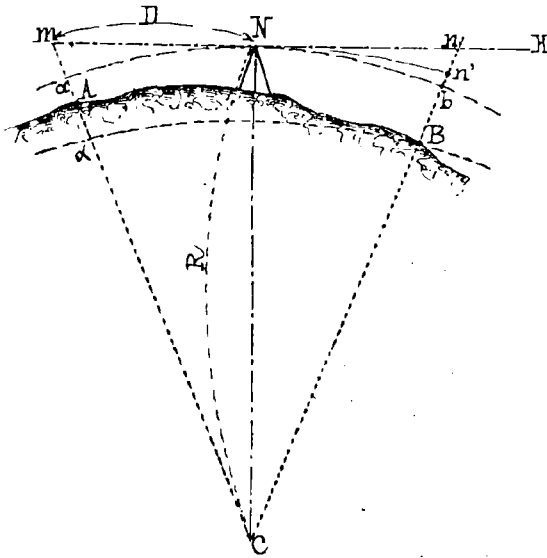
La surface de comparaison adoptée est celle des eaux de la mer supposée tranquille et prolongée idéalement sous les continents.

Les cotes du terrain prennent alors le nom d'altitudes.

Le niveau moyen de la mer n'étant pas constant, et variant d'un port à l'autre, on a adopté en France, en vertu d'une décision du Ministère des Travaux Publics, un niveau moyen conventionnel, repéré par un trait gravé sur le mur de quai du port de Marseille, trait

côté zéro. C'est l'origine du réseau de nivellement Bowdlohn qui couvre la France.

§ 1. Principe du Nivellement — Soient A et B deux points de la surface de la terre. Leur différence de niveau est la portion Aa de



la verticale de A comprise entre A et la surface de niveau de B; elle est aussi la différence des abaissements Bb et Aa des deux points au dessous d'une surface de niveau supérieure passant par un point N.

C'est la différence de niveau vrai.

On ne peut la mesurer directement

Si l'on peut matérialiser les verticales

des points A et B, à l'aide de mires, il n'en est pas de même de la surface de niveau de N. Les instruments de nivellement déterminent seulement le plan horizontal de N, soit H; et c'est sous ce plan qu'on mesure les abaissements Am et Bn . $Bn - Am$ est la différence de niveau apparent

L'écart entre les 2 différences, ou erreur de sphéricité, est facile à évaluer. Soient D et D' les distances de N aux deux mires.

$$\text{On a} \quad \overline{Nm}^2 = ma \times (2R + ma)$$

$$\text{ou} \quad ma = \frac{D^2}{2R + ma}$$

ou en négligeant ma devant $2R$ au dénominateur :

$$ma = \frac{D^2}{2R}$$

Par suite :

$$Bb - Aa = (Bn - Am) - (nb - ma) = (Bn - Am) - \frac{D'^2 - D^2}{2R}$$

§2. Erreur de réfraction — Les rayons lumineux éprouvent en traversant les couches inférieures de l'atmosphère dont la densité est variable, une réfraction qui les infléchit vers le centre de la terre et qui fait paraître les objets plus élevés qu'ils ne le sont réellement. Le rayon arrivant en N dans la direction Nn' part d'un point n' de la mer inférieure à n . nn' est l'erreur due à la réfraction atmosphérique.

Sa valeur est difficile à déterminer sûrement : la forme de Nn' varie en effet avec la pression, la température, l'état hygrométrique de l'air. Cependant, il résulte d'observations nombreuses que, dans nos climats tempérés et dans les conditions atmosphériques ordinaires, Nn' ne diffère pas sensiblement d'un arc de cercle de rayon $6,25.R$. Par suite :

$$nn' = \frac{D^2}{12,5.R}$$

On en conclut que :

$$\text{Différence de niveau vrai} = \text{Différence de niveau apparent} - \frac{D^2 - D'^2}{R} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{12,5} \right)$$

ou en tenant compte de la valeur de R

$$\text{Différence de niveau vrai} = \text{Différence de niveau apparent} - 0,000000654(D^2 - D'^2)$$

§3. Moyen d'éliminer les erreurs — Les deux différences coïncideront si le niveau est à égale distance de A et de B.

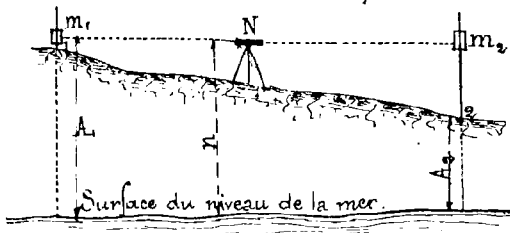
Il n'est même pas nécessaire que D et D' soient rigoureusement égales. D'abord D et D' ne dépassent jamais 150 mètres; d'où :

$D + D' < 300^m$ Pour une différence de 10^m entre D et D' , l'erreur atteindrait au plus $1^{\frac{m}{m}}$; 9; elle s'abaisserait à $1^{\frac{m}{m}}$; 3 pour des portées de 100^m .

Chapitre II - Procédés de Nivellement

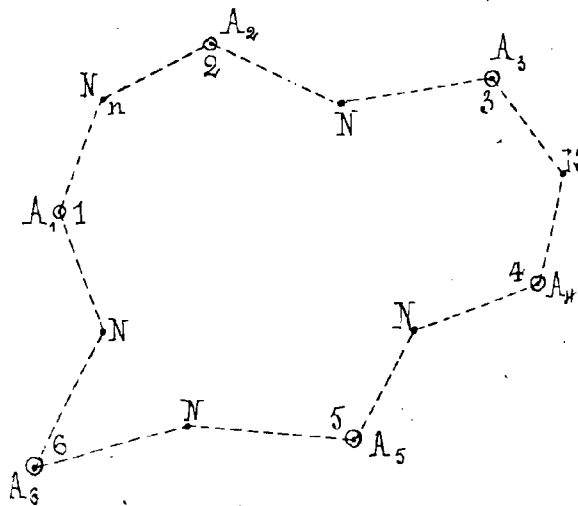
§ 1. Opération élémentaire du nivellement

Pour déterminer la différence de niveau entre deux points 1 et 2, on établit le niveau entre ces points et on fait porter sur chacun d'eux une



mire ou règle graduée. La différence de niveau est la différence $m_1 - m_2$ des hauteurs de mires m_1 et m_2 ; elle peut être positive ou négative.

§ 2. Nivellement par cheminement



Soit maintenant une série de points remarquables du terrain (bornes, seuils de portes, ... ou piquets enfoncés à fleur du sol) 1-2-3-4-5-6, formant un polygone. On connaît l'altitude A_1 du point 1, et l'on veut avoir les altitudes A_2, A_3, \dots des points 2, 3, ... On met le niveau en station entre 1 et 2, et l'on prend

sur 1 et 2 les hauteurs de mire m_1 et m_2 ; la 1^{re} prise sur le point connu est le coup de niveau ou hauteur de mire arrière, et la 2^e, sur le point à déterminer le coup de niveau avant. Soit n l'altitude du niveau; on aura :

$$n = A_1 + m_1 = A_2 + m_2; \quad \text{d'où : } A_2 = A_1 + (m_1 - m_2).$$

Pour avoir l'altitude du point 2 en fonction de celle du point 1, il faut ajouter à cette dernière la somme algébrique des hauteurs de mire prises sur ces deux points, en affectant du signe + le coup arrière et du signe - le coup avant.

On répète la même opération entre 2 et 3, puis entre 3 et 4, etc.; on obtient A_3 en fonction de A_2 , A_4 en fonction de A_3 ,

On arrive à déterminer l'altitude du point 1 en fonction de celle du point précédent. On doit retrouver A_1 : l'écart constitue l'erreur de fermeture.

Cette erreur peut provenir de fautes de calcul : on les évite en inscrivant méthodiquement sur un cahier dit cahier de nivellement les lectures faites sur la mire. On lui donne la disposition ci-après qui donne lieu aux vérifications suivantes :

1^o Puisque les différences de niveau, qui ont été, suivant leurs signes, inscrites dans la colonne additives ou dans la colonne soustractives, sont les sommes algébriques des coups d'arrière et des coups d'avant, nombres inscrits dans les colonnes 2 et 3, le premier affecté du signe +, le 2^e du signe -, la somme algébrique des différences de niveau (somme des différences additives - somme des différences soustractives) doit reproduire exactement la somme algébrique des hauteurs de mire (somme des coups d'arrière - somme des coups d'avant)

2^o La dernière altitude résultant des calculs devra satisfaire à cette condition :

$$\text{Cote d'arrivée} = \text{Cote de départ} + \text{Somme algébrique des différences de niveau.}$$

Si l'une ou l'autre vérification n'a pas lieu, c'est qu'il y a faute de

Modèle du carnet de nivellement par cheminement.

