

**VERSION EXPERIMENTALE**

**RESUME THEORIQUE**  
**&**  
**GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

**MODULE 10**

**NOTIONS ET  
CONCEPTS DE LA  
TOPOGRAPHIE**

**SECTEUR : BTP**

**SPECIALITE : CHEF DE CHANTIER TRAVAUX  
PUBLICS**

**NIVEAU : TECHNICIEN**

**(APC) Juin.2007**

## 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 CDC /BTP

**Pour la conception :**

M. TSVETANOV PAVEL

CDC/ BTP

**Pour la validation :**

M. TSVETANOV PAVEL

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

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

### II. LA TOPOGRAPHIE – GÉNÉRALITÉ

- II.1. Objet de la topographie
- II.2. Unités de mesures
- II.3. Coordonnées géographiques, azimut
- II.4. Coordonnées rectangulaires
- II.5. Les axes
- II.6. Canevas géodésique et système de triangulation
- II.7. Canevas planimétrique de précision
- II.8. Canevas altimétrique

### III. MESURE DES DISTANCES

- III.1. Généralité
- III.2. Des Instruments pour mesure des distances
- III.3. Le jalonnement
- III.4. Mesurage à plat
- III.5. Précision du mesurage
- III.6. Mesure de longueurs indirectes
- III.7. Rappels de trigonométrie

### IV. MESURE DES ANGLES

- IV.1. Généralités
- IV.2. Les équerres optiques
- IV.3. Unités de mesures des angles
- IV.4. Le théodolite

### V. CARTES ET PLANS

- V.1. Les échelles
- V.2. Précision d'un plan

### VI. PENTES ET DISTANCES

## VII. NIVELLEMENT

### A) DEFFINITION

### B) DEFFINITION ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DE NIVELLEMEN

### C) NIVELLEMENT DIRECT

VII.1. Principe du nivellement direct ordinaire

VII.2. Niveau et mire

VII.3. Dénivelée élémentaire

VII.4. Nivellement par rayonnement

VII.5. Nivellement par cheminement encadré

VII.6. Point nodal et cheminements nodaux

VII.7. Cheminements fermés

VII.8. Nivellement simultané d'un cheminement et des points de détail

VII.9. Précision

VII.10. Cheminement mixte

VII.11. Nivellement des surfaces

VII.12. Nivellement géométrique de précision

## VIII. PROFIL EN LONG

VIII.1. Levé d'un profil en long du terrain naturel

### Guide de travaux pratique

I. TP n°1 : Mesurage direct d'un alignement comprenant des points intermédiaires

II. TP n°2 : Mise en station d'un niveau de chantier

III. TP n°3 : Etablissement d'un angle droit avec un niveau de chantier

IV. TP n°4 : Détermination de la profondeur d'excavation d'une bâtisse

V. TP n°5 : Implantation d'un pente existant sur le terrain

VI. TP n°6 : Calcul d'un nivellement direct par rayonnement

VII. TP n° 7 : Calcul d'un nivellement direct par cheminement entre deux repères N.G.M.

VIII. TP n°8 : Relevé d'un profil en long sur le terrain

Evaluation de fin du module

Liste bibliographique

Durée : 120 H

## OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

### COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit savoir les mesures des distances et des angles, le nivellement et les profils, selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

### CONDITIONS D' EVALUATION

- Tests écrits sur la théorie
- Connaissances sur les méthodes topographiques
- Savoir les exigences topographiques pour les calculs et les mesures

### CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Apprendre les systèmes des mesures en Maroc
- Connaissances sur les unités des mesures
- Savoir exprimer les diverses méthodes selon les conditions
- Savoir les échelles et la méthode de la détermination
- Connaître le principe de nivellement
- Savoir les divers types de nivellement
- Connaissances sur les croquis et les carnets pour les mesures
- Connaître les erreurs permis et évaluation d'exactitude
- Respecter les normes de topographie

PRECISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU	CRITERES PARTICULAIRES DE PERFORMANCE
1. Généralités	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Système de triangulation</li> <li>- Système d'altimétrie</li> <li>- Matérialisation des deux systèmes avec des bornes sur le terrain</li> <li>- Bornes de triangulation</li> <li>- Bornes d'altimétrie</li> </ul>
2. Mesure des distances	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthode direct</li> <li>- Méthode indirect</li> <li style="padding-left: 20px;">° sur un terrain plat ; ° sur un terrain en pente</li> <li>- Alignement</li> <li>- Jalonnement</li> </ul>
3. Mesure des angles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unité</li> <li>- Différence entre degré et grade</li> <li>- Index pour lecture des angles</li> </ul>
4. Pentés et distances	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unité pour les pentés</li> <li>- Interpolation</li> <li>- Extrapolation</li> </ul>
5. Nivellement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Principe de nivellement</li> <li>- Nivellement par rayonnement</li> <li>- Nivellement par cheminement</li> <li>- Nivellement mixte</li> <li>- Nivellement de précision</li> <li>- Erreur permise</li> </ul>
6. Profil en long	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribution d'erreur</li> <li>- Besoin d'un profil en long</li> <li>- Méthode de relevé sur le terrain</li> <li>- Croquis et carnet pour les mesures</li> <li>- Grilles pour les dessins d'un profil en long</li> <li>- Détermination des échelles</li> <li>- Détermination de cote relative</li> <li>- Profil en long avec les courbes de niveau</li> <li>* dans les limites d'un lotissement</li> <li>* sur un plan coté</li> <li>- Changement de la cote relative</li> </ul>

## OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

**Le stagiaire doit maîtriser les savoirs, savoir – faire, savoir- percevoir ou savoir – être jugés préalable aux apprentissages directement requis pour l'atteinte de l'objectif de premier niveau, tels que :**

**Avant d'apprendre à 1, 2, 3 et 4 :**

1. Connaissances en Math, Géométrie, Trigonométrie
2. Les unités des mesures des distances et des angles
3. Les échelles
4. Connaître les cercles de mesure
5. Savoir travailler avec l'index de l'appareil pour le cercle horizontal

**Avant d'apprendre à 5 :**

1. Niveau de chantier
2. Stationnement de niveau de chantier
3. Horizontalement de niveau de chantier avec les trois vis
4. Lectures sur la mire
5. Position de niveau de chantier au milieu des deux points

**Avant d'apprendre à 6 :**

1. Besoin de profil en long
2. Divers types des profils en long
3. Mesures des distances direct
4. Mesures des distances indirect
5. Faire un carnet pour les mesures des distances et des altitudes

## PRESENTATION DU MODULE

Le module : « **NOTIONS ET CONCEPT DE LA TOPOGRAPHIE** » traite les notions de base de **la topographie** et permet de faire apprendre à faire des mesures topographiques, destinés pour l'élaboration des plans topographiques dans la réalisation des travaux en construction sur le chantier ou bien dans l'élaboration des études dans un bureau d'étude. Le module a été élaboré en deux parties : **Résumé de théorie** et **Guide de travaux pratique**

**MODULE N°:10**  
**NOTIONS ET CONCEPT DE**  
**LA TOPOGRAPHIE**  
**RESUME DE THEORIE**

## GENERALITE

*La science géodésique, aussi appelée la géométrique, est la discipline qui englobe toutes les méthodes d'acquisition et de traitement des dimensions physiques 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, etc.

