



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل
Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

VERSION EXPERIMENTALE

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE 10	NOTION ET CONCEPTS DE LA TOPOGRAPHIE
------------------	---

SECTEUR : BTP

**SPECIALITE : TECHNICIEN SPECIALISE
CONDUCTEUR DE TRAVAUX :
TRAVAUX PUBLICS**

NIVEAU : TECHNICIEN SPECIALISE

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document.

Pour la supervision :

M. Khalid BAROUTI
Mme Najat IGGOUT
M. Abdelaziz EL ADAOUI

Chef projet BTP
Directeur du CDC BTP

Chef de Pôle Bâtiment

Pour la conception :

M. Pavel Tsvetanov

Formateur animateur CDC/BTP

Pour la validation :

M. Pavel Tsvetanov

Formateur animateur CDC/BTP

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

DRIF

SOMMAIRE

Présentation du module

Résumé de théorie

I. GÉNÉRALITÉ

1. La topométrie
2. La géodésie
3. La topographie
4. La photogrammétrie
5. L'astronomie géodésique

II. LA TOPOGRAPHIE – GÉNÉRALITÉ

1. Objet de la topographie
2. Unités de mesures
3. Coordonnées géographiques, azimut
4. Représentation plane des surfaces terrestres et coordonnées rectangulaires
5. Les axes
6. Les orientations
7. Canevas géodésique et système de triangulation
8. Canevas planimétrique de précision
9. Canevas altimétrique

III. MESURE DES DISTANCES

1. Généralités
2. les Instruments pour mesures des distances
3. Le jalonnement
4. Mesurage à plat
5. Mesure des longueurs indirecte
6. Rappels de trigonométrie

IV. MESURE DES ANGLES

1. Généralités
2. Les équerres optiques
3. Unités de mesures des angles
4. Le théodolite
5. Rapporteur en gard

V. CARTES ET PLANS

1. Les échelles
2. Précision d'un plan

VI. PENTES ET DISTANCES

VII. NIVELLEMENT

- A) Définition
- B) Définition et principes généraux de nivellement
- C) Nivellement direct
 - 1. Nivellement direct ordinaire
 - 1.1 Principe
 - 1.2. le Niveau
 - 1.2.1. Principe de fonctionnement
 - 1.2.2. Mise en station d'un niveau
 - 1.2.3. Lecture sur mire
 - 1.2.4. Estimation de la portée par stadimétrie
 - 1.2.5. Contrôle et réglage du niveau
 - 1.3. Précision et tolérance des lectures
 - 1.3.1. Ecarte types
 - 1.4. Observations et calculs
 - 1.4.1. Nivellement par rayonnement
 - 1.4.2. Nivellement par cheminement
 - 1.4.3. Cheminement mixte.
 - 1.4.4. Cas particuliers de cheminements.
 - 1.4.5. Nivellements indirect avec théodolite optico-mécanique

VIII. LEVÉ TACHÉOMETRIQUE

- 1. Notions préliminaires
- 2. Courbes de niveau

IX. IMPLANTATION

- 1. Méthodes d'implantation

X. PROFIL

- 1. Définitions
- 2. Le profil en long
- 3. Divers types de profil en long
- 4. Le profil en travers

XI. CUBATURE DES TERRASSEMENTS

- A. Méthodes des plans cotés
- B. Méthodes des profils

XII. PLAN DE MASSE

Guide de travaux pratique
Évaluation de fin du module

XIII LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

Durée : 100H

OBJECTIF OPERATIONNEL

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit **avoir des notions et connaître les concepts de base de la topographie** selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONDITIONS D'ÉVALUATION

- ◆ Individuellement.
- ◆ A partir de calculs à effectuer.
- ◆ A l'aide de dessin à élaborer.

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Utilisation adéquate des instruments de topographie.
- Lecture correcte des mesures.
- Connaître le matériel et la méthode pour implanter un ouvrage
- Représentation exacte des profils en long et des profils en travers
- Calcul exact des cubatures de terrassements

PRECISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU	CRITERES PARTICULIERS DE PERFORMANCE
Connaître les notions de base de la géométrie	<ul style="list-style-type: none">• Résolution exacte des triangles dans tous les cas• Exécution parfaite des constructions graphiques telles que : cercles, tangentes, parallèles...
Savoir les notions topographiques de base.	<ul style="list-style-type: none">• Lecture correcte des cartes• Identification correcte : des zones Lambert, des raccords de zones repérage de points géodésiques de triangulation ; de polygonaion IGN
Connaître les différentes catégories d'instruments.	<ul style="list-style-type: none">• Distinction correcte des usages de chaque catégorie d'instruments• La mise juste en station des divers instruments
Réaliser les différentes mesures topographiques.	<ul style="list-style-type: none">• Calcul exact des différentes précisions.• Reconnaissance exacte du système de référence du document
Effectuer les différents types de nivellement.	<ul style="list-style-type: none">• Réalisation exacte des différents types de nivellement.
Connaître les principes de la planimétrie	<ul style="list-style-type: none">• Utilisation correcte des instruments : pour lever le point en planimétrie (par intersection, rayonnement, triangulation, alignement et prolongement) pour les mesures des angles.
Implanter un ouvrage	<ul style="list-style-type: none">• Connaissance exacte du matériel et méthode d'implantation d'un projet
Etablir les profils en long et les profils en travers.	<ul style="list-style-type: none">• Définition et réalisation juste ; les profils en long les profils en travers.
I- Calculer les cubatures des terrassements	<ul style="list-style-type: none">• Evaluation exacte des : Volumes des terres à déblayer Volumes des terres à remblayer

PRESENTATION DU MODULE

Le module : « **NOTIONS ET CONCEPTS DE LA TOPOGRAPHIE** » s'apprend pendant le première semestre de formation, donc dans la première année de formation. Ce module est dispensé **en 100 heures**.

Le module N° 10 consiste à doter au Conducteur de travaux des notions de base de **la topographie** et de lui faire apprendre à faire des mesures topographiques, destinés pour élaboration des plans topographiques dans la réalisation des travaux en construction sur le chantier ou bien dans élaboration des études dans un bureau d'étude. Le module a été élaboré en deux parties : **Résumé de théorie et Guide de travaux pratique**

**NOTIONS ET CONCEPTS
DE LA TOPOGRAPHIE**

RESUMÉ DE THEORIE

I. GENERALITE

La science géodésique, aussi appelée la géométrie, est la discipline qui englobe toutes les méthodes d'acquisition et de traitement des dimensions physique de la terre et de son entourage.

Si l'on veut satisfaire aux exigences de la vie moderne, on ne peut se dispenser de la science géodésique. On y a recours pour :

- a) cartographier de la terre, tant au- dessous du sol, et au fond des mers ;
- b) dresser des cartes de navigation aérienne, terrestre et maritime ;
- c) établir les limites de propriétés tant publiques que privées ;
- d) créer des banques de données relatives aux ressources naturelles et à l'utilisation des terres ;
- e) déterminer la forme et les dimensions de la terre, de même que l'étude de la gravité et du champ magnétique ;
- f) dresser des cartes de notre satellite naturel et, éventuellement, des autres planètes.

La science géodésique joue un rôle extrêmement important dans plusieurs branches du génie. Par exemple, elle est requise avant, pendant et après la planification et construction d'autoroutes, de chemins de fer, de tunnels, de canaux, de ponts, de bâtisses, de systèmes d'aqueduc et d'égout, de galeries de mine, d'oléoducs, de sites de lancement de fusées, de stations de repérage et de poursuite de satellites, et le reste.

La science géodésique comprend: *la topométrie, la géodésie, la topographie, la photogrammétrie, l'astronomie géodésique.*

I.1. LA TOPOMETRIE

*La topométrie (du grec *topos* = lieu et *metron* = mesure) est l'ensemble des techniques de mesurage géométriques servant à déterminer la forme et les dimensions d'objets et des lieux, sans tenir compte de la courbure de la terre.*

Il faut noter que la topométrie sert les domaines suivants :

Topométrie de construction

La topométrie de construction consiste à donner des alignements et des altitudes qui servent à la construction de bâtisses, de réseaux d'égouts et d'aqueducs, de rues, et le reste.

Topométrie routière

La topométrie routière est intimement liée aux autoroutes, aux chemins de fer, aux oléoducs et aux travaux qui s'étendent, d'une façon générale, sur de grandes distances.

Topométrie cadastrale

La topométrie cadastrale, aussi appelée *arpentage légal*, consiste principalement à déterminer la délimitation et morcellement des propriétés foncières. C'est un champ d'activité exclusivement réservé aux arpenteurs – géomètres.

Topométrie souterraine

Les opérations comme l'orientation et les dimensions des tunnels et de galerie de mines, le calcul des volumes, etc., relèvent de la topométrie souterraine.

Topométrie hydrographique

La topométrie hydrographique, ou tout simplement l'hydrographie, a pour but de représenter le littoral, les lacs et rivières, les fonds marins, et le reste.

Topométrie industrielle

L'aménagement des installations industrielles, au moyen d'instruments optiques, constitue la principale application de la topométrie industrielle.

I.2. LA GEODESIE

La géodésie est la science qui a pour objet l'étude qualitative et quantitative de la forme de la terre et de ses propriétés physique (la gravité, le champ magnétique, etc).

La géodésie permet de localiser, avec une grande précision, des points géodésiques servant d'ossature aux levés topographiques. Les opérations de base, en géodésie, sont *la triangulation, la trilatération, le cheminement de précision et le nivellement de précision*. Comme les étendues sont assez grandes, on doit tenir compte de la courbure de la terre.

Depuis quelques années, on a mis au point des techniques nouvelles de mesurage telle que le système *Doppler* (satellites), *la technologie inertielle*.

I.3. LA TOPOGRAPHIE

La topographie (du grec *graphien* = dessiner) est l'art de représenter graphiquement un lieu sous forme de *plans* ou de *cartes*. La confection proprement dite de ces cartes ou de ces plans relève de *la cartographie*. Une carte ou un plan est la représentation graphique, à une certaine échelle, de la projection orthogonale de détails de la surface de la terre, qu'ils soient naturels (rivières, montagnes, forêts, etc.), artificiels (bâtisse, routes, etc.) ou conventionnels (limites administratives).

On sait que *l'échelle* est le rapport de similitude entre le terrain et sa représentation sur la carte ou le plan. Si l'on a, par exemple, l'échelle 1 : 1000 (ou le millième), 1cm sur le plan représente 1000cm (ou 10m) sur le terrain. Par convention et aussi parce que c'est plus simple, on prend toujours 1 pour le numérateur, et un nombre commençant par 1,2 ou 5 suivis de zéros pour le dénominateur.

Lorsque le terrain à relever est d'une superficie assez restreinte et qu'il est possible de représenter tous les détails à échelle, qui est toujours assez grande, la représentation est appelée *plan*. Par contre, lorsque la surface est assez grande et qu'on doit représenter certains détails par les signes conventionnels, à cause de la petite échelle requise, cette représentation est appelée *carte*. Fait important à signaler : dans ce dernier cas, on représente en plan une surface courbe entraînant nécessairement des déformations. Celles - ci dépendent du système de projection adopté. *La projection* se fait, suivant un modèle mathématique donné, en fonction soit d'une *surface plan*, soit d'une surface conique ou d'une surface cylindrique.

Les projections peuvent être :

conformes : les directions sont conservées,

équivalentes : les superficies sont conservées,

équidistantes : les distances sont conservées dans une direction déterminée.

Dans les deux premiers cas, les distances sont altérées. Quant au troisième cas, qui suscite peu d'intérêt, les distances sont conservées dans une direction déterminée.

I.4. LA PHOTOGRAMMETRIE

La photogrammétrie est la science qui permet d'obtenir des informations quantitatives et qualitatives au moyen de photos. Comme l'indique la définition, la photogrammétrie englobe deux champs d'activité : l'un *métrique* et l'autre interprétatif. Le premier consiste à prendre, directement ou indirectement, des mesures sur des photos aériennes ou terrestres en vue de déterminer la forme et les dimensions d'objets. La photogrammétrie interprétative quant à elle consiste à déduire certains renseignements en examinant des images obtenues au moyen de senseurs optiques ou non optiques (comme les senseurs infrarouges, le radar, etc.). Cette partie de la photogrammétrie implique nécessairement que l'interpréteur possède de bonnes connaissances dans le domaine concerné (géologie, foresterie, etc.).

Les photos sont prises de telle sorte qu'une photo recouvre environ 60% de la précédente (fig. 1). L'ensemble de ces deux perspectives observées dans un restituer forme un *modèle stéréoscopique* (fig.2) dans lequel sont prises directement ou indirectement les mesures requises. C'est ainsi qu'on obtient la restitution.

La photogrammétrie est utilisée en topographie, en foresterie, en géologie, en génie, en architecture, en archéologie, en urbanisme, en médecine, en géographie, en balistique, en biomorphologie...

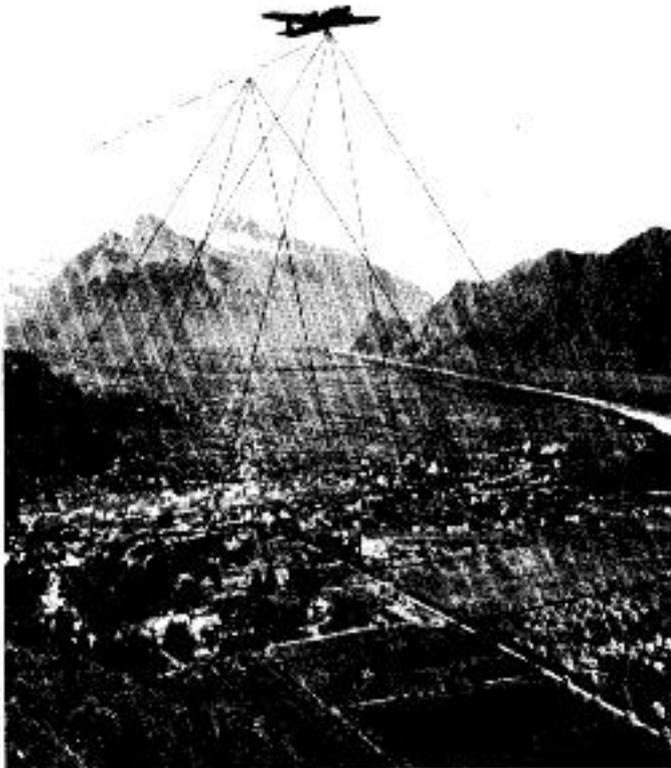


Fig.1— Prise de photos aérien nes (docum. Zeiss)

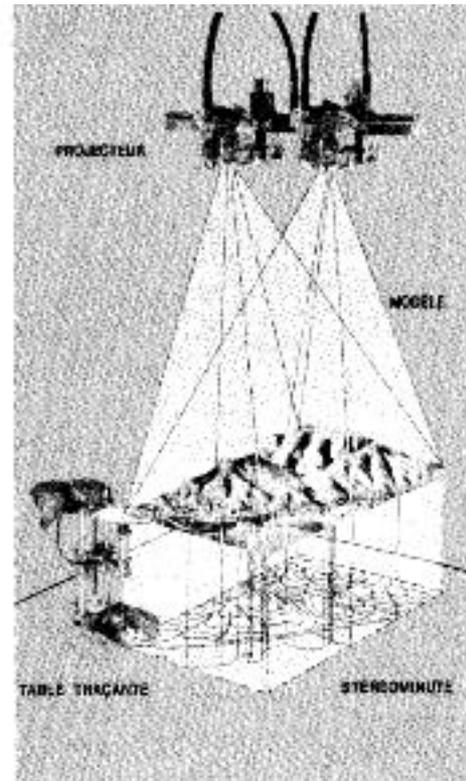


Fig.2 — Modèle stéréoscopique (docum. Bauch & Lomb)

I.5. L'ASTRONOMIE GEODESIQUE

Basée sur des principes d'astronomie et de trigonométrie sphérique, *l'astronomie géodésique* permet, à partir d'observations relatives aux astres, de déterminer la position absolue de points et la direction absolue de lignes sur la surface de la terre. La position absolue est donnée par la latitude et la longitude par rapport à l'équateur et au méridien origine de Greenwich, et la direction absolue par l'angle que fait la ligne par rapport au méridien du lieu.

II. LA TOPOGRAPHIE – GENERALITES

II.1. OBJET DE LA TOPOGRAPHIE.

La topographie est la technique qui traite de la représentation de la forme du sol et des détails qui s'y trouvent.

La topographie comprend deux disciplines :

- la topométrie qui est la technique d'exécution des mesures du terrain ;
- la topologie ou science des formes de ce terrain.

Dans les levés aux petites échelles (1/20000 et 1/40000 par exemple), on ne procède pas qu'à un petit nombre de mesures et le terrain est ensuite dessiné grâce aux lois de la topologie, science directement liée à la géographie physique et dont la connaissance est primordiale.

Dans les levés aux grandes échelles (du 1/100 au 1/10000), au contraire, le rôle de la topométrie est capital, parfois même exclusif.

II.2. UNITES DE MESURES.

Le mètre est défini pour base des unités de longueur de la façon suivant :
« Longueur à la température de 0° du prototype international en platine iridié qui a été sanctionné par la conférence générale des Poids et Mesures tenue à Paris en 1889, et qui a été déposé au Pavillon de Breteuil, à Sèvres ».

Les dispositions légales précitées définissent un multiple du mètre qui est le mille marin : « longueur moyenne de la minute sexagésimale de latitude terrestre » soit 1852m. Le mille marin s'emploie pour la mesure des longueurs marines et aéronautique.

Les mêmes textes ont fixé pour mesure fondamentale de superficie le mètre carré ou centiare, superficie contenue dans un carré de un mètre de coté.

Les multiples et sous – multiples usuels de la mesure de superficie sont :

- le kilomètre carré (km^2), qui vaut 1 000 000 mètres carrés ;
- l'hectomètre carré (hm^2), qui vaut 10 000 mètres carrés ;
- le décamètre carré (dam^2), qui vaut 100 mètres carrés ;
- le décimètre carré (dm^2), qui vaut 1/100 de mètre carré ;
- le centimètre carré (cm^2), qui vaut 1/10 000 de mètre carré ;
- le millimètre carré (mm^2), qui vaut 1/1 000 000 de mètre carré ;

La loi du 14 janvier 1948 fixe pour unité légale de mesure d'angle l'angle droit, ainsi défini :

« Angle formé par deux droites se coupent sous des angles adjacents égaux. Il se représente par le symbole D. »

Il y a deux séries de sous – multiples usuels légales de l'angle droit :

- a) le grade (gr), qui vaut $1/100$ de D ;
le décigrade (dgr), qui vaut $1/1\ 000$ de D ;
le centigrade (cgr), qui vaut $1/10\ 000$ de D, désigné couramment par ' ;
le milligrade (mgr), qui vaut $1/100\ 000$ de D.

En outre, bien que ce ne soit pas légal, on utilise pratiquement la seconde centésimale qui vaut $1/1\ 000\ 000$ de D, et désignée couramment par ''.

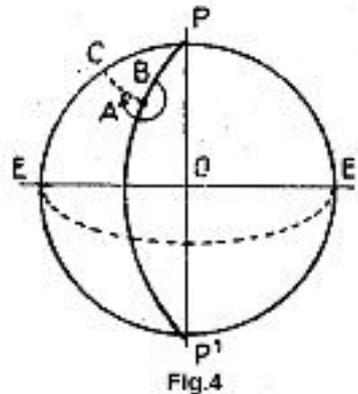
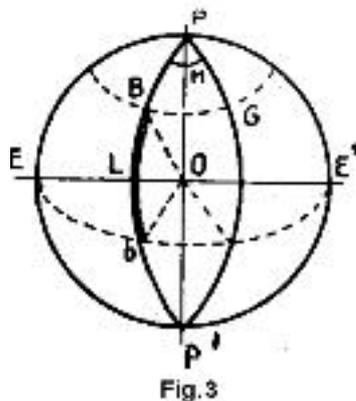
- b) le degré (d ou °), qui vaut $1/90$ de D ;
la minute d'angle, ou « minute sexagésimale », qui vaut $1/60$ D et désignée par ' ;
la seconde d'angle, ou « seconde sexagésimale », qui vaut $1/6$ de minute désignée par ''.

Pratiquement, pour toutes les opérations topographiques, on utilise actuellement le grade et ses sous – multiples. Le degré reste employé pour toutes les mesures astronomiques, ainsi que pour la navigation maritime et aérienne, parce que des rapports simples existent entre les mesures de temps et les mesures en degrés (1 h correspond à 15°).

II.3. COORDONNEES GEOGRAPHIQUES, AZIMUT.

Le point B de la terre (fig. 3) se situe grâce à ses coordonnées géographiques, à savoir :

- a) Sa *longitude*, qui est l'angle M formé par le méridien du lieu PBP' avec un méridien



choisi arbitrairement pour origine PGP' : (méridien passant par Greenwich). La longitude se compte positivement vers l'ouest (sens des aiguilles d'une montre) et négativement vers l'est.

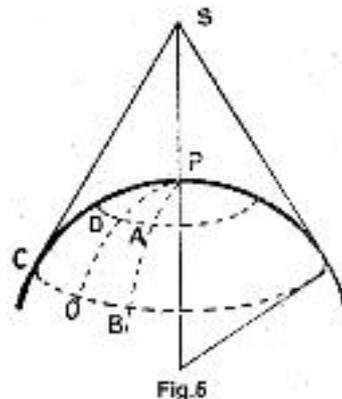
- b) Sa *latitude*, qui est l'angle L (Bob) du rayon OB avec le plan de l'équateur. La latitude est aussi, en lieu, l'angle de hauteur du pôle au – dessus de l'horizon. La colatitude est l'arc complémentaire BP . La latitude se compte à partir de l'équateur soit vers le nord (latitude boréale), soit vers le sud (latitude australe). Le parallèle de B est le petit cercle de la sphère situé dans un plan perpendiculaire à la ligne des pôles et passant par B .

L'*azimut* d'une direction BC (fig.4), BC étant une ligne droite sur la terre (appelée géodésique), est l'angle A mesuré au point B dans un plan horizontal, entre la direction du nord (BP) et la direction considérée (BC). Cet angle se mesure dans le sens des aiguilles d'une montre, à partir du nord.

II.4 REPRESENTATION PLANE DE LA SURFACE TERRESTRE ET COORDONNEES RECTANGULAIRES.

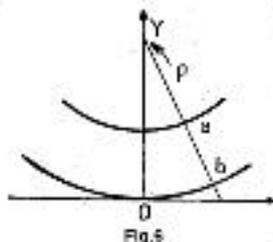
En topographie, on considère la surface de la terre, objet du levé, comme plane. On ne commet, de ce fait, aucune erreur appréciable si la surface levée est relativement réduite.

L'hypothèse ne serait plus valable pour la représentation précise d'un territoire étendu. En effet, pas plus qu'on peut parvenir à étendre sur une table une écorce d'orange sans la déchirer, on ne peut représenter une fraction importante du globe sans déformer les distances et les angles. Dans ce cas, on a projection de Mercator, projection de Bonne, etc...) dans la quelle les méridiens et les parallèles sont des courbes ou des droites.



La figure 5 représente schématiquement une projection Lambert, c'est elle qu'on utilise au Maroc. Cette projection, comme la plupart, n'est pas une représentation géométrique simple, mais seulement analytique. Cette projection Lambert est particulièrement propre à la représentation d'un pays plus étendu en longitude qu'en latitude.

Le principe du système Lambert est le suivant : Sur la surface de la terre, dont la forme est sensiblement celle d'un ellipsoïde (fig.5), on fait choix d'un méridien origine OP et d'un parallèle OB, tel que O soit au centre de la région à représenter



La fraction de la surface terrestre avoisinant le point O sera représentée en plan, dans un système de coordonnées rectangulaires XOY (fig. 6), d'après les conventions suivantes (à l'échelle de la carte près) :

- a) Les méridiens sont représentés par des droites concourantes en p ;
- b) Les parallèles sont représentés par des cercles concentriques ayant p pour centre ;
- c) Les longueurs mesurées sur la terre sont conservées sur le parallèle origine.

L'emploi des coordonnées géographiques est peu pratique pour la désignation et le calcul des points. Aussi a-t-on superposé au système des méridiens et des parallèles, un quadrillage Lambert qui permet de désigner les points par leurs coordonnées ramenées à des axes rectangulaires (fig. 7).

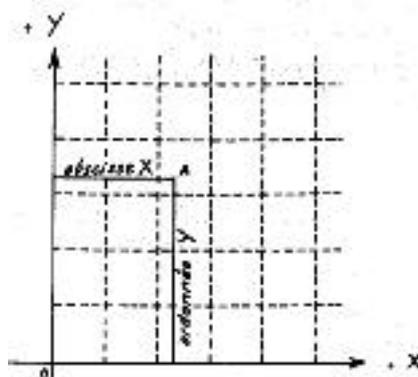


Fig. 7

Un arrêté interministériel prévoit que toutes les opérations topographiques importantes effectuées au Maroc pour les collectivités publiques devront obligatoirement être rattachées et calculées en coordonnées Lambert.

L'intérêt de ce système est qu'il est « conforme », c'est-à-dire qu'il conserve les angles mesurés sur le terrain, dans la représentation plane, à condition, toutefois, que les longueurs des côtés de ses angles soient petites (par exemple inférieures à 10 km).

En pratique, les travaux topographiques d'étendues limitées sont exécutés

- soit dans un système de coordonnées rectangulaires planes arbitraires XOY, que l'on choisit le plu près possible de la direction du nord (axe de Y),

- soit dans le système de coordonnées Lambert, en considérant la terre comme plate.

Un point est donc déterminé : en X (abscisse) et Y (ordonnée).

Signalons qu'il y a des formules simples permettent de passer d'un système XOY quelconque, au système Lambert XOY.

Le fait de se rattacher aux coordonnées Lambert ne créera aucune difficulté particulière et tout se passera comme si nous travaillons en coordonnées rectangulaires planes de système XOY.

II.5. LES AXES.

a) Nord Lambert (NL ou Y)

Direction des Y positifs en un point. Le Nord du quadrillage.

b) Nord géographique (NG)

Direction du point vers le pôle nord. En un point donné la direction du nord du quadrillage Lambert (ou axe des Y positifs) n'est confondue avec le nord géographique que le long du méridien origine.

L'angle entre le nord Lambert et le nord géographique est appelé « convergence des méridiens ».

c) Nord magnétique (NM)

Direction de la pointe bleue de l'aiguille aimantée. Elle varie dans le temps et est influencée par les corps magnétiques proches du lieu d'observation.

II.6. LES ORIENTATIONS

a) Azimut Terme général. (AZ)

l'azimut d'une direction est l'angle compté de 0 à 400 grades depuis une direction de référence dans le sens des aiguilles d'une montre. (Azimut géographique (AZG), Azimut magnétique (AZM), Gisement).

b) Gisement (G)

Angle compris entre l'axe des Y (nord Lambert ou axe des Y local) et une droite. Cet angle est mesuré dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre de 0 à 400gr (fig.8).

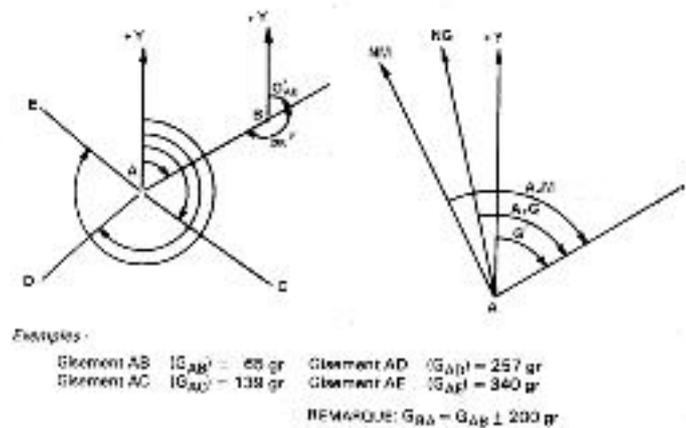


Fig.8

II.7. CANEVAS GEODESIQUE ET SYSTEME DE TRIANGULATION.

Le canevas est la charpente sur la quelle on va bâtir le lever. C'est un ensemble de points qui sont déterminés par des mesures effectuées sur le terrain (observations angulaires et mesures de longueurs), et dont on calcule les coordonnées XY dans un système unique.

Un canevas est nécessaire quelle que soit l'étendue du lever. Lever d'une propriété, d'une route, d'une voie ferrée, d'un îlot bâti, d'une ville, ou lever de tout un territoire (canevas de précision).

II.8. CANEVAS PLANIMETRIQUE DE PRECISION

Principe

Déterminer un ensemble de points, précise, homogène, dense et de conservation durable qui servira d'appui aux travaux ultérieurs.

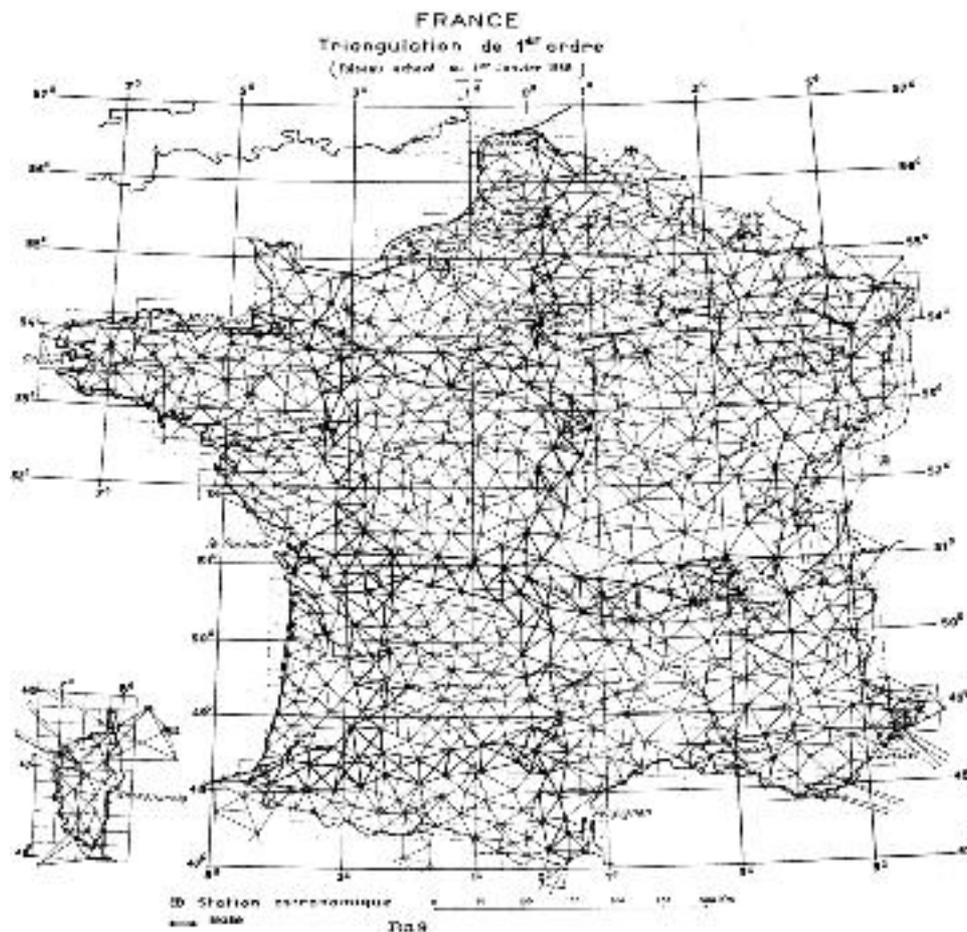
Afin d'éviter l'accumulation des erreurs le nombre des points sera réduit, et les méthodes utilisées pour l'établissement du canevas seront définies en fonction de la topographie des lieux et de l'étendu de la zone à lever.

a) Canevas de base

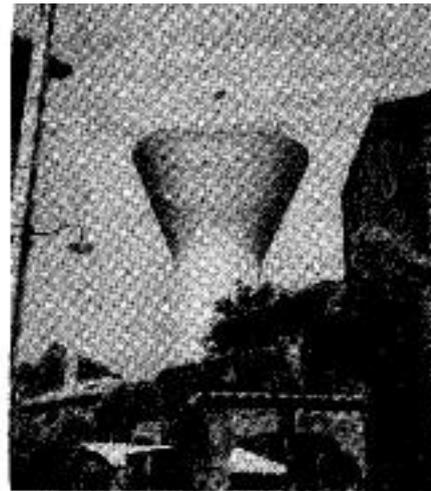
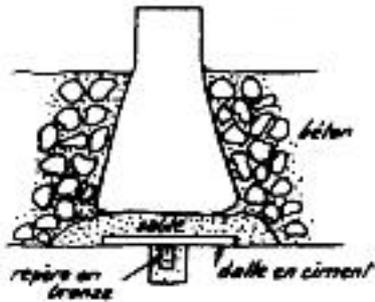
Le réseau géodésique de la France (fig.9) est réalisé dans un double but :

- scientifique* (connaissance de la forme et des dimensions de la terre).
- technique* (ossature pour tous les levés, carte du pays plans à grande échelle...).

La triangulation géodésique consiste à déterminer les coordonnées X et Y des sommets de triangles accolés dont on mesure les angles et un certain nombre des côtés.



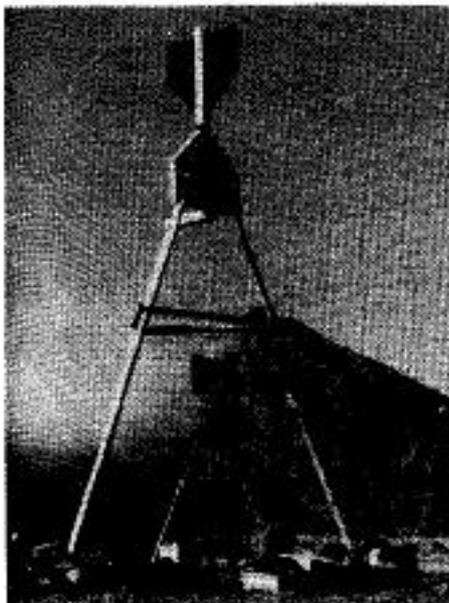
Les panneaux des mires sont disposés de telle façon qu'il n'y ait pas de difficulté d'observation quelle que soit l'orientation de la visée.



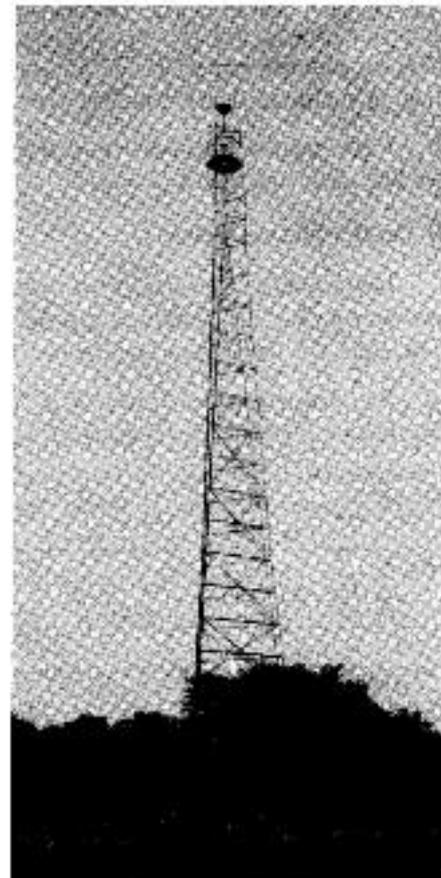
Mire sur château d'eau.



Borne géodésique



Mire en bois



Signal Brlby hauteur 42 m

Fig.12

Lorsque les observations ne peuvent être exécutées au sol, ou sur un édifice, il est nécessaire de procéder à une construction légère surmontée d'une mire (signal).

Les observations

Elles consistent à mesurer tous les angles des triangles et un certain nombre de longueurs.