Nombres des points	Hauteurs du voyant		Différences de niveau		Altitudes		Observations et croquis
	en arrière +	en avant -	additives	subtractives	déduites	compensées	
1	0 ^m 626	3 ^m 677	"	3 ^m 051	104,325	104,325	Cote donnée.
2	3,762	1,680	2,082	"	101,274	101,285	11 ^m / ₁₀₀
3	1,527	1,943	"	0,416	103,356	103,375	19 ^m / ₁₀₀
4	1,556	0,925	0,633	"	101,940	101,961	21 ^m / ₁₀₀
5	1,032	3,637	"	2,605	103,573	103,596	23 ^m / ₁₀₀
6	3,891	0,578	3,313	"	100,968	101,001	33 ^m / ₁₀₀
1					{ 104,281	{ 104,326	45 ^m / ₁₀₀ Cote d'arrivée.
Sommes	12,394	12,438	6,028	6,072	{ 104,325	{ 104,325	Cote de départ.
Différences égales	- 0 ^m 044		- 0 ^m 044		- 0 ^m 044	0 ^m 001	Erreur de fermeture - 0,044

L'erreur de fermeture se répartit sur tous les points proportionnellement aux différences de niveau qui les séparent. $\Delta = \frac{44}{12,1} = 3^{\text{m}} 638$ par mètre; $\text{Cp} = 3^{\text{m}} 051$, correction: 41^m/₁₀₀;

calcul : on la recherchera.

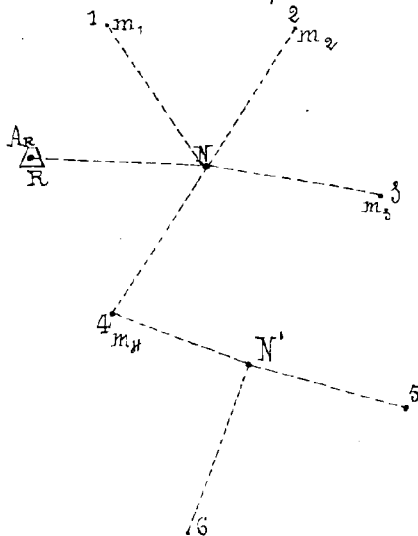
Cela fait, si l'erreur de fermeture est exagérée, c'est qu'il y a faute commise sur le terrain : on fera une vérification par traverses

Si elle est admissible, on la répartira par quantités égales sur toutes les altitudes déduites : d'où les altitudes compensées ou définitives.

Nivellements en long — Les nivellements de profils en long, pour projets de routes, canaux, chemins de fer, ne peuvent être vérifiés par fermeture. La vérification se fait en recommençant le nivellement en sens inverse : on repasse sur les mêmes points et on compare deux à deux les différences de niveau obtenues : là où le désaccord dépasse les erreurs admissibles de mesure il y a une faute qu'on recherchera.

Cette vérification est plus longue, plus coûteuse, mais beaucoup plus sûre que celle par fermeture.

§ 3. Nivellement par rayonnement — On met le niveau en station en N à distance sensiblement constante d'un repère R et de divers points 1, 2, 3, ... La mise portée successivement en R, 1, 2, 3, ... donne les lectures r, m_1, m_2, \dots . Soient A_R, A_1, A_2, \dots les altitudes de ces points, et n l'altitude du plan du niveau. On a:



$$n = A_R + r$$

$$A_1 = n - m_1$$

$$A_2 = n - m_2$$

.....

Toutes les opérations sont enregistrées, ainsi que les calculs des altitudes, dans un carnet spécial dont le modèle est donné ci-après

Modèle de carnet de nivellement par rayonnement.

Indication des points	Hauteurs au voyant	Cote du point de repère	Cote du plan de niveau	Cotes des points nivelés	Observations et croquis.
Repère A.....	1,553	44 ^m ,349	45 ^m ,90	"	
1.....	3,31	"	"	42,59	
2.....	1,13	"	"	44,77	
3.....	0,154	"	"	45,746	Repère provisoire
4.....	1,55	"	"	44,35	
Repère B.....	2,466	45,746	48,21	"	Changement de station sur le
5.....	3,72	"	"	44,49	repère provisoire 3 du profil précédent
6.....	0,94	"	"	47,27	
7.....	1,28	"	"	46,93	

N. B. Dans le nivellement de précision, on fait sur la mire deux lectures dont la somme donne la cote : il convient alors de doubler la seconde colonne du tableau :

Cotes lues sur la mire.	Hauteur moyenne du voyant
1... 1,65	} 3,31
1... 1,66	

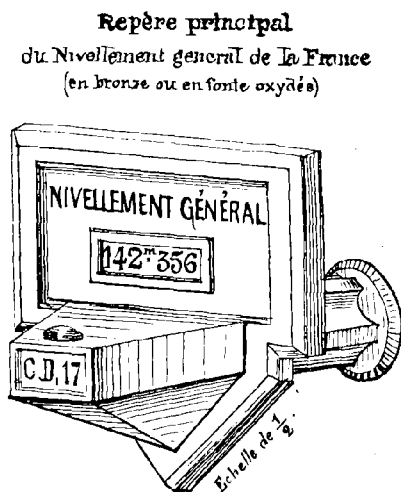
Ce procédé, très rapide, a l'inconvénient de ne pas offrir de vérifications

Un des points dont l'altitude vient d'être calculée, peut servir de repère provisoire pour une seconde station N°.

§ 4. Nivellement simple et nivellement composé

Quand un cheminement n'a pour but que de fournir la différence de niveau des points extrêmes, les intermédiaires étant des points auxiliaires, le nivellement est composé. Il est simple si l'on peut obtenir d'un seul coup la différence de niveau entre les points à comparer.

§ 5. Repères — La France a été couverte par le service des Ponts et Chaussées d'un réseau de nivellement qui a fourni de nombreux points de repère consistant en plaques de fonte ou de bronze scellées, à 0^m,50 du sol, sur les parois des édifices. Voici 2 types :



Un registre du service des Ponts et Chaussées fait connaître les repères installés dans chaque région.

Chapitre III Instruments de Nivellement

§ 1. Mires — Les mires sont de deux sortes : les mires à voyant et les mires parlantes.

I. La mire à coulisse ou à voyant se compose de 2 règles graduées en centimètres, de 2^m environ de longueur, et dont l'une est mobile par rapport à l'autre dans une rainure. Un voyant, plaque de tôle peinte mi-partie rouge et blanc, peut coulisser sur les règles et y être fixé par une vis de pression. Un vernier porté par le voyant donne les millimètres. Une pédale en fer assure la position au zéro de la graduation sur le point à niveler.

Précautions — 1°. La mire doit être tenue bien verticalement. L'aide, présentant le flanc droit à l'observateur, juge de la verticalité dans le sens de la visée ; l'opérateur, en juge dans le sens transversal et fait rectifier la position.

2°. Le voyant doit être déplacé sans à-coups, insensiblement. L'opérateur vérifie la visée après le serrage de la vis.

3°. L'aide fait la lecture et la crie de loin à l'opérateur, en énonçant successivement les 4 chiffres qui la composent, sans oublier les zéros remplaçant les mètres ou toute autre unité absente.

4°. L'opérateur fera comme contrôle, quelques lectures lui-même.

Vérifications — 1°. Les manchons glissent sans ballonnement.

2°. La graduation de la règle est correcte.

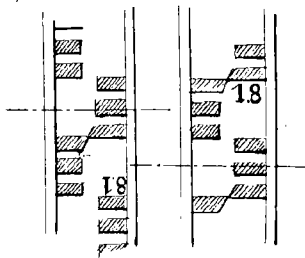
3°. Le zéro du vernier est au ~~milieu~~ de la ligne de foi du voyant.

- II. La mirre parlante est une règle plate, de 7 à 11 centimètres de largeur sur laquelle est tracée une graduation assez apparente pour être vue de l'observateur regardant dans une lunette. Le fil horizontal du réticule marque sur la mire le point correspondant au plan de visée, et l'observateur constate lui-même ce point.

L'emploi de cette mire épargne l'emploi d'un aide intelligent, mais fatigue davantage l'opérateur.

Les divisions de la mire sont peintes alternativement en blanc et en rouge; elles sont groupées par cinq, trois rouges et deux blanches, les groupes alternant de part et d'autre de la verticale médiane de la règle. La réunion de deux groupes forme une cade, affectée d'un numéro d'ordre peint la tête en bas, afin qu'il paraisse rectifié dans la lunette.

Pour lire une cote, on commence par regarder le numéro de la cade où tombe le fil; puis on compte le nombre de divisions qui, dans la cade, précèdent la division où tombe le fil. Enfin on estime la fraction de division qui se trouve au-dessus du fil, à un dixième près.



Exemple : 1873

La cote est 187,3

M. Bowdaloùé recommandait l'emploi des mires divisées en doubles centimètres,

chiffrées en centimètres. Ses lectures ne donnent plus que la moitié des hauteurs de mire. On verra plus loin que la cote réelle s'obtient par deux lectures faites successivement sur le même point, et est la moyenne de ces deux lectures. Avec la division en doubles centimètres, on n'a pas besoin de doubler les lectures : chacune d'elles donnant la moitié de la

côté, leur somme est égale à la moyenne cherchée.

Précautions — 1° La mire doit être tenue bien verticale sur le piquet.
2° L'équerre en fer qui protège le talon de la mire doit être normal à l'axe de la mire.

3° Il est prudent que l'opérateur s'adjoigne un lecteur, chargé de lire les cotés après lui et de les énoncer à haute voix; s'il y a un désaccord de plus de 1 à 2 millièmes avec sa propre lecture, l'opérateur vérifie.

§ 2. Niveaux — Un niveau est un instrument destiné à donner la direction de l'horizontale.