### 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 des galeries de mines, le calcul des volumes, 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, etc.

### 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 millièm), 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 plane*, 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 *restituteur* forment 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, génie, en architecture, en archéologie, en urbanisme, en médecine, en géographie, en balistique, en biomorphologie...

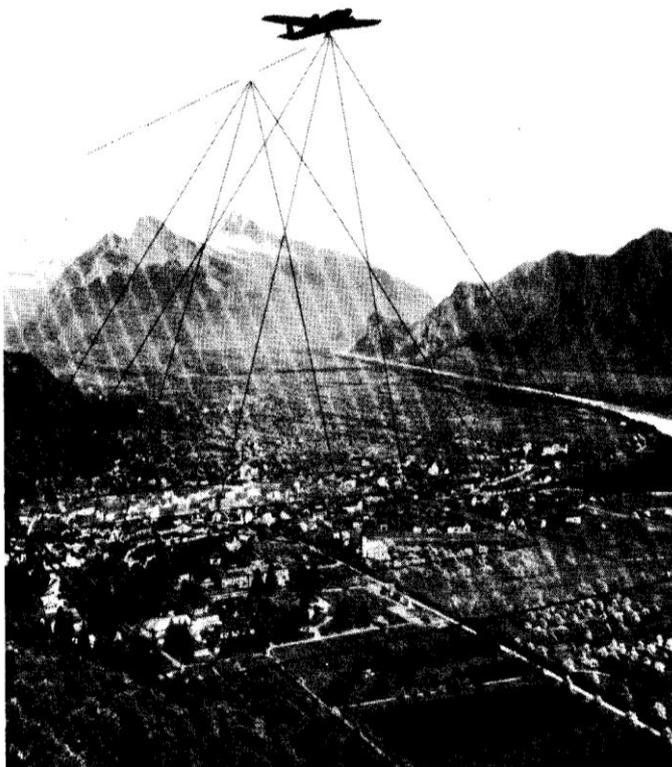


Fig.1— Prise de photos aériennes (docum. Zeiss).

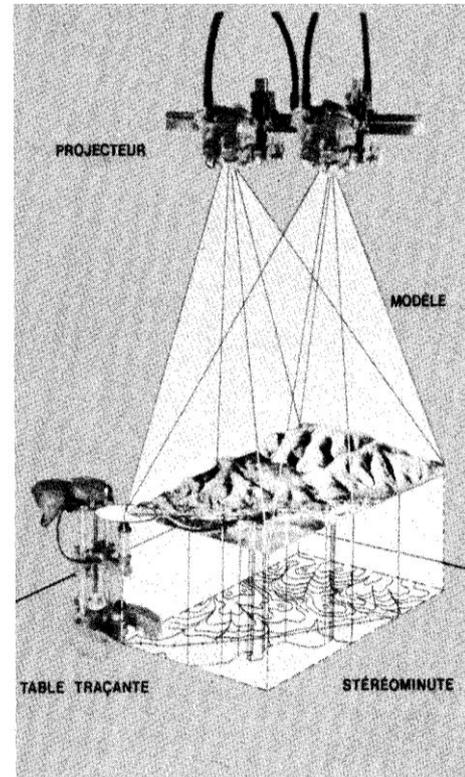


Fig.2 — Modèle stéréoscopique (docum. Bauch & Lomb).

## I.5. L'ASTRONOMIE GEODESIQUE

Basée sur des principes d'astronomie et de trigonométrie sphérique, *l'astronomie géodesique* 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 ( $\text{km}^2$ ), qui vaut 1 000 000 mètres carrés ;
- l'hectomètre carré ( $\text{hm}^2$ ), qui vaut 10 000 mètres carrés ;
- le décamètre carré ( $\text{dam}^2$ ), qui vaut 100 mètres carrés ;
- le décimètre carré ( $\text{dm}^2$ ), qui vaut 1/100 de mètre carré ;
- le centimètre carré ( $\text{cm}^2$ ), qui vaut 1/10 000 de mètre carré ;
- le millimètre carré ( $\text{mm}^2$ ), 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  $1/60$  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  $15^\circ$ ).

### 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

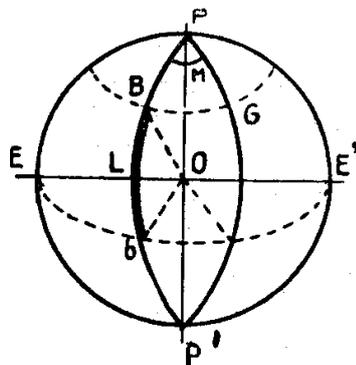


Fig.3

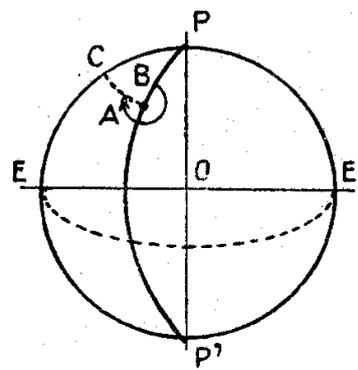


Fig.4

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.

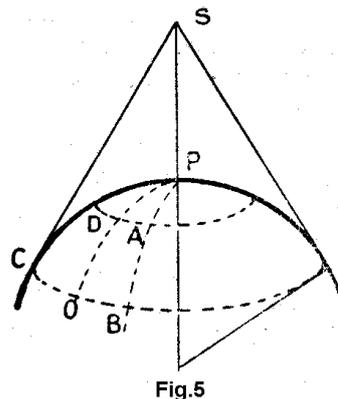
b) Sa *latitude*, qui est l'angle  $L$  (Bob) du rayon  $OB$  avec le plan de l'équateur. La latitude est aussi, en lieu, l'angle de hauteur du pôle au – dessus de l'horizon. La colatitude est l'arc complémentaire  $BP$ . La latitude se compte à partir de l'équateur soit vers le nord (latitude boréale), 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 Pôle et passant par  $B$ .

L'*azimut* d'une direction  $BC$  (fig.4),  $BC$  étant une ligne droite sur la terre (appelée géodesique), 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 COORDONEES RECTANGULAIRES.

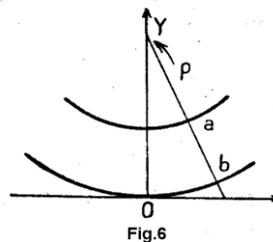
En topographie, on considère la surface de la terre, objet du levé, comme plane. On ne commet, de ce fait, aucune erreur appréciable si la surface levée est relativement réduite.

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.

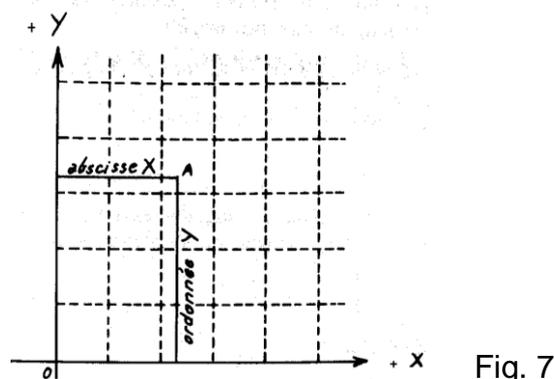
Le principe du système Lambert est le suivant : Sur la surface de la terre, dont la forme est sensiblement celle d'un ellipsoïde (fig.5), on fait choix d'un méridien origine OP et d'un parallèle OB, tel que O soit au centre de la région à représenter



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) :

- Les méridiens sont représentés par des droites concourantes en  $p$  ;
- Les parallèles sont représentés par des cercles concentriques ayant  $p$  pour centre ;
- 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).