Tableau récapitulatif

Ordres	Côtés en km	Visées en km	Précision en m	Erreur relative	Appareil
Bases	10		0,01	10^{-4}	Fil invar
1	40	40 à 60	0,08	2×10^{-3}	Cercle azimutal
2	15	15 à 30	0,08	$0,5 \times 10^{-3}$	Wild T3
3	6	6 à 12	0,10	2×10^{-3}	Wild T2
4	2,5	2 à 5	0,10	$0,5 \times 10^{-3}$	Wild T2
I.G.			1,0		

Fig.13

Les altitudes des points géodésiques sont données pour la cote mire (pont que l'on peut viser) et la cote sol (le terrain naturel au pied du point de triangulation). Elles sont déterminées :

- Par nivellement direct ou trigonométrique pour les points situés à proximité de repères de nivellement. Précision : le centimètre.

- Par nivellement géodésique calculé par cheminements indépendants de l'ordre des calculs planimétriques. On cherche seulement à utiliser des côtés aussi courts que possible et de pentes faibles. Précision : environ 10 centimètres.

Les calculs

Ils sont effectués dans le système Lambert. Les progrès de l'informatique ont permis d'obtenir des résultats beaucoup plus homogènes, en calculant en un seul bloc un nombre important de points qui sont compensés par ordinateur, en utilisant la méthode des « moindres carrés ».

d) Répertoires.

Lorsque les travaux sont terminés, IGN publie pour chaque feuille au 1/50 000 un répertoire comprenant :

- Un tableau des différents points classés par ordre des X croissants donnant pour chacun les coordonnées X, Y, et Z du point principal et des points rattachés ainsi qu'un croquis du point triangulé montrant distinctement le repère utilisé en planimétrie et celui visé en nivellement.

II.9. CANEVAS ALTIMETRIQUE

a) Nécessité.

Nous savons que les altitudes sont les hauteurs des points au – dessus du niveau moyen de la mer. Il serait impensable que l'on soit obligé de faire toutes les mesures en partant chaque fois du bord de la mer. Il est donc nécessaire que des repères, d'altitudes préalablement calculées, soient répartis sur tout le territoire. On obtient alors les altitudes des points à déterminer en mesurant les différences de niveau entre ces points et les repères connus. Il est souhaitable que la densité des repères soit suffisante pour l'utilisateur sans être trop importante à cause du prix de revient.

b) Le réseau du Nivellement Générale (fig. 15).



Fig. 15

- Le réseau de nivellement de 1^{er} ordre :

Il comprend 32 mailles polygones fermé de 550 km de périmètre en moyenne et 10 polygones s'appuyant sur les frontières et le littoral, soit 12715 km au total, le est entièrement terminé. Chaque maille de 1^{er} ordre est indiquée par une lettre majuscule. Les points des cheminements de 1^{er} ordre sont désignés par les deux lettres des deux mailles situées de part et d'autre du cheminement et par un numéro d'ordre représentant son rang dans le cheminement (fig. 16).

Exemple : U'V' 23 entre les mailles U' et V' et MU'I à l'intersection de trois mailles.



- Le réseau de nivellement de 2^{ème} ordre :

Chaque polygone de 1^{er} ordre est partagé en moyenne en 7 mailles de 2^{ème} ordre indiquées par une lettre minuscule du début de l'alphabet. Les points de cheminements de 2^{ème} ordre sont désignés par la lettre du polygone de 1^{er} ordre à l'intérieur duquel ils se trouvent, par les 2 minuscules des mailles de 2^{ème} ordre situées de part et d'autre et part un numéro d'ordre.

Exemple : U' bc 45 (fig. 16)

- Le réseau de nivellement de 3^{ème} ordre :

Chaque polygone de 2^{ème} ordre est partagé en moyenne en 10 mailles de 3^{ème} ordre indiquées par une lettre minuscule de la 2^{ème} moitié de l'alphabet suivie d'un 3 en indice. Les points des cheminements de 3^{ème} ordre sont désignés par les lettres des polygones de 1^{er} et 2^{ème} ordre par les minuscules des mailles de 3^{ème} ordre et par un numéro d'ordre.

Exemple : U' c₃ n₃ 15 (fig. 16).

- Le réseau de nivellement de 4^{ème} ordre :

Des traverses de 4^{ème} ordre sont exécutées à l'intérieur des mailles de 3^{ème} ordre. Un point de 4^{ème} ordre porte seulement l'indicatif de la maille de 3^{ème} ordre à l'intérieur de laquelle il se trouve suivi d'un numéro d'ordre.

Exemple : U' c m₃ 75.

- Nivellement complémentaire :

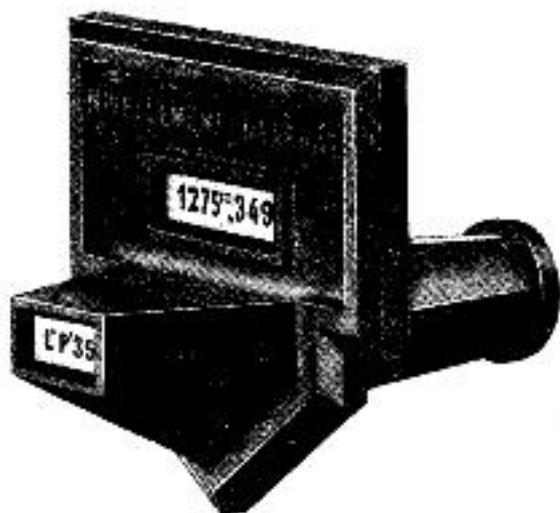
Les principales villes ont fait placer des repères et déterminer leurs altitudes. Il en a été de même pour toutes les communes possédant un plan d'Urbanisme. Ces repères plus denses en agglomération que les réseaux N.G.F. sont très utiles pour l'étude de tous les travaux d'intérêt général : chaussées, adduction d'eau, égouts, lotissements, etc...

- Repères de nivellement :

Il est indispensable que les altitudes obtenues grâce à des travaux coûteux soient conservées avec le plus de sécurité possible. On a donc placé les repères sur des édifices publics : Mairies, églises, gares, maisons de garde-barrière, sur des ponts et à défaut sur des immeubles privés et même sur des bornes kilométriques. On en a confié la conservation à la S.N.C.F. et aux Ponts et Chaussées. Cependant lorsqu'un repère disparaît, il est très facile de le rétablir à partir des points les plus proches. Les travaux sont bien moins importants que pour un point de triangulation. Les repères sont en fonte, avec l'indication « Nivellement Générale » et la cote d'altitude coulées dans la masse d'une plaquette en fonte visée sur le repère (fig. 17).

Ils sont cylindriques, la cote inscrite correspond au point le plus élevé du cylindre. Ils ont été complétés par des repères « Ponts et Chaussées » à console, la cote correspond à la surface de la tablette qui porte la mention « repère ».

Les repères du N.G.F. également en font sont placés avant les opérations de nivellement, et après calcul, on scelle dans les logements prévus une ou deux plaquettes en émail portant l'indication du N° du repère et son altitude N.G.F. En cas de nouvelle compensation, consécutive à des mesures nouvelles plus précises, on peut changer facilement la plaquette. Les repères sont de deux sortes : à console, le long de voies ferrées, cylindriques, le long des routes. Le point nivelé est matérialisé par le sommet d'une petite calotte sphérique appelée pastille (fig. 17).



Repère à console (cl. I.G.N.)



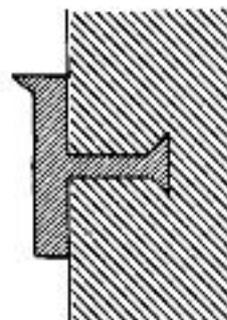
Repère cylindrique (cl. I.G.N.)



Repère Bourdaloué (cl. I.G.N.)



Rivet.



Repère Ponts et Chaussées.

Fig.17

-Répertoires de nivellement :

L' Institut Géographique National publie les répertoires du Nivellement Général par fascicules d'une demi- feuille de la carte au 1/50 000 (partie est ou partie ouest). La figure 18 est un extrait de répertoire. Ce tableau comprend : la situation du repère par ses coordonnées Lambert arrondis à l'hectomètre le plus proche, un croquis d'indentification, le numéro matricule du repère, sa position kilométrique, la désignation de la construction sur laquelle est placé le repère et son altitude orthométrique, ou normale.

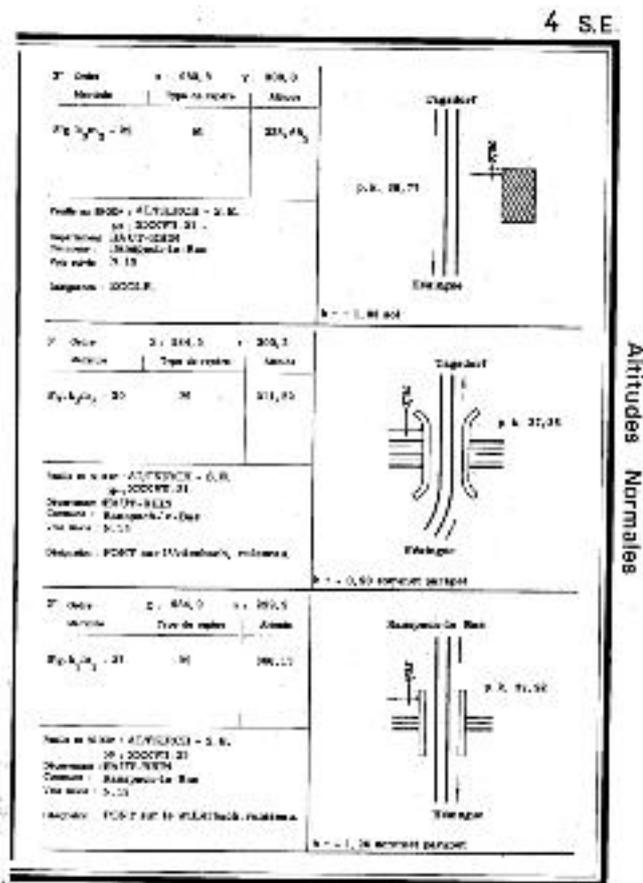


Fig. 18

c) Précision.

Les mesures ont été conduites pour assurer la meilleure précision possible à l'ensemble. Les erreurs accidentelles des différents ordres sont :

- 1^{er} ordre.....0,8 mm au km
- 2^{ème} ordre.....1 mm au km
- 3^{ème} ordre.....3 mm au km
- 4^{ème} ordre.....4 mm au km

III. MESURE DES DISTANCES

III.1. GENERALITE

Le mesurage linéaire, généralement appelé chaînage, est la base de tout opération topo métrique. Même si le chaînage semble à première vue très simple, il faut se méfier ; il faut lui apporter toute l'attention possible et utiliser la bonne technique. D'une façon générale, la distance entre deux points est toujours *ramenée à l'horizontale* soit par calculs, soit par méthode utilisée lors du mesurage. La mesure linéaire s'effectue de trois façons : par la *mesure directe*, par la *mesure indirect* ou par la *mesure électronique*. Une mesure est appelée direct lorsqu'on parcourt la ligne à mesurer en appliquant bout à bout un certain nombre de fois l'instrument de mesure. Mesurer directement une longueur c'est la comparer à une mesure étalon, (mètre, décamètre, double décamètre,....etc) que l'on porte bout à bout autant de fois qu'il est nécessaire.

III.2. LES INSTRUMENTS POUR MESURES DES DISTANCES.

a) Le mètre ou le double mètre

Ruban métallique enroulé dans un boîtier. D'un maniement aisé il est utilisé pour la mesure de détails (hauteur des tourillons, mesures en renforcement.....).

b) Le pas ou le double pas

Cette méthode permet de mesurer rapidement les dimensions de certains détails pour les levés à petit échelle (1/2 000 et en - dessous). Elle permet également de vérifier si une erreur importante n'a pas été commise sur la mesure d'une distance.

c) Le télescope mètre ou « télescopique »

Il remplace les règles en bois et en métal utilisées jadis. Constitué de plusieurs éléments coulissants, il est télescopique et rigide, et permet de mesurer avec précision des détails jusqu'à 5 m.

Surtout utilisé pour les mesures dans les parties bâties, il peut être manié par un seule personne.

d) La chaîne d'arpenteur

Présentant de nombreux inconvénients (maillons de fil de fer, reliés entre eux par les anneaux) elle est actuellement abandonnée.

e) Le ruban (étalon à bouts)

Il est en acier ou en inox, de longueurs 10, 20, 30 ou 50 m, il est bien adapté pour tous les travaux topo métriques.

Le ruban porte : *tous les mètres* une plaque de cuivre indiquant la distance :

- tous les 20 cm un rivet et une rondelle de cuivre,
- tous les 10 cm (impairs) un rivet de cuivre ou un simple trou.

Les mètres sont souvent indiqués sur les deux faces, en sens opposés, de façon à pouvoir donner la distance à partir de l'une quelconque des deux poignées.

Certains rubans ont une échelle en centimétrique.

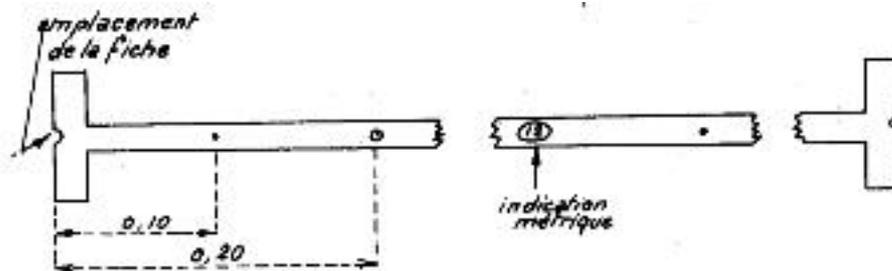


Fig. 21

f) La roulette (étalon à traits)

Montée dans un boîtier avec un sans marche, elle est d'un emploi plus aisé. Elle est munie, soit d'un ruban plastifié (très sensible aux différences de températures, allongement important) soit d'un ruban d'acier, de 10, 20, 30 ou 50 m. Graduations tous les centimètres. L'anneau des rubans à roulette n'est pas compris dans la longueur.

Malgré l'utilisation de plus en plus courante des roulettes, les rubans restent l'instrument le plus précis pour les raisons suivantes :

- Les mesures sont faites « bout à bout », les poignées articulées étant comprises dans la longueur.

- Les poignées possèdent des cannelures demi circulaires du même diamètre que les fiches.



Télescopie



Roulette à ruban en bois



Roulette à manche

Fig.22

III.3. LE JALONNEMENT

Un *jalon* est un tube métallique de 200 x 3 cm environ, constitué de un ou plusieurs éléments, peint en rouge et blanc, enfoncé par percussions successives dans un sol meuble, maintenu par un trépied léger sur une surface dure, comme un trottoir asphalté par exemple (fig. 23).



porte-jalon

Fig. 23

Tous les points d'une verticale ayant la même image topographique, la verticalité du jalon est réalisée à l'estime ou en le plaçant à l'intersection de deux plans verticaux perpendiculaires définis par l'œil de l'opérateur et par un fil à plomb tenu à bout de bras.

Le *jalonnement* consiste à aligner plusieurs jalons entre deux autres, afin de disposer de repères intermédiaires au cours du mesurage.

Le *jalonnement* d'un alignement peut se faire, selon la longueur et la précision demandée :

- à vue,
- au fil à plomb,
- à l'aide d'un jalon,
- au moyen du réticule d'une lunette,
- avec un laser d'alignement.

Plusieurs cas peuvent se présenter :

a) De A on voit B et le jalonnement est sans obstacle

A vue

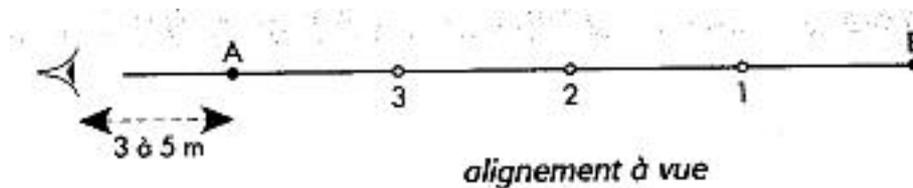


Fig. 24

L'opérateur se place à quelques mètres derrière le jalon A (fig. 24), vise le bord du jalon en direction de B et fait placer par un aide les jalons intermédiaires 1, 2, 3 *en commençant de préférence par le plus éloigné*. Dans le cas d'une distance courte, l'opérateur peut aligner chaque portée de ruban sans jalonnement préalable.

Avec un théodolite

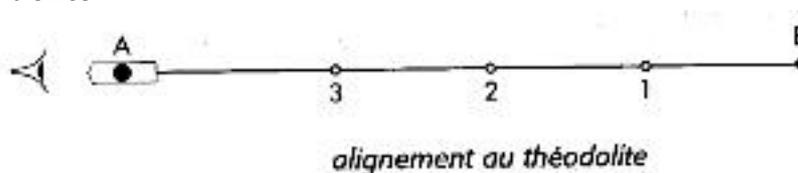


Fig. 25

Après avoir mis le théodolite en station au point A (fig. 25), viser le jalon B à son axe et le plus près possible du sol de façon à réduire l'influence du défaut de verticalité, puis faire placer par un aide les jalons intermédiaires en commençant impérativement par le plus éloigné.

III.4. MESURAGE A PLAT

a) le terrain est horizontal

Règle générale. L'opérateur se place à l'arrière, l'aide à l'avant, en se mettant sur le côté du ruban ; L'opérateur place l'extrémité 0 du ruban sur le repère, aligne l'aide qui tend le ruban et marque son extrémité en enfonçant une fiche au sol.

Cette fiche doit être enfoncée perpendiculairement au ruban et inclinée vers le sol.

La même opération se répète autant de fois qu'il est nécessaire.

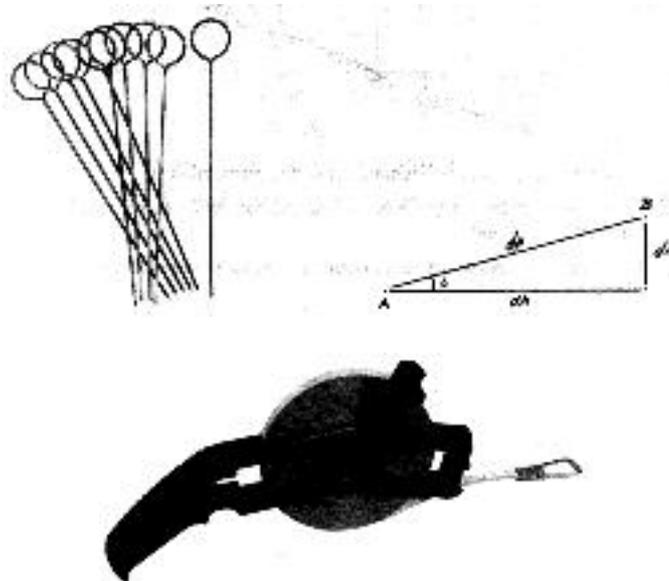


Fig. 28

On utilise généralement un jeu de onze fiches de façon que l'échange de dix fiches s'effectue à 100 m avec un ruban de 10m ou à 200 m avec un ruban de 20 m, une fiche restant au sol pour matérialiser la dernière portée. Le terrain étant horizontal, on obtient une distance horizontale.

b) le terrain est incliné, la pente régulière

On applique la règle générale, la distance obtenue est une *distance suivant la pente* (dp). La distance à introduire dans les calculs est la distance horizontale.

- si on a mesuré le site (i), on aura :

$$dh = dp \cos i$$

- si on connaît la dénivelée (dn) entre A et B on applique la formule :

$$c = dp - dh = \frac{dn^2}{2 dp} \quad \text{ou} \quad dh = dp - c$$

On peut également à l'aide des calculatrices, obtenir la distance horizontale:

$$dh^2 = dp^2 - dn^2$$

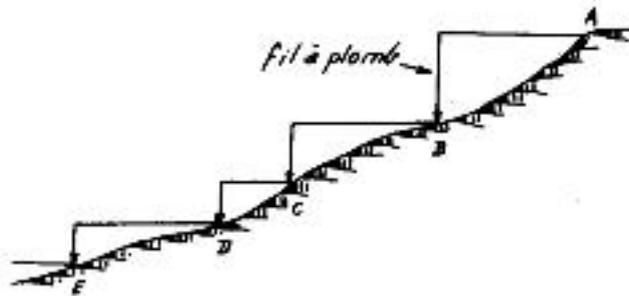
c) Le terrain est incliné, la pente irrégulière

On décompose la distance en tronçons d'égale inclinaison, on mesure le site ou la dénivelée de chaque tronçon.

Mesurage par ressauts horizontaux (cultellation)

Méthode utilisée lorsque le terrain est très irrégulier, caillouteux, broussailleux,etc).

Fig. 29



On opère par portées horizontales (1 portée ou fraction de portée).

L'extrémité « avant » est projetée verticalement au sol à l'aide d'un fil à plomb (chaînage en descendant).

Le chaînage est très délicat en montant ou lorsque les deux extrémités doivent être plombées.

III.5. MESURE DES LONGUEURES INDIRECTE

Une mesure indirecte est une mesure que l'on obtient par un mesurage optique ou électrooptique, sans que l'opérateur ait à parcourir la longueur à mesurer

Mesure optique

Mesures stadimétriques en terrain incliné

La mire étant tenue verticalement en B, les lectures stadimétriques l et m ne permettent pas d'obtenir la distance horizontale entre A et B. Des corrections sont à appliquer.

Soit B' un point sur la mire correspondant à la hauteur de l'instrument ($ht = hv$).

L'instrument étant en A, on vise B' avec le trait niveleur et on fait les lectures l et m sur la mire avec les traits stadimétriques. Considérons, en premier approximation, au point B' la perpendiculaire à la visée A'B'. Elle coupe les droites A'l et A'm aux points a et b .

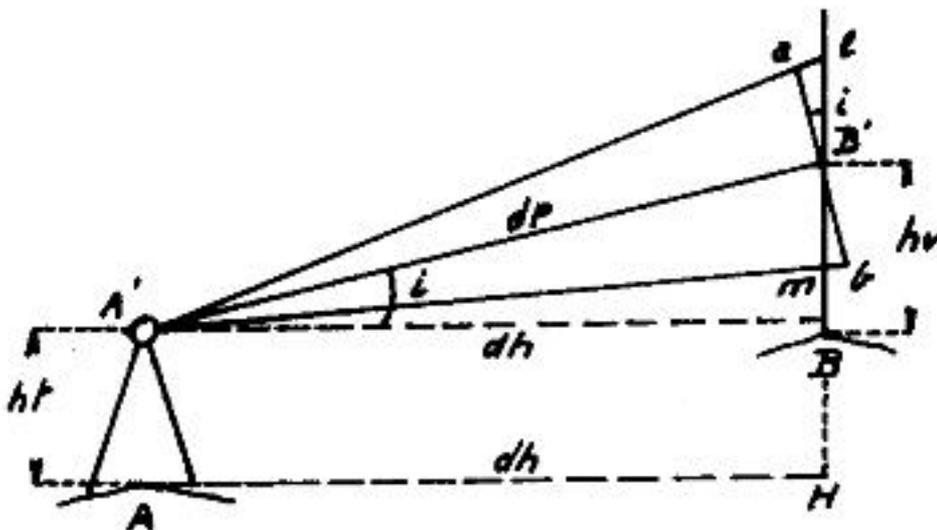


Fig. 33

Les triangles $B'a'$ et $B'mb$ sont sensiblement rectangles en a et b et leurs angles en B' sont égaux à i , inclinaison de la visée sur l'horizontale (en effet l'angle de site en A' est égale à l'angle i en B' car leurs côtés sont respectivement perpendiculaires.

$$\text{Donc } aB' = lB' \cos i$$

$$bB' = mB' \cos i$$

$$\text{d'ou } ab = lm \cos i$$

$$\text{ce qui entraîne: } dp = A'B' = lm \times 100 \times \cos i \quad dh = dp \cos i = lm \times 100 \times \cos^2 i$$

Exemple:

Lecture trait stadimétriques supérieur $l = 1,676$

Lecture trait stadimétriques inférieur $m = 1,364$

Le site mesuré sur B' ($ht = hv$) est égal à $4,28$ gr.

$$\text{On aura } = (1,676 - 1,364) (100) (\cos^2 4,28) = 31,20 \times 0,995487 = 31,06 \text{ m}$$

III.6. RAPPELS DE TRIGONOMETRIE

Cette annexe n'est pas un cours de trigonométrie. Seules les applications topographiques sont décrites. Le but est, soit de rappeler certaines formules à ceux qui ont des notions de trigonométrie, soit de permettre à ceux qui ne l'ont jamais étudiée de résoudre facilement les problèmes simples qui se posent en topographie.

La plupart des appareils de mesures d'angles horizontaux sont gradués dans le sens des aiguilles d'une montre. Les gisements (définition donnée au § 1.6.b) sont également comptés dans ce sens. Pour cette raison, nous ne parlerons pas d'arcs orientés trigonométriques dont le sens positif est inverse. Certaines « solutions pratiques » permettent de mener à bien les calculs.

Définitions : Extension des notions d'arc et d'angle

- En trigonométrie, on utilise souvent comme unité d'arc : *le radian*.
- *Arc généralisé* : C'est un arc dont la mesure peut dépasser 400 grades.
- *Cercle orienté* : C'est un cercle sur lequel on a choisi un sens de parcours comme sens positif (en topographie, sens des aiguilles d'une montre).

Un angle au centre a même mesure que l'arc intercepté en unités correspondantes.

Fonctions circulaires

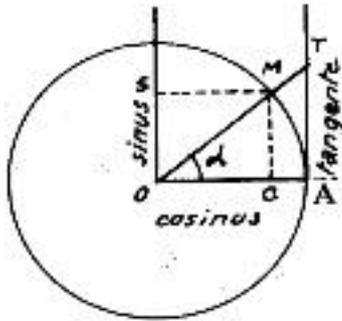
– Soit un cercle de rayon « UNITE ».

On appelle :

<i>sinus</i>	de l'arc \widehat{AM} ou de l'angle MOA	$OS = CM = (\sin)$
<i>cosinus</i>	de l'arc \widehat{AM} ou de l'angle MOA	$OC = SM = (\cos)$

tangente de l'arc \widehat{AM} ou de l'angle MOA

$$AT = \frac{\sin \text{MOA}}{\cos \text{MOA}} = (\text{tg})$$



$$\text{cotangente} = \frac{1}{\text{tangente}} = \frac{\text{cosinus}}{\text{sinus}} = (\text{cotg})$$

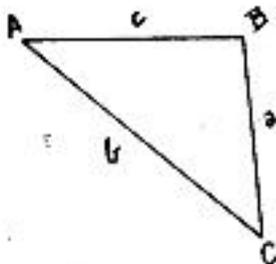
$$OS = CM = \sin \alpha \text{ donc } OC^2 + CM^2 = OM^2$$

$$\text{mais } OM = 1 \text{ d'où}$$

$$\sin^2 + \cos^2 = 1$$

Formules dans le triangle quelconque

La plupart des problèmes topographiques font appel à la formule dite « relation des sinus ».



Désignons AB par c
BC par a
AC par b

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

$$a = \frac{b \sin A}{\sin B} = \frac{c \sin A}{\sin C}$$

$$b = \frac{a \sin B}{\sin A} = \frac{c \sin B}{\sin C}$$

$$c = \frac{a \sin C}{\sin A} = \frac{b \sin C}{\sin B}$$

Ces formules restent valables pour le triangle rectangle. Un des angles étant égal à 100 grades, le sinus est égal à 1.

Autre formule utilisée (plus rarement)

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

et les deux relations analogues :

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

Surface d'un triangle (S)

$$S = 1/2 bc \sin A$$

$$S = 1/2 ca \sin B$$

$$S = 1/2 ab \sin C$$

Angles et arcs complémentaires

$$\sin \left(\frac{\pi}{2} - A \right) = \cos A$$

$$\cos \left(\frac{\pi}{2} - A \right) = \sin A$$

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - A \right) = \operatorname{cotg} A$$

$$\operatorname{cotg} \left(\frac{\pi}{2} - A \right) = \operatorname{tg} A$$

$$2 \pi = 400 \text{ gr}$$

$$\pi = 200 \text{ gr}$$

$$\frac{\pi}{2} = 100 \text{ gr}$$

$$\sin 30 \text{ gr} = \cos 70 \text{ gr}$$

$$\operatorname{tg} 79 \text{ gr} = \operatorname{cotg} 21 \text{ gr}$$

Règle mnémotechniques pour les utilisateurs de tables de valeurs naturelles

– Lorsque le chiffre des *centaines* de grades est *pair* la ligne trigonométrique *ne change pas*.

– Lorsque le chiffre des *centaines* de grades est *impair* la ligne trigonométrique *change*.

$$\sin 120 \text{ gr} = \cos 20 \text{ gr} \qquad \sin 220 \text{ gr} = \sin 20 \text{ gr}$$

La somme des angles d'un triangle est égale à 200 grades

$$A + B + C = 200 \text{ gr}$$

Applications numériques

1) Triangle rectangle

a) *On connaît les deux côtés de l'angle droit*

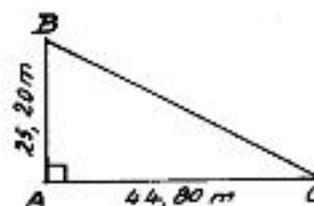
$$BC^2 = AB^2 + AC^2 \text{ (théorème de Pythagore)}$$

$$= (25,20)^2 + (44,80)^2 = 2\,642,08 \quad BC = \sqrt{2\,642,08} = 51,40 \text{ m}$$

$$\frac{BC}{\sin A} = \frac{AB}{\sin C} = \frac{AC}{\sin B} \qquad A = 100 \text{ grades} \qquad \sin A = 1$$

$$\sin C = \frac{AB}{BC} = \frac{25,20}{51,40} = 0,49027 \qquad C = 32,62 \text{ gr}$$

$$\sin B = \frac{AC}{BC} = \frac{44,80}{51,40} = 0,87160 \qquad B = 67,38 \text{ gr}$$



Vérification: $A + B + C = 200 \text{ gr}$

On aurait pu également appliquer la formule en tangente
B est le complément de C $\sin B = \cos C$

$$\frac{AB}{\sin C} = \frac{AC}{\sin B} \text{ donc } \frac{AB}{AC} = \frac{\sin C}{\sin B} = \frac{\sin C}{\cos C} = \text{tg } C$$

$$\frac{25,20}{44,80} = 0,5625 = \text{tg } C \quad C = 32,62 \text{ gr}$$

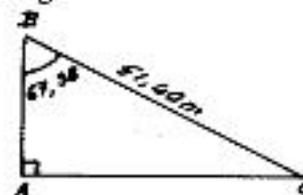
b) On connaît l'hypothénuse et un angle

On peut déduire l'angle C $B = 67,38 \text{ gr}$
 $C = 100 - 67,38 = 32,62 \text{ gr}$

$$\frac{AC}{\sin B} = \frac{AB}{\sin C} = BC$$

$$AC = BC \sin B \quad 51,40 \times \sin 67,38 = 44,80 \text{ m}$$

$$AB = BC \sin C \quad 51,40 \times \sin 32,62 = 25,20 \text{ m}$$



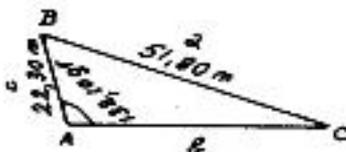
2) Triangle quelconque

a) On connaît un angle et 2 côtés non adjacents

$$\frac{BC}{\sin A} = \frac{AB}{\sin C} \quad \sin C = \frac{AB \sin A}{BC} = \frac{22,30 \times \sin 132,10}{51,80} = 0,3769$$

$$B = 200 \text{ gr} - (132,10 + 24,60) = 43,30 \text{ gr} = B \quad \hat{C} = 24,60 \text{ gr}$$

$$\frac{AB}{\sin C} = \frac{AC}{\sin B} \quad AC = \frac{22,30 \times \sin 43,30}{\sin 24,60} \quad AC = 37,21 \text{ m}$$



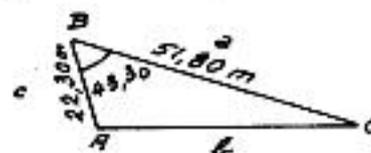
b) On connaît un angle et les deux côtés adjacents

Cas particulier où l'on ne peut pas appliquer la relation des sinus. On utilise la
formule $b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B$.

$$b^2 = (51,80)^2 + (22,30)^2 - 2(22,30 \times 51,80 \times \cos 43,30)$$

$$b^2 = 3\,180,53 - 2(898,093) = 1\,384,344$$

$$b = \sqrt{1\,384,344} = \boxed{37,21 \text{ m} = AC}$$



On est ramené au cas précédent pour calculer les angles A et C.

3) Autres formules

Les formules relatives sont celles qui sont les plus utilisées dans les calculs topométriques. Il est toutefois utile de connaître quelques autres relations.

a) Formules d'addition

$$\begin{aligned}\sin (a + b) &= \sin a \cos b + \sin b \cos a \\ \cos (a + b) &= \cos a \cos b - \sin a \sin b \\ \operatorname{tg} (a + b) &= \frac{\operatorname{tg} a + \operatorname{tg} b}{1 - \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}\end{aligned}$$

b) Formules en $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ (utilisées pour les calculs d'implantation de courbes)

On pose $t = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$

$$\begin{aligned}\sin \alpha &= \frac{2t}{1+t^2} \\ \cos \alpha &= \frac{1-t^2}{1+t^2} \\ \operatorname{tg} \alpha &= \frac{2t}{1-t^2}\end{aligned}$$

c) Lignes trigonométriques des petits angles

Si α est très petit (en topométrie ≤ 4 grades).

On admet que les sinus MH, la tangente AT et l'arc AM ont sensiblement la même valeur.

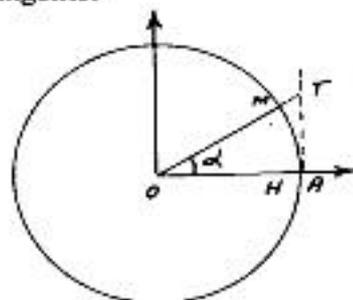
Par conséquent, la mesure d'un très petit angle exprimé en radians est très voisine de la valeur numérique de son sinus ou de sa tangente.

Exemple :

$$\alpha = 3,738 \text{ gr} = 3,738 \times 0,015708 = 0,05872 \text{ rd}$$

$$\sin 3,738 = 0,05868$$

$$\operatorname{tg} 3,738 = 0,05878$$



Soit une erreur inférieure à 1 cm pour 100 m.

IV. MESURE DES ANGLES

IV.1. GÉNÉRALITÉS.

En principe, en topographie, les angles se mesurent toujours dans un plan horizontale ou dans un plan vertical (jamais dans un plan oblique).

Les angles horizontaux appelés aussi azimutaux peuvent être enregistrés de deux manières différentes :

a) Observés et dessinés directement sur une feuille de papier placée sur une planchette horizontale. L'instrument utilisé est un goniographe composé, d'un trépied, d'une planchette, d'un organe de visée et d'une règle.

b) Mesurés à l'aide d'un goniomètre. Dans ce cas les instruments utilisées sont les suivants :

- *Équerres optiques* qui ne permettent que de tracer sommairement des perpendiculaires ou de s'aligner entre deux points.

- *Cercles d'alignement* avec lesquels seuls les angles horizontaux peuvent être mesurés. Ces instruments sont tombés en désuétude et remplacés par les théodolites.

- *Théodolites* dont les lectures ne se fait plus sur des verniers mais à l'aide de microscopes permettant d'apprécier, suivant le degré de précision de l'instrument le centigrade, le milligrade ou le déci milligrade.

Le choix de la méthode d'observation angulaire dépendra de l'instrument utilisé et de la précision recherchée.

IV.2. LES ÉQUERRES OPTIQUES.

L'équerre optique est l'instrument de mesure d'angle dans un plan horizontal le plus simple : il ne permet que d'élever des perpendiculaires ou de se situer sur l'alignement entre deux points.

L'équerre est constamment utilisée pour les levés des détails par le procédé des abscisses et ordonnées et pour de nombreuses constructions géométriques rapides effectuées au cours des levés. L'observation se fait sans lunette, mais simplement par contacts optiques de points vus à l'œil nu, sur d'autres vus par réflexions sur des glaces ou dans des prismes.

Ce petit instrument se tient à la main, parfois on laisse pendre un fil à plomb immédiatement au-dessous de lui. Il en existe plusieurs types.