La première idée qui s'offre à l'esprit pour obtenir un niveau est de se servir du fil à plomb et de mener une perpendiculaire à la direction verticale qu'il fournit. C'est le principe des niveaux à perpendiculaire, dont le niveau de maçon est le plus simple. Leur précision est insuffisante pour le but que nous nous proposons : 2^m, à une distance de 100^m.

On préfère utiliser les propriétés hydrostatiques des fluides, et les niveaux correspondants se rattachent à deux types : le niveau d'eau et le niveau à bulle d'air.

§ 3. Niveau d'eau — Ce niveau est basé sur les propriétés des vases communicants. Deux fioles en verre verticales sont fixées aux extrémités d'un tube en cuivre, ou en fer blanc de 1^m, 20 de longueur. On verse de l'eau dans l'une d'elles, l'eau remplit le tube et monte dans les fioles, où la surface libre s'établit en un plan horizontal. Le tube est monté sur un trépied à l'aide d'une douille avec genou à coquille.

Précautions — 1° L'eau doit s'élever à moitié ou aux $\frac{2}{3}$ de la

hauteur des fioles, et rester apparente dans les fioles quand on fait faire au niveau un tour d'horizon (axe vertical).

2° Les deux fioles doivent avoir exactement le même calibre, et être bien dégrais-sées, afin d'obtenir l'identité des ménisques qui forment les surfaces terminales de l'eau.

3° Ces ménisques sont rendus plus visibles à l'aide d'observateurs, bandes de cuivre noir, garnissant extérieurement les fioles et se reflétant à la surface de l'eau.

4° Pour faire une visée, on se place à 1^m de la première fiole; on dirige le tube sur le voyant d'une mire à coulisse, et on mène une visée tangente aux deux fioles, en diagonale, à la hauteur des bords inférieurs des ménisques. Par signes, on fait amener la ligne de foi du voyant à hauteur de la ligne de visée.

5° Il ne faut pas que les fioles perdent de l'eau pendant une opération ni qu'il y ait projection d'eau dans le passage d'une station à une autre; dans le transport, on bouche au moins l'une des fioles.

Précision — La portée extrême est de 30 à 40 mètres; à ces distances, les cotes sont obtenues à 1 ou 2 centimètres près.

Les causes d'erreur sont: le peu de netteté des ménisques, les oscillations de l'œil, la difficulté pour l'œil de s'accommoder successivement à 3 distances différentes, pour voir les 2 ménisques et la mire, la fatigue qui en résulte pour l'opérateur.

§ 4. Niveaux à bulle d'air — Un niveau à bulle d'air est accompagné d'un appareil de visée dont la ligne de foi est parallèle à la directrice de la fiole: quand celle-ci est horizontale, la ligne de visée

Il est aussi. Un pivot vertical permet d'orienter cette ligne dans la direction de la mire.

L'appareil de visée peut être une alidade à pinnules avec oeilleton et croisée de fils ; mais c'est généralement une lunette.

Installation. — L'axe ou pivot est toujours une colonne montée sur un trépied à vis calantes, qu'on adapte, par une vis à pompe, sur la tablette d'un pied à trois branches. On établit ce pied de façon que la tablette soit à hauteur de poitrine et sensiblement horizontale.

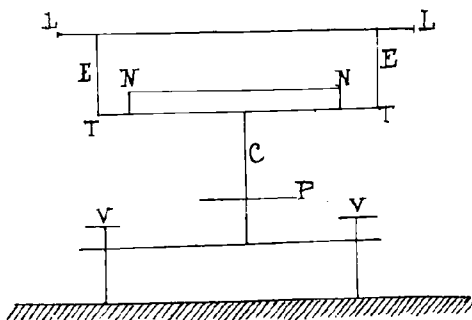
Les branches sont solidement enfoncées dans le sol pour éviter les tassements qui pourraient se produire pendant l'opération.

Classification des niveaux à lunette.

Niveaux à bulle fixe (file fixée à demeure sur le pivot)	}	Lunette à <u>prismes</u> Niveau Bourdalouë (Collets carrés)
		Lunette à <u>anneaux</u> (Collets circulaires) Niveau d'Egault.
Niveaux à bulle indépendante (file posée à la main sur ses appuis)	}	Lunette à <u>prismes</u> Niveau-cercle Senoie
		Lunette à <u>anneaux</u> Niveau Gravet-Brunner

Descriptions schématiques.

1° et 2° Niveau d'Egault et niveau Bourdalouë.

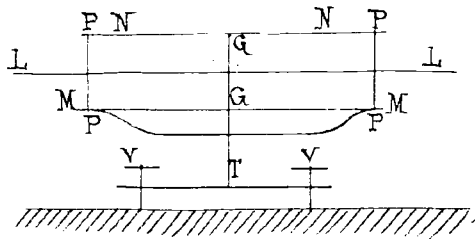


Une lunette L repose, par des anneaux circulaires dans le niveau d'Egault, ou des collets carrés dans le niveau Bourdalouë, sur une traverse T par l'intermédiaire d'étriers renversés E fixés à la traverse.

Sur la traverse est fixé à demeure un niveau à bulle d'air N. La colonne C à laquelle est adapté ce système, est le pivot d'un trépied à vis calantes.

Un plateau-pince P permet de l'immobiliser. Les étriers sont armés d'agrafes maintenant la lunette dans les transports et ouvertes durant les opérations.

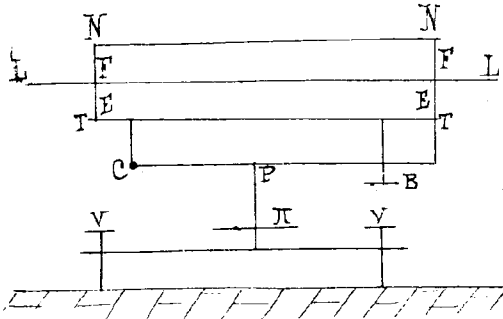
3° Niveau-cercle De Senoir — Une lunette I, enchassée dans deux prismes carrés P, est posée par ses prismes sur les bords d'un plateau circu-



laire au cuvette M, invariablement fixé à un trépied à vis calantes par une colonne T. Un niveau à bulle d'air N peut se déplacer à la main soit sur le plateau M, soit sur les faces supérieures

des prismes. Une agrafe G fixe, pour les transports, la lunette et le niveau au plateau.

4° Niveau Brünnner — La lunette repose, au moyen de deux anneaux circulaires, sur deux étriers E réunis par une traverse T. Le niveau



à bulle d'air N se pose, au moyen de fourches F, sur les anneaux de la lunette. L'appareil est monté sur la colonne d'un trépied, colonne garnie d'une pince d'arrêt.

La traverse T n'est pas fixée directement sur la colonne: elle repose par une charnière C et une vis B, sur une autre traverse liée à la colonne. La vis B, dite vis de fin calage, permet de mouvoir la lunette et son support autour de la charnière C.

L'extrémité de la traverse T voisine de B, porte un appendice glissant sur l'about de la traverse CB. Appendice et about portent des repères

qui sont en coïncidence quand l'axe de figure de la lunette est perpendiculaire au pivot.

Des agrafes fixent le niveau; on les ouvre pendant les opérations.

§ 5. Règlage de la bulle et calage de l'instrument

1° Bulle indépendante. — a. Règlage — Le niveau est posé sur ses prismes et est amené dans une direction sensiblement parallèle à la ligne d'appui de deux vis calantes. On amène la bulle entre ses repères en actionnant en sens inverse les deux vis. On retourne le niveau bout pour bout, sans toucher à la lunette, et on voit si la bulle reste entre ses repères. Si elle s'en écarte, on corrige la moitié de l'écart avec la vis de réglage de la bulle, et on recommence l'épreuve.

b. Calage — Les traits de repère du Brunner étant en coïncidence, et la bulle étant entre ses repères pour une position de la lunette parallèle à deux vis calantes, on amène la lunette dans une position perpendiculaire, de sorte qu'elle se place au dessus de la 3^e vis calante, à l'aide de laquelle on met de nouveau la bulle entre ses repères.

On ramène la lunette dans sa première position par un mouvement rétrograde; si la bulle ne revient pas entre ses repères, on recommence le calage.

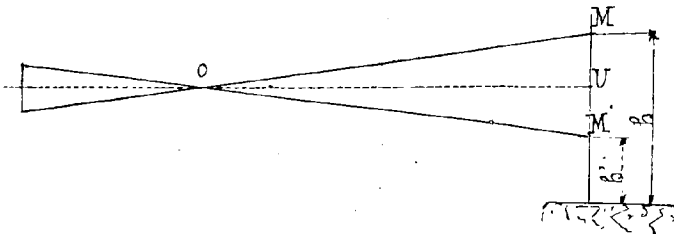
Le plan des faces d'appui du niveau est alors horizontal: car il contient deux horizontales rectangulaires.

2° Bulle fixe — On fait le calage comme si la bulle était réglée. Puis la bulle étant entre ses repères, on fait faire à l'instrument une demi-révolution sur son pivot: si la bulle s'écarte, on corrige la moitié de l'écart avec la vis de réglage de la bulle.

On procède à un nouveau calage et on recommence l'épreuve.

Centrage de la lunette. — Il faut ensuite s'assurer si l'axe optique de la lunette est parallèle au plan des faces supérieures des prismes et d'appui du niveau, c'est à dire, quand le niveau est réglé, à l'horizontale de la bulle.