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 plus 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 permettant 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 travaillions 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 360 degrés 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).

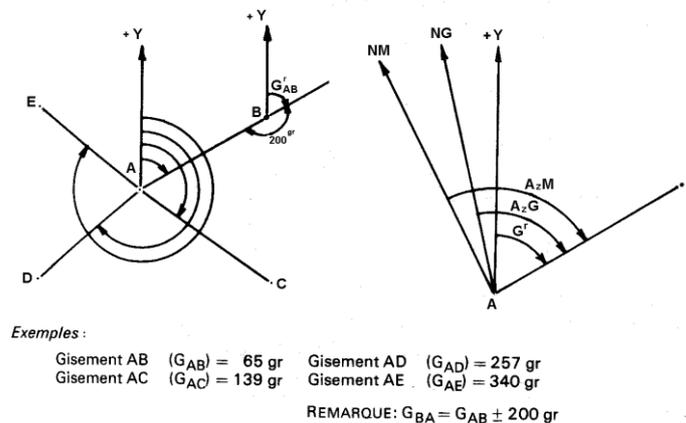


Fig.8

## II.6. 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 ferré, d'un îlot bâti, d'une ville, ou lever de tout un territoire (canevas de précision).

## II.7. 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.

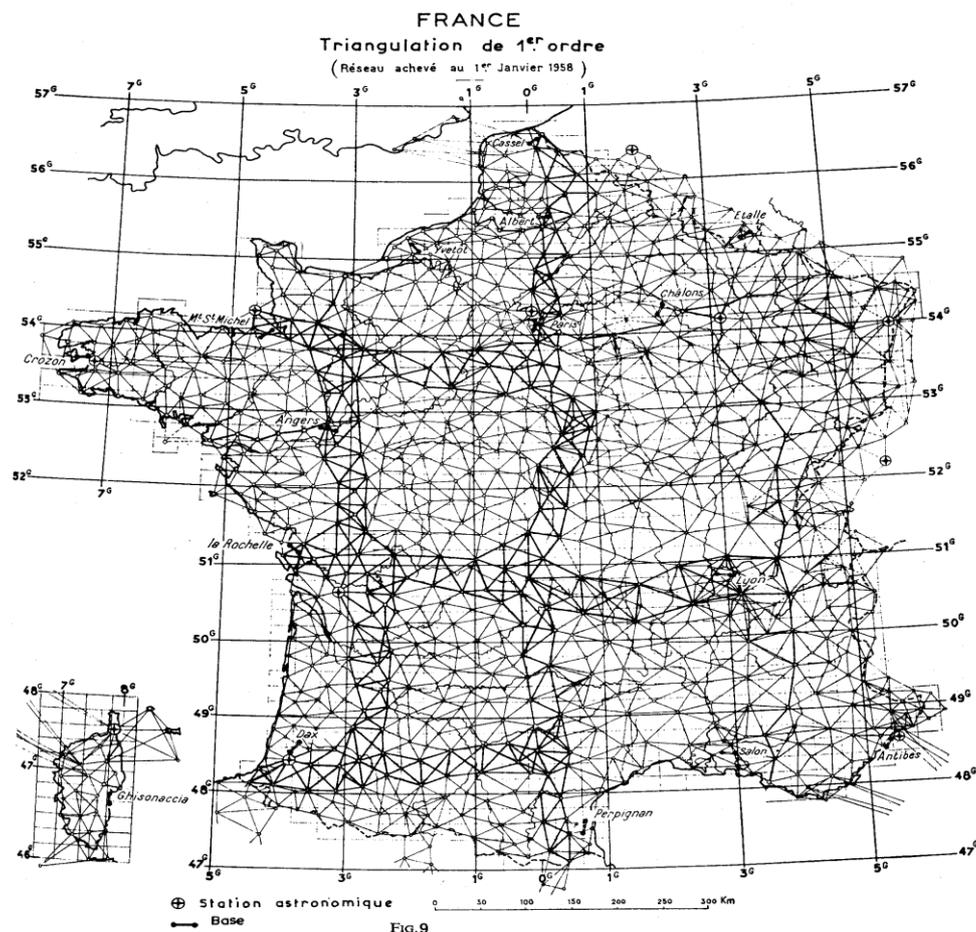
### a) Canevas de base

### b) Triangulation géodésique

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.



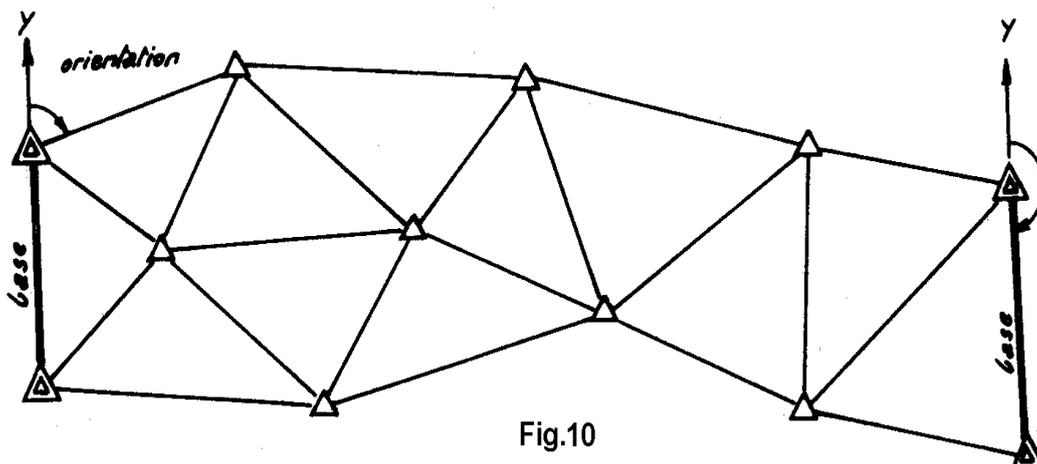
Le réseau géodésique comprend :

- Le point géodésique fondamental qui est le Panthéon et dont on a déterminé avec le maximum de précision, les coordonnées géographiques :

$$M = 0,010\ 693\ \text{gr} ; L = 54,273\ 618\ \text{gr}.$$

On a aussi mesuré l'azimut astronomique du côté de départ de la triangulation : on considère que l'ellipsoïde et le géoïde admettent en ce point la même normale.