Les équerres optiques utilisées actuellement sont celles à prismes pentagonaux. Elles existent sous deux formes :

a) L'équerre à prisme simple

Elle se compose de deux miroirs dont les plans perspectifs font un angle de 50 gr.

Si l'œil de l'opérateur est en A il verra A' (image de A) perpendiculairement à celle du rayon incident.

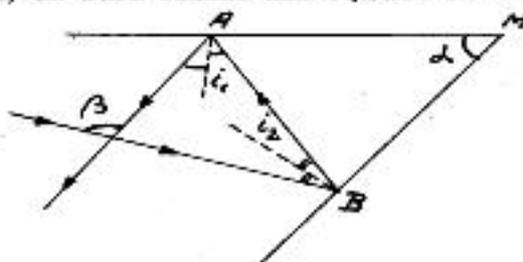
L'équerre optique se tient à la main, le centrage peut se faire soit avec un fil à plomb soit à l'aide d'une canne à plomber.

Principe

Soit deux surfaces réfléchissantes formant un angle α . Les rayons incidents et émergents font entre eux un angle β dont la valeur, exprimée en fonction des angles i_1 et i_2 , est égale à $2(i_1 + i_2)$.

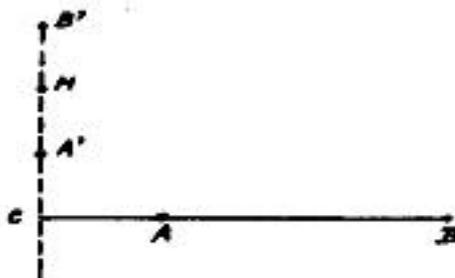
On a dans le triangle ABM (en grades), $\alpha = 200 - (100 - i_1) - (100 - i_2) = i_1 + i_2$ d'où $\beta = 2\alpha$.

Si $\alpha = 50$ grades, on aura réalisé une équerre donnant des angles droits.



L'équerre à prisme simple permet :

1) A partir d'un point pris sur un alignement de tracer une perpendiculaire à celui-ci.



L'opérateur est en C, il s'assure qu'il est sur l'alignement AB. Les jalons en A et B sont vus dans l'équerre tenue verticalement comme s'ils étaient en A'B'. Il suffit de placer un jalon en M dans la direction de A'B' en le visant dans une fenêtre située au-dessus de l'équerre.

2) Abaisser la perpendiculaire d'un point M sur un alignement AB

L'opérateur se déplace jusqu'au moment où il voit les trois jalons superposés.

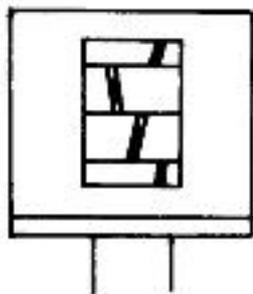
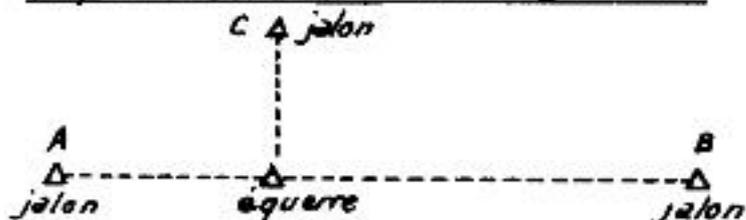
3) Se placer sur un alignement

On se place le plus près possible de l'alignement et en se déplaçant on arrive par tâtonnement à se mettre sur l'alignement AB.

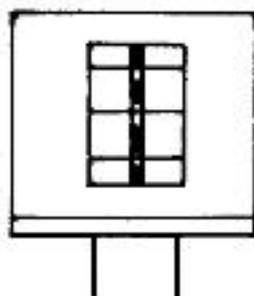
b) Équerre à double prisme

Elle est constituée par deux prismes superposés. Elle permet les mêmes opérations que l'équerre à prisme simple mais l'opération est plus rapide

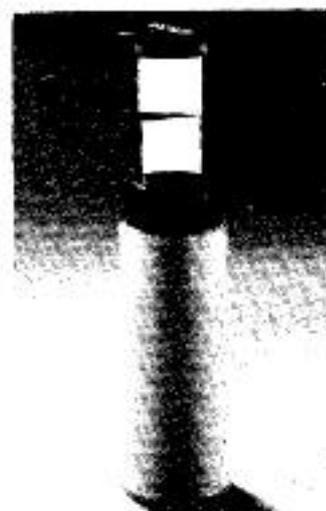
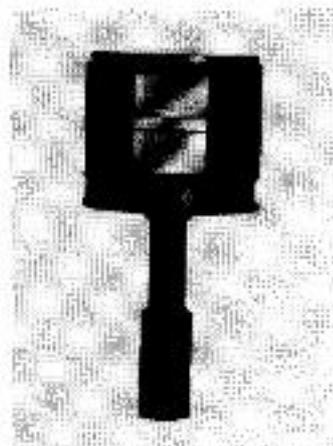
Perpendiculaire sur un alignement



position approchée



*coïncidence des images
des 3 jalons*



*Équerre de raccordement
Documents S.L.O.M.*

c) Équerre de raccordement

Elle est composée de deux miroirs, l'un fixe, l'autre tournant.

Elle est destinée au tracé direct sur le terrain des courbes de raccordements circulaires.

Il existe un type d'équerre de raccordement muni à sa partie supérieure d'un tambour gradué, donnant la valeur des angles à 2 dgr près. Cette équerre se nomme « curvigraphe ».

IV.3. UNITÉS DE MESURES DES ANGLES.

- En trigonométrie et dans les calculs d'erreurs on utilise comme unité *le radian* (rad).

Le radian est un arc dont la longueur est égale au rayon. Dans un cercle la circonférence est égale :
au diamètre $\times \pi$, le rayon étant égal à l'unité.

Exprimée en radians, la circonférence mesurera :
 2π radians.

On appelle angle de un radian un angle qui dans la position d'angle au centre découpe un arc de un radian.

- En navigation et en astronomie, on utilise comme unité d'angle *le degré* ($^{\circ}$) (système sexagésimal).

Tout angle au centre a même valeur que l'arc intercepté.

Le degré est l'angle au centre qui intercepte sur la circonférence un arc d'une longueur égale à $1/360$ de celle de cette circonférence.

La circonférence vaut donc 360° ,
la minute d'angle ($'$) vaut $1/60$ de degré,
la seconde d'angle ($''$) vaut $1/60$ de minute.

En topométrie, l'unité d'angle employée est :
le grade : (gr) ou gon (g), (système centésimal).

La circonférence vaut 400 gr.

Sous-multiples : le décigrade (dgr) = 0,1 gr,
le centigrade (cgr) = 0,01 gr,
le milligrade (mgr) = 0,001 gr,
le décimilligrade (dmgr) = 0,0001 gr.

Il est utile dans certains calculs de pouvoir passer des grades aux radians, et inversement.

Correspondance entre les différentes unités de mesures de quelques angles caractéristiques

400 gr	360°	6,28 rad	2π rad	circonférence
200 gr	180°	3,14 rad	π rad	angle plat
100 gr	90°	1,57 rad	$\frac{\pi}{2}$ rad	angle droit
63,66 gr	$57,30^{\circ}$	1 rad	—	—
1,711 gr	1°	—	—	—
1 gr	$0,9^{\circ}$	0,0157 rad	—	—

VI.4. LE THÉODOLITE

a) Conception

Le théodolite est un instrument de mesurage des angles, constitué essentiellement de trois axes concourants et de deux goniomètres appelés simplement *cercles* (fig. 39).

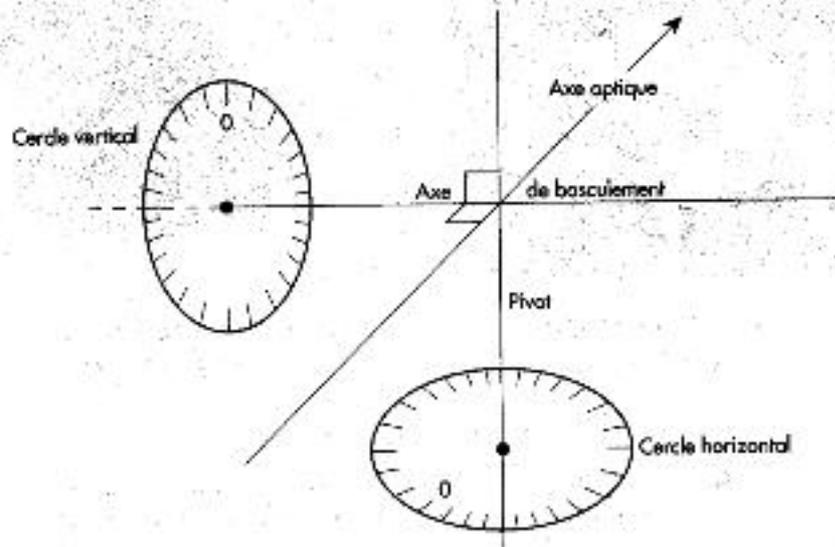


Fig. 39

On distingue :

- le *pivot*, ou axe principal, *calé* verticalement et *centré*, c'est-à-dire confondu avec la verticale du point au sol ou au « toit » en travaux souterrains ; le théodolite est alors *en station*, c'est-à-dire prêt pour le mesurage des angles horizontaux et verticaux ;

- l'*axe de basculement*, encore appelé axe secondaire où axe des tourillons, perpendiculaire au précédent, donc horizontal au moment des observations ;

- l'*axe optique* de la lunette, perpendiculaire à l'axe de basculement, balaye un plan de visée vertical ;

- le *cercle horizontal*, centré sur le pivot, permet la mesure des angles horizontaux ;

- le *cercle vertical*, ou éclinètre, centré sur l'axe de basculement, autorise a mesure des angles verticaux.

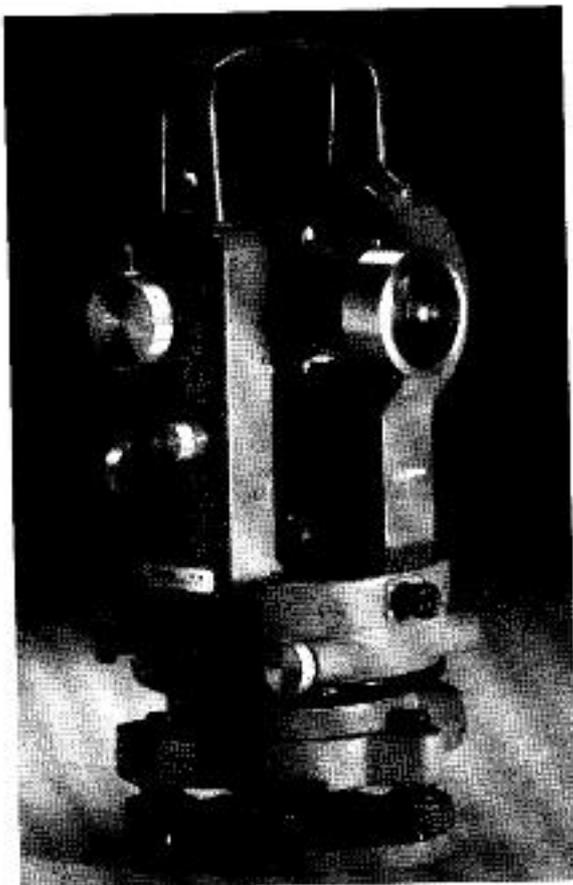


Figure 40 : théodolite optique



Figure 41: théodolite électronique

À l'heure actuelle, deux catégories d'instruments sont utilisés :

- les *théodolites optiques* (fig. 40) , instruments anciens, avec lesquels l'opérateur procède une lecture optique en estimant généralement le milligrade pour les théodolites ordinaires, 1 décimilligrade pour les théodolites de précision ;
- les *théodolites électroniques* (fig. 41) , à lecture automatique, le microprocesseur intégré gérant le déroulement de la mesure et transmettant à l'affichage à cristaux liquides l'angle horizontal et l'angle zénithal, avec une résolution pouvant atteindre 0,1 mgon.

Les sociétés européennes Leica et Zeiss ont cessé la fabrication des théodolites optiques désormais supplantés par les théodolites électroniques dans tous les ordres de précision.

b) Pivot

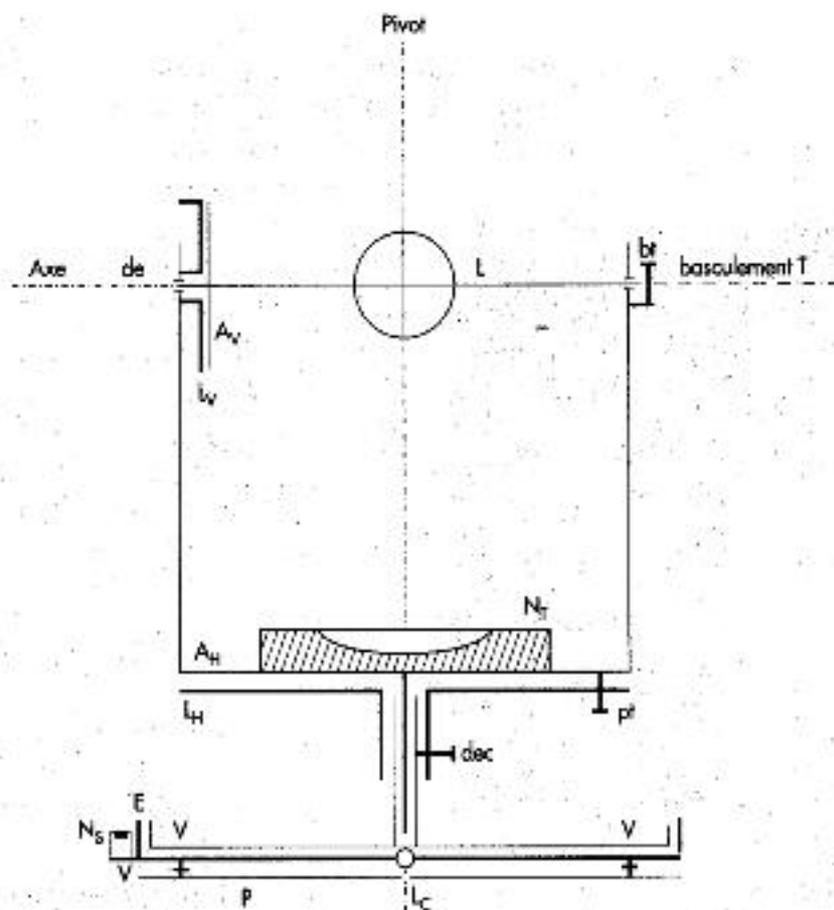


Figure 42 : coupe du théodolite

Embase

La plaque de base P (fig.42), fixée sur la tête du trépied ou sur une console spéciale, porte l'embase E à trois vis calantes V formant un triangle équilatéral dont le pivot est le centre ; les vis calantes permettent le basculement de l'instrument, mouvement amorti par une plaque ressort.

Le calage sommaire de l'embase est réalisé avec la nivelle sphérique Ns, constituée d'une fiole en verre taillée intérieurement dans sa partie utile suivant une calotte sphérique, remplie incomplètement d'alcool ou d'éther très fluide, l'espace occupé par les gaz ayant la forme d'une bulle circulaire. La nivelle est calée lorsque la bulle est concentrique au cercle-repère gravé sur la fiole ; si tout était parfait le pivot serait alors vertical.

c) Cercle horizontale
Goniomètre

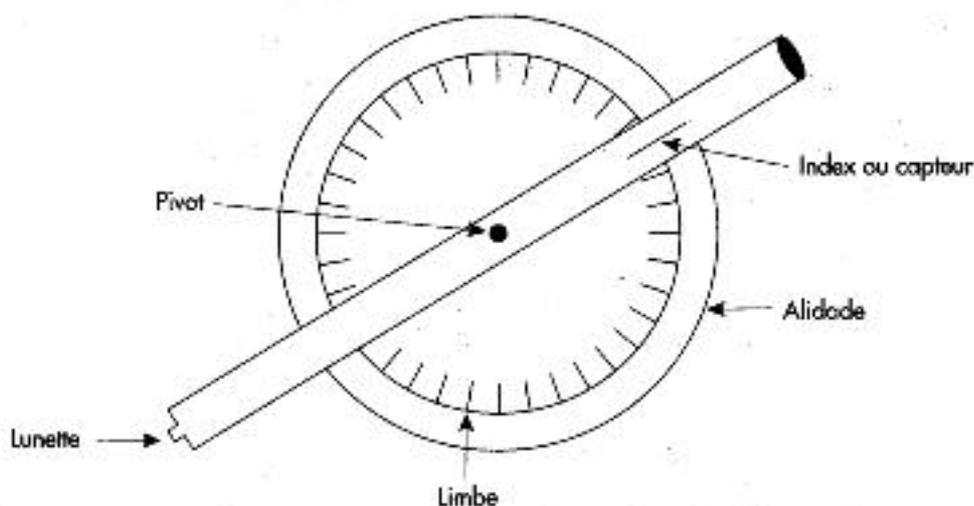


Fig. 43 : goniometre

Un goniometre est essentiellement constitué d'un *limbe* et d'une *alidode* (fig.43) :

- le limbe plan circulaire L_H (fig.43) porte l'échelle à traits, chiffrée généralement en g_{100000} et croissant dans le sens des aiguilles d'une montre pour les théodolites optiques, incrémentée dans un sens ou dans l'autre, en grades ou en degrés, pour les théodolites électroniques ;
- l'alidode A_H est le cercle plan concentrique au limbe, mobile avec le pivot, qui porte la lunette et un index pour les théodolites optiques, un capteur pour les théodolites électroniques.

Sur certains théodolites le plomb optique est monté sur l'alidode, notamment les instruments munis de centrage forcé.

d) Cercle vertical

L'alidode A_H porte deux montants verticaux (fig.42) qui soutiennent l'axe T sur lequel est centrée la lunette L. Cette dernière bascule, en balayant un plan vertical de visée, à l'aide de la vis de basculement bt complétée par sa vis de fin pointé ou, sur les instruments les plus récents, avec une unique vis sans fin.

Centré sur l'axe T, le goniometre vertical est constitué schématiquement d'un limbe immobile L_V fixé au montant et d'une alidode A_V solidaire de l'axe de basculement, dont l'index bascule dans le plan vertical en suivant l'inclinaison de la lunette ; cette dernière pouvant effectuer un tour complet, l'opérateur observe avec le cercle vertical à sa gauche, position dénommée cercle à gauche CG, ou à sa droite, position cercle à droite CD, ou encore positions 1 et 2 lorsque le montant qui porte le cercle vertical n'est pas apparent, cas fréquent avec les théodolites récents.

La position en *cercle directeur* est celle qui correspond à la manipulation la plus commode de l'instrument compte tenu de sa configuration générale ; dans cette position ergonomique le limbe de l'éclimètre fournit l'angle zénithal de la visée, compris entre 0 gon et 200 gon pour la plupart des théodolites optiques, l'angle zénithal, l'angle d'inclinaison ou la pente au choix pour les derniers théodolites électroniques mis sur le marché.

La mesure des angles zénithaux se référant à la verticale physique du centre de l'éclimètre, le zéro origine doit être situé exactement au zénith du centre ; cette condition est remplie par un *index automatique* basé sur l'équilibre d'un liquide ou d'un pendule, qui peut atteindre une précision de calage supérieure à 0,1 mgon sur les théodolites électroniques de précision.

La mesure d'un angle vertical ne nécessitant qu'une visée, l'éclimètre ne comporte pas de décalage du cercle.

5. RAPPORTEUR EN GRAD

Le rapport des points de détail levés tachéométriquement se fait à l'aide d'un **rapporteur tachéométrique**. Cet appareil est un demi-cercle en maillechort (1) gradué dans les mêmes unités angulaires que le tachéomètre (grades généralement) et dans le sens inverse adopté pour les graduations de ce dernier (orientements par exemple) (fig.44).

Le centre O, milieu de AB, comporte une encoche qui est le point de contact du rapporteur et d'une aiguille piquée verticalement à l'emplacement de la station sur la minute, autour de laquelle le rapporteur peut pivoter. L'échelle

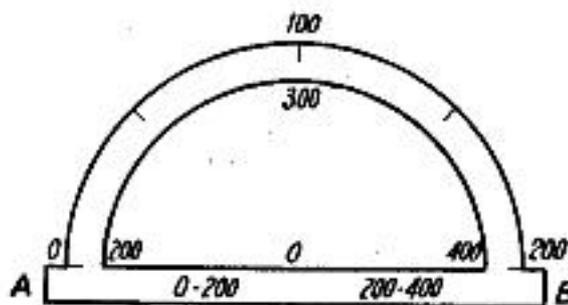


FIG. 44

diamétrale comporte deux graduations : l'une de O vers A, l'autre de O vers B, avec des chiffres adaptés à l'échelle du plan.

Imaginons que le rapporteur soit adapté aux sens des orientements : la graduation angulaire a deux chiffres, croissant de A vers B, l'une de 0 gr à 200 gr,

(1) Des modèles scolaires existent en carton et en matière plastique.

l'autre de 200 gr à 400 gr; de plus, l'échelle diamétrale comporte l'indication que la graduation de O à A s'applique aux lectures faites sur le cercle entre 0 gr et 200 gr, alors que celle de O à B se rapporte aux lectures angulaires de 200 gr à 400 gr.

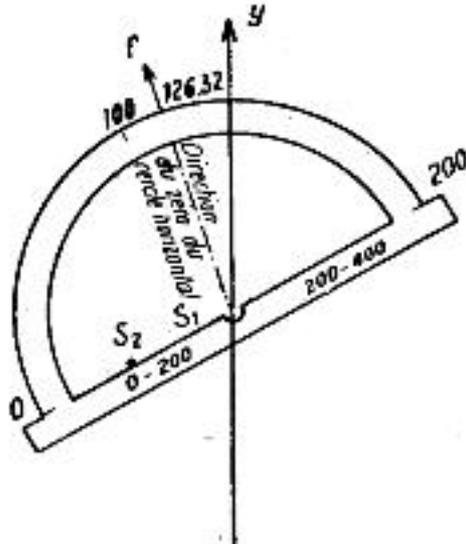


FIG. 45

métrale, à bissecter le point S_2 ; il suffit de marquer sur la minute un trait repère (f) en face de la graduation correspondant à 126,32 gr; ce repère (f) figure la direction du zéro de l'appareil en station S_1 ; c'est en face de ce trait que toutes les lectures angulaires du rapporteur seront faites, pour rapporter les points de détail par rayonnement.

Si, pour les mêmes stations, la lecture du terrain avait été 315,17 gr, le rapporteur aurait été placé comme l'indique la figure 46, la règle diamétrale au contact de S_2 étant celle qui porte l'indication 200 gr-400 gr; dans ce dernier cas, l'origine des lectures angulaires est en (f').

Les points tachéométriques rayonnés étant rapportés sur la minute comme il vient d'être décrit, il faut joindre entre ceux qui servent à dessiner la planimétrie, grâce aux indications portées sur le croquis tenu lors des opérations de terrain.

D'autres points tachéométriques servent à définir seulement l'altitude de points caractéristiques du relief; on trace ensuite des courbes de niveau par interpolation, à l'équidistance requise.

Examinons l'usage d'un tel rapporteur. Pour rapporter des points levés par rayonnement à partir d'une station S_1 (par exemple), il faut définir quelle était la direction du zéro de la graduation du cercle horizontal du tachéomètre en station, afin de pouvoir y référer toutes les lectures ultérieures à faire sur le rapporteur.

Soient (fig.45), rapportées sur le plan, la station S_1 et une station S_2 , pour laquelle la lecture angulaire horizontale du tachéomètre était 126,32 gr depuis la station 1. Une aiguille étant piquée en S_1 , sur la minute, on fait pivoter le rapporteur jusqu'à amener le côté marqué 0 gr-200 gr de la règle

diamétrale, à bissecter le point S_2 ; il suffit de marquer sur la minute un trait repère (f) en face de la graduation correspondant à 126,32 gr; ce repère (f) figure la direction du zéro de l'appareil en station S_1 ; c'est en face de ce trait que toutes les lectures angulaires du rapporteur seront faites, pour rapporter les points de détail par rayonnement.

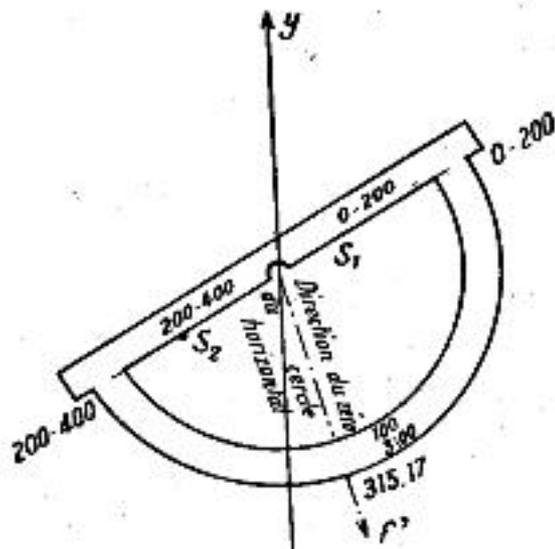


FIG. 46

V. CARTES ET PLANS

NOTIONS D'ÉCHELLE ET DE PRÉCISION

V.1. Les échelles

l'échelle d'un plan ou d'une carte est le rapport exprimé *dans la même unité* entre une longueur mesurée sur la carte et la même longueur mesurée sur le plan.

La formule principale pour les échelles est :

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{A} \quad \text{où } E - \text{nombre de l'échelle ; } \frac{1}{E} - \text{échelle ;}$$

a – distance sur le plan (en cm) ; A – distance sur le terrain (en m)

L'échelle est toujours indiquée avec 1 au numérateur.

Exemple :

a) Si on mesure une distance de 2,5 cm sur un plan et que la distance sur le terrain est 25 m, l'échelle sera :

$$\frac{1}{2500} = \frac{1}{1000}$$

b) Si on mesure une longueur de 7,4 cm sur un plan à l'échelle de 1/500, la longueur réelle sera :

$$7,4 \times 500 = 3\,700 \text{ cm} = 37 \text{ m.}$$

c) Inversement si une longueur mesurée sur le terrain est : 85 m, elle sera représentée sur un plan à 1/200 par :

$$\frac{85}{200} = 0,425 \text{ m} = 42,5 \text{ cm}$$

L'échelle d'un plan ou d'une carte est une fraction. Elle sera d'autant plus grande, que son dénominateur sera petit.

Sur les plans l'échelle est souvent indiquée sous sa forme décimale suivie de la forme fractionnaire, entre parenthèses.

Par exemple : 0,002 (1/500),
0,005 (1/200),
0,02 (1/50)

Classification sommaire des cartes et plans

1/1 000 000 et en dessous 1/500 000	}	Cartes géographiques	}	Cartes à petite échelle
1/250 000 1/100 000		Cartes topographiques		
1/50 000 1/25 000 1/20 000	}	(carte de base.) Cartes topographiques	}	Cartes à moyenne échelle
1/10 000		Cartes topographiques		
1/5 000	}	Plans topographiques d'études Plans d'urbanisme	}	
1/2 000		Plans d'occupation des sols (P.O.S.) Plans descriptifs particuliers		
1/1 000	}	Plans parcelaires	}	
1/500		Plans cadastraux urbains		
1/200	}	Plans de voirie, documents d'implantation	}	
1/100		Plans de propriétés		
1/50	}	Plans d'architecture	}	

2. Précision d'un plan

a) Topométrie graphique (levés dits réguliers)

Elle aboutit à un modèle graphique, appelé aussi plan conventionnel, dans lequel l'erreur sur la détermination d'un point par rapport au point voisin est limitée à l'erreur graphique soit 0,1 mm dans les meilleures conditions.

support stable,
dessin finement exécuté,
matériel très précis

Nous admettons une erreur supérieure, soit 0,15 mm.

Cette erreur représente sur le terrain :

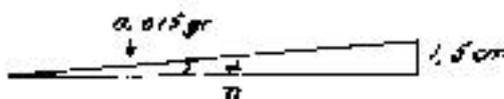
1,5 cm à l'échelle du 1/100,
3 cm à l'échelle du 1/200.

7,5 cm à l'échelle du 1/500.
15 cm à l'échelle de 1/1 000,
30 cm à l'échelle de 1/2 000.

Elle permet de déduire la limite d'utilisation d'un instrument en fonction des différentes échelles.

Exemple : Dans l'hypothèse où un instrument de mesure d'angle donne une précision de 1,5 egr. Quelles sont ses limites d'utilisation ?

On a vu ci dessus que l'erreur graphique correspondait à l'échelle du 1/100 à 0,015 m (1,5 cm). Il suffit de calculer à quelle distance 1,5 cm est vu sous un angle de 1,5 egr.



α est très petit (annexe 1, page 245).

$\sin 0,015 = \text{tg } 0,015 \approx 0,015$ gr exprimé en radians, soit,

$$0,015 \approx 0,0157 = 0,000236 \text{ rd.}$$

$$\frac{0,015}{D} = 0,000236 \text{ d'où } D = 63,6 \text{ m à l'échelle de } 1/100.$$

On calculera de la même manière :

$$D = \frac{0,03}{0,000236} = 127,1 \text{ m à l'échelle de } 1/200.$$

$$D = \frac{0,15}{0,000236} = 635,6 \text{ m à l'échelle de } 1/1\,000.$$

b) Topométrie numérique

La topométrie numérique suppose un équipement opérationnel approprié :

- tachéomètre électronique,
- calculateur programmable et lecteur enregistreur,
- micro-ordinateur,
- traceur rapide... etc..

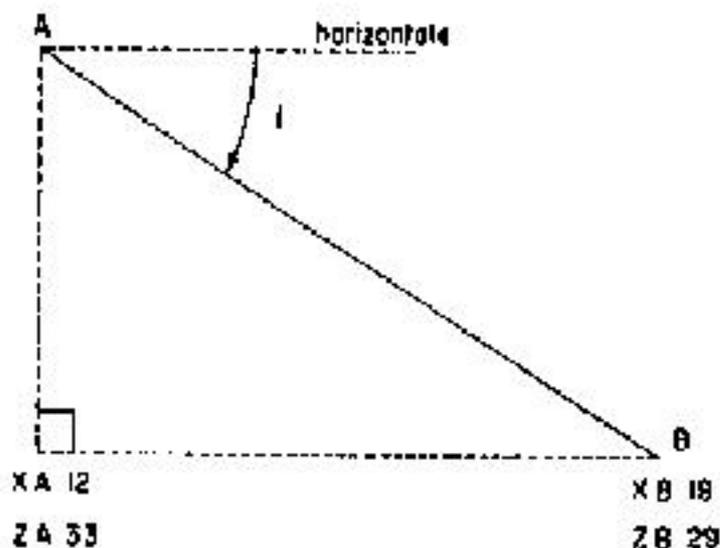
La topométrie numérique aboutit à un document dont tous les éléments sont définis par leurs coordonnées rectangulaires.

La précision est supérieure à tout graphisme et permet l'établissement d'un modèle graphique à toute échelle.

VI. PENTES ET DISTANCES

PENTES EN TRAVAUX PUBLICS

- 1 Concerne toujours un intervalle orienté, c'est-à-dire un vecteur.
- 2 Possède toujours une valeur absolue.
- 3 Possède toujours un signe, papiers exceptés.
- 4 Exemple scolaire :



$$\operatorname{tg}^{\circ} i \text{ de } \vec{AB} = \frac{Z_{\text{extrémité}} - Z_{\text{origine}}}{X_{\text{extrémité}} - X_{\text{origine}}} = \operatorname{tg}^{\circ} i : \frac{29 - 33}{19 - 12} = \frac{-4}{+7} = -0.57143.$$

5 En Travaux Publics (T.P.), il est impératif de savoir s'il s'agit :

a : d'une tangente > 0 , c'est-à-dire croissante ou montante ;

b : d'une tangente < 0 , c'est-à-dire décroissante ou descendante.

L'expression déterminante est donc directement fonction de la dénivellée (Z extrémité - Z origine), c'est-à-dire du **Numérateur**.

$$\text{Expression T.P. de la Pente} = \frac{(Z_{\text{extrémité}} - Z_{\text{origine}})}{|X_{\text{extrémité}} - X_{\text{origine}}|}$$

= PENTE, en valeur absolue et en signe

$$= \frac{\text{Valeur algébrique du } \Delta Z}{\text{Valeur absolue du } \Delta X}$$

6 Commentaires :

a/ Pente, en T.P. :

= inclinaison ou déclivité d'un intervalle orienté ;

= tangente de cette déclivité.

b/ En profil en long, les pentes sont toujours exprimées de la gauche vers la droite.

c/ En plan (*) et en T.P., les sens de lecture des pentes indiqués par une petite flèche.

Il est cependant **conseillé**, dans un projet en plan, de **toujours** indiquer :

- le signe (+ ou -) de la pente (1),
- la valeur absolue de la pente (2),
- la petite flèche indiquant le sens de lecture (3).

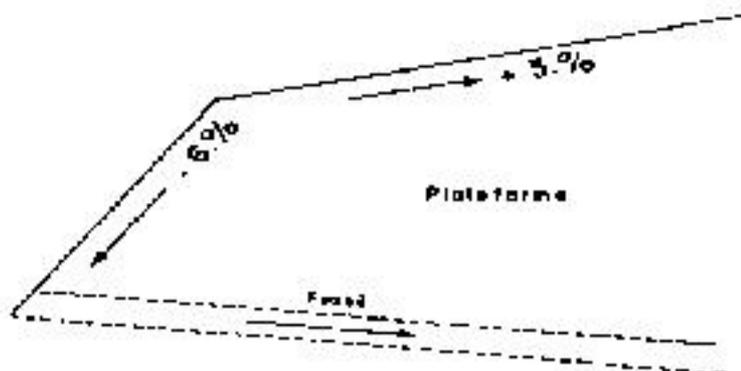
Exemples :

- 2,497 % → ou + 1,056 % →
(1) (2) (3) (1) (2) (3)

- 2,497 % signifie - 2^m.497 pour 100 mètres horizontaux
ou - 2^{cm}.497 pour 1 mètre horizontal.

d/ Une petite flèche seule, sans signe ni valeur absolue vant, indique le sens d'écoulement de l'eau (très fréquent fossés, caniveaux, par exemple).

e/ Illustration graphique de c/ et de d/ :



(*) Rappel : en vue de dessus.

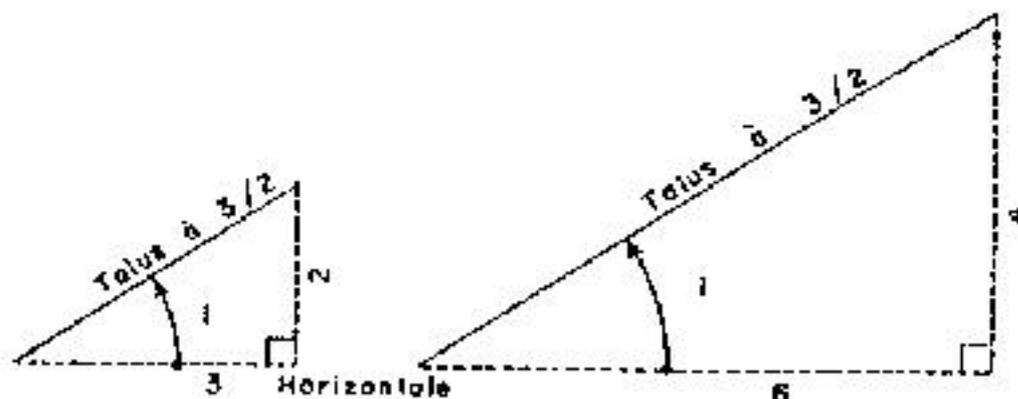
f/ En plan, la direction de la plus grande pente est la direction que prend l'eau dans son écoulement (si aire de ruissellement parfaitement lisse).

Sur un "Plan incliné" donné (surface plane), la direction de la plus grande pente est, par définition, perpendiculaire à toute horizontale de ce plan incliné.

g/ Exception notable à la notion classique de pente, en T.P. :

En T.P., les terrassiers définissent l'inclinaison d'un talus par rapport à l'horizontale, par un chiffre, une barre de fraction et un deuxième chiffre : (x de Base pour y de Hauteur).