A cet effet, la bulle étant entre ses repères, on vise une mire et on note la cote lue b . On retourne ensuite la lunette vers dessous dessous et on fait sur la même mire la lecture b' . Si b est $\neq b'$, l'axe optique



n'est pas horizontal; les deux lignes de visée sont, symétriquement inclinées sur l'horizon, et la cote exacte est la moyenne

$\frac{b+b'}{2}$. On agit sur la vis de réglage du réticule dont on amène le fil horizontal à la division $\frac{b+b'}{2}$. On recommence l'épreuve jusqu'à satisfaction.

Observation — Le centrage effectué pour une distance donnée ne serait exact pour une autre distance qu'autant que le centre optique de l'objectif serait sur l'axe de figure de la lunette, condition rarement réalisée.

La répétition du centrage détériorant le réticule, on doit se contenter de le faire une fois pour toutes, pour une distance moyenne.

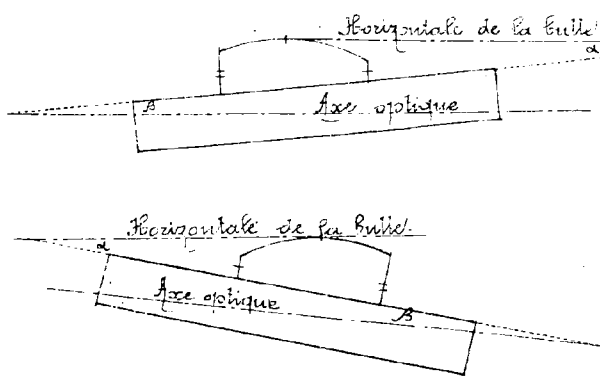
§. 6. Méthode de la Double visée d'Egault — L'appareil réglé, l'opérateur met l'oculaire à sa vue. Il suffit alors de diriger la lunette sur la mire, de mettre au point à l'aide de la crémaillère, et de faire la lecture.

Les réglage, calage, centrage n'étant pas parfaits, on corrige leur imperfection en faisant deux visées successives sur la mire; dans chacune, on lit une cote erronée, mais on s'arrange de manière que les deux lectures diffèrent en sens inverse, d'une même quantité de la cote réelle: leur moyenne sera alors exacte.

1° Niveau à bulle indépendants — Le second coup de niveau est donné après retournement de la lunette de dessus dessous et retournement simultané du niveau à bulle d'un bout pour l'autre. Si l'on a soin de mettre très exactement la bulle entre ses repères dans les deux cas, la moyenne des lectures donne la cote exacte.

2° Niveau à bulle fixe — Pour faire la seconde visée, on retourne la lunette bout pour bout et de dessus dessous sur ses supports, et on fait faire à l'instrument une demi-révolution autour de son axe, de manière à ramener la lunette dans la direction de la mire. Les deux visées sont faites après avoir appelé coincidentement la bulle entre ses repères.

Justification — Il suffit pour que la moyenne des lectures soit débarrassée des erreurs de rectification, que l'axe optique de la lunette prenne,



dans les deux opérations, deux positions exactement symétriques par rapport à l'horizontale. Or il en est effectivement ainsi par rapport à la directrice de la table placée horizontalement dans les

deux positions, ainsi que le montrent les figures ci-contre.

Dans le niveau Brunner-Gravel, une fois l'appareil réglé aussi soigneusement que possible, on amène chaque fois la bulle entre ses repères en agissant sur la vis de fin calage. Le retournement de la lunette se fait sans qu'on ait besoin de la soulever hors de ses étreintes, et celui du niveau à l'aide d'un bouton spécial.

Pour prévenir l'oubli d'un des retournements, le niveau et la lunette portent des chiffres 1 et 2 de grandes dimensions, disposés de façon que les deux mêmes chiffres soient du même côté dans chacune des visées. Ainsi au 1^{er} coup le n.º 1 de la lunette doit être près du n.º 1 du niveau à bulle d'air, à droite, par exemple, de l'opérateur ; les n.º 2 se trouvent alors à sa gauche, mais éloignés l'un de l'autre. Au second coup, c'est le contraire. L'opérateur doit prendre l'habitude de vérifier cette concordance.

§ 7. Vérifications à faire avant la réception d'un niveau.

1^o. Niveau à bulle d'air — a. Parallélisme en plan de la directrice de la fiole et des bords de la règle ou de la ligne d'appui — La bulle doit rester entre ses repères si l'on fait tourner lentement, à la main, le niveau autour d'une des arêtes de la règle. Sa correction doit être confiée à un artiste.

b, Sensibilité de la bulle. On fait sur une mire distante de 100 mètres les lectures relatives à un déplacement d'une, deux, . . . divisions de la bulle dans la fiole. On s'assure en même temps de la constance de la courbure de la fiole.

2^o. Lunette — a. Ballotement du tube porte-réticule.

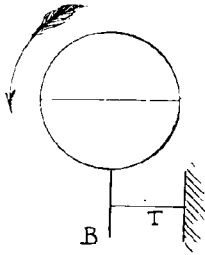
b, Egalité des prismes ou anneaux. Le niveau étant soigneusement calé, on appelle exactement la bulle entre ses repères ; on souève le niveau à bulle

d'air et on retourne la lunette bout pour bout en intervertissant les anneaux sur les étriers ; puis on remet le niveau à bulle en place dans sa position primitive. Si l'horizontale de la bulle s'incline, si les prismes ne sont pas égaux.

c. Circularité des anneaux

d. Ballotement de l'objectif dans sa section

e. Horizontalité du fil du réticule — Le fil du réticule doit être horizontal lorsque l'axe de figure est horizontal. Pour le vérifier, on cherche



dans le plan de visée un point bien défini qui tombe à l'extrémité gauche sans le fil horizontal du réticule ; puis, en faisant tourner lentement la lunette sur son pivot, on voit si, dans ce mouvement, le même point reste couvert par les points successifs du fil jusqu'à

l'extrémité droite. On fait cette observation après avoir appuyé le bloc fixé au tube de la lunette contre un taquet adapté à la traverse du support, et formé d'une vis dont l'enfoncement règle la saillie.

Ce réglage doit être fait pour chacune des deux positions que la lunette doit occuper dans les retournements de la double visée.

3° Traverse. — Il faut s'assurer que, les repères de traverse étant en coïncidence, l'axe de figure de la lunette ou la directrice de la fiole qui lui est parallèle, est perpendiculaire au pivot. Pour cela, les repères mis en regard, on cale soigneusement l'instrument, et, la lunette étant au dessus d'une vis calante, on amène avec cette vis la bulle entre ses repères. On fait alors faire à l'instrument une demi-révolution sur son pivot : si la bulle ne revient pas entre ses repères, on corrige la moitié de l'écart avec la vis de fin calage,

de l'autre manière avec la vis calante et on recommence l'épreuve après avoir rectifié le caducée d'après cette manœuvre.

Après plusieurs épreuves, on regarde si la coïncidence des traits de repère s'est dérangée d'une façon appréciable à l'œil.

N. 33. Il y a des niveaux d'épreuves de repères : avec eux, il faut procéder chaque fois au réglage précédent.

§ 8. Comparaison des différents genres de niveaux

1^o Les collets carrés du niveau 2. Boursoloni lui font préférer celui d'Egault, plus commode pour la double visée;

2^o Le niveau cercle de Lesnè présente les inconvénients suivants :

Carré commode à l'usage de poche;

Même que de poche pour faire la lunette;

Visée inégale du plateau par frottement;

Craques sous les prismes les rendant inégaux.

Le choix reste entre le niveau Brümmel et celui d'Egault.

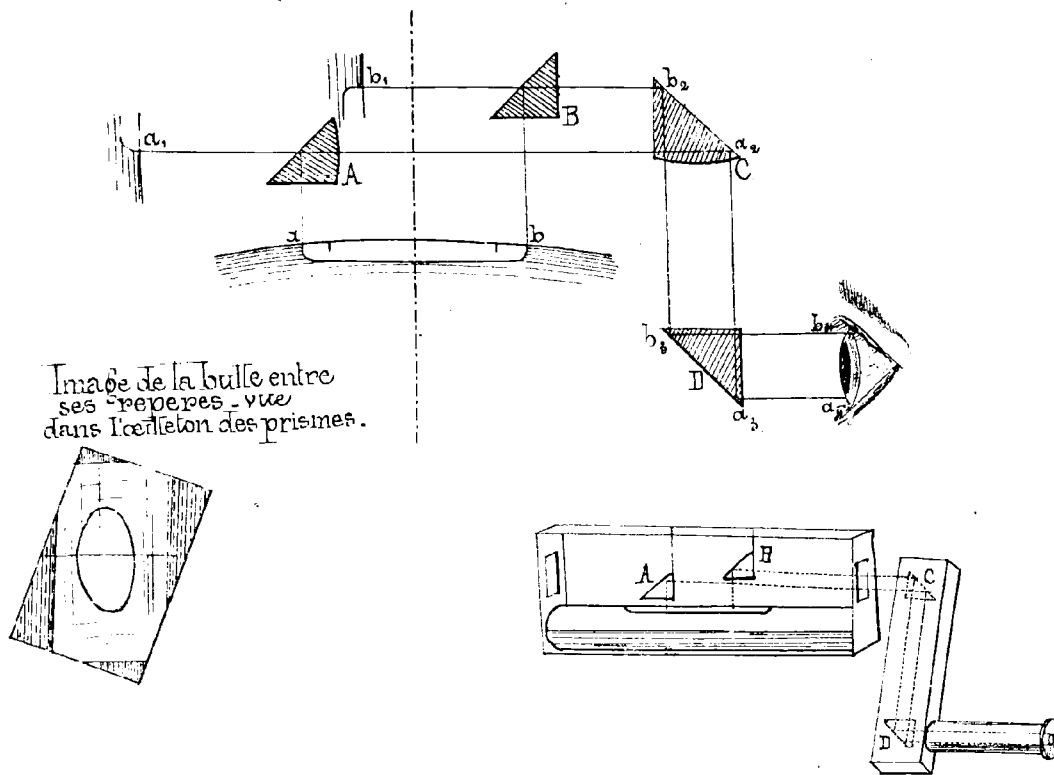
3^o Le niveau d'Egault évite les 3 premiers inconvénients; le dernier subsiste à cause du retournement de la lunette; ce retournement entraîne parfois des accidents de casse.