- Les bases géodésiques réparties tous les 250 à 300 Km au voisinage des intersections des chaînes méridiennes et parallèles. Ces bases sont destinées à réajuster les dimensions des triangles. Des points de Laplace servent à réorienter les côtés des triangles à chaque base : L'orientation d'une base géodésique et détermination de l'azimut d'un côté de triangle est fait par détermination astronomique



- Le premier ordre de chaîne calculé sur l'ellipsoïde en coordonnées géographiques par fractions insérées entre deux bases. Ces triangles ont des côtés de 30 à 60 km.
- Le premier ordre complémentaire est calculé dans le plan de projection en coordonnées rectangulaires par blocs insérés entre les points précédemment déterminés. L'ensemble du territoire est alors recouvert par un réseau de 1<sup>er</sup> ordre homogène qui va servir de base à l'établissement des points suivants.
- Les 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> ordres sont maintenant calculés tous ensemble par bloc de 1 000 points en moyen. Les angles sont mesurés au Wild T<sub>3</sub> avec 8 répétitions pour le 2<sup>e</sup> ordre et au Wild T<sub>2</sub> avec quatre répétitions pour les 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> ordres. Pour les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> ordres, les visées sont généralement observées dans deux sens, ce qui permet d'assurer les fermetures des triangles et de déceler ainsi toute anomalie.

### c) Caractéristiques d'ensemble.

On constate que dans chaque triangle d'un certain ordre, il y a environ trois points de l'ordre immédiatement inférieur. Le rapport des cotés des triangles de deux ordres consécutifs est environ 2,5 (fig. 11).

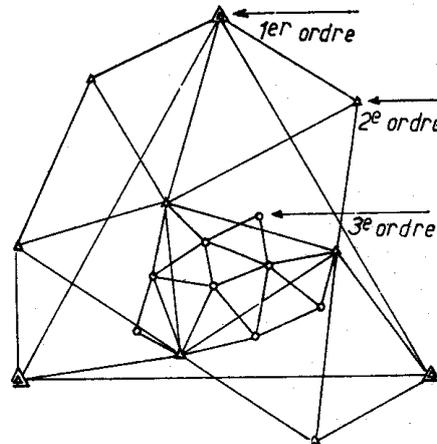


Fig.11

Pour la détermination des points de canevas, on envisage de remplacer les mesures de triangulation par des opérations, de trilatération grâce aux progrès par les appareils à onde modulée pour la mesure des distances. On aura alors trois côtés des triangles au lieu des trois angles. On fait également de la triangulation par satellite, pour déterminer la forme de la terre.

La triangulation géodésique comprend les opérations suivantes :

#### Avant projet

Etude sur cartes et photographies aériennes, coupes de terrain, possibilités d'accès.

#### Reconnaissance

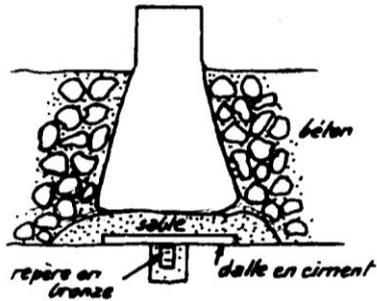
Choix des points, et établissement du projet (schéma). En général les points le nom de la commune dans laquelle ils se trouvent, suivi d'un numéro en chiffres romains continu dans le sens des X croissants.

#### Equipement

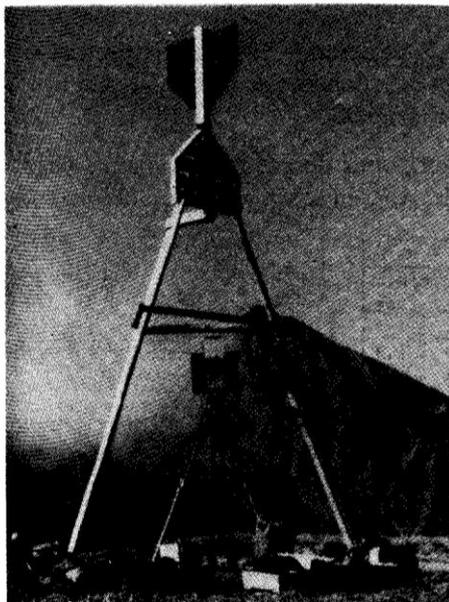
La reconnaissance étant terminée, l'équipement consiste à matérialiser, et signaler les points retenus. Il est important que les utilisateurs retrouvent en bon état sur le terrain les repères géodésiques. En général ils sont matérialisées par des bornes en granit soigneusement repérées.

Le point visé peut être : soit un point naturel, clocher, pylone, cheminée, paratonnerre.etc, soit une mire en bois qui sera implantée au sol sur un édifice (château d'eau, silo fig. 13).

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.



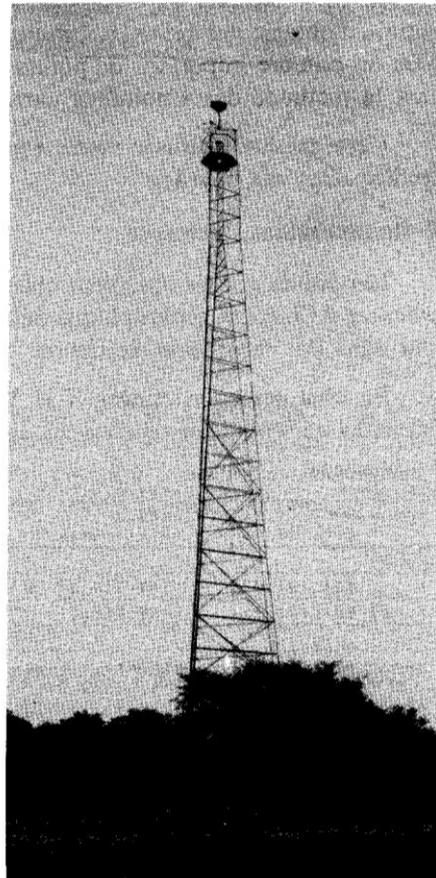
Borne géodésique



Mire en bois



Mire sur château d'eau.



Signal Bîlby 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	$10^{-6}$	Fil invar
1	40	40 à 60	0,08	$2 \times 10^{-6}$	Cercle azimutal
2	15	15 à 30	0,08	$0,5 \times 10^{-6}$	Wild T3
3	6	6 à 12	0,10	$2 \times 10^{-6}$	Wild T2
4	2,5	2 à 5	0,10	$0,5 \times 10^{-6}$	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.

- Une réduction de la carte avec l'emplacement de chaque point géodésique avec un numéro d'ordre dans la feuille.
- La figure 14 représente un extrait du répertoire de la feuille.