Exemple : un talus à 3/2 doit se lire 3 de Base pour 2 de Hauteur.



$3/2 = \text{ici } 1,500 = \text{ici Cotangente de } i$

VII. NIVELLEMENT

A) DÉFINITION.

C'est l'ensemble des opérations qui permettent :

- d'une part, de mesurer les différences de niveau entre deux ou plusieurs points ;
- d'autre part, de calculer par une opération simple (addition et soustraction) l'altitude ou la cote de chacun des points concernés par rapport à un niveau de base (plan horizontal de référence).

Les travaux de nivellement permettent :

- a) de compléter la mise en plan des détails ;
- b) de planifier la construction de routes, de chemins de fer, de canaux, etc ;
- c) de calculer des volumes d'excavation, et ainsi de suite.

B) DÉFINITIONS ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DE NIVELLEMENT.

Altimétrie : partie de la topographie qui traite du *relief* du sol et de sa représentation sur les plans et cartes.

Surface de niveau : surface libre d'un liquide ; en chacun de ses points, elle est perpendiculaire à la pesanteur.

En topographie, la surface de niveau de base est, en général, le niveau moyen des mers, prolongé par la pensée sous les continents. C'est ce que l'on appelle le géoïde terrestre.

Hauteur d'un point ou cote : La hauteur d'un point ou cote est la distance verticale entre le point et une surface de niveau choisi arbitrairement.

Lorsque la surface de niveau est celle de la mer, la hauteur prend comme nom : altitude avec comme convention la lettre Z.

La distance AB prend nom de différence de niveau ou dénivelée : ΔZ_A et ΔZ_C sont dits au même niveau quand leurs distances AE et CD à la surface de la mer sont égales.

Au Maroc, la surface de niveau de base retenue correspond au niveau moyen de l'océan Atlantique. C'est le plan de comparaison du système de nivellement, le N.G.M (Nivellement Général du Maroc).

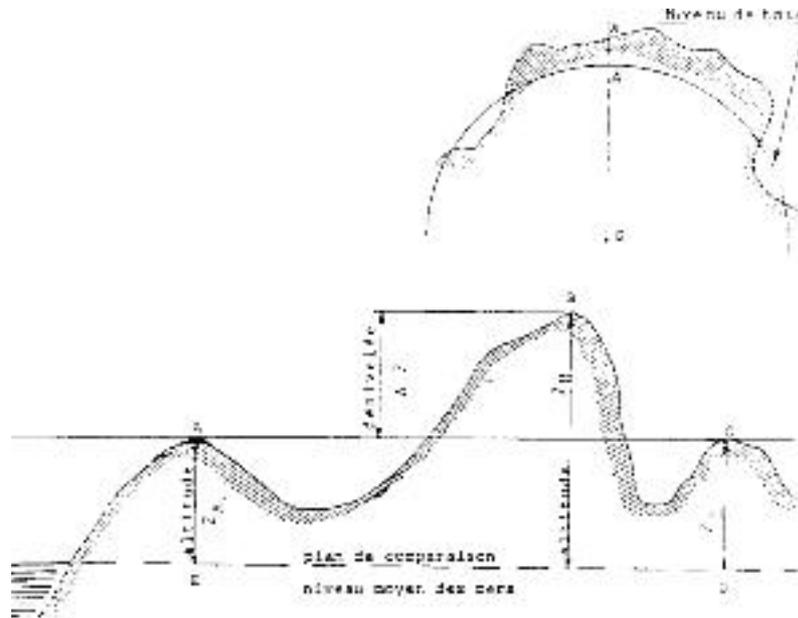


Fig. 47

Le nivellement peut s'effectuer selon trois procédés qui sont par ordre de précision décroissante :

- le nivellement direct ou géométrique,
 - le nivellement indirect ou trigonométrique,
 - le nivellement barométrique (méthode de nivellement basée sur des mesures de pressions atmosphériques) peu précis, n'est pas traité dans cet ouvrage.
- Nous nous intéressons plus particulièrement au nivellement direct.

C) LE NIVELLEMENT DIRECT.

Le nivellement direct s'appuie exclusivement sur des visées horizontales. En général il est exécuté avec un niveau. Un niveau matérialise une ligne de visée horizontale, mais ne permet pas de mesurer des angles verticaux.

Les niveaux sont classés en trois catégories. Chaque catégorie correspond à des besoins différents, et à des méthodes appropriées.

- Niveau de précision → Nivellement direct de haute précision
- Niveau d'ingénieurs → Nivellement direct de précision
- Niveau de chantier → Nivellement direct ordinaire

Dans chacune de ces catégories, il existe des niveaux de type classique, et des niveaux automatiques.

1. NIVELLEMENT DIRECT ORDINAIRE

1.1. Principe

Le **nivellement direct**, appelé aussi **nivellement géométrique**, consiste à déterminer la **dénivelée** DH_{AB} entre deux points A et B à l'aide d'un appareil : le **niveau** (ci-contre un NAK20) et d'une échelle verticale appelée **mire**. Le niveau est constitué d'une optique de visée tournant autour d'un axe vertical (fig. 5.3.) : il définit donc un plan de visée horizontal (fig. 5.1.).

La mire est placée successivement sur les deux points. L'opérateur lit la valeur m_a sur la mire posée en A et la valeur m_b sur la mire posée en B. La différence des lectures sur mire est égale à la dénivelée entre A et B.

Cette dénivelée est une valeur algébrique dont le signe indique si B est plus haut ou plus bas que A (si ΔH_{AB} est négative alors B est plus bas que A).



NAK20 de
Leica

- la dénivelée de A vers B est : $\Delta H_{AB} = m_a - m_b$
- la dénivelée de B vers A est : $\Delta H_{BA} = m_b - m_a$

L'**altitude** H_A d'un point A est la distance comptée suivant la verticale qui le sépare du géoïde. Si l'altitude du point A est connue, on peut en déduire celle du point B par :

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB}$$

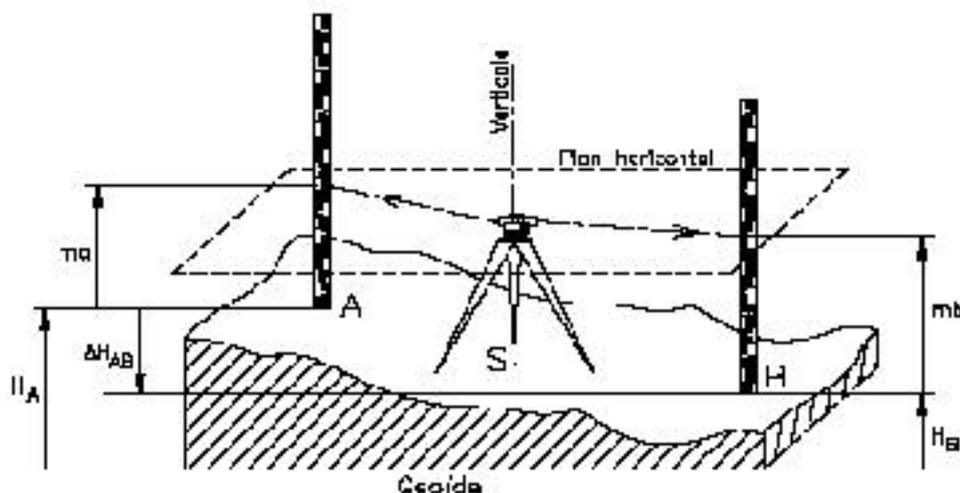


Fig. 5.1. : Principe de base du nivellement direct

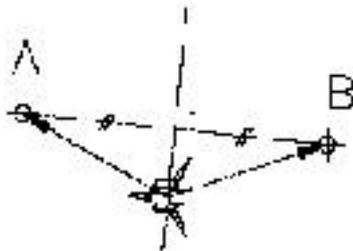


Fig. 5.2 : Égalité des portées

Remarque

L'altitude est souvent notée Z au lieu de H .
Attention aux éventuelles confusions avec les
coordonnées géocentriques (X, Y, Z).

La **portée** est la distance du niveau à la mire ; elle
varie suivant le matériel et la précision cherchée, et
doit être au maximum de 60 m en nivellement ordinaire
et 35 m en nivellement de précision. Dans la mesure
du possible, l'opérateur place le niveau à peu près à
égale distance de A et de B (sur la médiatrice de AB,
fig. 5.2) de manière à réaliser l'**égalité des portées**.

1.2. Le niveau

1.2.1. Principe de fonctionnement

Le niveau est schématiquement constitué d'une optique de visée (lunette d'**axe optique (O)**) tournant autour d'un axe vertical (appelé **axe principal (P)**) qui lui est perpendiculaire (fig. 5.3.). Le réglage de la verticalité de l'axe principal est fait au moyen d'une **nivelle sphérique**. L'axe optique tournant autour de l'axe principal décrit donc un plan horizontal passant par le **centre optique** du niveau qui est l'intersection des axes (P) et (O).

L'axe principal (P) peut être stationné à la verticale d'un point au moyen d'un fil à plomb, mais généralement le niveau est placé à un endroit quelconque entre les points A et B, si possible sur la médiatrice de AB (fig. 5.2.). Un niveau n'est donc pas muni d'un plomb optique comme un théodolite.

Certains appareils possèdent une graduation (ou **cercle horizontal**) qui permet de lire des angles horizontaux avec une précision médiocre, de l'ordre de $\pm 0,25$ gon : ils ne sont utilisés que pour des implantations ou des levers grossiers.

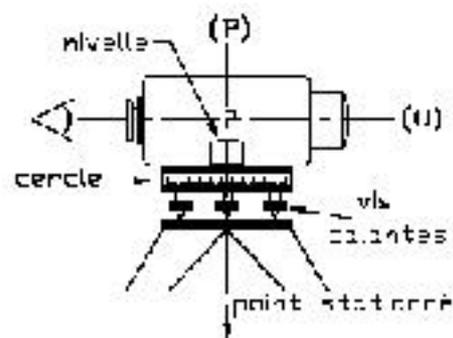
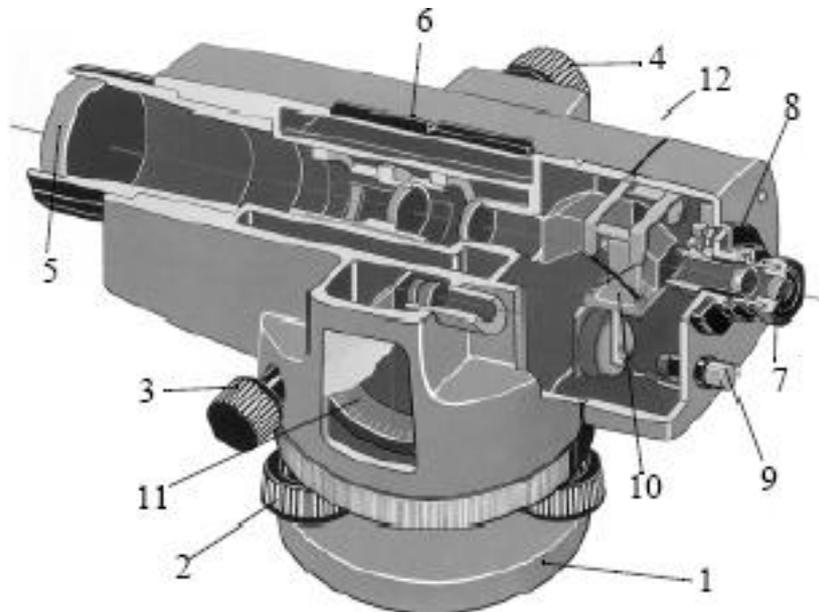


Fig. 5.3. : Schéma d'un niveau

Les éléments constitutifs d'un niveau sont les suivants :

- | | |
|--------------------------------|---|
| - 1. Embase | - 7. Oculaire |
| - 2. Vis calant (3 vis) | - 8. Anneau amovible |
| - 3. Rotation lente | - 9. Contrôle de l'automatisme |
| - 4. Mise au point sur l'objet | - 10. Compensateur à pendule |
| - 5. Objectif | - 11. Cercle horizontal (option sur le NA2) |
| - 6. Viseur d'approche rapide | - 12. Nivelles sphériques (invisible ici) |



Doc. Leica : NAK 2(vue en coup)

Pour déterminer précisément des dénivelées, l'appareil doit vérifier :

- la perpendicularité de (O) et (P) ;
- que le fil horizontal du réticule de visée est situé dans un plan perpendiculaire à l'axe principal (P) ;
- que l'axe optique (O) est parallèle à la directrice de la nivelles, si c'est une nivelles torique, ou que le plan décrit par l'axe optique (O) tournant autour de l'axe principal (P) est parallèle au plan dans lequel est inscrit le cercle de centrage de la bulle, si la nivelles est sphérique.

Pour déterminer précisément des dénivelées, l'appareil doit vérifier :

- la perpendicularité de (O) et (P) ;
- que le fil horizontal du réticule de visée est situé dans un plan perpendiculaire à l'axe principal (P) ;
- que l'axe optique (O) est parallèle à la directrice de la nivelle, si c'est une nivelle torique, ou que le plan décrit par l'axe optique (O) tournant autour de l'axe principal (P) est parallèle au plan dans lequel est inscrit le cercle de centrage de la bulle, si la nivelle est sphérique.

1.2.2. Mise en station d'un niveau

Le niveau n'étant pas (ou très rarement) stationné sur un point donné, le trépied est posé sur un point quelconque. L'opérateur doit reculer après avoir positionné le trépied afin de s'assurer de l'horizontalité du plateau supérieur. Lorsque le plateau est approximativement horizontal, l'opérateur y fixe le niveau.

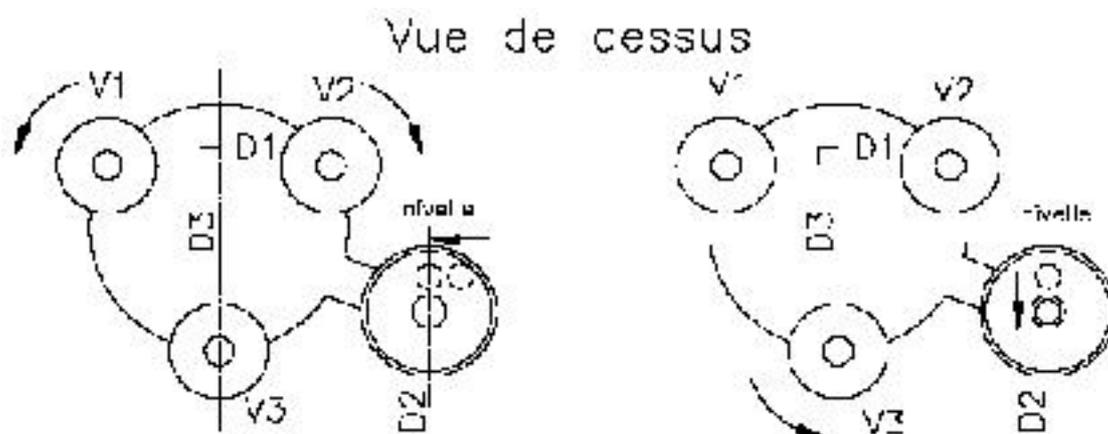


Fig. 5.4. : Calage de la nivelle sphérique

Le calage de la **nivelle sphérique** se fait au moyen des vis calant, comme indiqué sur la figure 5.4. : en agissant sur les deux vis calant V1 et V2 (en les tournant en sens inverse l'une de l'autre), l'opérateur fait pivoter le corps du niveau autour de la droite D3. Il amène ainsi la bulle de la nivelle sur la droite D2 parallèle à D3. En agissant ensuite sur la vis calant V3, il fait pivoter le niveau autour de la droite D1 et centre ainsi la bulle dans le cercle de centrage de la nivelle sphérique.

1.2.3. Lecture sur mire.

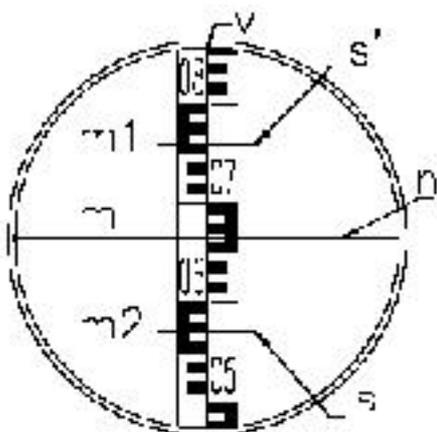


Fig. 5.8. : Réticule de visée

La mire est une échelle linéaire qui doit être tenue verticalement (elle comporte une nivelle sphérique) sur le point intervenant dans la dénivelée à mesurer. La précision de sa graduation et de son maintien en position verticale influent fortement sur la précision de la dénivelée mesurée.

La mire classique est généralement graduée en centimètre. La **chiffre son** est souvent en décimètre (fig. 5.8.).

Il existe des mires à graduation renversée pour les optiques ne redressant pas l'image (anciens modèles).

Le réticule d'un niveau est généralement constitué de quatre fils :

- le fil **stadimétriques supérieur** (s'), qui donne une lecture **m1** sur la mire ;
- le fil **stadimétriques inférieur** (s), qui donne la lecture **m2** sur la mire ;
- le fil **niveleur** (n), qui donne la lecture **m** sur la mire ;
- le fil vertical (v), qui permet le pointé de la mire ou d'un objet.

La lecture sur chaque fil est estimée visuellement au millimètre près (6,64 dm sur la figure 5.8., fil niveleur). Les fils stadimétriques permettent d'obtenir une valeur approchée de la portée. Pour chaque lecture, il est judicieux de lire les trois fils horizontaux de manière à éviter les fautes de lecture: on vérifie en effet, directement sur le terrain, que : Par exemple, figure 5.8. : 6,64 dm » $(5,69 + 7,60)/2$.

On peut estimer l'incertitude d'une lecture par interpolation sur une mire centimétrique à $4/G$ cgon (voir aussi chapitre 3, § 2.4.1), G étant le grossissement de la lunette. Si l'on désire une incertitude de lecture de 1 mm avec une lunette de grossissement $G = 24\times$, la **portée maximale de visée** devra être de :

$$D_{\max} = 1.10^{-3}/(4/24.10^{-2}. p/200) = 38 \text{ m.}$$

Pour une lecture sur mire Invar, l'incertitude sur le pointé est de l'ordre de $1/G$ à $2/G$ cgon. Ce qui donne pour un niveau de précision $G = 40$ et pour obtenir une incertitude de l'ordre du dixième de millimètre :

$$D_{\max} = 0,1.10^{-3}/(2/40.10^{-2}. p/200) = 46 \text{ m.}$$

La portée maximale usuellement retenue est de l'ordre de 30 m du niveau à la mire en nivellement de précision.

1.2.4. Estimation de la portée par stadimétrie

La portée, c'est-à-dire la distance horizontale entre le point de station et le point visé, est utile dans les calculs de cheminement. Disposer d'un ordre de grandeur de sa valeur est nécessaire, par exemple, pour vérifier l'égalité des portées. C'est le rôle des fils stadimétriques qui, par lecture de la valeur $L = m_1 - m_2$ interceptée sur la mire, permettent de calculer la distance horizontale D_{hSP} à ± 14 cm près (fig. 5.9.).

2.2.4.1. Formule de stadimétrie

Nous allons établir la **formule de stadimétrie** ; pour cela, nous raisonnons à partir du schéma simplifié de la figure 5.10. a. où l'image de l'objet vue par l'opérateur est renversée. Si l'on considère que la mire utilisée est renversée, on retrouve la situation classique : le fil stadimétriques supérieur (s') lit la valeur la plus grande m_1 et le fil (s) lit la valeur m_2 . f étant la distance focale de l'objectif, on peut écrire :

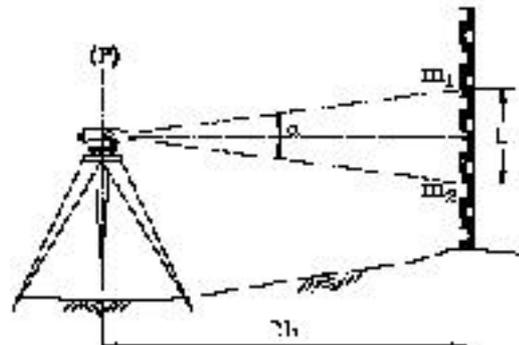


Fig. 5.9 : Stadimétrie

$$\tan (\alpha / 2) = m_1 + m_2 / 2(D_h - E) = s / 2f$$

Le rapport s/f est une constante de l'appareil. E est appelée constante (ou correction) d'anallatisme. Posons : $f/s = K = 1/2 \tan (\alpha / 2)$

K est appelée **constante stadimétriques**. La valeur usuelle de K est $K = 100$ ($\alpha \approx 1/100$ rad soit 0,6366 gon ou encore 0,5 m à 100 m).

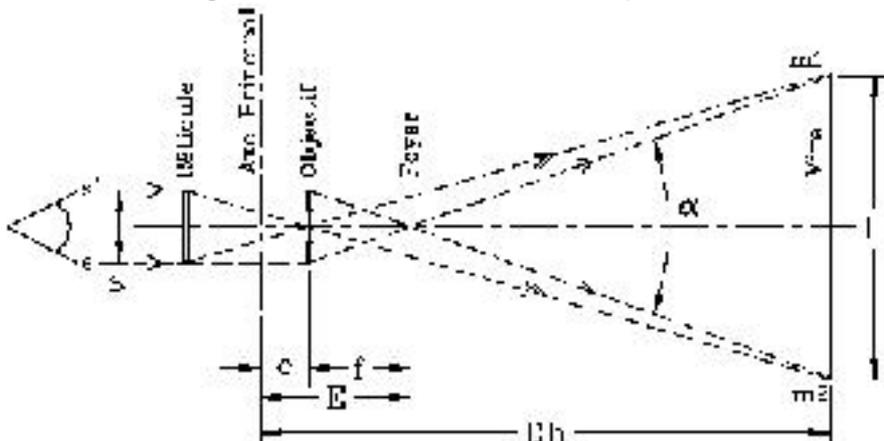


Fig. 5.10-a : Justification de la formule de stadimétrie

De la première équation, on déduit : $D_h = K.(m_1 - m_2) + E$

E est appelée **constante d'addition**.

Pour les appareils modernes à mise au point intérieure, la constante d'addition E est réduite par construction à une valeur négligeable vis-à-vis de la précision obtenue sur D_h . Pour les appareils à mise au point extérieure, E est de l'ordre de 30 cm.

Finalement, on obtient (avec $E = 0$) : $D_h = K(m_1 - m_2) = KL$

1.2.5. Contrôle et réglage du niveau

1.2.5.1. Réglage de la nivelle

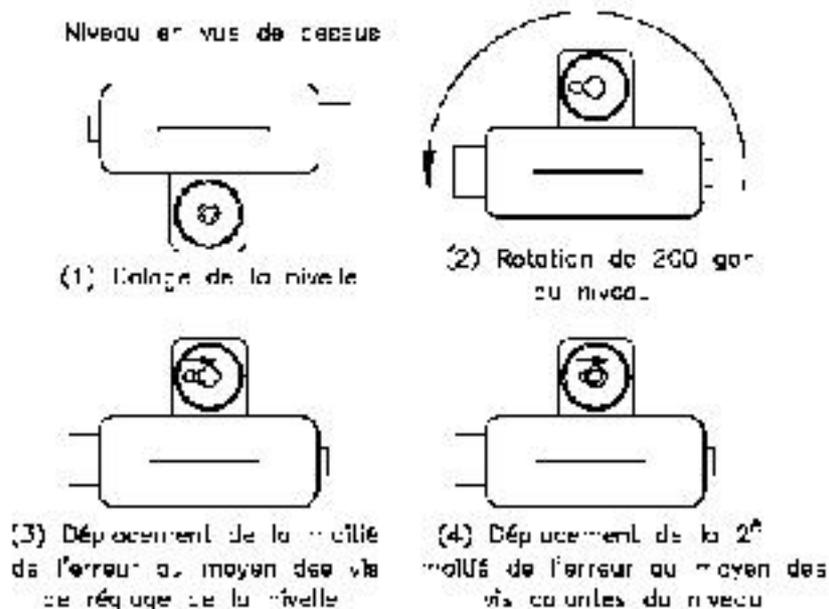


Fig. 5.10-b. : Contrôle et réglage de la nivelle sphérique

Le cercle de centrage de la nivelle sphérique doit être inscrits dans un plan perpendiculaire à l'axe principal. Pour contrôler une nivelle, procédez ainsi :

- calez la nivelle dans une position bien définie de l'appareil (repérez-vous sur le cercle horizontal) ;
- faites pivoter le niveau de 200 gon et vérifiez que la nivelle reste dans ses repères ;
- si ce n'est pas le cas, ramenez la bulle vers la position centrale de la moitié de son décalage au moyen de ses vis de réglage, l'autre moitié étant rattrapée par les vis calant du niveau. Recommencez la vérification jusqu'à obtenir un défaut négligeable.

1.2.5.2. Réglage du réticule

Le fil horizontal du réticule doit être situé dans un plan perpendiculaire à l'axe principal.

Le contrôle et le réglage s'effectuent ainsi :

- choisissez un point bien défini coïncidant avec le fil horizontal du réticule ;

- faites pivoter la lunette avec le mouvement lent et vérifier que le réticule reste en contact avec le point choisi ;
- si ce n'est pas le cas, ramenez le réticule sur le point en agissant sur son dispositif de réglage.

1.2.5.3. Réglage de l'axe optique

L'axe de visée (O) doit être perpendiculaire à l'axe principal (P). L'axe de visée étant défini par le centre optique de l'appareil et la croisée des fils du réticule, on peut modifier l'inclinaison de l'axe (O) en agissant sur le réticule. Pour mettre en évidence un besoin de réglage, il faut procéder comme suit (voir fig. 5.11. et 5.12.) :

- implantez deux points A et B distants d'environ 60m en terrain à peu près horizontal et régulier ;
- stationnez le niveau en C, milieu de AB et lisez la dénivelée DH_{AB} ;
- stationnez en E, situé à 6 m de A à l'extérieur de AB, et lisez à nouveau DH_{AB}
- déterminez par calcul la valeur du défaut éventuel e appelé défaut d'horizontalité de l'axe de visée (ou encore, de manière impropre, collimation verticale) ;
- si ce défaut est trop important, c'est-à-dire s'il provoque une erreur de plus de 2 mm à 30 m, réglez l'appareil. Ceci peut se faire en station en E, en ramenant la ligne de visée sur la lecture exacte calculée précédemment (agir pour cela sur les vis de réglage du réticule ; voir la documentation de l'appareil).

a. Explications et calculs

La dénivelée réelle entre A et B est $DH_{AB} = ma - mb$. Si le niveau possède un défaut e de perpendicularité entre (O) et (P), l'opérateur lit une dénivelée fautive $DH'_{AB} = m'a - m'b$.

Or on peut écrire :

$$m'a = ma + D_{AC} \times \tan \varepsilon \quad \text{et} \quad m'b = mb + D_{BC} \times \tan \varepsilon, \text{ donc :}$$

$$m'a - m'b = ma - mb + (D_{AC} - D_{BC}) \tan \varepsilon$$

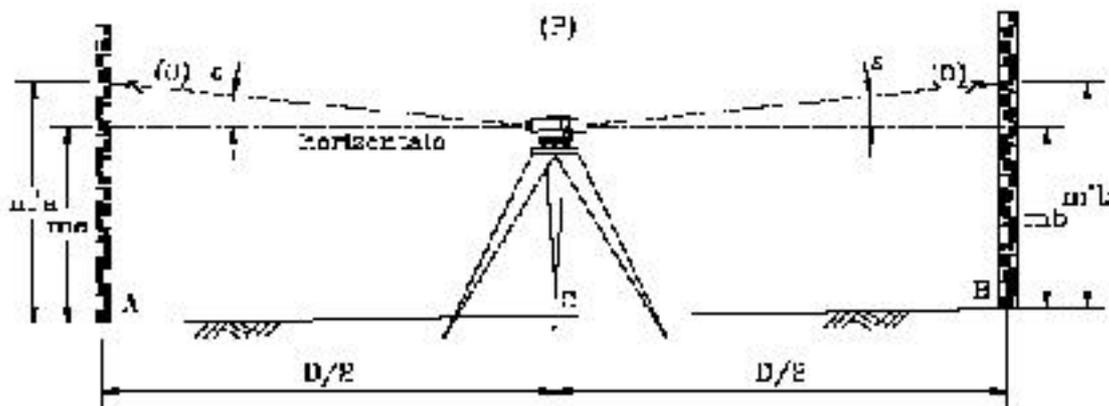


Fig. 5.11. : Station avec portées égales

Puisque l'opérateur stationne au milieu de AB, $DAC = DBC$, on obtient $m'a - m'b = ma - mb = DH_{AB}$. La dénivelée mesurée est égale à la dénivelée réelle car l'effet de l'erreur d'inclinaison e s'annule du fait de **l'égalité des portées** CA et CB. Ceci signifie qu'en pratiquant l'égalité des portées, on peut mesurer juste avec un appareil faussé, à condition que son défaut reste faible. On peut admettre un écart angulaire provoquant sur la mire une erreur de l'ordre du double de l'appréciation de la lecture, qui est de 1 mm à 30 m.

La station précédente a permis de mesurer la dénivelée « exacte » DH_{AB} .

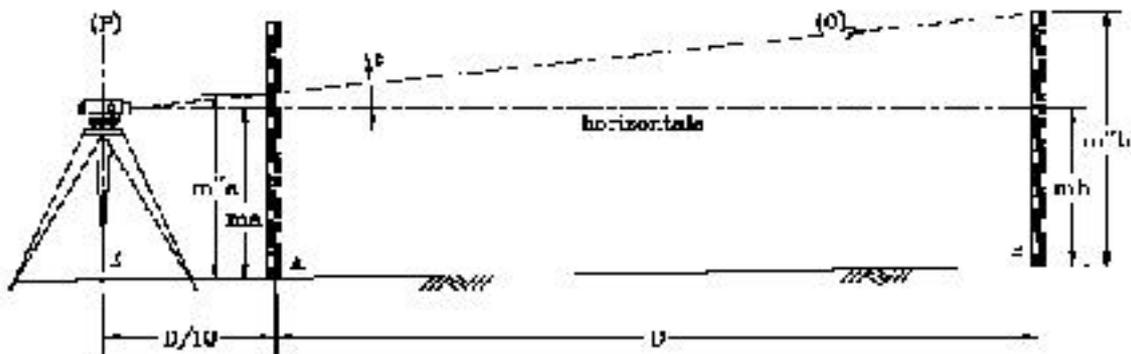


Fig. 5.12. : Station décentrée

Sur la figure 5.12., les lectures $m'a$ et $m'b$ donnent cette fois une dénivelée erronée DH'_{AB} . C'est le calcul de cette dénivelée faussée qui permet d'estimer le défaut d'inclinaison de l'axe optique e .

1.2.5.4. Étalonnage de la mire et réglage de la nivelle sphérique

Les mires de nivellement ordinaire ne sont pratiquement jamais étalonnées. Une vérification s'impose au bout d'un certain temps d'utilisation. Le réglage de la nivelle sphérique peut être réalisé simplement en utilisant un fil à plomb. Il suffit de bloquer la mire en position verticale et de maintenir la partie supérieure fixe pendant que l'on déplace la partie inférieure sur le sol jusqu'à obtenir une verticalité parfaite au fil à plomb.

On règle ensuite la nivelle sphérique au moyen de ses vis de réglage.

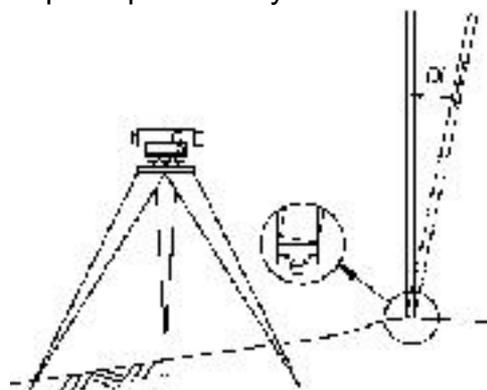


Fig. 5.15 : Tenue de la mire

1.3. Précision et tolérance des lectures

1.3.1. Ecart types

Ils varient suivant les niveaux et les mires utilisées, le soin apporté au mesurage, la stabilité des points de mire, la force du vent, etc. En nivellement ordinaire, on cumule les erreurs de lecture sur mire listées ci-après :

- une erreur due au **calage de l'axe principal** (sur un niveau non automatique) de $\pm 0,5$ mm à 30 m. Cette valeur est pessimiste puisqu'avec un niveau automatique du type NA20, la précision du calage est de $\pm 0,8''$ (soit $\pm 2,5$ dm gon), ce qui donne une erreur sur la mire de $\pm 0,1$ mm à 30 m ;
- une erreur due à la tenue de la mire (plus ou moins verticale) et à l'appréciation de la lecture de ± 1 mm à 30 m ;
- une erreur sur le support de la mire (sol, crapauds éventuels, etc.) de $\pm 0,5$ mm.

Soit un écart type de $\sqrt{0,5^2 + 1^2 + 0,5^2} = \pm 1,22$ mm pour une visée.

Pour une dénivelée (deux visées), cela donne : $\pm 1,22 \text{ mm} \cdot \sqrt{2} = \pm 1,73$ mm.

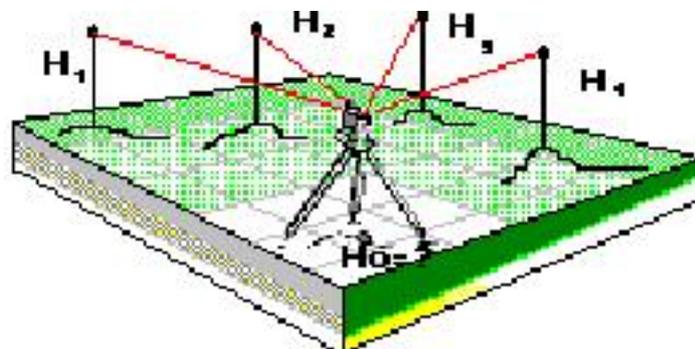
Sur un parcours de N dénivelées, l'écart type est donc de : $\sigma = \pm 1,7\sqrt{N}$

Donc la tolérance sur la fermeture du parcours est de 2,7 s soit : $T_{\Delta H} = \pm 4,6\sqrt{N}$

1.4. Observations et calculs

1.4.1. Nivellement par rayonnement

- a) *Principe* – nivellement, à partir d'une même station et dans les limites d'emploi d'un appareil, de plusieurs points dont on veut obtenir l'altitude.



1.4.2. Nivellement par cheminement

Lorsque les points A et B sont situés de sorte qu'une seule station du niveau ne suffit pas à déterminer leur dénivelée (éloignement, masque, dénivelée trop importante, etc.), il faut décomposer la dénivelée totale en dénivelées élémentaires à l'aide de points intermédiaires (I1, I2, ..., voir fig. 5.16.). L'ensemble de ces décompositions est appelé **nivellement par cheminement**.

Un cheminement encadré part d'un « point origine » connu en altitude, passe par un certain nombre de points intermédiaires et se referme sur un « point extrémité » différent du point d'origine et également connu en altitude. Le cheminement de la figure 16 est encadré entre A et B.

Lorsque l'on cherche à déterminer l'altitude d'un point extrémité B à partir de celle connue d'un repère A, on effectue généralement un **cheminement aller-retour** de A vers A en passant par B. Ceci permet de calculer l'altitude de B et de vérifier la validité des mesures en retrouvant l'altitude de A.