4^o Le niveau Brümmel-Grovet est à ces divers points de vue le plus parfait.

Mais il reste au niveau d'Egault l'avantage que la bulle est au dessus de la lunette; on peut suivre les mouvements de la bulle, la lunette étant à hauteur de l'œil, tandis que dans l'emploi du niveau Brümmel, on doit se baisser à chaque lecture: d'où plus de fatigue. Il présente aussi plus d'exactitude dans les nivellements composés sur les pentes: mais on ne peut développer ici ce point.

§ 9. Indication des niveaux à prismes de M. M. Klein et Lallemand — (Nivellement général de la France)

Dans le nivellement de haute précision, on emploie le niveau à fiole indépendante et à prismes de M. M. Klein et Lallemand, niveau qui permet de vérifier la position de la bulle sans déranger la tête.



Deux prismes isocèles rectangles reçoivent les images des extrémités de la bulle dans la direction et un peu au-dessus de la ligne de visée. Deux autres prismes C et D ramènent ces images au niveau même de l'oculaire de la lunette, dans un oculaire spécial où elles apparaissent sous la forme indiquée ci-dessus.

§ 10. Degré de précision — Avec de bons instruments et des précautions pour des écarts de points au plus de 200 mètres, on obtient les

différences de niveau à 2^m près; on arrive à 1^m près dans les meilleures conditions

Les erreurs systématiques ayant été écartées, il ne reste que les accidentelles; si un nivellement composé comprend n opérations, d'erreur moyenne partielle e , l'erreur moyenne finale E est :

$$E = e \sqrt{n},$$

n étant très grand.

Ex : points nivelés à 5 par kilomètres ; $e = 0,001$. L'erreur probable pour 100 kilomètres est :

$$E = 0,001 \sqrt{500} = 0,022.$$

Chapitre: IV

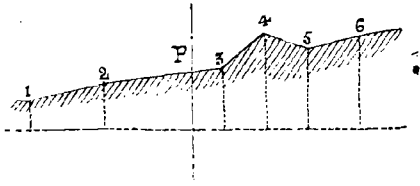
Applications du Nivellement

§ 1. Profils en long — Le tracé d'une route, d'une voie de chemin de fer, d'un canal une fois arrêté, on commence par le reporter sur le terrain : les sommets d'angles d'abord fixés, on jalonne par recoupements les lignes de raccordement. La ligne est chaînée, et piquetée en tous les points hectométriques et en ceux où la pente change brusquement de sens ou d'intensité ; ces derniers points sont repérés aux précédents.

On procède ensuite, avec la plus grande précision au nivellement des points piquetés : la précision est indispensable, pour que les pentes prévues au projet se retrouvent dans l'exécution.

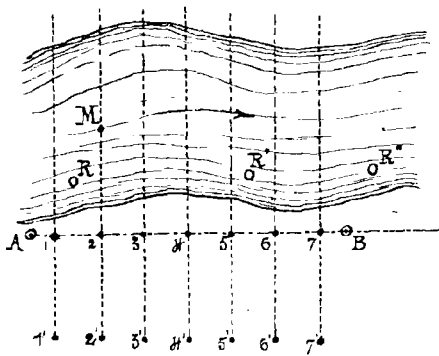
Le développement du cylindre vertical passant par la ligne tracée et portant cette ligne, constitue un profil en long.

§ 2. Profils en travers — Le calcul des terrassements à faire exige la connaissance de la forme du terrain aux environs de la ligne d'axe du tracé. On l'obtient à l'aide de profils en travers menés perpendiculairement à la ligne d'axe du tracé, et à des distances que l'on mesure, distances plus ou moins grandes, suivant que les accidents du sol l'exigent. Ces profils s'étendent sur une faible largeur (5 à 15 mètres de chaque côté de la ligne d'axe); leur nivellement n'exige pas grande précision; l'emploi du niveau d'eau suffit.



On prend les points qui correspondent aux changements de pente du terrain, et on les détermine par leur distance au piquet d'axe P.

§ 3. Nivellement du lit d'une rivière — On commence par planter dans la rivière, à une certaine distance du bord, un ou plusieurs forts piquets R, R', R'', et



on détermine avec soin les altitudes de leur sommet. En mesurant les abaissements de l'eau au-dessous de ces piquets, on aura, par une moyenne, la cote de sa surface,

et d'autre en retranchant de cette cote les profondeurs d'eau mesurées avec un demi-décimètre gradué, ou avec une chaîne tendue par un poids, qu'on obtiendra les cotes du fond en différents points.

Il reste à obtenir sur le plan l'emplacement de chaque sondage. On tracera des profils perpendiculaires à une droite de canevas AB, placée sur le bord de la rivière et en des points dont les distances au point A seront

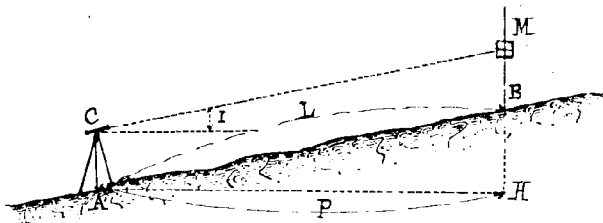
mesurées. Ces profils seront marqués chacun par deux jalons 1-1', 2-2', placés sur la rive que l'on occupe. En tenant pour chacun d'eux une mire ou un cordeau divisé par des nœuds, partant des jalons placés sur AB, et passant par le sondeur en regard de ces divisions, ce qui fera connaître immédiatement les distances des sondes à AB, et permettra de construire sur le plan des points successifs pendant.

Si l'emploi du cordeau est impossible, on relève les points du profil en s'aidant d'une planchette installée sur la rive.

Chapitre V.

Nivellement indirect.

§ 1. Nivellement trigonométrique — Soient A et B deux points pour lesquels on connaît soit la longueur $AB = L$, soit sa projection horizontale $AH = P$. On installe en A un éclimètre et en B une mire dont la hauteur est celle du pied de l'éclimètre. En mesurant l'inclinaison sur l'horizon de la ligne de visée CM, inclinaison I que est égale à celle de la droite



AB. On en conclut pour la différence de niveau des deux points:

$$BH = L \sin I$$

$$BH = P \tan I$$

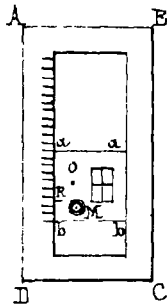
Des tables de sinus ou de

tangentes facilitent ces calculs.

Eclimètre — L'éclimètre se compose d'un limbe entier ou fractionné, d'un rayon-

de 6 à 8 centimètres, disposé verticalement sur le côté d'une boussole et armé d'un miroir à bulle et d'une lunette.

Niveau de pente de Chézy — Cet instrument classique est disposé comme le niveau à pinnules. Seulement le réticule et l'ocillon d'une des pinnules sont



montés dans une plaque mobile $a-b$ pouvant s'élever dans l'intérieur d'un cadre fixe ABCD, au moyen d'une crémaillère à bouton M. Sur l'un des bords du cadre est tracée une graduation et sur le bord voisin de la plaque un repère R avec vernier, R étant au zéro, et la bulle du niveau entre ses repères, la ligne de visée est horizontale.

Si l'on élève la plaque de h , l étant l'écartement des pinnules, la visée est inclinée suivant une pente égale à $\frac{h}{l}$.

Le calcul de $\frac{h}{l}$ est livré par une graduation spéciale du cadre qui donne immédiatement la pente en centièmes; le vernier donne les millièmes. La précision est environ de $\frac{1}{200}$ de la distance.

§ 2. Nivellement barométrique — Ce genre de nivellement est basé sur ce fait, que la pression atmosphérique diminue quand on s'élève, d'après une loi empirique formulée par Babinet:

$$\alpha = 16000 \frac{H-h}{H+h} \{1 + 0,002 (T+t)\}$$

α est la différence de cote cherchée;

H et T sont la hauteur barométrique et la température en l'un des points;

h et t les mêmes éléments en l'autre.

On construit de petits baromètres métalliques en forme de montre, gradués de façon à donner, par une simple lecture, la différence de cote de deux points.

Ce procédé de nivellement, très commode, n'est pas très-exact, à cause de la petitesse de la variation de la pression avec la hauteur, et aussi à cause des variations météorologiques continuelles et irrégulières de cette pression atmosphérique.

Troisième Section.

Exécution des plans, Calculs et Procès-verbaux.

Chapitre I - Exécution des plans.