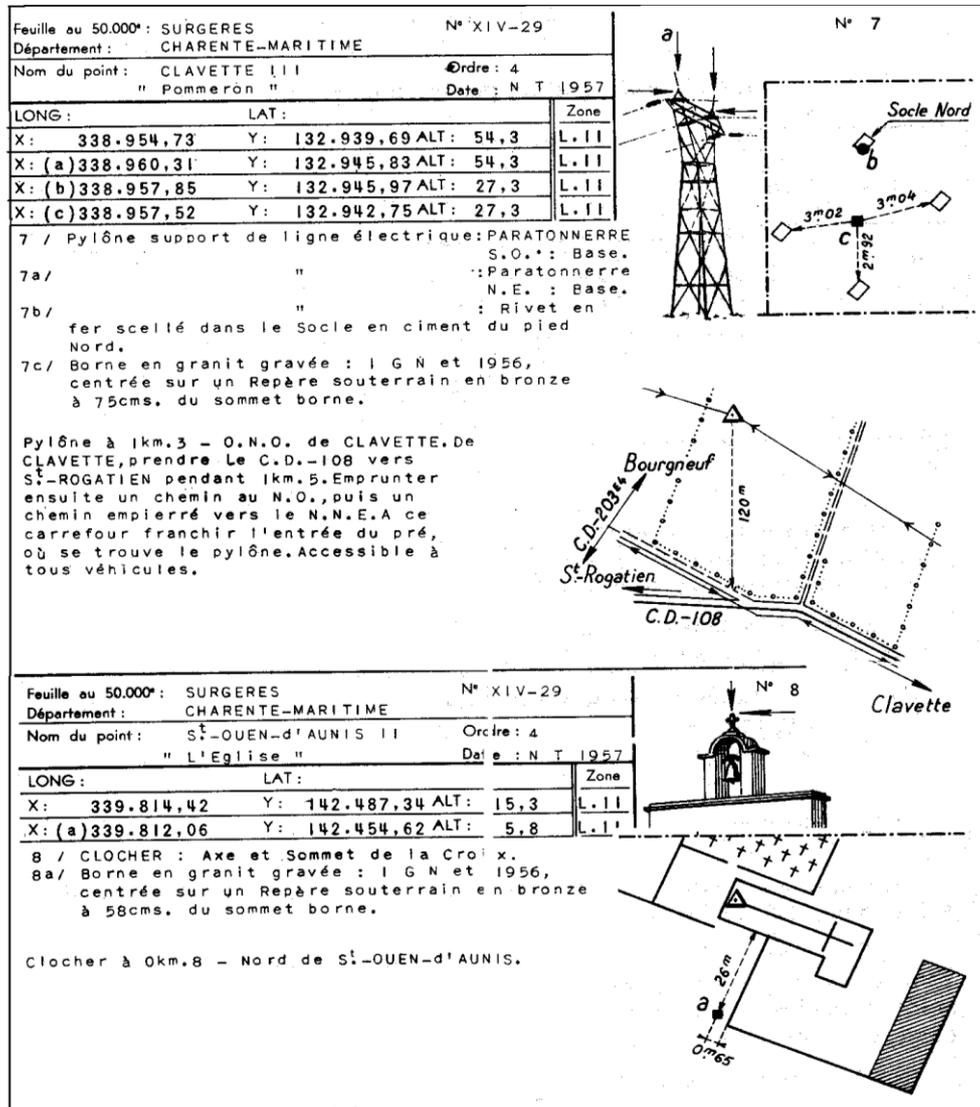


Fig.14

e) La triangulation de 5<sup>e</sup> ordre appelée aussi triangulation cadastrale.

La densité du 4<sup>e</sup> ordre est insuffisante pour rattacher directement les cheminements topographiques. On doit établir une triangulation complémentaire

d'une densité d'environ un point par  $\text{km}^2$ . Chaque détermination est faite très rapidement généralement par relèvement avec deux réitérations au Wild T<sub>2</sub> ou avec un appareil analogue. Ce travail très limité et d'un coût relativement faible ne justifie pas une conservation par servitude. Chaque utilisateur détermine donc les points qui lui sont nécessaires pour chaque travail à exécuter comme par exemple L'I.G.N. pour la préparation des levés par photogrammétrie, le Cadastre pour le plan d'une commune, le Génie Rural, les Ponts-et –Chaussées et différents services administratifs pour tous les plans d'une certaine importance. Les géomètres – experts privés sont très souvent chargés de la détermination des points qui constituent ce réseau. Ces points sont matérialisés provisoirement par une borne, un piquet, un rivet, une croix gravée et sont repérés par des distances à des points fixes voisins. Les croquis de repèrment portant ces indications doivent être établis avec soin dès que le point a été placé.

## II.8. 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 Général (fig. 15).

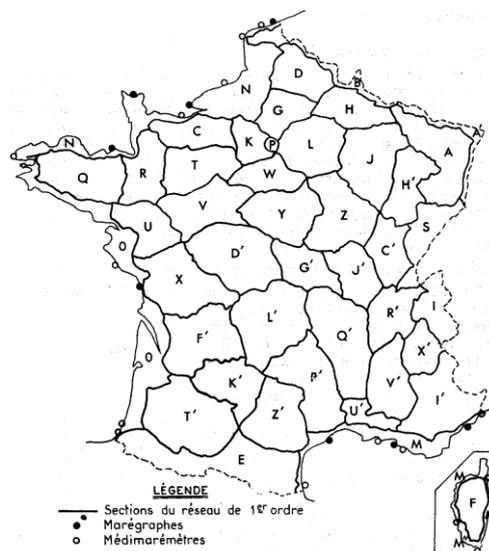
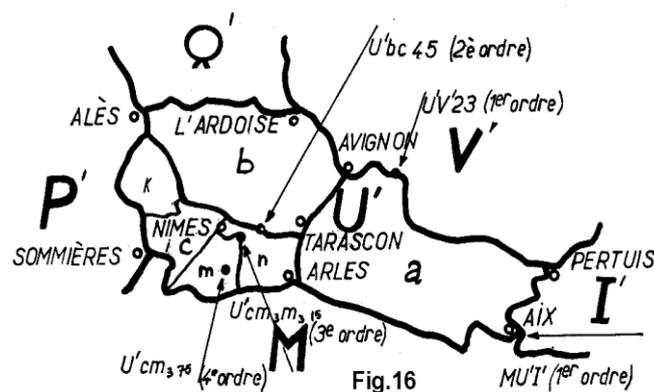


Fig. 15

- Le réseau de nivellement de 1<sup>er</sup> 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 réseau est entièrement terminé. Chaque maille de 1<sup>er</sup> ordre est indiquée par une lettre majuscule. Les points des cheminements de 1<sup>er</sup> 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<sup>ème</sup> ordre :

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

Exemple : U' bc 45 (fig. 16)

- Le réseau de nivellement de 3<sup>ème</sup> ordre :

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

Exemple : U' c m<sub>3</sub> n<sub>3</sub> 15 (fig. 16).

- Le réseau de nivellement de 4<sup>ème</sup> ordre :

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

Exemple : U' c m<sub>3</sub> 75.

- Nivellement complémentaire :

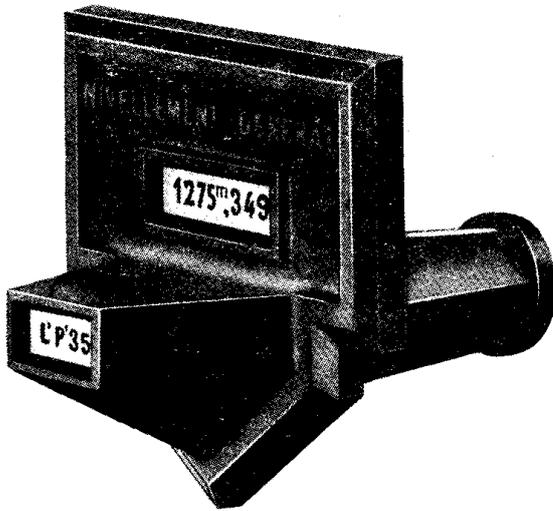
Les principales villes ont fait placer des repères et déterminer leurs altitudes. Il en a été de même pour toutes les communes possédant un plan d'Urbanisme. Ces repères plus denses en agglomération que les réseaux N.G.F. sont très utiles pour l'étude de tous les travaux d'intérêt général : chaussées,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