Lorsqu'un cheminement constitue une boucle retournant à son point de départ A, on l'appelle **cheminement fermé**. Il est très employé pour les raisons suivantes :

- il permet la détermination des altitudes même quand on ne connaît qu'un seul repère ;
- il est possible de calculer un tel cheminement en affectant une altitude arbitraire à un point de départ fixe et durable ; une simple translation permettra de passer des altitudes de ce système local aux altitudes vraies ;
- il permet un contrôle de fermeture qui est indépendant de la précision de connaissance de l'altitude du point de référence.

a) Pratique du nivellement par cheminement

Un nivellement par cheminement s'effectue par les opérations suivantes :

- la mire étant sur le point origine A, l'opérateur stationne le niveau en S1 dont il détermine l'éloignement en comptant le nombre de pas séparant A de S1, de manière à ne pas dépasser la portée maximale de 60 m. L'opérateur fait une **lecture arrière**, c'est-à-dire dans le sens de parcours choisi, sur le point A, notée m_{arA} ;
- le porte-mire se déplace pour venir sur le premier point intermédiaire I1 le plus stable possible (pierre, socle métallique appelé « crapaud », piquet etc.) et dont il détermine l'éloignement en comptant lui-même le nombre de pas séparant A de S1 afin de pouvoir reproduire ce nombre de pas de S1 à I1 ;
- toujours stationné en S1, l'opérateur lit sur la mire la **lecture avant** sur I1 notée m_{avI1} ;
il est alors possible de calculer la dénivelée de A à I1 de la manière suivante :
$$\Delta H_1 = m_{arA} - m_{avI1} = \text{lecture arrière sur A} - \text{lecture avant sur I1}.$$
- L'opérateur doit lire les fils stadimétriques et vérifier que $m \approx (m_1 + m_2)/2$;

L'opérateur se déplace pour choisir une station S_2 et ainsi de suite :

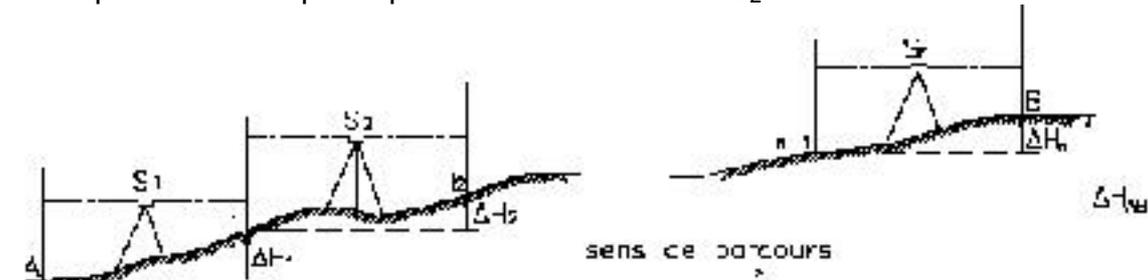


Fig. 5.16. : Cheminement de nivellement

- les dénivelées partielles sont les suivantes :

$$m_{arA} - m_{avI1} = \Delta H_1 \quad - \quad \text{dénivelée de A vers } I_1$$

$$m_{arI1} - m_{avI2} = \Delta H_2 \quad - \quad \text{dénivelée de } I_1 \text{ vers } I_2$$

... ..

$$m_{arI(i-1)} - m_{avI(i)} = \Delta H_i \quad - \quad \text{dénivelée de } I_{(i-1)} \text{ vers } I_{(i)}$$

... ..

$$m_{arI(n-1)} - m_{avB} = \Delta H_n \quad - \quad \text{dénivelée de } I_{(n-1)} \text{ vers B}$$

$$\Sigma m_{ar} - \Sigma m_{av} = \Sigma \Delta H_i = \Delta H_{AB}$$

La dénivelée totale ΔH_{AB} de A vers B est égale à la somme des lectures arrière diminuée de la somme des lectures avant.

Si le cheminement est fermé, la dénivelée totale doit être égale à zéro.

b) Fermeture du cheminement

Connaissant l'altitude de A, on peut calculer à nouveau à partir des mesures de terrain, l'altitude de B : on appelle cette valeur de H_B **la valeur observée**, notée H_{Bobs}

Elle est définie par : $H_{Bobs} = H_A + \Sigma \Delta H_i$

Si les mesures étaient exemptes d'erreurs, on retrouverait exactement l'altitude connue H_B . En réalité, il existe un écart appelé **erreur de fermeture du cheminement** (ou plus simplement **fermeture**) qui est soumis à tolérance. Cette fermeture notée f_H vaut :

$$f_H = H_{Bobs} - H_B$$

Un moyen mnémotechnique permettant de se souvenir du sens de cette soustraction est de se rappeler que le signe de l'erreur de fermeture f_H doit être positif si l'altitude observée est supérieure à l'altitude réelle c'est-à-dire : $f_H > 0$ implique que $H_{Bobs} > H_B$.

Si l'on appelle $T_{\Delta H}$ **la tolérance** réglementaire de fermeture du cheminement, on doit donc vérifier : $|f_H| < T_{\Delta H}$. Si ce n'est pas le cas, les mesures doivent être refaites.

c) Compensation du cheminement

La compensation est l'opération qui consiste à répartir la fermeture sur toutes les mesures.

La compensation, notée C_H , est donc l'opposée de la fermeture, c'est-à-dire :

$$C_H = - f_H$$

Cet ajustement consiste à modifier les dénivelées partielles en répartissant la compensation totale C_H sur chacune d'elle. Cette répartition peut être effectuée de plusieurs manières :

- 1- proportionnellement au nombre N de dénivelées** : on choisira ce type de compensation dans le cas où la fermeture est très faible c'est-à-dire inférieure à l'écart type $\sigma_H = T_H / 2,7$.

Donc la compensation sur chaque dénivelée est : $C_{Hi} = C_H / N$

Dans le cas où la fermeture est comprise entre écart type et tolérance, on peut choisir entre les deux méthodes de répartition suivantes :

- 2- proportionnellement à la portée** : on considère que plus la portée est importante et plus la dénivelée peut être entachée d'erreur. Ceci oblige à connaître un ordre de grandeur de la portée, qui est obtenu par stadimétrie.

La compensation sur chaque dénivelée est alors : $C_{Hi} = C_H \times L_i / \sum L_i$

- 3- proportionnellement à la valeur absolue de la dénivelée** : la compensation à appliquer à chaque dénivelée partielle du cheminement vaut donc :

$$C_{Hi} = C_H \times |\Delta H_i| / \sum \Delta H_i$$

Le contrôle du calcul consiste à vérifier que l'altitude de l'extrémité obtenue de proche en proche depuis celle de l'origine à l'aide des dénivelées compensées est strictement égale à l'altitude connue.

d) Exemple de carnet de nivellement cheminé

- Les dénivelées obéissent à la règle générale suivante :
dénivelée = lecture arrière – lecture avant ;
- les calculs de dénivelée sont faits en diagonale puisque, les stations n'apparaissant pas sur le tableau, on note en face de chaque point la lecture arrière et la lecture avant qui sont faites sur deux stations différentes ;
- la compensation peut être effectuée directement sur les dénivelées. Lors d'un calcul manuel, on peut rayer la dénivelée mesurée et écrire au-dessus la dénivelée compensée qui servira au calcul des altitudes.

- l'altitude de chaque point se calcule de proche en proche par la formule ci-dessous (attention aux unités) : $H_i = H_{i-1} + \Delta H_{i-1 \rightarrow i} + C_i$

Le tableau suivant est réalisé pour Excel.

Carnet de nivellement ordinaire

Date : 01/05/96

Altitude de départ : 124,968 m

Matériel : NA 0 (a)

Altitude d'arrivée : 128,924 m

Opérateur : Tsvetanov Pavel

n°	Point visé	Lectures arrière			Lectures avant			Portée Dh m	Dénivelées ΔH (mm)		Comp. mm	Altitude m
		S' mm	Niv mm	S mm	S' mm	Niv mm	S mm		+	-		
1	R1	1 973	1 925	1 878							124,968	
							18,7	629		-2		
2	I1	1 536	1 524	1 508	1 343	1 296	1 249	5,1	147		-1	125,595
3	I2	1 866	1 836	1 806	1 388	1 377	1 365	11,9	789		-1	125,741
4	I3	1 016	0 988	0 955	1 076	1 047	1 017	12,0		-650	-1	126,529
5	S4	1 696	1 661	1 626	1 667	1 638	1 608	12,0	615		-1	125,678
6	I4	1 709	1 678	1 647	1 072	1 046	1 022	12,5	452		-1	126,491
7	I5	1 634	1 604	1 572	1 258	1 226	1 195	12,5	330		-1	126,942
8	I6	1 363	1 333	1 304	1 306	1 274	1 243	24,2	530		-3	127,271
9	I7	1 314	1 155	0 995	0 896	0 803	0 713	34,6	1 130		-4	127,798
10	R3				0 039	0 025	0 012					128,924
		9 dénivelées						143,7	4 622	-650	-16	

* compensation

Fermeture : $f_H = 16$ mm ; Tolérance : $T_H = 18$ mm.

1.4.3. Cheminement mixte

Depuis une station quelconque du niveau dans un cheminement, et après avoir enregistré la lecture arrière sur le point de cheminement précédent, l'opérateur vise plusieurs points de détail et effectue sur chacun d'eux une lecture unique qui est donc une lecture avant. Ensuite, il termine la station par la lecture avant sur le point de cheminement suivant. Par exemple, sur la fig. 5.17., les points 1, 2 et 3 sont rayonnés depuis la station S1 dont le point arrière est la référence (R) et le point A.

L'opération en S1 est appelée **rayonnement**. Lorsqu'un cheminement comprend des points rayonnés et des points cheminés, on dit que c'est un **cheminement mixte**.

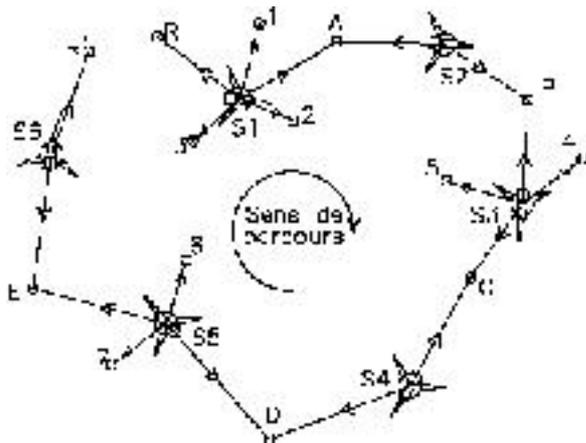


Fig. 5.17. : Cheminement mixte encadré

Le cheminement de la figure 5.17. passe par les points R, A, B, C, D, E et R'. Les points 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 sont rayonnés. L'ensemble est un cheminement mixte encadré entre R et R'.

Sur le carnet de nivellement, un point rayonné est repérable directement au fait qu'il ne comporte pas de lecture arrière (ou bien la même lecture arrière que le point précédent du tableau ; (voir l'exemple). La règle de l'égalité des portées doit aussi s'appliquer aux points rayonnés pour assurer une précision optimale.

Il faut donc choisir une station la plus centrale possible par rapport à tous les points à viser.

Le mesurage terminé, on **calcule d'abord le cheminement sans tenir compte des points de détails rayonnés**.

Puis on calcule les points rayonnés et on les note, par exemple, dans une autre couleur. Leur calcul est différent de celui des points cheminés. En effet :

- tous les points rayonnés depuis une même station sont calculés à partir de l'altitude du point arrière de la station. Cette différence de calcul entraîne souvent des erreurs qui peuvent être limitées par le respect du calcul en deux étapes : d'abord le cheminement seul puis les rayonnements et par l'emploi de couleurs différentes ;
- il n'y a pas de compensation sur la dénivelée d'un point rayonné puisqu'il n'y a pas de contrôle possible de sa valeur. L'altitude du point rayonné dépend de celle, déjà compensée, du point arrière du cheminement : H (du point rayonné) = H (du point du cheminement) + ΔH . Ce manque de contrôle exige une lecture particulièrement attentive sur ces points (par exemple, une lecture sur les trois fils).

Remarque

Sur chantier, on calcule souvent l'altitude d'un point rayonné en faisant intervenir la notion **d'altitude du plan de visée**, c'est-à-dire l'altitude de l'axe optique du niveau : elle est égale à l'altitude du point de référence arrière de la station augmentée de la lecture sur mire en ce point. Par exemple, le plan de visée de la station 1 (voir tableau suivant) est : $H_{pv_{S1}} = 124,968 + 2,591 = 127,559$ m. L'altitude d'un point rayonné est alors l'altitude du plan de visée diminuée de la lecture sur la mire en ce point. Par exemple, pour le point 2 : $H_2 = H_{pv_{S1}} - 1,922 = 125,637$ m.

Exemple : le tableau ci-après, détaille le calcul du parcours schématisé à la figure 5.17. Le tableau traite automatiquement les points rayonnés : il suffit de ne pas entrer de lecture arrière.

Carnet de nivellement ordinaire
Altitude de départ : 124,968 m
Altitude d'arrivée : 125,703 m

Date : 01/05/96
Matériel : NA 0 (a)
Opérateur : Tsvetanov Pavel

n°	Point visé	Lectures arrière			Lectures avant			Portée Dh m	Dénivelées Dn (mm)		Comp. mm	Alti- tude en m
		S mm	Niv mm	S mm	S mm	Niv mm	S mm		+	-		
1	R	2 703	2 591	2 480								124,968
2	1				1 407	1 292	1 177		(1 299)			126,267
3	2				2 033	1 922	1 812		(0 669)			125,637
4	3				1 126	1 047	0 967		(1 544)			126,512
5	A	2 835	2 813	2 791	1 653	1 528	1 403	47,3	1 063		-3	126,028
6	B	1 749	1 678	1 607	1 072	1 046	1 022	9,4	1 767		-1	127,794
7	4				1 258	1 226	1 195		(0 452)			128,246
8	5				1 973	1 925	1 878			(-0 247)		127,547
9	C	1 714	1 604	1 492	1 712	1 639	1 565	28,9	0 039		-2	127,831
10	D	1 423	1 333	1 244	3 116	3 004	2 892	44,6		-1 400	-3	126,428
11	6				1 356	1 274	1 193			(0 059)		126,487
12	7				1 616	1 524	1 428			(-0 191)		126,237
13	E	1 264	1 155	1 045	0 896	0 803	0 713	36,2	0 530		-2	126,956
14	R'				2 511	2 405	2 299	43,7		-1 250	-3	125,703
6 points cheminés								209,5	3 399	-2 650	-14	

* compensation

Dans ce parcours, il y a sept points rayonnés et six points cheminés.
Fermeture : $fH = 14$ mm ; Tolérance : $TH = 15$ mm.

Remarque

Les tableaux peuvent mélanger plusieurs unités (mm, dm et m). Ceci a un aspect formateur en obligeant l'opérateur comme le calculateur à faire attention et à préciser les unités utilisées. Mais c'est aussi une source d'erreur. Il est donc recommandé de noter les lectures sur mire directement en millimètre (par exemple 1 264 mm au lieu de 12,64 dm) pour deux raisons :

- cette notation permet de supprimer la virgule, souvent mal retranscrite ;
- elle offre une plus grande facilité dans les calculs si toutes les colonnes sont en millimètres, exceptée celle des altitudes qu'il suffira de diviser par 1 000 pour retrouver des mètres, ou bien de noter sans virgule, par exemple : 125 703.

Pensez à noter de même tous les chiffres lus sur la mire (par exemple 0 132) pour éviter les confusions d'unités.

1.4.4. Cas particuliers de cheminements

1.4.4.1. Points au-dessus du plan de visée

En nivellement souterrain, il arrive que les points à niveler soient situés au-dessus du plan de visée (fig. 5.18.).

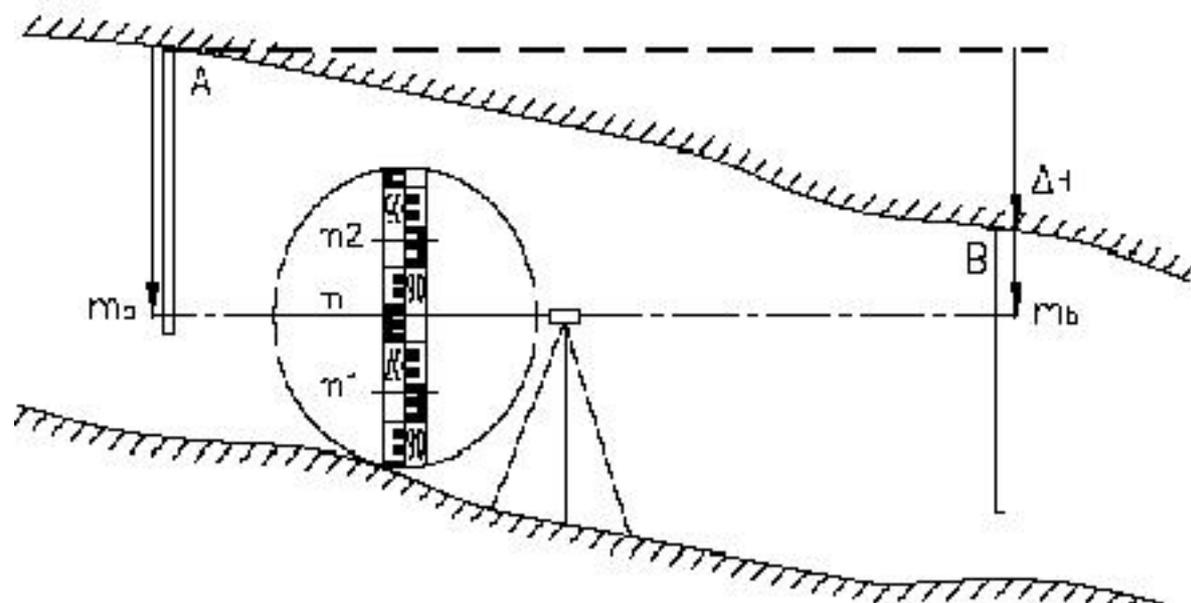


Fig. : Nivellement en tunnel

Le porte mire appuie la mire sur le point situé au-dessus du plan de visée : la mire est à l'envers. L'opérateur lit toujours sur les fils (s, n et s'), dans le sens de la

chiffrais on de la mire. Pour retrouver la convention adoptée (**Dénivelée = lecture arrière – lecture avant**), il suffit de considérer que les lectures faites avec une mire tenue à l'envers sont négatives. Elles seront donc précédées d'un signe moins sur le carnet de nivellement, ce qui permettra de surcroît de les différencier des autres dans le cas où l'on vise alternativement des points situés en dessus ou en dessous du plan de visée. Si l'on progresse de A vers B (fig. 5.18.), on peut écrire :

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} = H_A + (m_a - m_b).$$

La dénivelée est bien négative (B est plus bas que A) puisque $m_a < m_b < 0$.

On retrouve $H_{AB} = (m_a - m_b)$.

1.4.4.2. Points alternativement en dessus ou en dessous du plan de visée

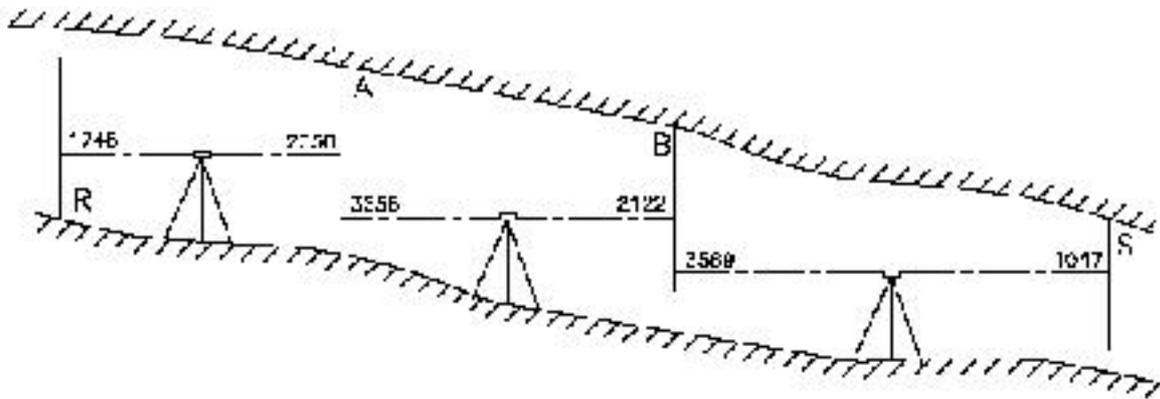


Fig. 5.19. : Cheminement en tunnel

1.4.5. Nivellement indirect avec un théodolite optico – mécanique

Sur de très courtes portées ($D_h < 100m$), on peut effectuer un nivellement indirect avec un théodolite optico – mécanique, une chaîne et une mire. La précision obtenue est médiocre mais peut être suffisante dans certains cas, par exemple, pour le calcul d'altitude approchées pour un avant – projet de terrassement.

Cas où la distance suivant la pente D_p est mesurable

C'est le cas si le terrain présente une pente régulière entre S et A (fig. 6.3.). On peut alors mesurer directement la distance D_p à la chaîne avec une précision correcte (voir estimation ci-après).

La méthode est la suivante : depuis le théodolite stationné en S, l'opérateur vise la mire en interceptant la graduation correspondante à la hauteur des tourillons h_t de sorte que la visée soit parallèle à la droite SA dont l'opérateur a mesuré la longueur D_p . Il lit l'angle V correspondant, il mesure D_p et en déduit que :

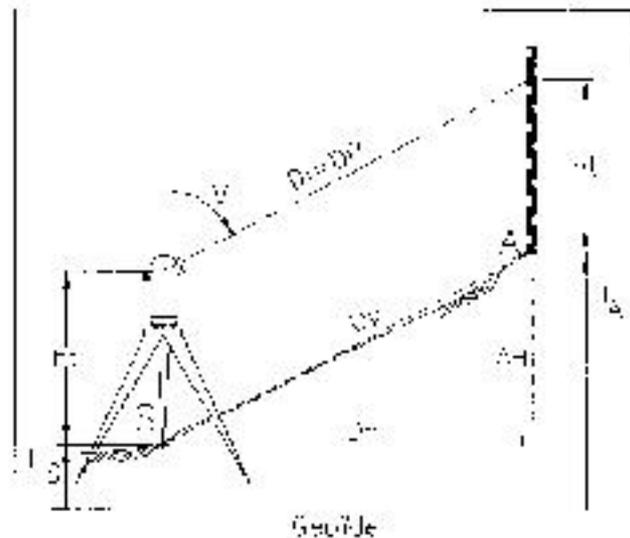


Fig. 6.3. : Distance suivant la pente mesurable

$$\begin{aligned} Dh &= D_p \cdot \sin V \\ AH &= D_p \cdot \cos V \\ H_A &= H_S + \Delta H \end{aligned}$$

Cas où si la distance suivant la pente D_p n'est pas mesurable

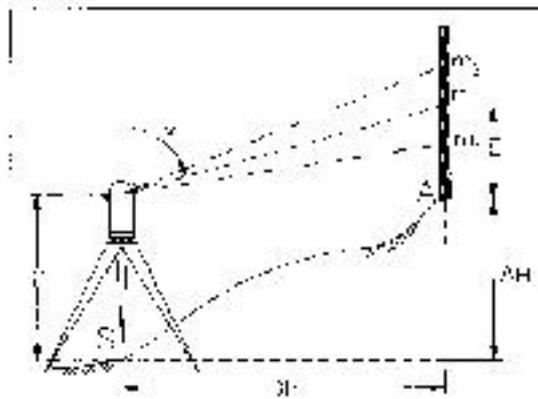


Fig. 6.4. : Distance suivant la pente non mesurable

C'est le cas si la pente est irrégulière, sur un terrain fortement bosselé, par exemple, s'il y a des obstacles, etc.

Méthode

Il faut calculer la distance horizontale D_h de la station S à partir des lectures sur une mire posée en A (fig. 6.4.). Sur un tachéomètre optico-mécanique, ceci peut être effectué par stadimétrie avec une précision médiane (voir stadimétrie en nivellement direct, chapitre 5).

On détermine D_h par stadimétrie à partir des lectures m_1 , m_2 et i .

La dénivelée ΔH est ensuite déterminée par : $\Delta H = H + D_h \cdot \cot \alpha - Lm_1$

$D_h \cdot \cot \alpha$ étant la dénivelée instrumentale notée Δh_i .

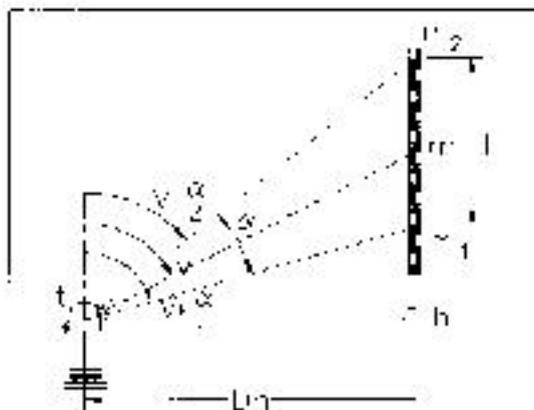


Fig. 6.5. : Stadimétrie avec visée inclinée

Or, on cherche à calculer D_h en fonction des lectures m_1 et m_2 sur les fils stadimétriques (fig. 6.5.).

Rappel :

α est l'angle stadimétrique ; la constante stadimétrique correspondante est :

$$K = \frac{1}{2 \tan(\alpha/2)} = 100$$

Soit L la longueur interceptée sur la mire, on a : $L = h \cdot m_2 - h \cdot m_1$

$$Dh = K \cdot L \cdot \sin^2 V \left[1 + \left(\frac{\cot^2 V}{2K} \right) \right] \text{ et } AH = ht + D_p \cdot \cotan V - Lm$$

Remarque

Pour $V = 100$ gon, on retrouve l'expression issue de la stadimétrie pour le nivellement direct $Dh = K \cdot L$, où L est la longueur interceptée sur la mire.

Dans la pratique, cette expression est simplifiée en considérant que le terme $\left(\frac{\cotan V}{2K} \right)^2$ est négligeable devant 1, V étant l'angle vertical lu sur une graduation quelconque de la mire, on obtient les expressions approchées employées ci-dessous :

$$Dh = K \cdot L \cdot \sin^2 V$$

$$AH = ht + K \cdot L \cdot \sin V \cdot \cos V = K \cdot L \cdot \frac{\sin(2V)}{2} - Lm$$

VIII. LÉVÉ TACHÉOMÉTRIQUE

Introduction

Peut-être avez vous déjà vu, en circulant dans un quartier, des personnes en train d'utiliser un appareil topographique. Et peut-être vous êtes-vous alors demandé : « Mais que font-ils ? » Il s'agissait d'une brigade topographique en train d'effectuer un levé de détails en milieu urbain en se basant sur les points d'appui du système local.

Dans ce chapitre, divisé en deux sections, vous acquerez les connaissances nécessaires pour effectuer des levés planimétriques et altimétriques ainsi que pour interpoler des courbes de niveau.

3.1 NOTIONS PRÉLIMINAIRES

On appelle **levé tachéométrique** l'ensemble des opérations permettant la mesure des angles, des distances et des dénivelés à l'aide d'un tachéomètre et de ses accessoires (trépied, mire...). Le levé tachéométrique est un type de levé topographique.



Saviez-vous que...

Le mot **tachéomètre** se compose de deux racines grecques : *tachéo-*, qui signifie « rapide » et *-mètre*, qui signifie « mesure ». Cet appareil permet donc d'effectuer des mesures rapides et précises.

ORGANISATION D'UNE BRIGADE

L'équipe qui effectue un levé topographique porte le nom de **brigade**. Elle compte plusieurs membres, dont les tâches sont bien définies. Ainsi :

- le **chef de brigade** est responsable du travail. C'est lui qui choisit les méthodes à employer;
- le **croquiseur** dessine le croquis de la zone à lever;
- l'**opérateur** dirige l'appareil sur les points à lever et effectue les lectures correspondantes;
- le **teneur de carnet** note les lectures dictées par l'opérateur;
- le ou les **porte-mire**.

TYPES DE LEVÉS

Les levés diffèrent entre eux par :

- l'objet représenté;
- la précision exigée pour le levé;
- l'échelle de représentation;
- la rapidité d'exécution.

On distingue deux types de levés : le levé **planimétrique** et le levé **altimétrique**.

Levé planimétrique

Lorsque l'on souhaite représenter des éléments tels que des routes, une construction, un cours d'eau ou les limites de propriétés, on fait appel au levé planimétrique. Le levé planimétrique consiste en effet à mesurer les angles et les distances au sol.

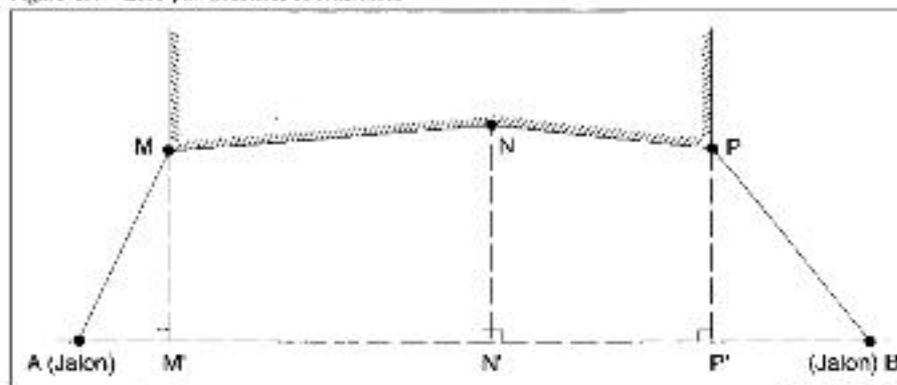
Les méthodes de levé planimétrique les plus simples sont :

- le levé par **abscisses et ordonnées**;
- le levé par **rayonnement**.

Levé par abscisses et ordonnées

Le levé par abscisses et ordonnées s'effectue à l'aide d'une équerre optique, qui permet de déterminer une **direction perpendiculaire** à une autre. Grâce à cet appareil, on détermine l'emplacement des pieds des perpendiculaires (M', N', P') à partir des points à lever (M, N, P) sur une ligne d'opération AB (figure 2.1).

Figure 3.1 Levé par abscisses et ordonnées



La ligne d'opération est matérialisée par deux jalons. On mesure les abscisses en cumulé (AM', AN', AP'...) puis les ordonnées (MM', NN', PP'...).

Les mesures doivent être contrôlées par la mesure des diagonales (AM, BP...) en utilisant le théorème de Pythagore (triangle rectangle) : $(AM)^2 = (AM')^2 + (MM')^2$.

Pour exécuter un levé par abscisses et ordonnées, on procède aux étapes suivantes :

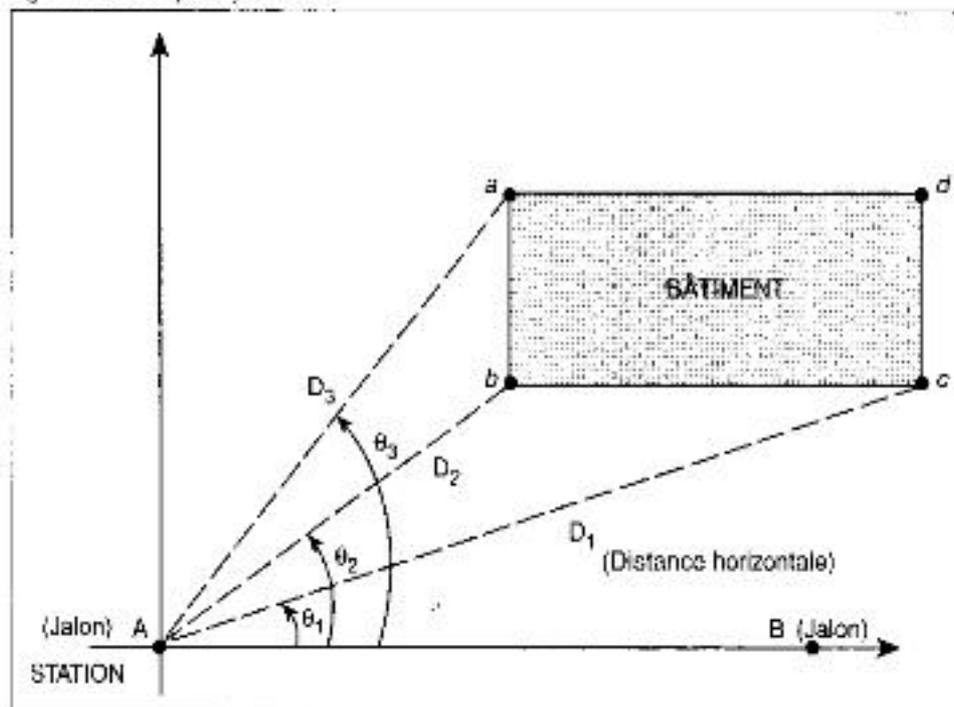
1. Faire un croquis général du site de travail (à lever).
2. Matérialiser la ligne d'opération à l'aide de jalons.
3. Matérialiser les points de détail à l'aide de jalons.

4. Déterminer la projection des points de détail sur la ligne d'opération à l'aide de l'équerre optique.
5. Mesurer les distances entre les points projetés et les points d'appui (abscisses).
6. Mesurer les distances entre la position des points de détail et leur projection sur la ligne d'opération (ordonnées).
7. Tracer un croquis sur lequel figure la position des points de détail.

Levé par rayonnement

Le levé par rayonnement s'appuie sur le principe géométrique de la détermination d'un point par coordonnées polaires (figure 3.2).

Figure 3.2 Levé par rayonnement

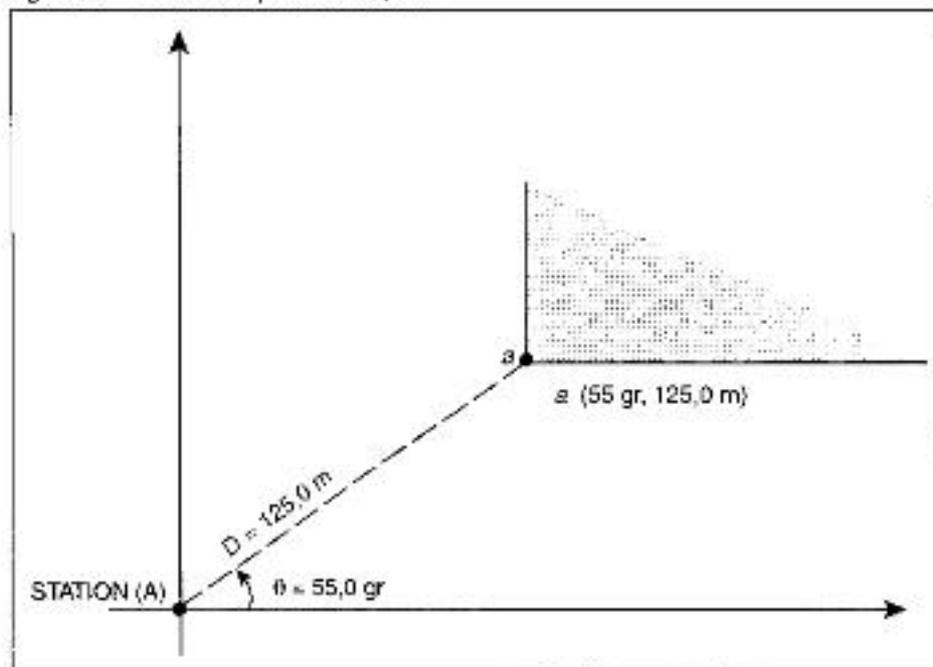


Chaque point est défini par :

- l'angle (θ), qui est déterminé depuis la station (A) à partir d'un axe fixe (AB);
- la distance (D), qui définit la position des points (a, b, c) par rapport à la station (A).

La valeur de l'angle horizontal (généralement exprimée en grades) ainsi que celle de la distance (en mètres) forment les coordonnées polaires d'un point (figure 3.3).