§1. Choix de l'échelle. - L'échelle, rapport constant entre la distance de deux points du plan et la distance des deux points homologues du terrain, varie avec l'usage qu'on veut faire du plan.

Pour les plans de grands détails, les échelles adoptées sont :

$$\frac{1}{50}, \frac{1}{100}, \frac{1}{200}.$$

Pour les plans topographiques détaillés, les échelles adoptées sont :

$$\frac{1}{500}, \frac{1}{1000}, \frac{1}{2000}.$$

Si l'échelle est inférieure à $\frac{1}{10000}$, le plan devient une carte.

L'échelle doit être tracée graphiquement sur le plan en même temps qu'elle est définie en chiffres.

Plans du cadastre - Ces plans servent de base aux impositions foncières. Autrefois, ils étaient exécutés aux échelles de $\frac{1}{5000}$, $\frac{1}{2500}$ et $\frac{1}{1250}$; on arrivait ainsi, en doublant, à une échelle très-incommode pour les plans

difficultés. Plus tard on a adopté pour les parties chargées de détails, comme les villages, l'échelle simple de $\frac{1}{1000}$; on l'a dédoublée à $\frac{1}{2000}$ pour les parties moins compliquées; mais par manie de toujours dédoubler, on est arrivé, pour les parties qui ne présentent pas de détails (bois, fiches, ...) à l'échelle de $\frac{1}{4000}$, très incommode, car on ne peut mesurer les distances sur le plan à l'aide d'un double décimètre.

Plans parcellaires — Ces plans sont destinés à servir de base à l'acquisition amiable ou à l'expropriation forcée des terrains nécessaires à l'érection de travaux projetés. On se contente d'y tracer géométriquement, outre l'axe de la voie projetée, les limites des zones à acquérir, pour en calculer ensuite la contenance par parcelles.

Ils doivent être tracés à l'échelle de $\frac{1}{1000}$ avec un soin minutieux, 1° pour évaluer exactement la dépense; 2° pour éviter les contestations avec les propriétaires.

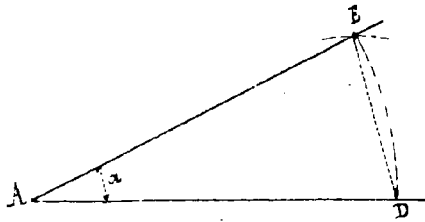
§ 2. Report des distances et angles sur le plan.

Le report des distances ne présente pas de difficultés.

Le report des angles se fait à l'aide du rapporteur, demi-cercle en cuivre ou en celluloid, gradué de 0° à 180° dans le sens des aiguilles d'une montre.

Cet instrument permet de construire à 5' près des angles dont les côtés n'excèdent pas ses propres dimensions, c'est à dire 6 à 7 centimètres. Mais il faut bien se garder de prolonger les côtés d'un angle ainsi construit de 5 ou 10 fois leur longueur première; car l'erreur de 5', qui à 6^{cm} donne un déplacement de $\frac{1}{10}$ de ^{mm}m, donne à 60^{cm}, un déplacement de 1^{mm}m qui n'est pas admissible.

Quand on a à construire sur une droite AB un angle dont les côtés doivent avoir une grande longueur, on emploie le procédé des cordes; on calcule la corde



correspondant à l'angle donné α , dans un cercle de rayon R plus grand que le plus grand côté de l'angle, par les formules:

$$\text{Corde de } \alpha = DE = 2R \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Ce calcul se fait à l'aide d'une table de sinus naturels. On trace avec un compas à verge un arc DE de rayon R , et on y porte la corde DE.

Le point E est déterminé à $\frac{1}{10}$ de mm.

Chapitre II.

Reproduction des plans.

Les minutes des plans sont à conserver dans les archives; pour les besoins du Service, on a à les reproduire à la même échelle, ou à une échelle réduite.

§1. Copie des plans par les procédés du dessin ordinaire — 1^o Méthode géométrique —

elle consiste à reconstituer les différentes lignes du plan à l'aide de mesures directes prises avec un compas sur la minute et reportées en vraie grandeur sur la copie. Elle est longue. Parfois, on recouvre l'original et la copie d'un quadrillage identique, auquel on rapporte les divers points. Ce quadrillage peut être fait sur un papier transparent recouvrant la minute.

2^o Procédés mécaniques. a. Signage — On place sous la minute une ou plusieurs feuilles de papier, et on pique avec une pointe fine

des points assez nombreux pour assurer les positions des diverses lignes du plan. Ce procédé est avantagéusement employé pour les copies du cadastre.

6. Calquage - Les reproductions sur calque doivent être collées sur papier.

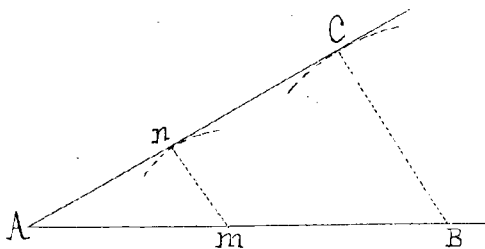
§ 2. Réduction des plans par les procédés du Dessin ordinaire - 1°. Méthode géométrique - On

prend directement sur la minute les dimensions propres à permettre la construction des différentes lignes, et on reporte ces dimensions réduites dans le rapport convenable.

La réduction se fait :

a. à l'aide du compas de réduction, ou compas à 4 pointes, dont l'articulation, variable de position, permet d'établir un rapport donné entre les distances des pointes deux à deux. On règle ce compas pour un rapport donné par tâtonnements successifs, et on vérifie de temps en temps s'il n'y a pas eu de dérangement. La manœuvre est dangereuse à cause des pointes toujours en l'air.

b. à l'aide de l'angle de réduction - On porte sur une droite $AB = 10 \text{ cm}$;



de B comme centre avec un rayon égal à cette distance réduite, on trace un arc de cercle auquel on mène par A une tangente AC. L'angle CAB est l'angle de réduction. On le trace sur matériel

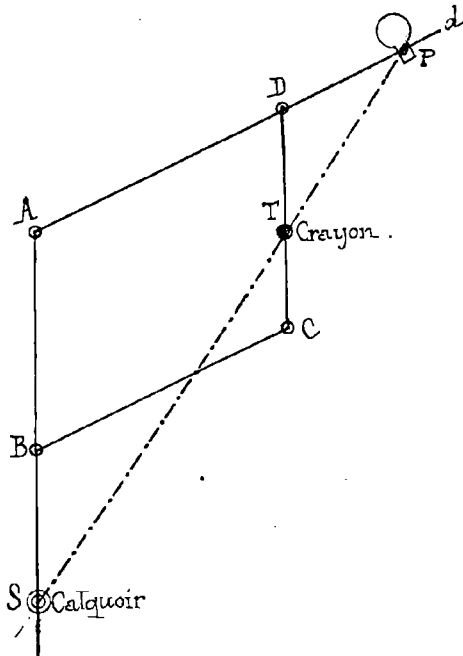
par 2 sillons au canif.

par 2 sillons au canif.

Pour réduire une longueur de la minute, on la porte de A en m; on fait pivoter le compas à pointe sèche autour de m jusqu'à ce que l'arc décrit par l'autre pointe paraisse tangent à AC: l'ouverture m_n est alors la longueur réduite.

2°. Procédés mécaniques - Pantographe. Décrit en 1631 par

le G. Scheiner, il se compose de 4 règles rigides formant un parallélogramme articulé ABCD, à côtés constants et à angles variables. Sur un côté se trouve



un pivot P lié à une masse de fonte fixée à la table, et autour duquel peut osciller l'appareil. Sur un côté consécutif, AB est un calquoir S qu'on promène sur les traits de la minute. Sur un 3^e côté DC parallèle à AB, est un tracoir qui dessine la réduction.

Pivot, calquoir et tracoir peuvent être déplacés et fixés par vis de pression. Ces 3 pièces, mises une fois en ligne droite, y restent toujours; S et T décrivent des figures homothétiques, le

centre d'homothétie étant P et le rapport $\frac{PS}{PT} = \frac{PA}{PD}$, rapport variable par le déplacement de P.

Usage — En A et D sont tracés deux traits perpendiculaires à AD; soit $AD = 600 \text{ mm}$. On veut passer de l'échelle de $\frac{1}{200}$ à celle de $\frac{1}{500}$. On doit avoir : $\frac{PA}{PD} = \frac{500}{200}$ avec $PD = PA - 600$.

$$\text{D'où : } PD = 400 \text{ mm.}$$

On fixera donc le trait de repère du pivot P à 400 mm du trait D

On fixera ensuite le calquoir à volonté et pour la plus grande commodité de description du plan. Enfin on place le tracoir en ligne droite avec S et P, en embrassant les 3 pièces d'égal diamètre par un fil de

soit ciré: si l'un des bords du fil ne touche pas le cylindre moyen, c'est qu'il y a défaut de rectitude.

Précautions - Un fil de rappel soulève le traçoir lorsqu'il ne doit pas laisser de traces sur le papier. Pour la réduction des droites, on s'aide d'une règle glissée sur la minute et sur laquelle on fait glisser le calqnoir.

Précision - Avec un bon instrument et un opérateur adroit, on obtient une exactitude beaucoup plus grande qu'avec les procédés précédents, en trois ou quatre fois moins de temps.