- Repères de nivellement :

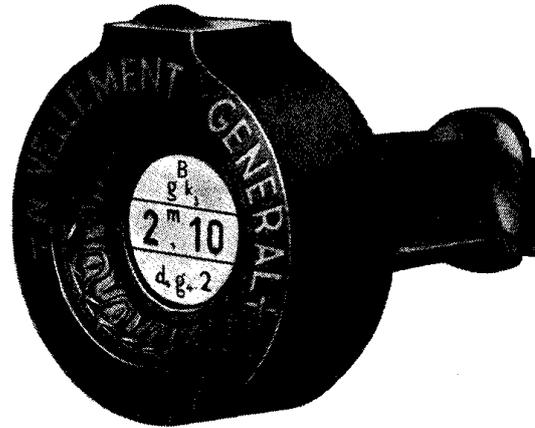
Il est indispensable que les altitudes obtenues grâce à des travaux coûteux soient conservées avec le plus de sécurité possible. On a donc placé les repères sur des édifices publics : Mairies, églises, gares, maisons de garde-barrière, sur des ponts et à défaut sur des immeubles privés et même sur des 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 ».

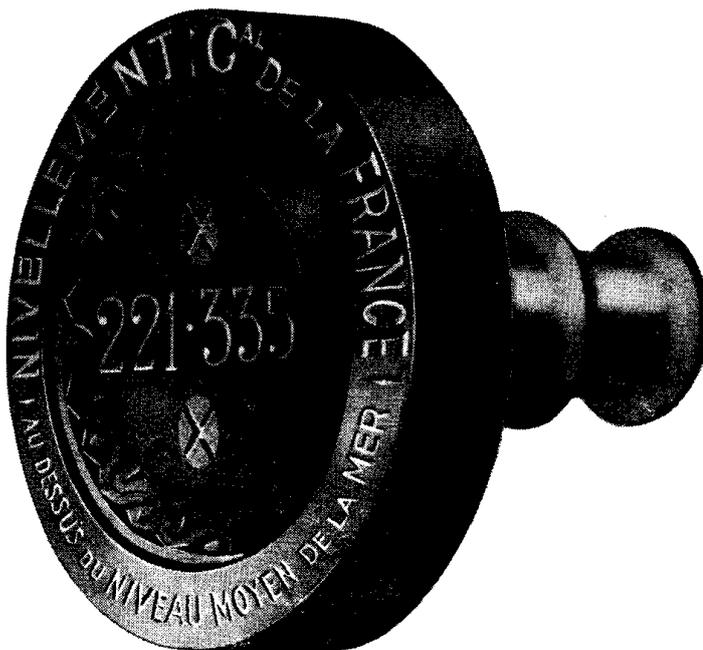
Les repères du N.G.F. également en font sont placés avant les opérations de nivellement, et après calcul, on scelle dans les logements prévus une ou deux plaquettes en émail portant l'indication du N° du repère et son altitude N.G.F. En cas de nouvelle compensation, consécutive à des mesures nouvelles 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.)



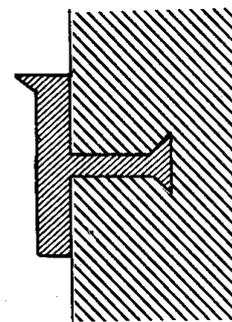
Repère cylindrique (cl. I.G.N.)



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'identification, 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.

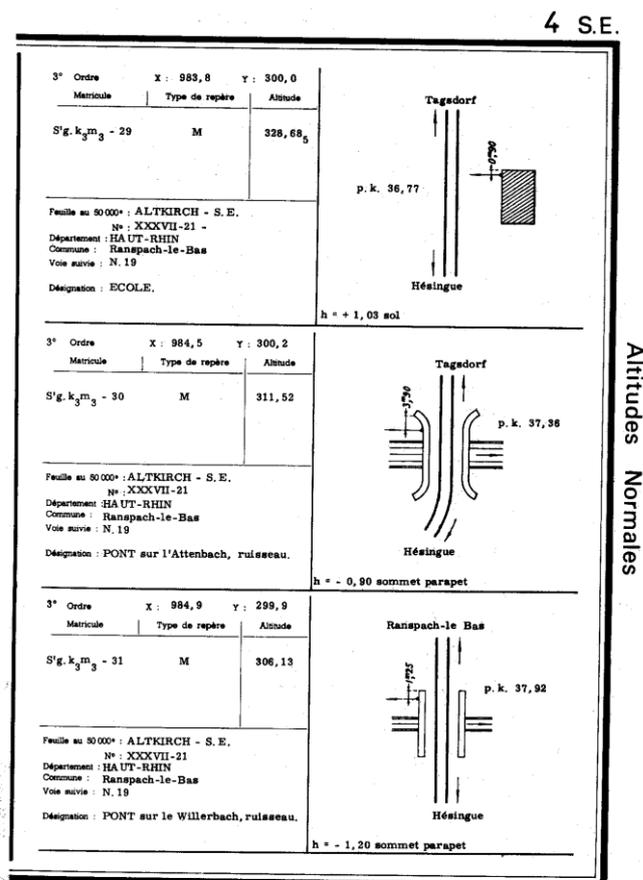


Fig. 18

**c) Précision.**

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

- 1<sup>er</sup> ordre.....0,8 mm au km
- 2<sup>ème</sup> ordre.....1 mm au km
- 3<sup>ème</sup> ordre.....3 mm au km
- 4<sup>ème</sup> ordre.....4 mm au km

#### d) Définitions des altitudes.

Les différences de niveau sont toujours calculées par rapport au plan horizontal du point de station. Mais nous avons vu qu'en nivellement ce plan horizontal ne peut être assimilé à la surface de la terre que sur une très petite portion.

##### - Distances courtes ou précision désirée limitée :

On considère que le plan horizontal **H** du point de station est parallèle au plan horizontal **P** d'altitude zéro (fig. 19).

Les différences de niveau sont mesurées perpendiculairement à ces plans. C'est pour cette raison que les altitudes ainsi obtenues sont appelées orthométriques.

La limite de distance jusqu'à quelle valeur est acceptable dépend de la précision désirée. En effet, l'erreur en résultant est de 0,03 mm à 20 m et elle est proportionnelle au carré de la distance. Sa valeur est donc de 1 mm à 120 m et de 1 cm à 400 m.

Généralement, on considère que cette assimilation de la surface de niveau au plan horizontal n'est acceptable que dans le nivellement tachéométrique, car on ne cherche pas une précision supérieure au centimètre

##### - Distances moyennes et bonne précision :

Lorsque les distances dépassent quelques dizaines de mètres et que la précision désirée est de l'ordre du millimètre, il faut tenir compte de la sphéricité de la terre. On considère alors que la surface de niveau sphérique **S** tangente au plan horizontal **H** du point de station est concentrique avec la sphère de niveau zéro (fig. 20).