Figure 3.3 Coordonnées polaires d'un point



La marche à suivre pour effectuer un levé par rayonnement est la suivante :

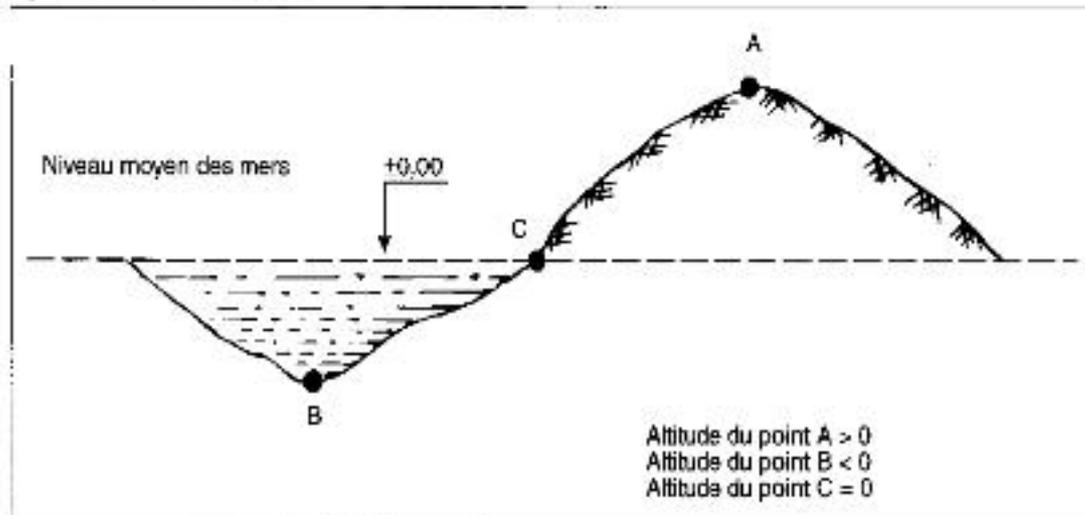
1. Faire un croquis général du site à lever.
2. Matérialiser la ligne d'opération et les points de détail à l'aide de jalons.
3. Faire la mise en station de l'appareil topographique.
4. Régler la nivelle de l'appareil à l'aide des vis calantes.
5. Viser les points de détail avec la lunette de l'appareil topographique.
6. Noter les valeurs des lectures effectuées dans l'ordre suivant :
 - lecture supérieure (L_{sup});
 - lecture moyenne (L_{moy});
 - lecture inférieure (L_{inf}).
7. Faire la lecture de l'angle vertical (V).
8. Calculer les distances en utilisant la formule suivante :
$$D = 100 (L_{sup} - L_{inf}) \times (\sin V)^2$$
9. Faire la lecture de l'angle horizontal (H_z) sur le cercle horizontal de l'appareil pour chacune des directions.
10. Calculer les angles horizontaux (α) en utilisant la formule suivante :
$$\alpha = H_z (\text{suivant}) - H_z (\text{précédent})$$

Levé altimétrique

On appelle levé altimétrique l'ensemble des opérations permettant de déterminer les **altitudes** et les **dénivelées** par rapport au niveau moyen des mers au repos afin d'établir des plans et des cartes topographiques.

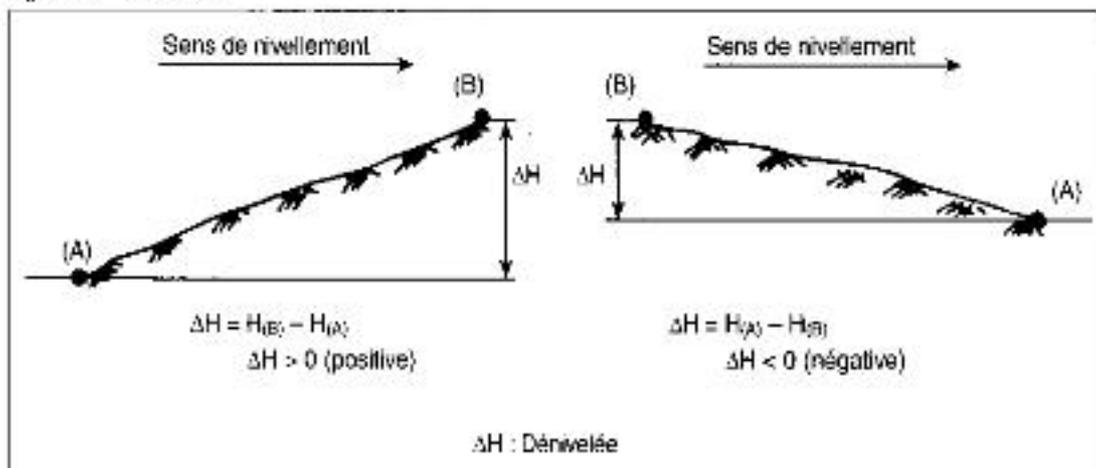
L'**altitude** d'un point est la distance, en mètres, entre ce point et une surface se trouvant au niveau moyen des mers, qui correspond à la valeur 0 (figure 3.4).

Figure 3.4 Altitude d'un point



La **dénivelée** représente la **différence d'altitude** entre deux points, en valeur et en signe (figure 3.5).

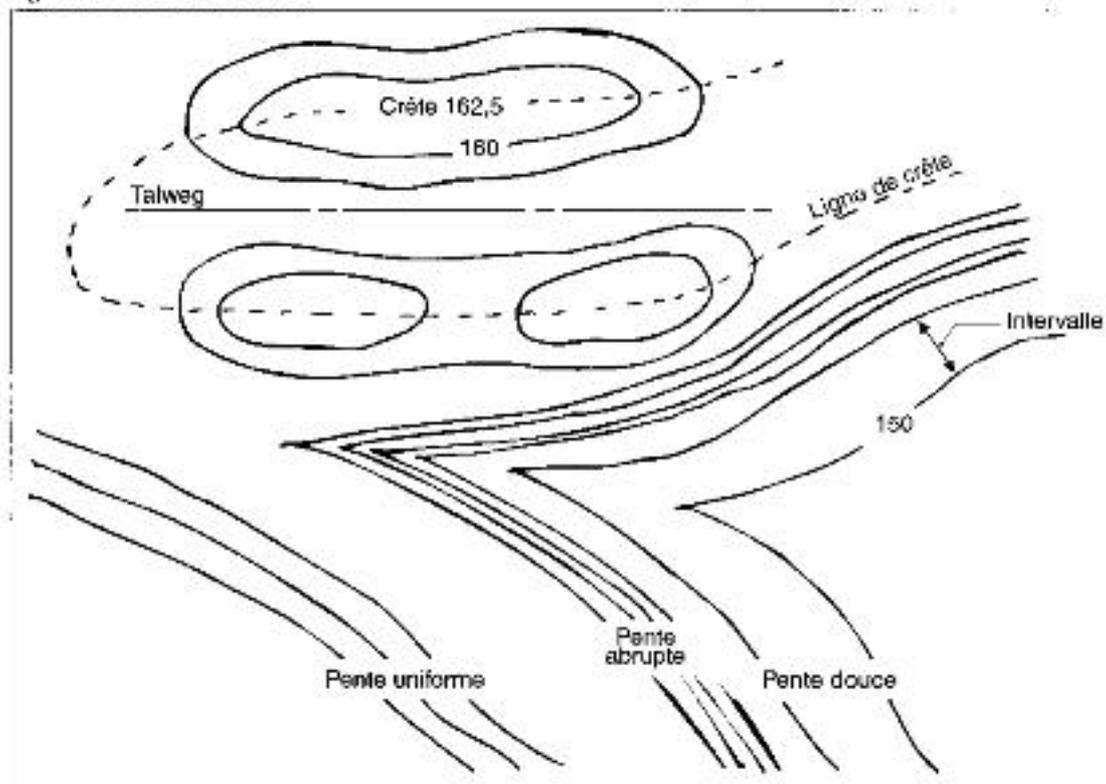
Figure 3.5 Dénivelée



3.2 COURBES DE NIVEAU

Les résultats des levés (planimétrique et altimétrique) sont employés pour la représentation graphique du relief d'un terrain. Une **courbe de niveau** est une ligne imaginaire joignant tous les points qui ont la même altitude. Un ensemble de courbes de niveau donne une représentation du relief (figure 3.9).

Figure 3.9 Courbes de niveau



- **Intervalle** : Distance horizontale mesurée sur la carte entre deux courbes de niveau.
- **Ligne de crête** : Endroit où se fait le partage des eaux.
- **Talweg** : Axe du fond d'une vallée.
- **Pente douce** : Endroit où les courbes de niveau sont distancées.
- **Pente abrupte** : Endroit où les courbes de niveau sont rapprochées.
- **Pente uniforme** : Endroit où les courbes de niveau sont distancées également.

CARACTÉRISTIQUES

Les courbes de niveau possèdent les caractéristiques communes suivantes :

- Tous les points d'une même courbe ont la même altitude.
- Les courbes de niveau sont des **lignes fermées**, à moins qu'elles ne soient interrompues par les limites de la carte.
- L'intervalle entre les courbes indique la **nature de la pente**.
- Une courbe de niveau **ne peut pas en croiser** une autre d'altitude différente.

INTERPOLATION DES COURBES DE NIVEAU

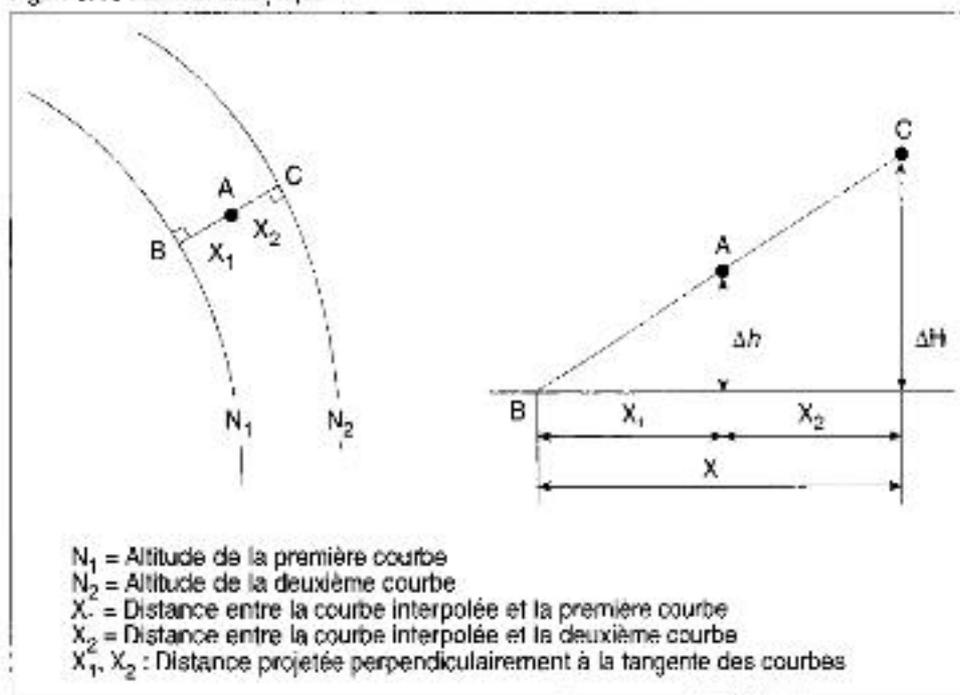
L'interpolation des courbes de niveau a pour but de déterminer l'altitude d'un point situé entre deux courbes de niveau. Ce travail peut s'effectuer à l'aide de deux méthodes :

- la méthode analytique, plus précise;
- la méthode graphique, plus rapide.

Méthode analytique

La méthode analytique est basée sur la théorie des triangles semblables (figure 3.10).

Figure 3.10 Méthode analytique



L'altitude du point A est égale à $N_1 + \Delta h$.

Soit :

$$\Delta H = N_2 - N_1$$

$$X = X_1 + X_2$$

D'après la théorie des triangles semblables, on a :

$$\frac{\Delta H}{X} = \frac{\Delta h}{X_1}$$

$$\text{d'où } \Delta h = \frac{\Delta H}{X} \times X_1$$

IX. IMPLANTATION

Le plan d'un ouvrage donne une grande satisfaction à l'architecte qui l'a réalisé, mais sa réalisation sur site lui apportera certainement plus. Avant de construire un ouvrage, il faut l'implanter, c'est-à-dire tracer la forme de l'ouvrage sur le terrain en consultant les plans fournis par l'architecte. En somme, l'implantation représente l'inverse du levé.

Dans ce chapitre, divisé en deux sections, vous apprendrez à implanter un point à l'aide de deux méthodes : par abscisses et ordonnées ainsi que par coordonnées polaires (rayonnement). Vous apprendrez également à implanter une courbe circulaire à l'aide des mêmes méthodes.

4.1 MÉTHODES D'IMPLANTATION

L'implantation consiste à matérialiser sur un terrain la position exacte d'un ouvrage d'art, d'une construction, de l'axe d'une route, etc. à partir de leur représentation sur le plan fourni.

On utilise surtout deux méthodes pour implanter un point :

- l'implantation par abscisses et ordonnées;
- l'implantation par coordonnées polaires.

Le choix de l'une ou l'autre des méthodes dépend de l'appareillage dont on dispose et de la configuration du terrain. Ainsi, on aura recours à la méthode par abscisses et ordonnées si l'on dispose d'une équerre optique et que le terrain est sensiblement plat. En outre, les points d'appui qui constituent la ligne d'opération devront être matérialisés sur le terrain.

En revanche, si l'on utilise un théodolite ou un tachéomètre et que le terrain est accidenté, on utilisera la méthode par coordonnées polaires. Dans ce manuel, on se limitera à l'étude de la méthode d'implantation par rayonnement (coordonnées polaires).

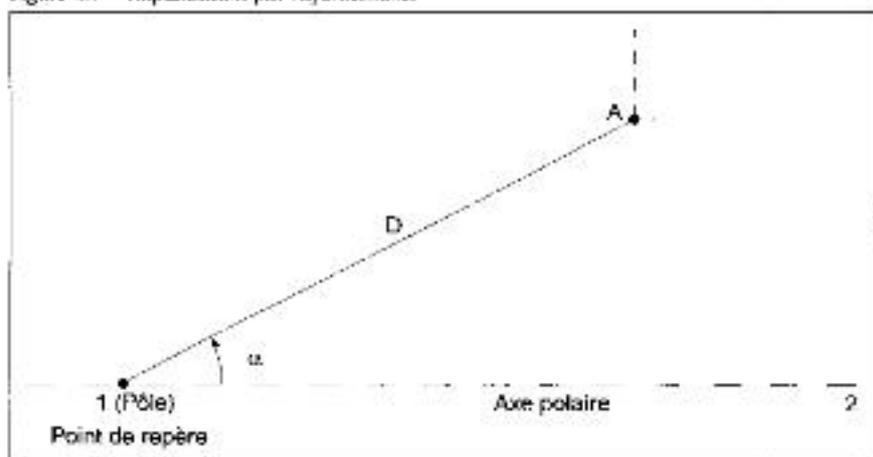


L'implantation est une opération délicate et importante dont les erreurs peuvent engendrer de graves conséquences (alignements non respectés, chevauchement sur propriétés voisines, etc.). On doit donc réaliser cette tâche avec soin et précision.

IMPLANTATION PAR RAYONNEMENT

L'implantation par rayonnement prend le point 1 comme pôle et la ligne 1-2 comme axe polaire (figure 4.1).

Figure 4.1 Implantation par rayonnement



La position du point A peut alors être implantée à partir du point de repère 1 à l'aide :

- de la distance (D);
- de l'angle (α).

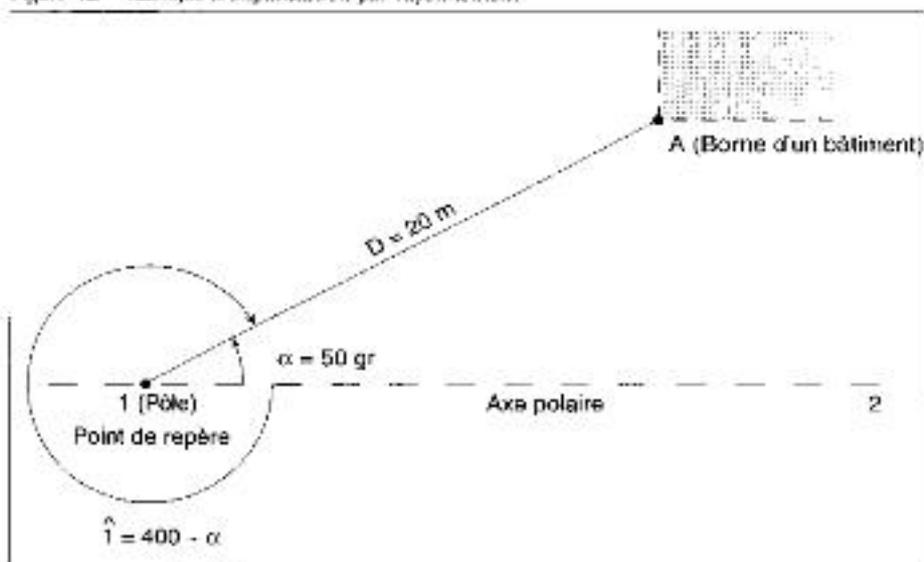
Ces deux valeurs (D et α) constituent les coordonnées polaires du point A sur le terrain.

Exemple :

On veut implanter un bâtiment (figure 4.2). On dispose d'un tachéomètre pour les mesures angulaires et d'un ruban d'acier pour mesurer les distances. L'une des bornes du bâtiment (A) est définie par les coordonnées polaires suivantes, mesurées à partir d'un point de repère 1 (pôle) :

- distance (D) = 20 m
- angle (α) = 50 gr
- angle topographique à implanter = $400 - \alpha$

Figure 4.2 Exemple d'implantation par rayonnement



En pratique, on détermine les coordonnées polaires (D et α) comme suit :

1. Faire la mise en station de l'appareil topographique (tachéomètre) au point 1.
2. Bloquer le cercle horizontal sur la valeur $L_0 = 0,0000$ gr.
3. Viser le point 2 à l'aide de la lunette de l'appareil.
4. Libérer le cercle horizontal et faire tourner l'appareil jusqu'à ce que la valeur de l'angle $400 \text{ gr} - \alpha$ s'affiche.
5. Matérialiser la direction à l'aide d'un jalon.
6. Reporter la distance (D) à l'aide d'un ruban d'acier et matérialiser définitivement le point à l'aide d'un piquet.

Travail pratique Implantation par rayonnement

But : Matérialiser un point sur le terrain par rayonnement.

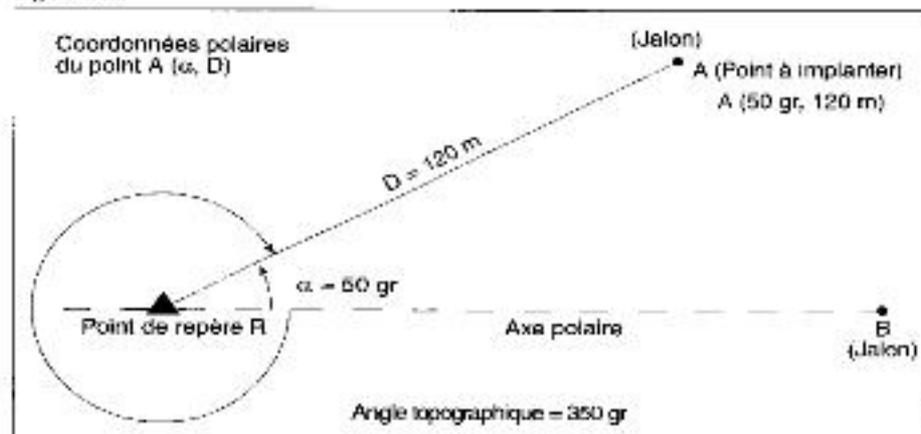
Matériel requis :

- tachéomètre et accessoires
- ruban d'acier
- jalons
- piquets

Marche à suivre

1. Faites d'abord la lecture **complète** des diverses étapes de ce travail pratique.
2. À l'aide d'un croquis d'implantation, matérialisez la ligne d'opération (RA) en prenant le point de repère R comme station de l'appareil topographique et en posant un jalon sur le point B, comme le montre la figure 4.3

Figure 4.3



3. Mettez le tachéomètre en station sur le point R.
4. Bloquez le cercle horizontal sur la valeur $L_0 = 0,0000$ gr.
5. Visez le point B à l'aide de la lunette de l'appareil.
6. Libérez la vis de blocage de l'appareil et faites-le tourner jusqu'à ce que la lecture $L_1 = 350$ gr s'affiche.
7. Matérialisez la direction du point A à l'aide d'un jalon.
8. Reportez la distance horizontale $RA = 120$ m à l'aide du ruban d'acier et matérialisez définitivement le point A avec un piquet.



Lorsque le terrain est accidenté, il est nécessaire d'implanter le point A avec la mire de l'appareil, puisqu'il est impossible de reporter la distance à l'aide du ruban d'acier ou d'une chaîne. A ce moment, l'anneau commutateur du tachéomètre doit être à la position D et la lecture sur la mire doit être égale à 1,2 cm.

9. Rédigez un rapport technique.



Faites vérifier votre travail.

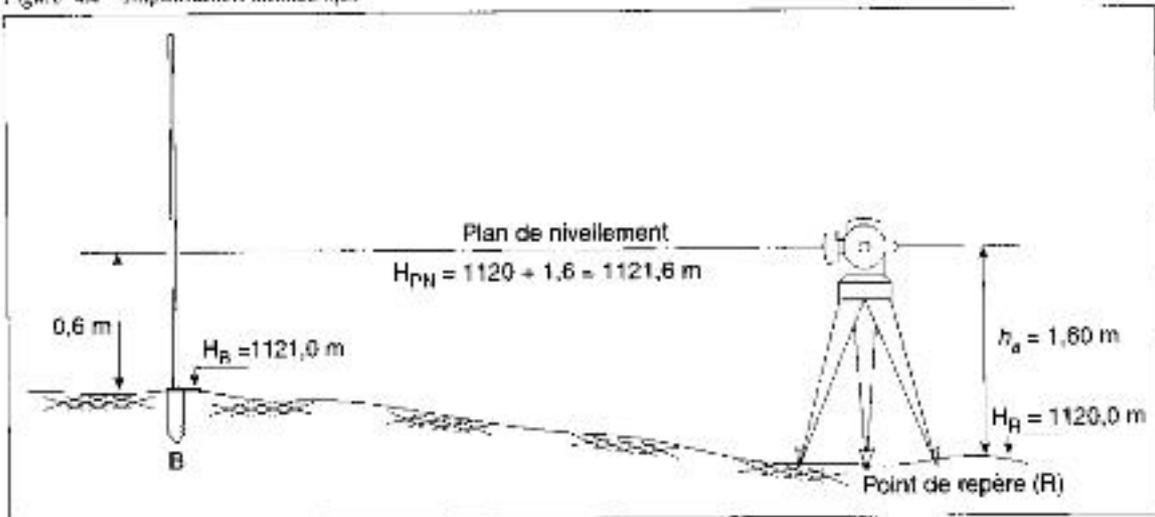
IMPLANTATION ALTIMÉTRIQUE

L'implantation altimétrique consiste à matérialiser sur le terrain des points dont l'altitude est connue sur un plan d'urbanisme ou sur le profil d'un axe (d'une route, d'un chemin de fer, d'un réseau d'égout, etc.).

Voici comment procéder à l'implantation altimétrique d'un point (B) ayant par exemple une altitude $H_B = 1121,00$ m (figure 3.4).

1. Mettre l'appareil (tachéomètre) en station sur un point de repère dont l'altitude est connue (par exemple $H_R = 1120,00$ m).
2. Mesurer la hauteur de l'appareil (par exemple $h_a = 1,60$ m) après avoir effectué le réglage nécessaire du tachéomètre.
3. Déterminer l'altitude du plan de nivellement :
 $H_{PN} = \text{Altitude du point de repère } (H_R) + \text{hauteur de l'appareil } (h_a)$
 $H_{PN} = 1120 + 1,6$
 $H_{PN} = 1121,60$ m
4. Calculer la lecture avant qui doit s'afficher sur la mire afin que son pied suive le profil désiré.
Lecture avant = $H_{PN} - H_B$
Lecture avant = $1121,60 - 1121$
Lecture avant = $0,6$ m
5. Tracer une marque sur un piquet en bois indiquant l'altitude du point désiré (H_B).

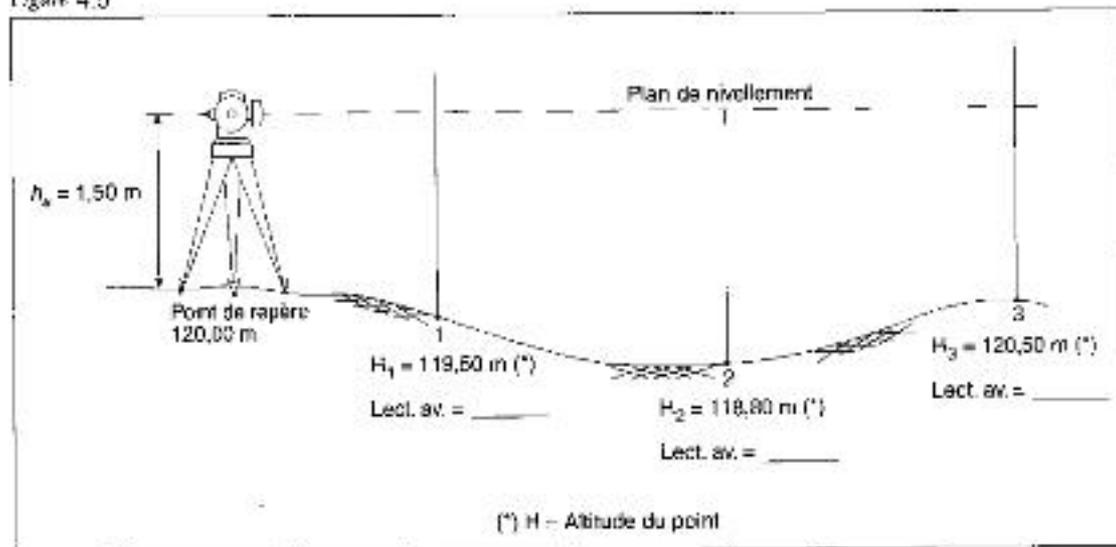
Figure 4.4 Implantation altimétrique



Exercice 4.1

1. Soit à implanter l'altitude des points d'un profil) constituant l'axe d'une route par exemple (figure 4.5).

Figure 4.5



- a) Décrivez la marche à suivre pour implanter les points de ce profil.
- b) Calculez les valeurs des lectures avant qui doivent s'afficher sur la mire pour les différents points du profil représenté sur la figure 4.5 .

RÉSUMÉ

- L'implantation est l'inverse du levé.
- On distingue deux types d'implantations :
 - l'implantation planimétrique;
 - l'implantation altimétrique.
- L'implantation planimétrique par rayonnement est basée sur le choix :
 - d'une station comme pôle;
 - d'une ligne d'opération comme axe polaire.
- L'implantation altimétrique consiste à matérialiser sur le terrain des points dont l'altitude est connue.

IMPLANTATION D'UN BATIMENT

Pour effectuer un implantation d'un bâtiment sur le terrain on doit regarder le plan de masse ou ce bâtiment est présenté avec les coordonnées X et Y dans les coins au diagonale de la construction. Puis on doit matérialiser ces coordonnées sur le terrain avec des piquets en bois ou en fer. On peut faire cette opération avec le théodolite quand on sorte d'une borne en béton existante du système de coordonnées du chantier. On doit faire les mesures pour les distances OBLIGATOIRE AVEC LA ROULETTE car l'exactitude des mesures des distances optique n'est pas suffisante. Quand les coins sont déjà matérialisés avec les piquets on doit prendre le plan de la fouille du bâtiment pour voir les talus. Les talus dépendent du sol et du sous sol, s'il y a dans la construction du bâtiment. Ça nous montre à quelle distance on doit transmettre les piquets pour les garder pendant le déblaié et comment on peut les restaurer plus tard. Sur cette position des piquets on fait une construction en bois qui entoure la fouille et sur laquelle avec des clous sont fixés les axes et les rangs du bâtiment. Cette construction porte le nom la chaise. Quand on sait le déplacement on peut poser le théodolite sur les clous de la chaise et de restaurer chaque axe ou rang pendant le travail.

Quand il n'y a pas un plan de masse on doit faire les mêmes opérations en sortant des distances fixées des autres bâtiments, existants sur le terrain.

X. PROFIL

1. Définitions

Un profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire (route, voie ferrée, canalisation, etc.). Le profil en long est complété par des profils en travers qui sont des coupes verticales perpendiculaires à l'axe du projet. Leur établissement permet en général le calcul des mouvements de terres (cut-and-fill) et, par exemple, permet de définir le tracé idéal d'un projet de manière à rendre égaux les volumes de terres excavés avec les volumes de terre remblayés. L'informatique joue ici aussi un rôle déterminant puisque ces calculs sont répétitifs. En effet, il faut plusieurs essais lors d'une recherche de tracé avant d'arriver au tracé définitif.

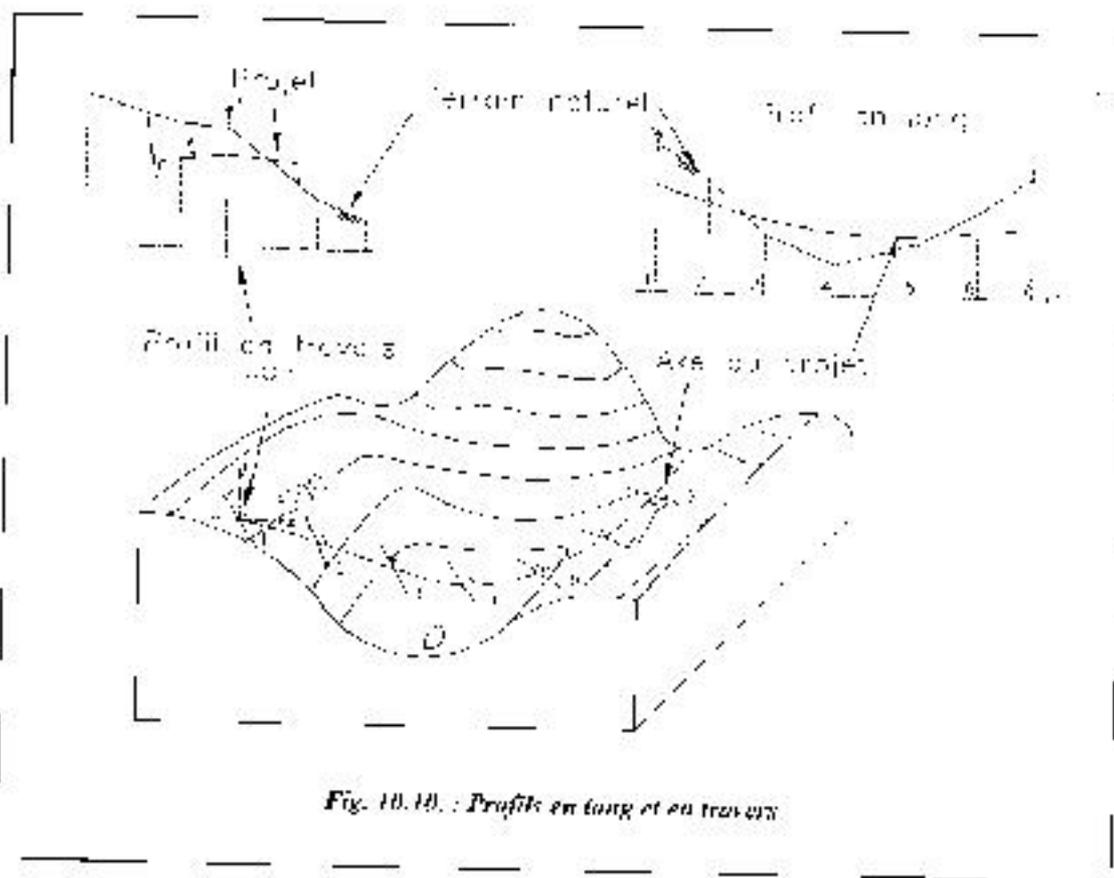


Fig. 10.10. : Profils en long et en travers

Par exemple, sur la figure 10.10., un projet routier est figuré en trait d'axe. Le profil en long constitue un développement suivant son axe sur lequel sont représentés le relief naturel et le projet. Les profils en travers, régulièrement espacés, sont une vue en coupe qui fournit l'inscription de la route dans le relief perpendiculairement à l'axe.

2. Le profil en long

Le profil en long est un **graphique** (fig. 10.11) sur lequel sont reportés tous les points du terrain naturel et de l'axe du projet. Il est établi en premier lieu. On s'appuie sur ce document pour la des-m des profils en travers (fig. 10.12.). Ce graphique s'oriente de la gauche vers la droite ; les textes se rapportant au projet sont en rouge, écriture droite et ceux qui se rapportent au terrain naturel en noir et en italique (si l'on travaille exclusivement sur un support en couleur, on peut ne pas utiliser la représentation en italique). Distances et altitudes sont données en mètres au centimètre près.

On choisit en général un plan de comparaison d'altitude inférieure à l'altitude du point le plus bas du projet ou du terrain naturel. Ce plan de comparaison est l'axe des abscisses du graphique sur lequel sont reportées les distances horizontales suivant l'axe du projet. Sur l'axe des ordonnées, sont reportées les altitudes.

Les échelles de représentation peuvent être différentes en abscisse et en ordonnées (en rapport de l'ordre de 1/5 à 1/10) de manière à souligner le relief qui peut ne pas apparaître sur un projet de grande longueur.

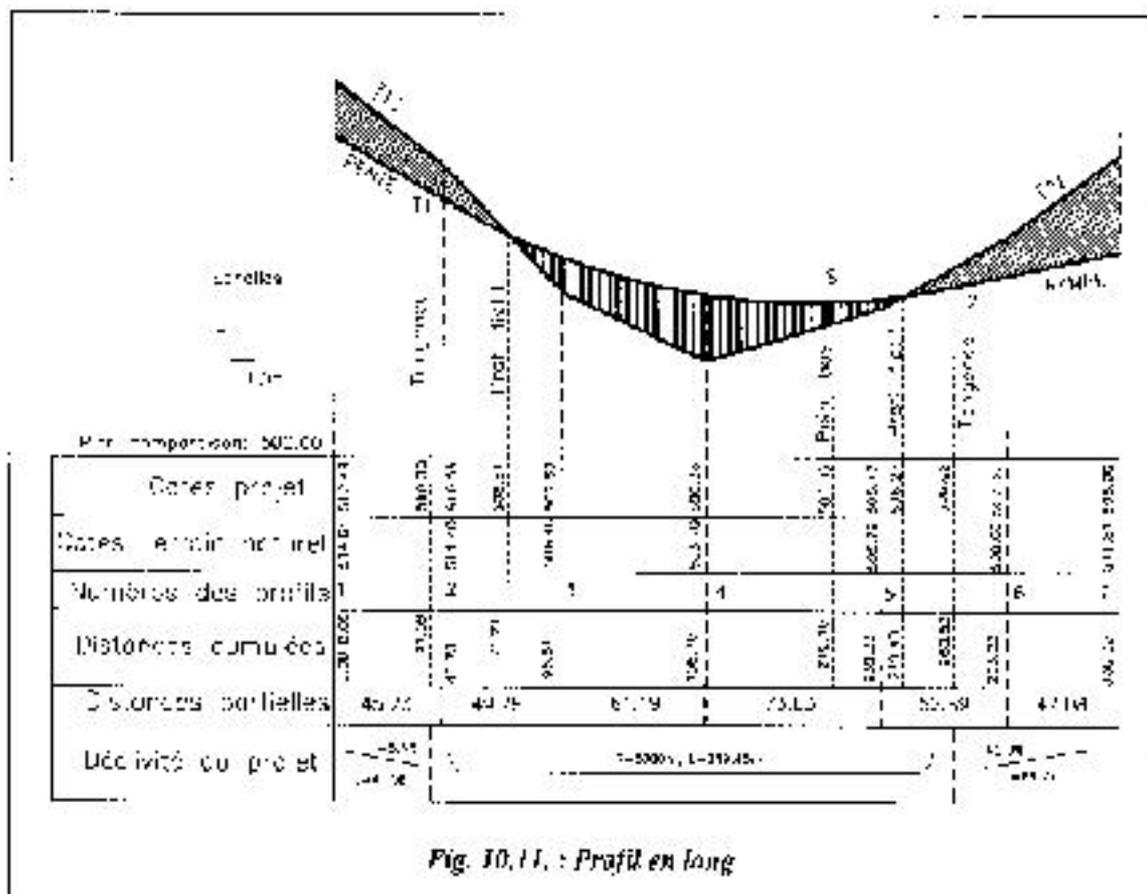
On dessine tout d'abord le terrain naturel (TN), généralement en trait moyen noir. Son tracé est donné par la position de chaque point d'axe d'un profil en travers, le terrain naturel étant supposé rectiligne entre ces points. On reporte en même temps dans le cartouche des renseignements en bas du graphique : les distances horizontales entre profils en travers dites distances partielles, les distances cumulées (appelées aussi abscisses cumulées) depuis l'origine du projet et l'altitude de chaque point.