§ 3. Reproduction des plans à plusieurs exemplaires

Les procédés précédents ne conviennent pas à la reproduction à grand nombre d'exemplaires. Laisant de côté l'autographie et la lithographie qui exigent des gens habiles et un temps assez long, on indiquera la reproduction par photographie. On se limitera à la reproduction sans modification d'échelle. L'étude des amplifications et réductions exigeant un exposé détaillé des appareils et procédés photographiques.

Principe - La lumière agit sur certaines substances en présence de matières organiques (papier, albumine, gélatine, gomme, collation, ...) les modifie chimiquement et change leurs propriétés. Ces substances, dites sensibles, perdent ordinairement du chlore ou de l'oxygène qui se combine à une partie de l'hydrogène de la matière organique. Si donc on superpose un dessin sur calque à un papier imprégné de ces substances, l'action de la lumière, plus forte au travers des noirs que des traits, déterminera sur la surface sensible une altération reproduisant le dessin.

Les substances sensibles employées sont:

1^o le citrate et le perchlozore de fer, seuls ou mélangés aux acides tartrique et

critique.

2^o le bichromate de potasse.

I. Emploi Des sels De fer — On utilise deux réactions qui produisent des dessins en bleu de Prusse : l'une, employée dans le papier au ferro-prussiate donne un dessin négatif, traits blancs sur fond bleu ; l'autre, employée dans le papier au cyanofer, donne un dessin positif, traits bleus sur fond blanc. Les deux procédés sont basés sur ce fait que, sous l'action de la lumière, les sels de fer au maximum sont transformés en sels au minimum, et que les premiers donnent du bleu de Prusse avec le prussiate jaune de potasse, tandis que les seconds en forment avec le prussiate rouge.

Papier au ferro-prussiate — On étend avec un blaireau sur le papier à sensibiliser la solution suivante :

Eau	_____	80 ^{cc.}
Gomme	_____	4 ^{gr.}
Citrate de fer ammoniacal	_____	8 ^{gr.}
Prussiate rouge de potasse	_____	8 ^{gr.}

On lave à grande eau après exposition.

Papier au cyanofer — La solution sensible s'obtient en mélangeant dans l'ordre indiqué les substances suivantes :

Eau distillée	_____	100 ^{cc.}
Gomme, 10 ^{cc.} d'une solution à 15 pour cent d'eau		
Citrate de fer 15 ^{cc.} d'une solution à 15 pour cent d'eau		
Acide citrique	_____	5 ^{gr.}
Décobroure de fer 10 ^{cc.} d'une solution à 15 ^o Baumé.		

Cette solution se conserve à l'abri de la lumière.

On développe la feuille impressionnée dans la solution suivante :

Bichromate jaune de potasse _____ 10 gr

Eau distillée _____ 60 cc

contenue dans une large cuvette, en ayant soin de replier les bords du papier pour former un creux où le liquide ne doit pas pénétrer.

On bote de quelques secondes (10"), on égoutte la feuille : les traits s'accusent, le fond blanchit. Les traits devenus nets (10"), on lave à grande eau et on plonge dans de l'eau acidulée à 3% d'acide sulfurique : les traits se colorent en bleu de Prusse. Après 3 minutes on lave à grande eau et on fait sécher.

Remarque - L'original doit être fait à l'encre de Chine additionnée de gomme gutte ou de bichromate de potasse, pour arrêter les rayons chimiques.

Transformation du bleu en noir, par l'action de l'acide gallique ou du tannin sur les sels de fer. On lave l'épreuve bleue dans un bain alcalin de 4 gr de potasse pour 100 cc d'eau, puis dans un bain d'acide gallique à 4%. Le 1^{er} bain forme du sesquioxyde de fer orange que le 2^e bain transforme en gallate de fer, de coloration noire. Ce procédé a l'inconvénient de teinter le fond.

II^o Emploi du bichromate de potasse (au au chimiste français Boitevin). Le bichromate de potasse est décomposé par la lumière en présence d'une matière organique (papier, gomme, gélatine, albumine...). L'acide chromique perd de l'oxygène qui se combine à une partie de l'hydrogène de la matière organique et se transforme en sesquioxyde. Le composé formé est insoluble dans l'eau et communique son insolubilité aux particules organiques avec lesquelles il est mélangé.

Le procédé le plus simple consiste à imprégner une feuille de papier d'une solution de bichromate de potasse à saturation. Ce papier séché est impressionné, puis lavé à grande eau. On obtient un négatif d'une grande finesse à traits blancs sur fond jaune gris.

La différence de coloration est faible ; on peut l'accentuer.

1^{er} Procédé - (Papier Artique) On imprègne le papier de bichromate et en même temps d'un agglutinant organique auquel on incorpore un colorant très-divisé (gélatine et noir de fumée dans la photographie au charbon). Le papier séché, impressionné, est lavé à l'eau froide pour la gomme, à l'eau chaude pour la gélatine. La matière colorante est entraînée dans les parties non impressionnées.

Le papier se prépare ainsi : on badigeonne l'endroit avec la préparation

Eau	_____	100 ^{cc}
Gomme	_____	8 ^{gr}
Noir de fumée	_____	2 ^{gr}

Cette couche faible séchée, on badigeonne l'envers avec une solution saturée de bichromate en la laissant pénétrer jusqu'à la couche colorée.

2^e Procédé - On fait adhérer avec un tampon une poudre colorée (plombagine) sur la couche de gomme bichromatée qui a été impressionnée. On lave, la matière colorante ne reste que dans les endroits où la couche bichromatée se dissout.

Ces reproductions sont inaltérables à la lumière.

Autographie - L'autographie consiste à dessiner sur du papier donné et sandaradqué avec une encre autographique grasse. Ce papier est appliqué et pressé à sec sur la pierre ou le zinc ; on manille peu

à peu le dos de la feuille; la gomme se dissout et est entraînée; l'encre autographique se sépare, et quand après plusieurs coups de presse, on enlève le papier, tout le dessin se trouve décalqué sur le zinc. On mord alors légèrement à l'acide azotique étendu, qui ronge toute la surface à l'exception des endroits protégés par le corps gras. Si ensuite on mouille la planche et qu'on y passe un rouleau imprégné à encre à imprimerie grasse, cette encre repoussée par l'humidité, s'attachera seulement aux points que le crayon gras a préservés au contact de l'eau. (En commence alors le tirage des épreuves).

Chapitre. III.

Arpentage.

On comprend sous le nom d'arpentage l'ensemble des questions relatives:

- 1° à la mesure de la superficie des parcelles de terrain, quelle qu'en soit la configuration;
- 2° au partage des terres dans les proportions et suivant les conditions qui exigent les divers cas;
- 3° aux bornages et alignements.

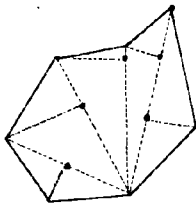
§1. Mesure des superficies — L'évaluation des contenances se fait par cultellation; c'est à dire que la contenance d'un terrain non horizontal est l'aire de sa projection horizontale.

Le prix d'un terrain est basé sur cette aire. Un terrain de 10.648 mètres carrés, incliné de 20° , est compté pour 10.000 m^2 d'un terrain horizontal de même qualité. L'origine de la convention est l'idée contestable

qu'un terrain incliné ne produit qu'en raison de sa projection horizontale.
La chose est sans importance, le prix étant débattu librement entre acheteur
et vendeur.

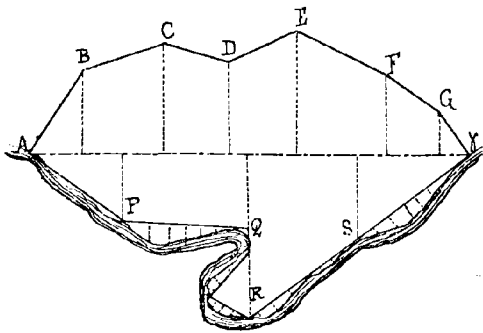
L'unité légale est l'are, carré de 10^m de côté.

a. Décomposition en triangles. — Soit un champ polygonal : on
le décompose par des diagonales en triangles dont on mesure les bases et les
hauteurs, en se servant de la chaîne et de l'équerre d'arpenteur. Ces éléments



permettent le calcul de la surface et non l'exécution
du plan. Le calcul des erreurs montre que l'on
doit choisir, quand rien ne s'y oppose, la base
pour laquelle la somme de cette base et de la
hauteur correspondante est la moindre.

b. Procédé des abscisses et des ordonnées. — On choisit la plus gran-
de diagonale du terrain pour axe des opérations AX ; sur cette ligne, on
abaisse, des différents sommets du contour, des perpendiculaires que l'on mesure
ainsi que les parties qu'elles interceptent sur AX. La figure est décomposée
en trapèzes et triangles dont on peut évaluer les aires.

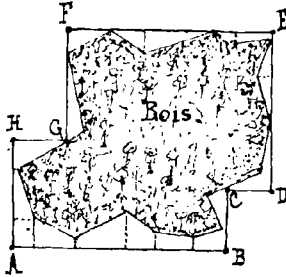


c. Cas d'une surface limitée
par une courbe. — On inscrit
à l'intérieur une ligne polygonale
servant de près le contour, mais sans
trop de côtés. On traite cette ligne
comme en b. Ses intervalles negli-
gés s'évaluent en prenant pour bases
auxiliaires les côtés de la ligne

polygonale.