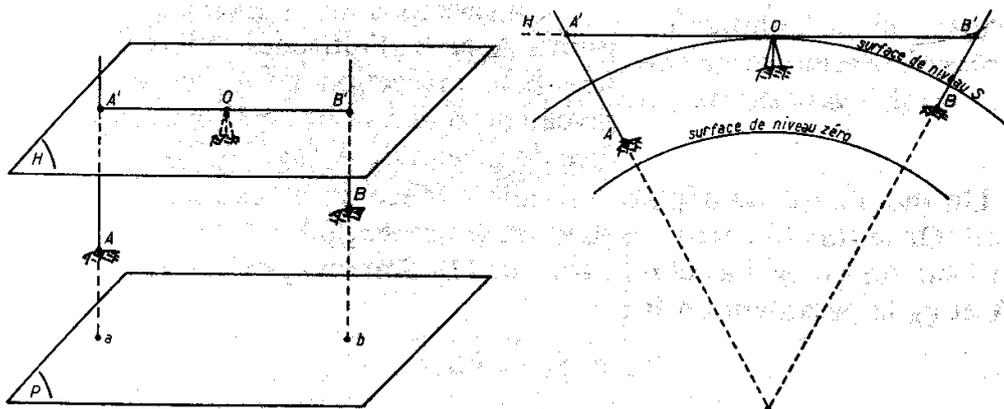


Fig.19

Fig.20

Les dénivelées sont mesurées perpendiculairement à ces surfaces. Les altitudes sont ici aussi orthométriques.

### e) Utilisation des repères N.G.M.

Tous les levés importants doivent être rattachés au N.G.M. Pour cela, on établit des cheminements partant d'un repère de nivellement et allant sur un autre repère de nivellement. On peut éventuellement commettre des fautes sur le repère de nivellement de départ mais il faut alors être certain de son altitude. En effet, certains repères sont inexacts parce que depuis leur détermination, leur altitude a été modifiée, soit parce que l'ouvrage, (pont par exemple) sur lequel ils sont posés, s'est légèrement affaissé par suite de tassement du sol, soit parce qu'ils ont été maladroitement déposés (par un maçon pour refaire l'enduit d'une façade par exemple) et mal replacés ensuite.

Un cheminement n'utilisant qu'un seul repère ne permet pas de mettre en évidence une telle faute et les altitudes obtenues ne doivent pas être considérées comme exactes tant que le repère n'a pas été vérifié par rattachement à un autre repère.

### III. MESURE DES DISTANCES

#### III.1. GENERALITE

Le mesurage linéaire, généralement appelé chaînage, est la base de toute opération topométrique. 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 indirecte* ou par la *mesure électronique*. Une mesure est appelée directe 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 petite 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 télescomètre 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 une 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 topométriques.

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 chiffraison centimétrique.

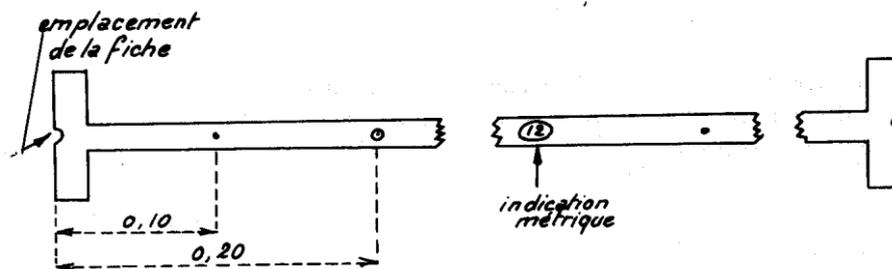


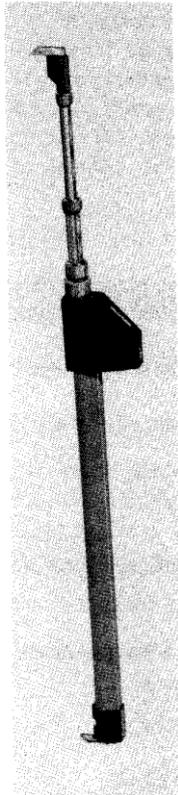
Fig. 21

#### f) La roulette (étalon à traits)

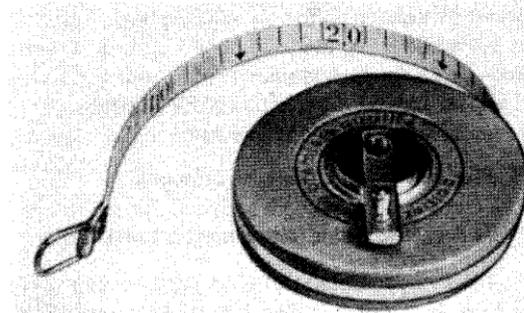
Montée dans un boîtier avec un sans marche, elle est d'un emploi plus aisé. Elle est munie, soit d'un ruban plastifié (très sensible aux différences de températures, allongement important) soit d'un ruban d'acier, de 10, 20, 30 ou 50 m. Graduations tous les centimètres. L'anneau des rubans à roulette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

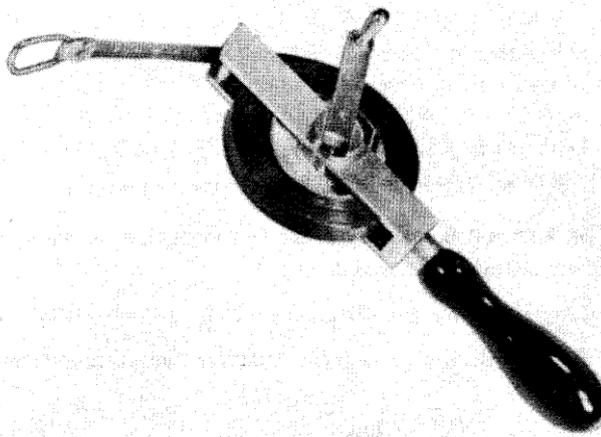
- Les mesures sont faites « bout à bout », les poignées articulées étant comprises dans la longueur.
- Les poignées possèdent des canelures demi circulaires du même diamètre que les fiches.