On positionne ensuite le projet (trait fort rouge) en tenant compte de tous les impératifs de visibilité : pente maximale, égalité des déblais et des remblais, etc.

Ce tracé donne des points caractéristiques comme les points de tangence entre droites et parties courbes, les points hauts (ou sommets situés à la fin d'une rampe et au début de la pente suivante), les points bas (situés à la fin d'une pente et au début de la rampe suivante). Une rampe est une déclivité parcourue en montant dans le sens du profil, une pente est parcourue en descendant. Un parcours horizontal est aussi appelé palier. Les déclivités des parties droites, les longueurs projetées des alignements droits et des courbes ainsi que les rayons de courbure sont reportés en bas du cartouche ; on reporte également les longueurs développées des courbes.

Les cotes des points caractéristiques du projet sont reportées dans les lignes de renseignement en bas du graphique : distance à l'origine du projet (distance cumulée) et altitude. Dans la phase d'avant-projet sommaire, elles sont mesurées sur le graphique du profil en long. Elles sont calculées exactement en phase de projet d'exécution, à partir du profil en long et des profils en travers réels, levés sur le terrain. La manière la plus efficace de faire ce calcul est de construire le profil sur un logiciel de DAO et d'y lire les coordonnées des intersections.

Les calculs des positions des points caractéristiques se ramènent à des intersections droites-droites, droites-cercles ou droites paraboles dans le repère associé au profil en long.



On peut colorier de manière différente les remblais (en rouge) et les déblais (en bleu).

Les profils en travers fictifs (surface nulle) dont on doit déterminer la position (abscisse et éventuellement l'altitude) sont les points d'intersection entre le terrain naturel et l'axe du projet : ces profils particuliers sont utiles pour le calcul des cubatures. Il faut connaître leur position en abscisse par rapport aux deux profils en travers qui les encadrent.

3. Divers types de profil en long

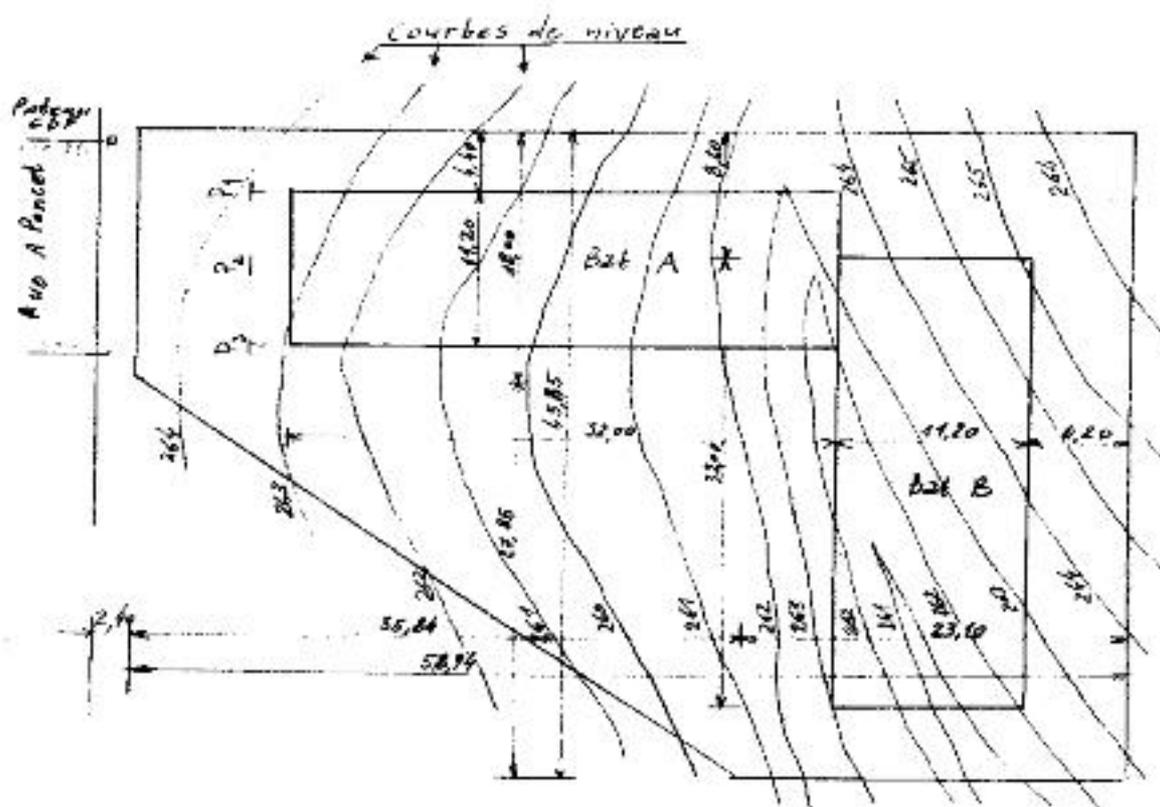
En topographie on peut créer des profils en long avec des mesures sur le terrain ou avec des mesures sur les divers plans et cartes. Toujours on doit déterminer les éléments du profil en long et puis d'exprimer ces éléments sur une grille avec Eh et Ed et avec une cote relative. Le but de profil en long est de nous donner une image pour le terrain et sur cette image on doit apporter toutes les communications existantes sous terrain avec ses éléments : type de communication, diamètre, profondeur. On peut trouver ces données dans les plans cadastrales pour les réseaux sous terrain, qui se trouvent dans les services techniques et on doit les affirmer avec une signature.

1.PROFIL EN LONG AVEC DES MESURES DIRECTES SUR LE TERRAIN

On doit créer sur le terrain une ou quelques lignes toutes droites et de mesurer les distances et les altitudes des divers points, ou le terrain change et puis de faire le dessin sur une grille. On fait les mesures avec des instruments et appareilles topographiques.

2.PROFIL EN LONG AVEC LES COURBES DE NIVEAU

Dans ce cas on doit savoir l'échelle de la carte et de dessiner sur les courbes de niveau une ou quelques lignes toutes droites, de fixer les points de croisements et de mesurer les distances entre ces points et puis de déterminer les altitudes. Si le point du départ ou final se trouve entre deux courbes de niveau on doit déterminer l'altitude avec interpolation.



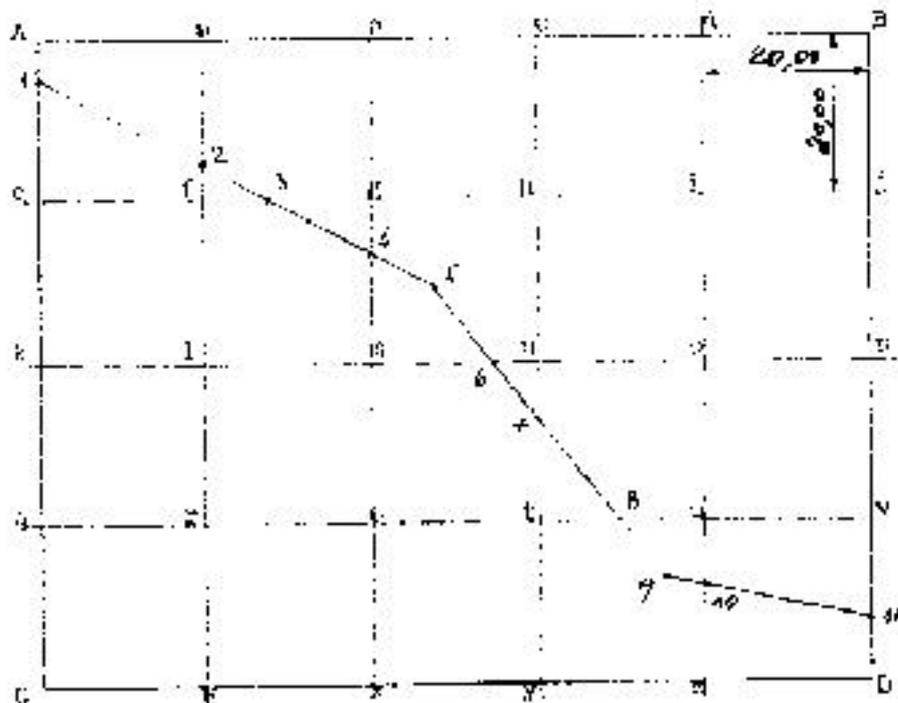
3. PROFIL EN LONG DANS LES LIMITES D'UN LOTISSEMENT

Dans ce cas de nouveau on doit savoir l'échelle de plan de lotissement et les altitudes des points de croisement des axes des rues. C'est la base pour déterminer les éléments de profil en long. Quand on fixe les points nécessaires sur le plan on mesure les distances selon l'échelle et on calcule les altitudes de ces points avec interpolation.

4.PROFIL EN LONG SUR UN PLAN COTE

Dans ce cas pour réaliser notre profil en long on doit dessiner une ou quelques lignes toutes droites sur le plan coté en sachant l'échelle. Puis on doit relier les points les plus proches à gauche et à droite de la ligne de profil. Les points de croisement déterminent les points où le terrain change. On doit mesurer les distances entre ces points selon l'échelle. Puis on doit mesurer toutes les distances entre les points les plus proches et la ligne de profil. Avec ces distances et la différence des altitudes des points on peut faire les relations pour calculer les altitudes des points de notre profil en long.

On peut faire des profils en long aussi par les autres méthodes, mais enfin le but est de déterminer les éléments de profil en long et puis de les présenter sur le dessin.



4. Le profil en travers

Les profils en travers (sections transversales perpendiculaires à l'axe du projet) permettent de calculer les paramètres suivants :

- la position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements ,
- l'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel ;
- les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

Le profil en travers (fig. 10.12.) est représenté en vue de face pour une personne qui se déplacerait sur l'axe du projet de l'origine à l'extrémité du projet. La voie de gauche doit donc se situer sur la partie gauche du profil.

On commence par dessiner le terrain naturel à partir d'un plan horizontal de référence qui n'est pas forcément celui du profil en long, de manière à obtenir le profil en travers à l'échelle maximale sur le format choisi. L'échelle de représentation est de l'ordre de 1/100 à 1/200 (jusqu'à 1/50 pour les voies les moins larges). Il n'y a pas d'échelle différente en abscisse et en ordonnée de manière à pouvoir mesurer directement sur le graphique des longueurs dans toutes les directions ou bien des surfaces (mesure sur papier au planimètre ou sur informatique, par exemple à l'aide de la commande *AREA* d'AutoCAD). L'abscisse de chaque point du terrain naturel (ou du projet) est repérée par rapport à l'axe du profil en travers (donc négative à gauche et positive à droite). L'ordonnée est toujours l'altitude du point. Cette représentation logique introduit un repère (x, y, z) non direct (fig. 10.10.).

On y superpose ensuite le gabarit type du projet (largeur de chaussée, accotements, fossés et pentes de talus) à partir du point d'axe dont l'altitude a été déterminée sur le profil en long. Sur informatique, ce gabarit est un dessin type (sous forme de bloc) mis en place à chaque profil. En dessin manuel, on utilise un fond de plan.

Cela permet de calculer la position des **points d'entrée en terre**

Les conventions de couleur et d'écriture doivent être les mêmes que pour le profil en long.

Les fossés ne sont pas repérés comme les autres points caractéristiques puisque, de manière à simplifier le calcul, ils n'interviennent pas dans la décomposition de la surface en triangles et trapèzes. Ils sont calculés séparément.

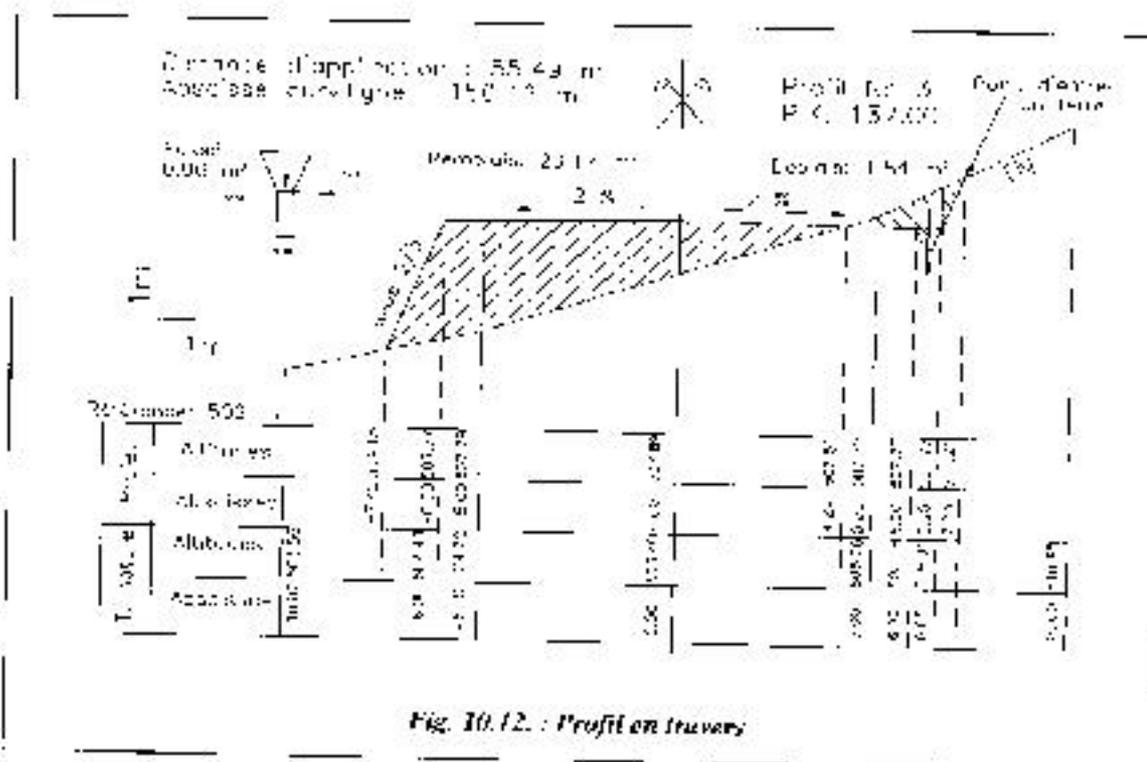


Fig. 10.12. : Profil en travers

Une flèche verticale dans l'axe du fossé indique si l'eau s'écoule vers le profil suivant (flèche vers le bas) ou vers le profil précédent (flèche vers le haut) dans le sens du profil en long.

On porte sur chaque profil la surface de remblais et de déblais

Le numéro du profil et sa position (P.K. ou point kilométrique) dans le projet doivent figurer sur le graphique.

Les surfaces en déblai et en remblai sont calculées et portées sur le graphique ainsi que la distance d'application du profil

On indique aussi l'abscisse curviligne à l'axe du projet (distance suivant l'axe depuis l'origine du projet).

Les calculs nécessaires à la détermination des points d'entrée en terre, s'ils sont effectués manuellement, peuvent être obtenus par l'intersection de droites dans le plan du graphique. De même, les surfaces peuvent être calculées manuellement en utilisant les coordonnées (x et y) des sommets ou au moyen d'un planimètre. Le moyen le plus efficace reste le dessin à échelle réelle sur ordinateur et la lecture directe des coordonnées et surfaces

Il existe trois types de profils en travers (fig. 10.13.) : les profils en remblai, en déblai ou bien les profils mixtes.

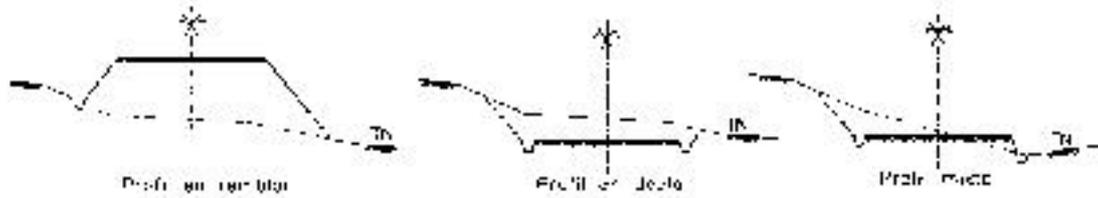


Fig. 10.13. : Différents types de profil

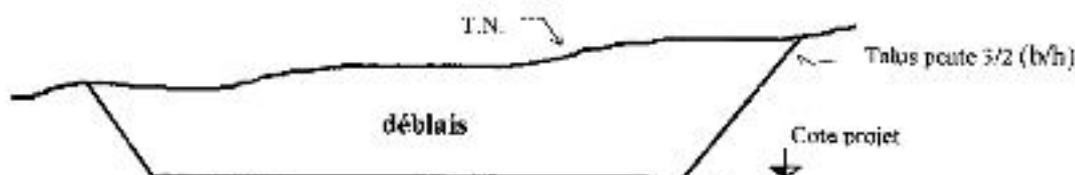
Notons que la présence du fossé sur ces différents types de profils n'est nécessaire qu'en cas d'impossibilité d'écoulement naturel des eaux. Par exemple, comparez le profil en remblai et le profil mixte.

XI. CUBATURE DES TERRASSEMENTS

Problème posé:

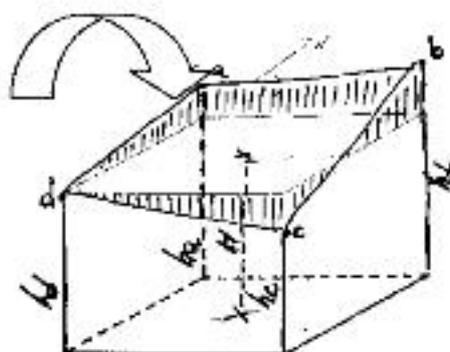
Dans un projet de terrassement, le profil du projet à réaliser est en général bien défini, en plan et en altitude.

Le problème consiste à trouver une méthode de calcul des volumes de déblais ou de remblais prenant en compte avec une relative précision, le relief du terrain naturel avant travaux.



A - Méthode des plans cotés

La méthode dite « des plans cotés » consiste à matérialiser au préalable sur le terrain un quadrillage à l'aide de piquets, dont les dimensions des mailles carrées ou rectangulaires varient de 5m à 20 m ou 25 m selon les ondulations du terrain naturel. On procède ensuite au nivellement des sommets du quadrillage et on admet que la surface du sol est plane à l'intérieur de chaque maille ainsi obtenue.



Chacune des mailles formées par ce quadrillage représente la vue en plan d'un prisme dont la hauteur est égale à la moyenne des différences de niveau entre le terrain naturel et le projet.

$$H = \frac{ha+hb+hc+hd}{4}$$

Le volume de chaque prisme est $V = \text{surface de la maille} \times H$ et par la suite, le cube total des déblais (ou de remblais) sera égal à la somme des volumes de chaque prisme.

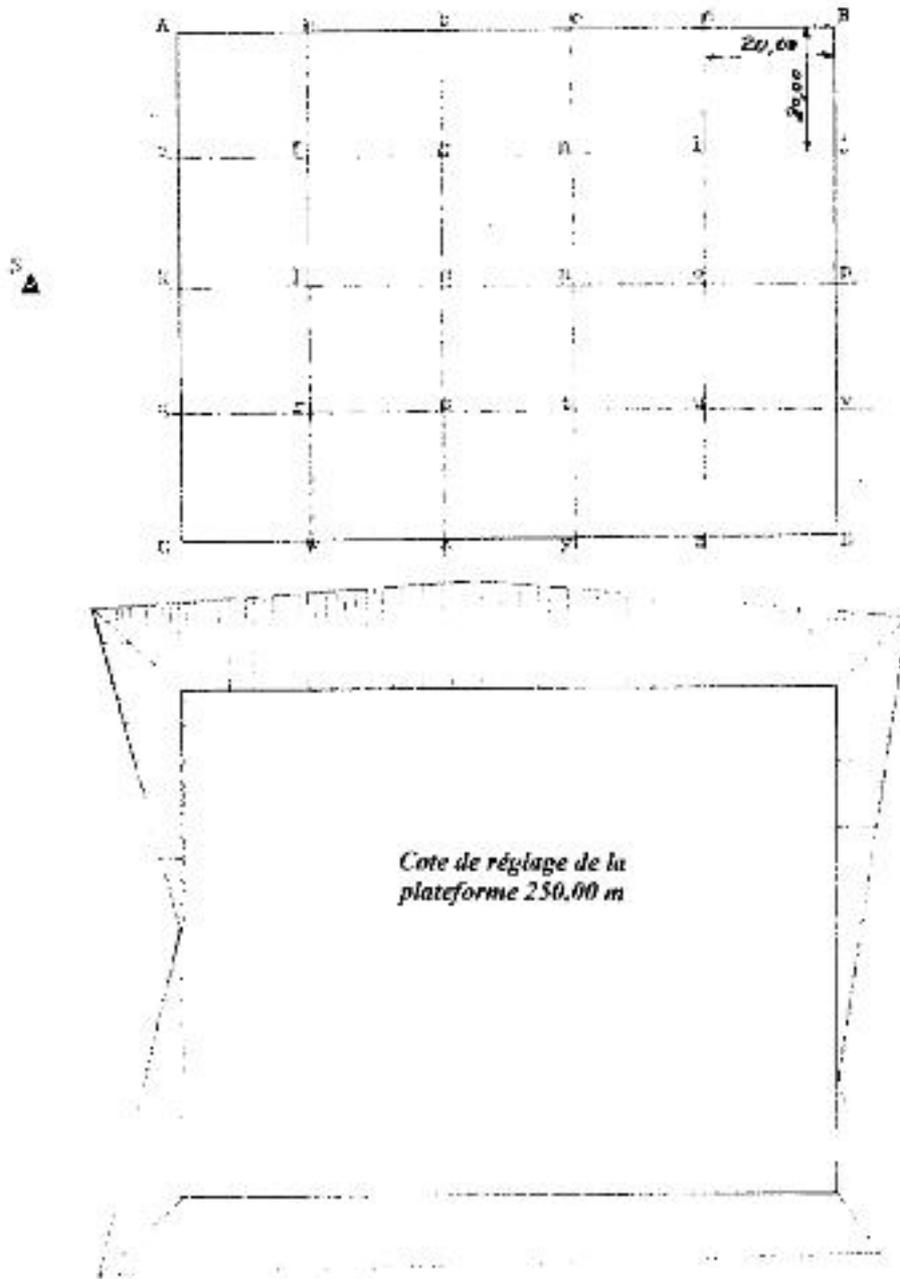
Si l'on ne désire qu'une approximation du cube de déblais, on peut employer la méthode approchée suivante :

$$V = S \times \frac{\sum \text{altitudes des piquets}}{\text{Nombre des piquets}} - \text{cote du fond de fouille.}$$

Cubature des terrassements : METHODE DES PLANS COTÉS

Conditions de réalisation

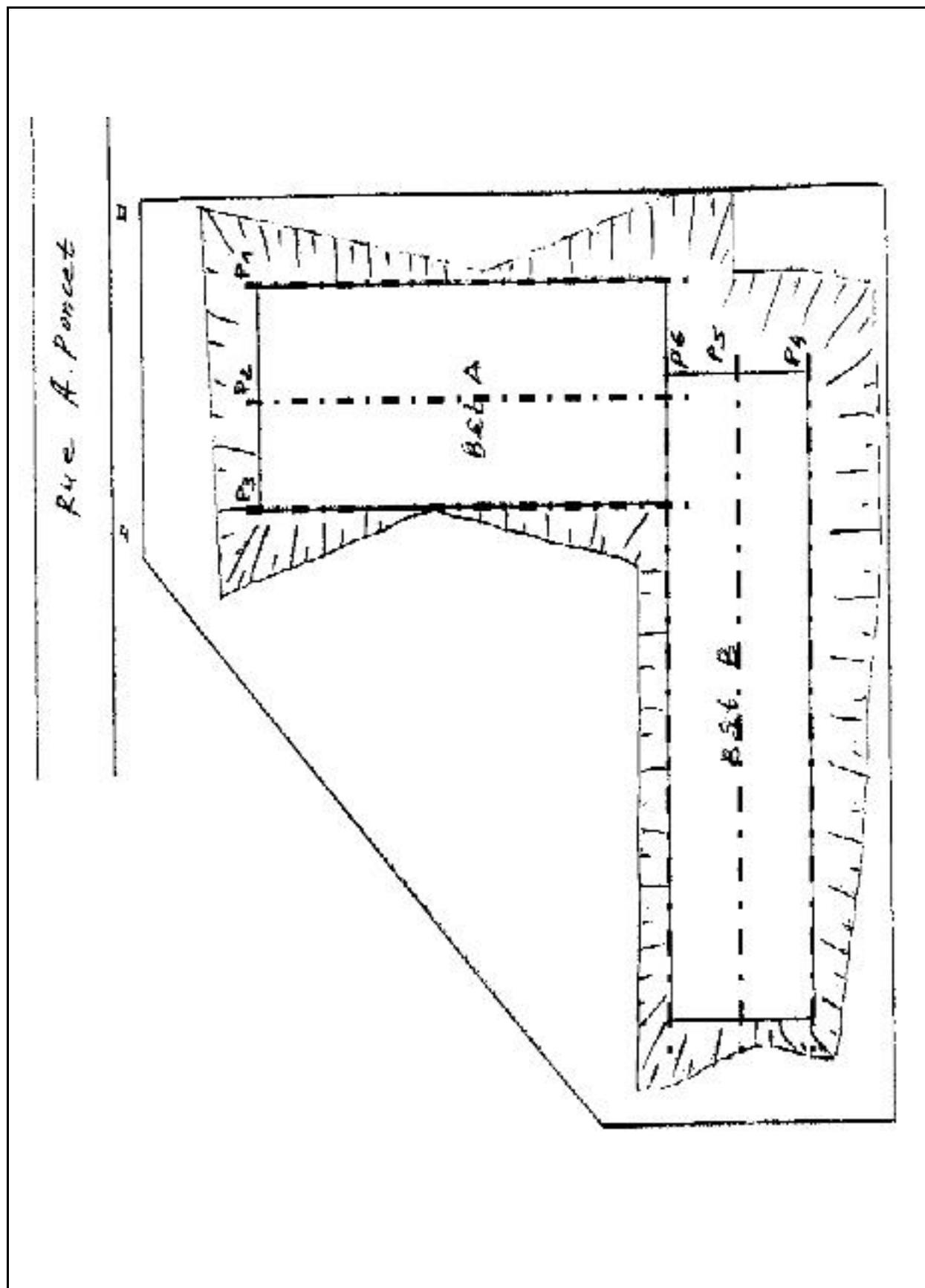
Pour la construction d'un bâtiment industriel, on doit réaliser une plateforme de terrassement de 80 m x 100 m, selon la vue en plan suivante :

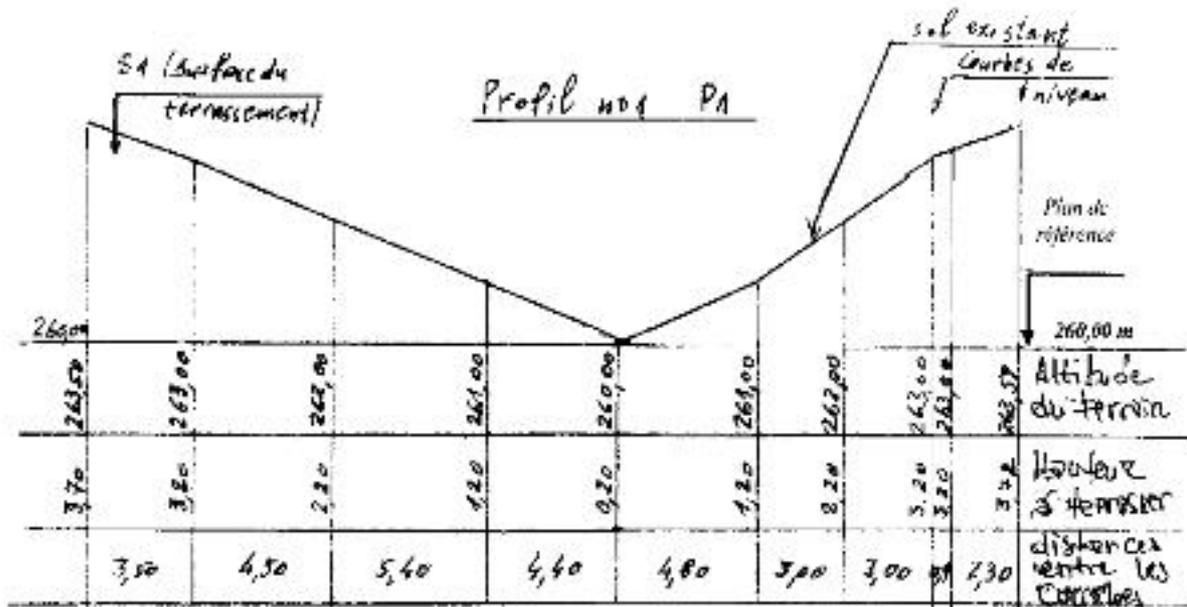


Un levé de terrain préalable a été effectué suivant un quadrillage à mailles carrées de 20 m de côté, adapté au relief du terrain naturel et à la précision souhaitée.

L'altitude du point A est de 250,300 m NGM.

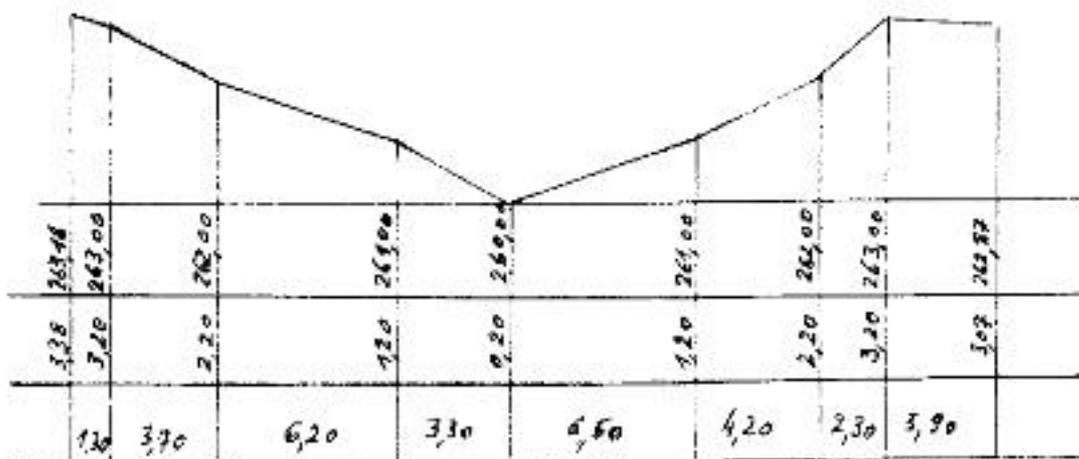
Points	Lectures	Altitude du plan de visée	Altitude des points nivelés	Profondeur à terrasser
A	1.480	251.780	250,300	
B	1.605	"		
C	1.575	"		
D	1.600	"		
a	1.450	"		
b	1.382	"		
c	1.475	"		
d	1.523	"		
e	1.605	"		
f	1.558	"		
g	1.485	"		
h	1.520	"		
i	1.552	"		
j	1.590	"		
k	1.750	"		
l	1.705	"		
m	1.620	"		
n	1.606	"		
o	1.655	"		
p	1.622	"		
q	1.625	"		
r	1.583	"		
s	1.500	"		
t	1.525	"		
u	1.586	"		
v	1.655	"		
w	1.502	"		
x	1.390	"		
y	1.455	"		
z	1.520	"		

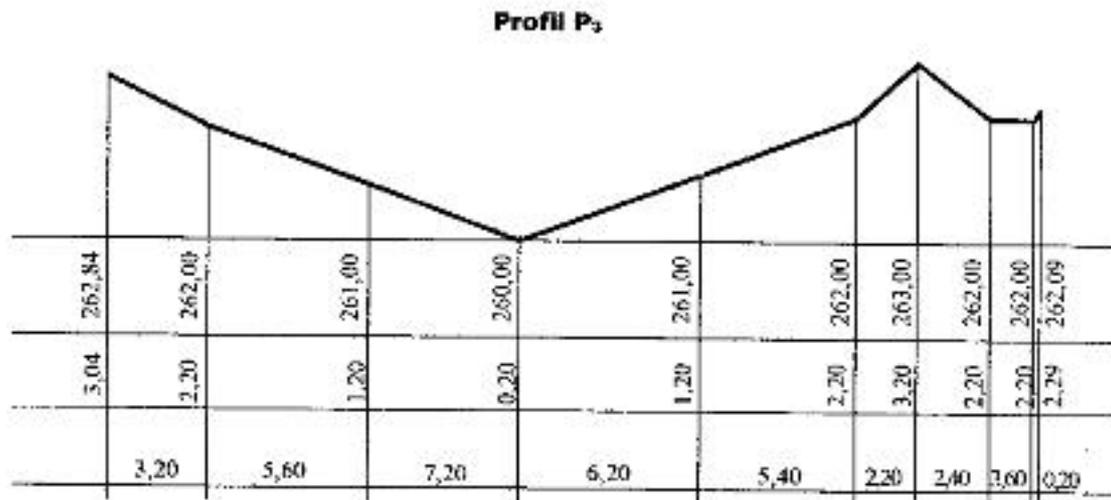




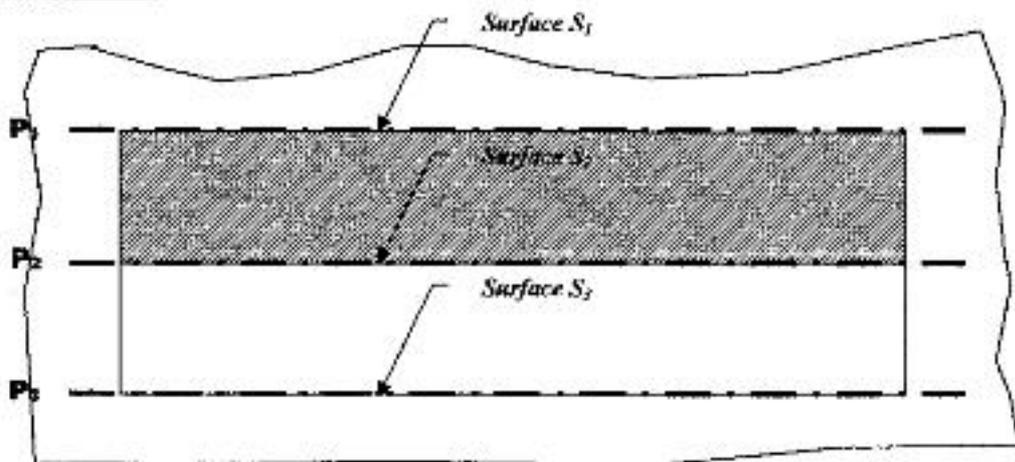
L'altitude de la fouille étant à 259,80 m, les hauteurs à terrasser sont donc majorées de 0,20 m

Profils n°2 P2





Calcul des cubatures :



Calcul de S₁ : Surface du profil P.

$$\frac{3,70 + 3,20}{2} \times 3,50 + \frac{3,20 + 2,20}{2} \times 4,90 + \frac{2,20 + 1,20}{2} \times 5,40 + \frac{1,20 + 0,20}{2} \times 4,40 + \frac{0,20 + 1,20}{2} \times 4,80 + \frac{1,20 + 2,20}{2} \times 3,00 + \frac{2,20 + 3,20}{2} \times 3,00 + 3,20 \times 0,70 + \frac{3,20 + 3,79}{2} \times 2,30 = 64,40 \text{ m}^2$$

Même calcul pour les autres profils

Volume à excaver :

$$\text{Bât A : } V_A = \frac{S_1 + S_2}{2} \times 5,60 + \frac{S_2 + S_3}{2} \times 5,60$$

$$\text{Bât B : } V_B = \frac{S_4 + S_5}{2} \times 5,60 + \frac{S_5 + S_6}{2} \times 5,60$$

Ajouter 245 m³ pour les talus.