Degré de précision — Avec des soins, on évalue les superficies à $\frac{1}{400}$ ou $\frac{1}{500}$ près.

d. Cas d'une propriété impénétrable — On enveloppe le terrain d'un



polygone à angles droits, construit uniquement à l'équerre, et dont on mesure tous les côtés. On déduit l'excédent évalué par décomposition en triangles et en trapèzes.

Degré de précision : $\frac{1}{300}$.

§ 2. Partage des terres — La question est de partager un terrain en parties équivalentes, ou proportionnelles à des nombres simples donnés. Le problème ainsi posé est indéterminé ; mais il importe que chaque copartageant ait accès à un puits commun, à un passage, etc., et que les avantages soient équitablement répartis ou compensés. Cela impose aux lignes de partage la condition de passer par un point, d'être parallèles à une direction donnée, etc., et on est alors ramené à un problème précis de géométrie.

Le plus souvent on procède par tâtonnements. Supposons que les parties du terrain à diviser doivent être entre elles comme m, n, p, \dots de telle sorte que

$$m + n + p + \dots = 1$$

On cherche une 1^{re} ligne détachant de la figure la partie m de surface, puis une 2^e ligne retranchant la partie $m + n$, puis une 3^e retranchant la partie $m + n + p$ de l'aire totale, et ainsi de suite.

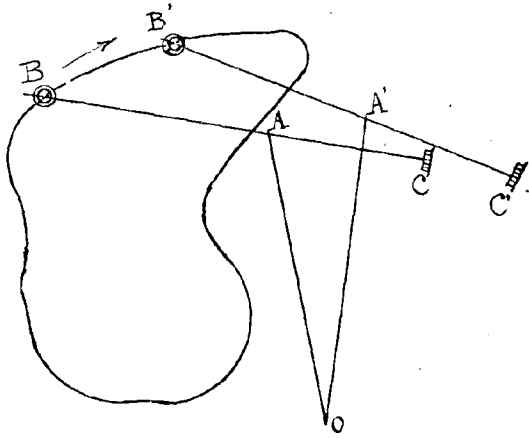
Le tracé de chaque ligne se fait par approximations successives.

§ 3. Moyens abrégés de calcul — Le plan d'un terrain étant établi, on se rend compte rapidement de sa contenance :

- 1° en transformant la figure en un triangle équivalent.
 2° en la couvrant d'un véhicule, quadrillage formé de fils très fins tendus sur un cadre, ou de lignes tracées sur une glace : chaque carré représente un arc à l'échelle du plan. On compte les arcs entiers compris dans le contour, et on évalue par estime les portions à cheval sur le contour. Des fils plus forts forment des carrés d'un hectare.

Ces 2 procédés ne donnent que des approximations, utiles pour préparer la solution des partages.

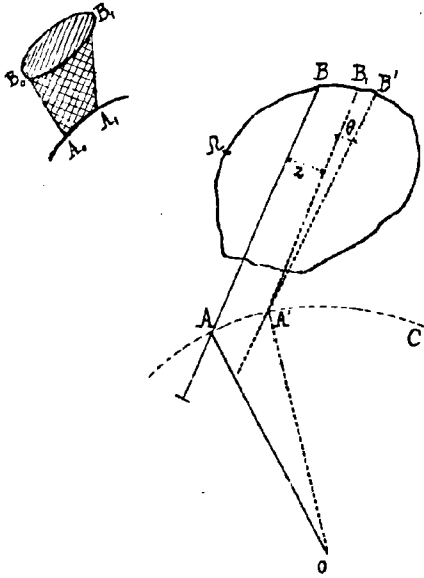
- 3° Emploi du planimètre d'Anstler — La mesure d'une aire plane peut s'effectuer mécaniquement par une simple lecture, à l'aide du planimètre polaire d'Anstler.



Cet instrument se compose en principe de deux tiges articulées BA et AO. En O est une pointe permettant de fixer l'instrument sur le papier, et que l'on doit fixer en dehors du contour de l'aire à mesurer. En B est une pointe à tracer que l'on fait mouvoir le long du contour, de manière à revenir au point de départ après l'avoir décrit entièrement. Enfin, sur le prolongement de la tige AB, se trouve en C une roulette dont l'axe est dirigé suivant AB.

Cette roulette est graduée suivant sa circonférence, par exemple en 100 parties égales, en sorte qu'on peut dire combien elle fait de tours et fractions de tour pendant que le tracelet B décrit le contour. Cette lecture donne immédiatement l'aire cherchée, car il y a proportionnalité entre la rotation

de la roulette et l'aire. M. S. Duval et Claye, dans son cours de "Routes et Chemins vicinaux", établit ce résultat de la manière suivante :



Soit O le pivot de l'instrument; avec le traçoir B , suivons dans le sens des aiguilles d'une montre le contour de la surface S . Pendant cette opération, A décrit un arc de cercle de centre O , de sorte que la surface balayée par la droite AB pendant ce mouvement est limitée : 1° par l'arc de cercle dont le centre est O ; 2° par les positions extrêmes de la droite AB vers la droite et vers la gauche; enfin 3° par le contour de

la surface à évaluer. Mais si l'on convient d'affecter du signe $+$ une surface balayée de droite à gauche et du signe $-$ celle balayée de gauche à droite, on voit que lorsque le traçoir, parti par exemple du point Ω du contour y sera revenu, la surface algébrique totale, (c'est à dire la somme des surfaces positives diminuée de celle des surfaces négatives), sur laquelle aura passé la droite AB sera précisément la surface à évaluer S , puisque toute la partie comprise entre son contour inférieur et l'arc de cercle AC sera annulée comme ayant été affectée successivement des signes $+$ et $-$. Donc en définitive, la surface S est égale à la somme des surfaces balayées par la droite AB pendant que son extrémité B parcourt le contour proposé.

Voilà maintenant comment on peut l'évaluer. Considérons 2 positions infinitésimales voisines du traçoir B et B' . Par A' menons $A'B_1$ parallèle à AB .

$$\text{Aire } AA'BB' = \text{Aire } AA'B_1B' + \text{Aire } A'B_1B' = lz + \frac{l^2 \theta}{2}.$$

z étant l'écartement de AB et $A'B_1$, θ l'inclinaison de $A'B'$ sur AB : la différence des longueurs $A'B'$ et $A'B_1$ étant infiniment petite.

$$S = \int (lz + \frac{l^2\theta}{2}) = l \int z + \frac{l^2}{2} \int \theta.$$

Or $\int \theta = 0$, puisque les positions initiale et finale de la roulette sont les mêmes.

La roulette enregistre d'autre part les chemins parcourus perpendiculairement à son axe AB , c'est à dire, les longueurs successives telles que z ; $\int z = \sigma$ chemin indiqué par la roulette. Donc :

$$S = l\sigma$$

En définitive, l'aire à mesurer sera proportionnelle au nombre de tours de la roulette. C.Q.F.D.

La branche AB est d'une longueur variable à volonté, pour permettre le changement de l'unité au moyen de laquelle on évalue les aires.

Enfin, pour faciliter l'observation, la roulette porte un appareil enregistreur qui au moyen d'une vis sans fin, indique le nombre de tours entiers faits par la roue. Pour les fractions de tours, outre la division en 100 parties égales, l'index porte encore un petit vernier circulaire.

Le planimètre permet de résoudre rapidement les problèmes de partage.

§ 4. Alignements - Bornage — Entre les limites apparentes (routes, clôtures, ...) des terrains, il y a des limites non apparentes, dont le tracé est déterminé par des points isolés du sol (arbres, pierres ...).

Les pierres plantées pour établir la limite d'une propriété sont des bornes; leur installation constitue le bornage.

Les bornes sont taillées ou brutes; dans ce dernier cas, on les plante débout et on les entoure de moellons moins gros, dits tennoirs de la borne.

Sous toute borne, à quelque profondeur, on enfait les morceaux d'une

triple cassée, afin de pouvoir vérifier l'emplacement de la borne en cas de contestation.

La plantation de bornes est constatée par un acte authentique, ou au moins signé des deux propriétaires limitrophes : ce procès-verbal d'abornement indique l'emplacement et la description de chaque borne.

" Tout propriétaire (Art. 646 du Code Civil) peut obliger son voisin au bornage de leurs propriétés contiguës. Le bornage se fait à frais communs ". Il s'agit du bornage en usage dans la localité; tout autre serait aux frais de la partie requérante.

On plante une borne à chaque angle; parfois on en place d'intermédiaires, si certaines limites droites sont très-longues.

La loi punnit le déplacement ou la suppression des bornes et pieds corniers. Quand une borne est douteuse, le géomètre chargé de la vérifier doit se faire autoriser à la lever par justice, ou par les propriétaires intéressés. Avant de la lever, il la repère à trois ou quatre piquets plantés dans le sol.

Le bornage est souvent précédé de contestations sur la limite à établir; d'où des vérifications de titres et de contenance. Il ne commence qu'après accord amiable ou décision des tribunaux.

L'expert chargé de telles questions doit bien connaître :

- 1.° les principes du droit civil (propriété des immeubles, voisinage, servitudes ou services fonciers, prescription);
- 2.° les usages de la localité où il est appelé à opérer.

Il fera avec soin la part de la loi, celle des coutumes locales, celle des conventions écrites et celle de l'équité, de manière à prévenir les procès dont les actes d'un expert inhabile sont souvent l'origine.

fin.