XII. PLAN DE MASSE

Plan de masse est un dessin très important pour un chantier. Le but est de présenter tous les bâtiments et les communications sur ou sous terrain dans les limites du terrain, destiné pour ce chantier. La création de plan de masse est un procès très difficile. Il y a besoin des efforts des spécialistes de divers branches : architectes, technologistes, ingénieurs, topo, etc. Le travail pour le topographe et de créer un système de coordonnées local sur le terrain, de matérialiser avec des bornes en béton certaines points sur les places convenables et plus tard d'implanter avec les coordonnées les divers projets. Sur le plan de masse chaque bâtiment, l'axe de la route ou communication sous terrain doit être présenter avec X et Y de ce système local. Le plan de masse est la base pour le terrassement du terrain. Le nombre des feuilles d'un plan de masse dépend de surface du chantier et de l'échelle du dessin. 1 : 500 est l'échelle le plus convenable qui nous donne la possibilité de distinguer chaque chose sur le plan de masse. Les coordonnées de chaque bâtiment sont fixés aux diagonales, pour les axes des rues - au carrefours, pour les canalisations - sur les regards. Chaque déviation est obligatoire d'être fixer avec X et Y. Dans chaque bureau d'étude il y a un responsable pour le plan de masse et chaque projet ne peut pas sortir sans la signature de ce responsable. De ce manière on peut éviter beaucoup de fautes pour les positions des divers bâtiments et communications dans les limites du chantier.

TOPOGRAPHIE ELEMENTAIRE 1
(INITIATION)
GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES

I. Travail pratique n°1 : **MESURAGE DIRECT UN ALIGNEMENT
COMPRENANT DES POINTS INTERMEDIAIRES**

I.1. **Objectif visé** : Toutes les distances mentionnées sur les plans, sauf Indications particulières, sont des distances horizontales.

- Il import donc, sur le terrain, de les reporter horizontalement !

- Le report des cotes cumulées (distance de chaque point par rapport à une même origine est de loin préférable, car présentant moins de risques d'erreur, au report des cotes partielles. L'erreur de l'une d'entre elles modifiant la situation des autres points (fig. 79).

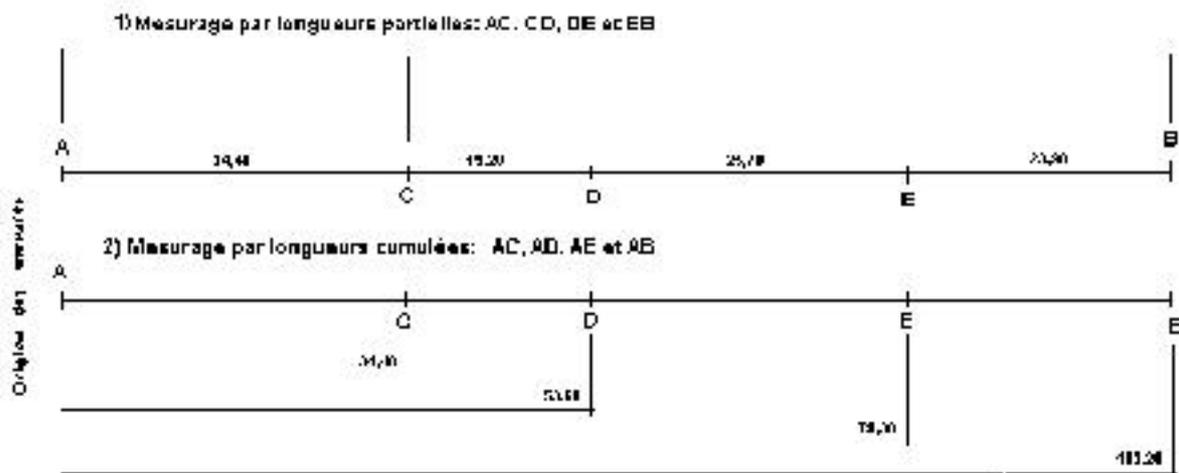


Fig. 79

I. 2. **Durée du TP** : 4 heures

I. 3. **Equipement** : Un ruban d'acier de 10 à 20 m avec son épaisseur de 0,3 à 0,4mm (fig. 80).

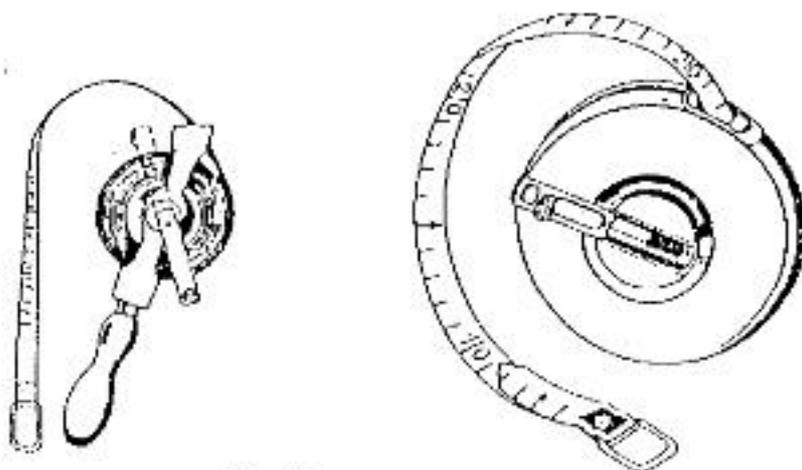


Fig. 80

I. 4. **Description du TP** : Mesurer l'alignement AB, dont les points intermédiaires sont C – D – E (fig. 79).

- a) En terrain plus ou moins horizontal max 2.5 % de pente = erreur négligeable de 3 mm sur 10 m.
- A plat sur le sol, l'aide maintient l'origine du ruban au point de départ et indique l'alignement à l'opérateur. Celui-ci tend le ruban correctement et marque la première portée soit d'un trait de craie ou de crayon, soit en plantant une fiche bien verticalement.
 - La même opération est successivement répétée jusqu'à ce que l'opérateur lise l'appoint de la dernière portée.

b) En terrain incliné (> 2.5 % de pente).

- On procède par cuitellation.
- Pour ce faire, on mesure toujours en descendant la pente.
- L'aide maintient l'origine du ruban au point de départ et indique l'alignement à l'opérateur. Celui-ci tend fortement le ruban à l'horizontale et laisse glisser le fil à plomb jusqu'au sol où un second aide marque la portée.

N.B : Au lieu du fil à plomb, on peut utiliser la fiche plombée mais avec moins de précision.

A la place du ruban, on peut utiliser plus aisément une latte à niveler ou une latte graduée avec un niveau à bulle (fig.2.3.2.2), ce qui permet un travail plus précis, mais plus lent car de longueur plus restreinte (2 à 3 m).

c) Note sur la précision des mesures au ruban.

- Il est évidemment très malaisé de déterminer la précision des mesures. En effet, les conditions de travail (nature du sol, mesurage à plat ou par cuitellation) ont ici une influence primordiale.
- On peut néanmoins admettre les chiffres suivants selon que le mesurage est effectué avec un minimum ou avec un maximum de soins :
 - a) mesurage à plat sur terrain facile (trottoir pavé par exemple) sur 100 m = de 2 à 5 mm environ;
 - b) mesurage par cuitellation ou sur terrain

difficile (labours, prairies, etc...) sur 100 m
- de 2 à 4 cm environ.

d) PRINCIPES A RESPECTER POUR ELIMINER CERTAINES
CAUSES D'ERREURS.

- 1) Chaque fois que cela est possible (sol à peu près horizontal et sans obstacles) matérialiser l'alignement à mesurer, au moyen d'un cordeau tendu entre les piquets d'extrémité et intermédiaires; cela permet de mesurer directement le long de la ficelle, sans avoir à guider l'aide.
- 2) Tendre correctement le ruban mais en y exerçant une traction constante : si l'effort de traction varie, l'allongement élastique du ruban varie; les opérateurs conservent le ruban tendu lorsqu'ils se déplacent.
- 3) Repérer, de manière indélébile et nette, chaque dizaine ou vingtaine de mètres mesurés, au moyen de marques appropriées au sol ou à l'ouvrage concerné : piquets métalliques, traits de crayon, etc.
- 4) Lire attentivement les nombres sur le ruban et éventuellement l'appoint sur le double-mètre, et les inscrire immédiatement sur le carnet, sans confusion possible en formant correctement les chiffres.
- 5) Vérifier en mesurant en sens inverse : l'erreur sur 100 m ne devrait pas dépasser 2 cm sur terrain plat.

- a) Ne pas s'entêter de vouloir mesurer au ruban d'acier de longues distances horizontales sur des terrains en pente. L'erreur peut atteindre 30 cm et plus sur 100 m. Il est alors préférable de mesurer l'axe à implanter selon la ligne de pente, en repérant les points de changement. On relève l'angle de chaque pente en mesurant les dénivellées successives à l'aide d'une mire et d'un niveau à lunette. Les distances horizontales successives peuvent alors être calculées par trigonométrie ou à l'aide d'une table appropriée (ce qui fera l'objet d'une autre leçon).
- b) Vérifier si l'anneau du ruban est compris ou non dans la mesure, en repérant l'origine de la graduation.
- c) Nettoyer le ruban après usage en l'essuyant d'abord avec un chiffon sec, puis avec un autre chiffon légèrement enduit de pétrole.

I. 5. Déroulement du TP :

- soit l'alignement AB
- mesurer en premier lieu les distances partielles A-C, C-D, D-E et E-B ;
- mesurer ensuite les cumulées A-C, A-D, A-E et A-B (le point d'origine 0 étant en A) ;
- à partir de B, faire l'opération inverse ;
- vérifier les mesures partielles par rapport aux cumulées, ainsi que les cumulées de A vers B et de B vers A.

II. Travail pratique n°2 : MISE EN STATION UN NIVEAU DE CHANTIER

II.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de mise en station un niveau de chantier.

II.2. Durée du TP : 2 heures

II.3. Equipement : Un niveau de chantier et un trépied

Les éléments constitutifs d'un niveau sont les suivants :

- 1. Embase
- 2. Vis calantes (3 vis)
- 3. Rotation lente
- 4. Mise au point sur l'objet
- 5. Objectif
- 6. Visseur d'approche rapide
- 7. Oculaire
- 8. Anneau amovible
- 9. Contrôle de l'automatisme
- 10. Compensateur à pendule
- 11. Cercle horizontal (option sur le NA2)
- 12. Nivelles sphériques (invisible ici)

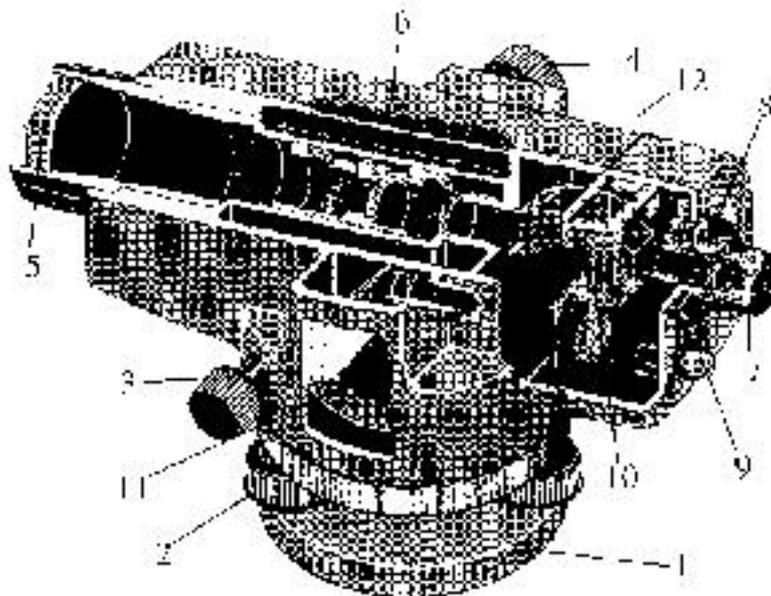


Fig.81: NA2 (vue en coupe)

II.4. Description du TP : Le niveau n'étant pas (ou très rarement) stationné sur un point donné, le trépied est posé sur un point quelconque. Le stagiaire doit reculer après avoir positionné le trépied afin de s'assurer de l'horizonté du plateau supérieur. Lorsque le plateau est approximativement horizontal, le stagiaire y fixe le niveau.

II.5. Déroulement du TP :

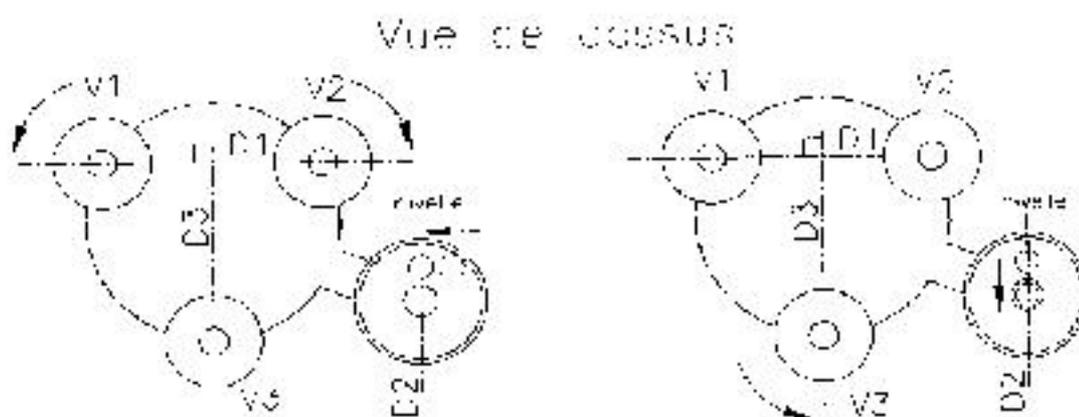


Fig. 82: Calage de la nivelle sphérique

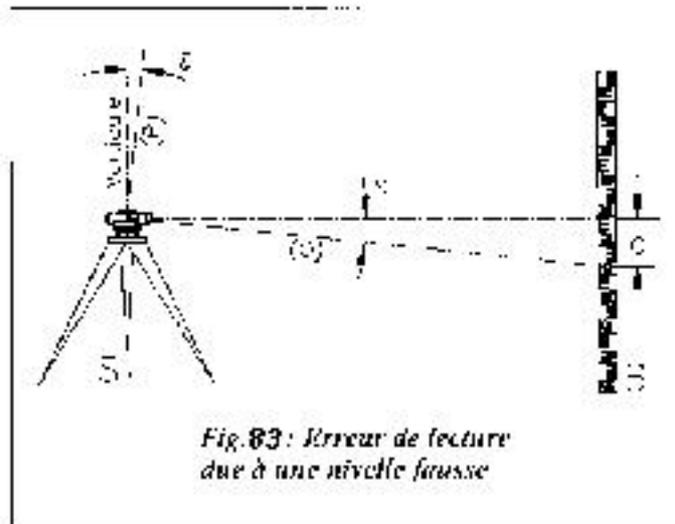
Le calage de la nivelle sphérique se fait au moyen des vis calantes, comme indiqué sur la figure 82 : en agissant sur les deux vis calantes V1 et V2, on les tournant en sens inverse l'une de l'autre, l'opérateur fait pivoter le corps du niveau autour de la droite D3. Il amène ainsi la bulle de la nivelle sur la droite D2 parallèle à D3. En agissant ensuite sur la vis calante V3, il fait pivoter le niveau autour de la droite D1 et centre ainsi la bulle dans le cercle de centrage de la nivelle sphérique.

Ce calage n'est pas très précis car la nivelle sphérique est d'une sensibilité relativement faible : par exemple, pour un NA20, la sensibilité de la nivelle sphérique est de 8,72 mm soit une rotation angulaire de 15' egon pour un déplacement de 2mm. Une erreur de calage de la bulle de 0,2 mm entraînerait donc une erreur angulaire de $\alpha = 1,5$ egon.

La visée sur une mire placée à 35 m donne un écart $e = 35 \cdot 10^3 \cdot \tan \alpha = 8$ mm sur la mire (voir fig. 83). Nous verrons que les lectures sur mire sont appréciées au millimètre près : cette erreur due à l'imprécision de la nivelle est donc inacceptable.

En fait, sur un niveau moderne (dit « automatique »), le calage de la nivelle sphérique ne sert qu'à approcher l'axe principal de la verticale. L'horizontalité de la ligne de visée est ensuite calée plus finement par un **automatisme** qui ne fonctionne correctement que lorsque l'axe vertical est proche de la verticale.

Sur un niveau sans automatisme, une nivelle torique de directrice parallèle à l'axe optique permet un calage précis de la ligne de visée, mais elle doit être calée avant chaque pointé sur mire. Son calage et son réglage obéissent aux mêmes principes que les nivelles toriques des théodolites.



III. Travail pratique n°3 : ETABLISSEMENT D'UN ANGLE DROIT AVEC UN NIVEAU DE CHANTIER.

III.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de mise en station un niveau de chantier et d'établir un angle droit sur le terrain.

III.2. Durée du TP : 2 heures

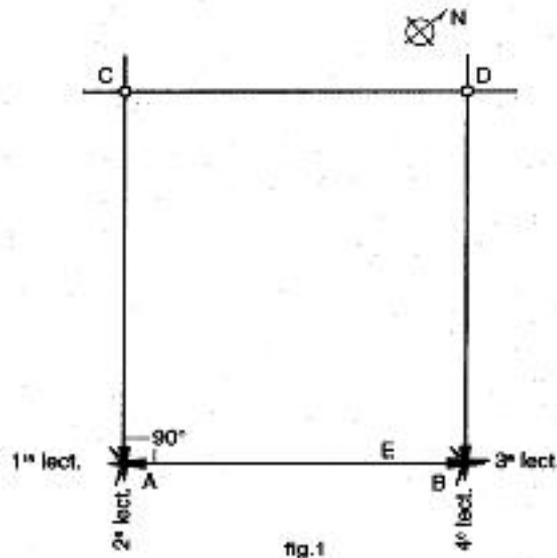
III.3. Equipement : Un niveau de chantier, un trépied, une mire, nivelle de de mire ou niveau de menuisier.

III.4. Description du TP : Les stagiaires doivent faire la mise en station d'un niveau de chantier et l'établissement d'angles droits de quatre coins selon la méthode de la fig. 1 et ceci très précisément.

III.5. Déroulement du TP :

Marche à suivre :

1. Positionnez convenablement votre trépied.
2. Accrochez le fil à plomb et positionnez – le au – dessus du point A. (fig. 1)
3. Placez votre instrument sur le trépied.
4. A l'aide des vis calant, ajustez la nivelle.



Votre mise en station est terminée et votre fil à plomb est positionné comme à la figure 1. En supposant maintenant que votre niveau de chantier se trouve au – dessus du point A de la figure 1, continuez avec établissement d'un angle droit sur les quatre coins, en suivant la marche :

5. Délimitez au sol un point B à 4m de A.
6. Faites placer votre aide avec la mire sur le point B (attention au niveau de la mire).
7. Positionnez la lunette vers la mire et bloquez – la.
8. Positionnez le cercle horizontal face à l'index de lecture (première lecture de la figure 1)
9. Débloquez la lunette et pivotez de 100^{gr} vers le point C à 4 m de A.

10. Bloquez celle – ci à cet angle.

11. Faites déplacer l'aide avec la mire face au fil vertical du réticule.

12. Marquez au sol le point C (deuxième lecture de la figure 1).

Faites vérifier votre travail

13. Inversez les rôles de l'instrumentiste et de l'aide et répétez les opérations à partir de l'étape 8

Faites vérifier votre travail !

14. Rangez soigneusement votre niveau de chantier dans sa boîte.

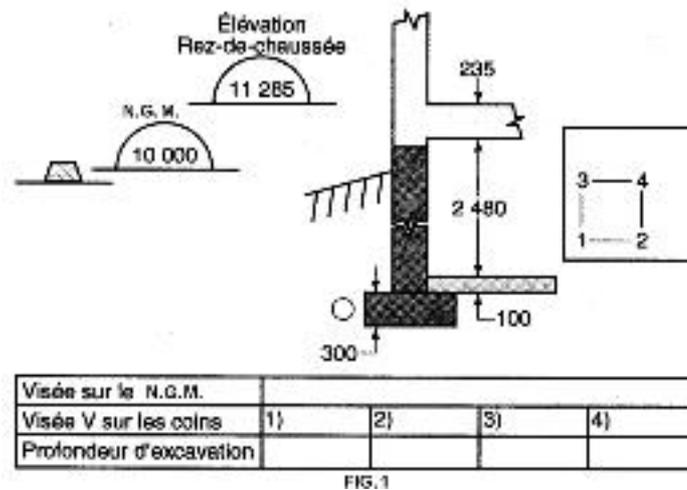
**IV. Travail pratique n°4 : DETERMINATION DE LA PROFONDEUR
D'EXCAVATION D'UN BATISSE**

IV.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de détermination de la profondeur d'excavation d'un bâtisse.

IV.2. Durée du TP : 2 heures

IV.3. Equipement : Un niveau de chantier, un trépied, une mire, nivelle de de mire ou niveau de menuisier, papier – crayon.

IV.4. Description du TP : Les stagiaires en équipe de deux personnes et à tour de rôle, doivent délimiter la profondeur d'excavation du plan de figure 1.



IV.5. Déroulement du TP :

Marche à suivre :

1. Etudiez attentivement le plan de la figure 1.
2. Le premier stagiaire effectue la mise en station.
3. Effectuez la visée arrière.
4. Indiquez la hauteur de votre niveau de chantier.
5. Faites la visée avant sur le point 1 et indiquez sur votre feuille la lecture effectuée.
6. Faites les visées avant sur les trois autres points et indiquez les lectures effectuées.
7. faites vos calculs de profondeur d'excavation à chaque coin.

Faites vérifier votre travail !

8. Le deuxième stagiaire effectue sa mise en station.
9. Répétez les étapes 3 à 9.

Faites vérifier votre travail !

**V. Travail pratique n°5 : IMPLANTATION D'UNE PENTE EXISTANT SUR
LE TERRAIN NATURELLE**

V.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de faire implantation d'une pente existante sur le terrain

V.2. Durée du TP : 4 heures

.....

V.3. Equipement : Un niveau de chantier, un trépied, une mire, 5 piquets en fer, un marteau et une roulette de 30 m

V.4. Description du TP : On doit faire Implantation d'une pente de 1.25% sur le terrain avec des piquets en fer.

V.5. Déroulement du TP : La classe est divisée en groupe par trois stagiaires Avec le niveau de chantier on doit implanter une ligne tout droite sur une distance de 25 mètres avec 5 piquets en fer. Les distances doivent être mesurées avec une roulette de 30 m. On doit sortir du premier piquet et selon la mesure sur la mire avec fil niveleur de calculer les lectures sur la mire, posée sur chaque piquet, nécessaires pour implantation d'une pente de 1.25% et de faire une vérification pour la distance totale de 25 m. Après cette opération on doit commencer avec un marteau de planter le premier piquet et de contrôler avec le niveau de chantier la lecture sur la mire, posée sur le piquet jusque le moment ou la lecture est égale avec la lecture, calculée avant. La même opération se répète sur les autres trois piquets.

Le groupe de trois stagiaires doit présenter :

1. Les résultats de mesure
2. Les calculs
3. Une note explicative

VI. Travail pratique n°6 : CALCULE D'UN NIVELLEMENT DIRECT PAR RAYONNEMENT

VI.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de faire calcule du carnet d'un nivellement par rayonne – ment

VI.2. Durée du TP : 4 heures

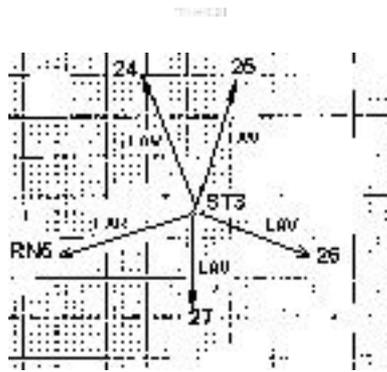
VI.3. Equipement : Un carnet de nivellement, une calculatrice et un crayon ou un stylo

VI.4. Description du TP : Le nivellement a été fait par rayonnement, à partir d'une station S_1 et dans les limites d'emploi d'un niveau de chantier, on a visé des points RN5, 24, 25, 26 et 27. Les stagiaires doivent calculer le carnet de nivellement.

VI.5. Déroulement du TP :

1^{ere} disposition : Calcul par rapport au plan de visée

NUMÉRIQUE		Distances	Lectures	Moyennes	ALTITUDES		Observations
Stations	Points				Plan de visée	Points	
1	2	3	4	5	6	7	8
3	RN 5	70	1,656 1,652	1,654	47,803	46,149	
	24	56	0,138 0,142	0,140		47,663	
	25	28	1,316 1,314	1,315		46,488	
	26	30	2,952 2,954	2,953		44,850	
	27	47	1,048 1,046	1,047		46,756	
			14,218	7,109	47,803 × 5 =	231,906 + 7,109	
					239,015	239,015	



a) *Calcul* : L'altitude du plan de visée est égale à l'altitude du RN5 plus la moyenne des lectures faites sur ce point :

$$46,149 + 1,654 = 47,803.$$

L'altitude de chaque point est obtenue en retranchant de l'altitude du plan de visée la moyenne des lectures faites sur ce point.

b) *Vérification* : Le total de la colonne 5 est égal à la moitié du total de la colonne 4. Le total des colonnes 5 et 7 est égal au total de la colonne qui vaut 5 fois, puisqu'il y a 5 points, l'altitude du plan de visée.

2^{ème} disposition : Calcul en cheminement :

N° DES		DISTANCES	LECTURES		MOYENNES		DIFFÉRENCES		ALTIITUDES	OBSERVATI
Stations	Points		AR	AR	AV	AV		-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	RN 5	70	1,656 1,652	1,654					46,149	
	24	56		0,140	0,138 0,142	0,140	1,514		47,663	
	25	28		1,315	1,316 1,314	1,315		1,175	46,488	
	26	30		2,953	2,952 2,954	2,953		1,638	44,850	
	27	47			1,048 1,046	1,047	1,906		46,756	
				6,062 5,455	10,910	5,455	3,420 2,813	2,813	46,149 0,607	
				0,607			0,607		46,756	

On répète pour les points sauf le dernier la moyenne AV de la colonne 7 en moyenne AR dans la colonne 5. Le calcul est identique à celui du cheminement.

3^{ème} disposition : Rayonnement

N° DES		DISTANCES	LECTURES		MISES EN		DIFFÉRENCES		ALTITUDES	OBSERVATIONS
Stations	Points		AR	AR	AV	AV	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	RN 5	70	1,516 1,632	1,654			1,514		46,149	
	24	56			0,138 0,142	0,140	0,239		47,663	
	25	28			1,316 1,314	1,315		1,299	46,185	
	26	10			2,952 2,954	2,953	0,607		44,850	
	27	47			1,048 1,046	1,047			46,756	
				1,654 × 4 = 6,616 - 5,455	10,910	5,455	2,460 1,299	1,299	231,906 46,149 × 5 = 230,745 + 1,161	
				1,161			1,161		231,906	

Les dénivelées est les altitudes sont calculées à partir de RN5, comme si pour chaque point on faisait une lecture arrière, toujours la même, sur le repère. Les vérifications sont identiques à celles d'un cheminement dans lequel on aurait autant de lectures arrière identiques qu'il y a de lectures avant, soit 4 dans l'exemple ci-dessus

Nota : Lorsqu'on utilise un niveau sans retournement, les lectures sont inscrites dans les colonnes 5 et 7.

VII. Travail pratique n°7 : CALCULE D'UN NIVELLEMENT DIRECT PAR CHEMINEMENT ENTRE 2 REPERES N. G M.

VII.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de faire calcule du carnet d'un nivellement par cheminement

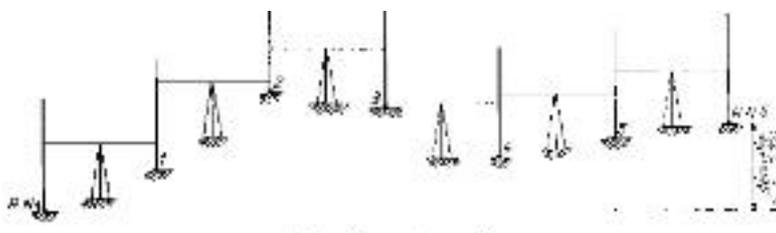
VII.2. Durée du TP : 4 heures

VII.3. Equipement : Un carnet de nivellement, une calculatrice et un crayon ou un stylo.

VII.4. Description du TP : Le nivellement a été fait par cheminement entre 2 repères N.G.M. et dans les limites d'emploi d'un niveau de chantier. Les stagiaires doivent calculer le carnet de nivellement.

VII.5. Déroulement du TP :

POINTS	DISTANCES		LECTURES		MOYENNE		DIFFÉRENCES		ALTITUDES	OBSERVATIONS
	partielles	cumulées	AR	AR	AV	AV	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RN 4			1,842 1,846	1,844					43,826	
1	120	120	2,427 2,433	2,429	0,758 0,754	0,756	1,088 + 1		44,915	
2	140	260	1,286 1,290	1,258	0,322 0,318	0,320	2,109 + 1		47,025	
3	100	360	0,026 0,030	0,028	1,634 1,630	1,632		0,170 - 1	46,852	
4	150	510	1,732 1,736	1,734	2,479 2,475	2,477		2,439 - 1	44,204	
5	120	630	1,854 1,858	1,856	1,214 1,211	1,213	0,521 + 1		44,726	
RN 5	130	760			0,416 0,422	0,434	1,422 + 1		46,149	
	760		14,298	9,149 6,332	13,664	6,832	5,140 2,823	2,823 5,140	43,826 + 2,317	Calcul de la fermeture
				2,317			2,317	2,963	46,143 - 0,016	



a) *Tenue du carnet.*

On inscrit en colonne 4 les lectures faites sur la mire arrière et en colonne 5 la moyenne. On fait de même dans les colonnes 6 et 7 pour les lectures obtenues sur la mire avant.

On fait ensuite pour chaque côté de nivellement la différence « Lecture arrière — Lecture avant » qu'on porte selon le signe dans les colonnes 8 ou 9.

Pour obtenir l'altitude d'un point, on ajoute algébriquement la différence à l'altitude du point précédent.

b) *Vérifications des calculs.*

Les totaux des colonnes 5 et 7 sont respectivement égaux à la moitié des totaux des colonnes 4 et 6.

Les différences entre les totaux des colonnes 5 et 7 d'une part, et 8 et 9 d'autre part sont égales.

Dans la colonne 10, la différence de niveau totale $\pm 2,317$ ajoutée à l'altitude de départ donne l'altitude d'arrivée qui montre que l'écart de fermeture est de $- 6$ mm. Étant dans les limites de la tolérance, il est réparti dans les colonnes 8 et 9. On en déduit les altitudes des points dans la colonne 10.

NOTA : Lorsqu'on utilise un niveau sans retournement, on ne fait qu'une lecture sur chaque mire. On l'inscrit pour la visée arrière, dans la colonne 5, et pour la visée avant, dans la colonne 7.

VIII. Travail pratique n°8 : RELEVÉ D'UN PROFIL EN LONG SUR LE TERRAIN

VIII.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de faire relevé d'un profil en long sur le terrain entre deux points avec le niveau de chantier.

VIII.2. Durée du TP : 4 heures

VII.3. Equipement : Un niveau de chantier, un trépied, une mire, calculatrice, des carnets pour les mesures des distances et des altitudes.

VII.4. Description du TP : Effectuez sur le terrain un relevé d'un profil en long entre deux points avec le niveau de chantier.

VIII.5. Déroulement du TP : La classe est divisée en groupes par trois stagiaires. Déterminez les éléments de ce profil avec deux lignes tout droites. Sortez d'une borne NGM, fixée sur le terrain avec une altitude 100.000 pour déterminer les altitudes des points, ou le terrain change. Les distances entre les points doivent être mesurées avec les fils stadia du réticule.

Après les travaux sur terrain on doit présenter :

1. Croquis pour le profil
2. Les tableaux avec des mesures pour les distances et les altitudes
3. Le dessin de profil sur la grille
4. Une note explicative pour les travaux.

TOPOGRAPHIE ELEMENTAIRE 1

(INITIATION)

EVALUATION DE FIN DE MODULE

Epreuve de : Topographie élémentaire 1

Duré : 2 heures

Barème : /20

Exercices et/ou Questions

Barème

1. La mesure linéaire s'effectue pour combien de façons ? 2/20

2. Quelle est la longueur la plus probable, si une distance a été mesurée 10 fois, ce qui donne les valeurs suivants : 3/20

128,567 128,572 128,563 128,568
128,562 128,575 128,571 128,565
128,569 128,574

3. Si on mesure :

a) une distance de 2,5cm sur un plan et que la distance sur le terrain est 25m, l'échelle sera combien ?

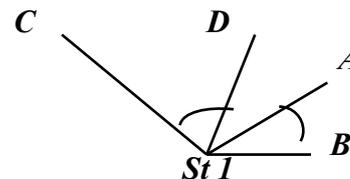
b) une longueur de 7,4cm sur un plan à l'échelle de 1/500, la longueur sera combien ?

4/20

4. Dans le tableau ci-dessous complétez la colonne moyenne et calculez les angles A1B et C1D. Prendrez comme moyenne la valeur des grades obtenue en CG.

6/20

N° stations	Points visées	Lectures CG	Lectures CD	Moyennes
1	A	104,85	304,80
	B	228,43	8,38
	C	313,64	113,60
	D	66,20	266,24



5. Altitude de la borne NGM est 20,153m. La lecture sur la mire posé sur la borne est 1845. Puis vous toumez le niveau de chantier vers 3 divers points et vous fêtes les lectures suivantes : P₁- 2409 ; P₂-3614 et P₃- 0175. Calculez les altitudes de ces trois points !

5/20

Total : 20/20

CORRIGÉ

Barème

1. – pour la mesure directe ; - pour la mesure indirecte ;
- pour la mesure électronique

2/20

2.

$$128,5 + (0,067 + 0,062 + 0,069 + 0,072 + 0,075 + 0,074 + 0,06 + 0,071 + 0,068 + 0,065) = 128,5 + 0,686/10 = 128,5 + 0,0686 = 128,5686$$

La longueur la plus probable est : 128,5686m

3/20

3.

a) l'échelle sera : $\frac{2.5\text{cm}}{2500\text{cm}} = \frac{1}{1000}$

b) la longueur réelle sera : $7,4\text{cm} \times 500 = 37\text{m}$

4/20

4.

Moyennes
104,825
228,405
313,620
66,220

$$\text{Angle A1B} = 207,205 - 114,730 = 92,475^{\text{gr}}$$

$$\text{Angle C1D} = 86,165 - 373,620 = 112,545^{\text{gr}}$$

(On ajoute 400^{gr} à la lecture moyenne sur D)

6/20

5.

$$20,153 + 1,845 = 21,998\text{m} - \text{Plan horizontal}$$

$$ZP_1 = 21,998 - 2,409 = 19,589\text{m}$$

$$ZP_2 = 21,998 - 3,614 = 18,384\text{m}$$

$$ZP_3 = 21,998 - 0,175 = 21,823\text{m}$$

5/20

Total:

20/20

XIII. LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

AUTEUR	TITLE	EDITION
GERARDE DURBEC	METHODES DE LEVE - ALTIMETRIE	1985
SERGE MILLES et JEAN LAGOFUN	TECHNIQUE DE MESURE ET DE REPRESENTATION	1992
MICHEL BRABANT	MAITRISER LA TOPOGRAPHIE	2000
B. DUBUSSON	COURS ÉLÉMENTAIRE DE TOPOGRAPHIE	1974
LUCIEN LAPOINTE et GILLES MEYER	TOPOGRAPHIE APPLIQUE AUX TRAVAUX PUBLIQUE, BÂTIMENTS ET LEVERS URBAINS	1991
ERNEST P. LAUZON et ROGER DUQUETTE	TOPOMETRIE GENERALE	1980