Télescopie



Roulette à ruban en acier inox

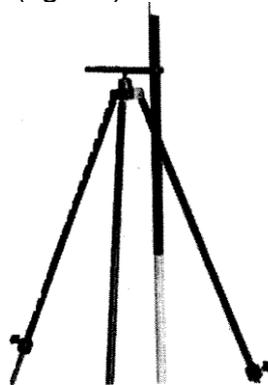


Roulette à manche

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

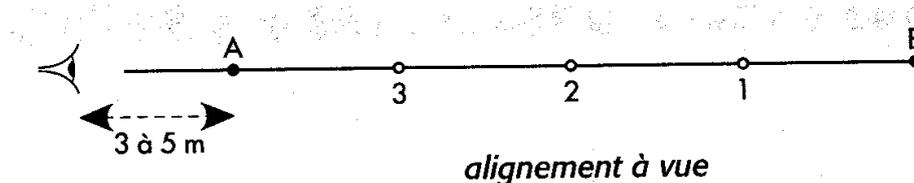


Fig. 24

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

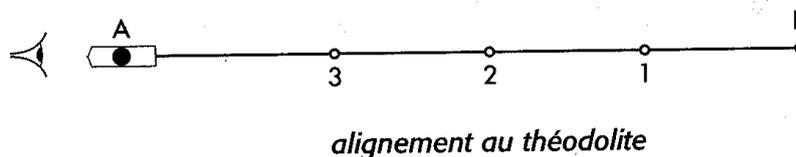


Fig. 25

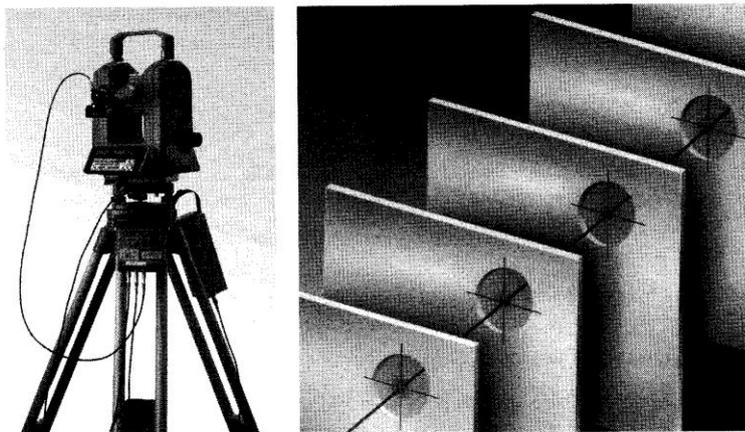
Après avoir mis le théodolite en station au point A (fig. 25), viser le jalon B à son axe et le plus près possible du sol de façon à réduire l'influence du défaut de verticalité, puis faire placer par un aide les jalons intermédiaires en commençant impérativement par le plus éloigné.

## Oculaire laser

Un *laser*, mot constitué par les initiales de l'expression anglais *Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation*, est un appareil qui fournit un faisceau lumineux monochromatique de très faible divergence : le milliradian. Un oculaire laser verrouillé sur un théodolite (fig. 26) donne un faisceau lumineux rouge de forte brillance, permanent, qui permet la visualisation sur cible de tout point entre A et B.

Diamètre du point lumineux : 4 mm/100 m et 6,5 mm/200 m

Portée : environ 150 m de jour et 400 m la nuit



oculaire laser

Fig. 26

b) Procédé dit du «fourrier » le point B n'est pas visible de A.

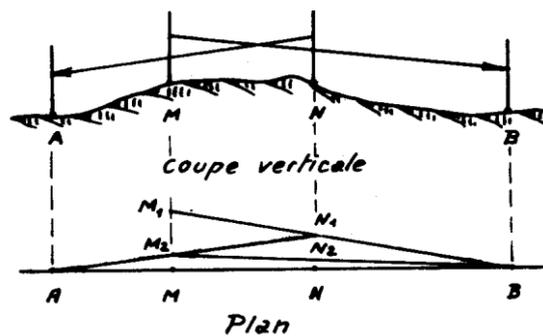


Fig.27

L'opérateur M se place aussi près que possible de l'alignement AB, de telle sorte qu'il puisse voir B, par exemple en  $M_1$ . L'aide N aligné par l'opérateur sur  $N_1B$  se place en  $N_1$  d'où il aligne à son tour l'opérateur en  $M_2$  sur  $N_1A$ . L'opérateur  $M_2$  aligne ensuite l'aide en  $N_2$  sur  $M_2B$ . Et ainsi de suite jusqu'à ce que les alignements successifs aboutissent aux points corrects M et N, où les rectifications de position ne sont plus nécessaires.

### 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.

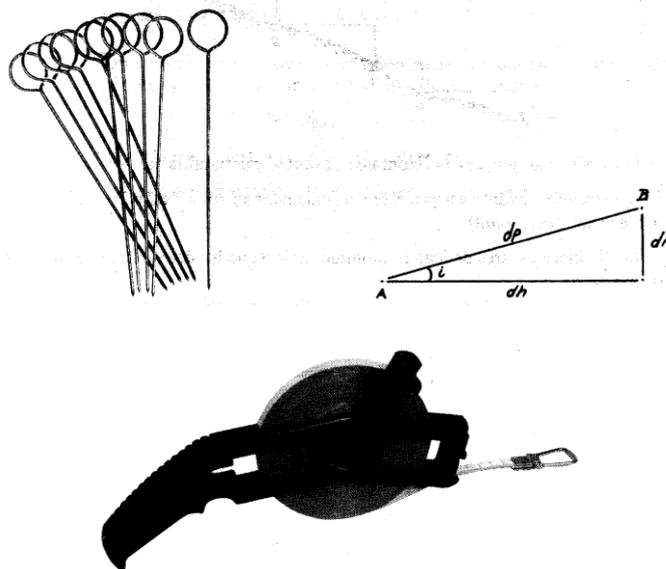


Fig. 28

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 10 m 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 ( $dh$ ) 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:

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

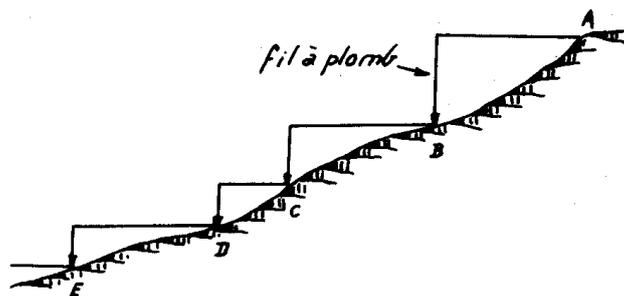
### C) Le terrain est incliné, la pente irrégulière

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. PRECISION DU MESURAGE

#### Les fautes (erreurs parasites)

- oubli d'une portée de ruban (mauvais décompte des fiches),
- faut de lecture.

Les fautes représentent en général un écart important. Le mesurage aller et retour fait apparaître les fautes. On peut donc les éliminer et améliorer le résultat.

#### Les erreurs systématiques

Dans les mêmes conditions d'utilisation ce sont celles qui se reproduisent toujours dans le même sens. Elles sont cumulatives.

#### Principales erreurs systématiques

##### a) Etalonnage

Le ruban, lors de l'emploi est soumis à des déformations diverses qui modifient la longueur vraie du ruban. La seule vérification est celle effectuée sur une base précise. Il convient ensuite de tenir compte de la correction d'étalonnage.

Il faut bien noter, qu'avec un double décimètre trop long, on obtiendra une quantité trop petite dans le résultat de la mesure.

b) *Dilatation*

Seule la dilatation des rubans en acier peut être calculée.

Le coefficient de dilatation de l'acier est 0,0000108 ce qui fait une variation de 1,1mm pour 100 m et pour une variation de température de 1° C.

c) *Elasticité*

Sous l'effet de la tension, le ruban, comme tous les métaux subit un allongement élastique. C'est – à – dire, dans le courant, le métal reprend sa longueur initiale quand on relâche la tension.

A titre indicatif : une tension de 5 kg donne un allongement de 2 mm pour une section de 2 mm<sup>2</sup>, et 1 mm pour une section de 5 mm<sup>2</sup>.

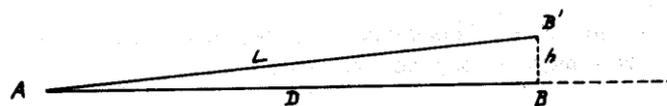
d) *Chaînette* (lorsqu'on opère en mode suspendu)

L'erreur augmente si la tension diminue,  
L'erreur augmente si la tension diminue (poids).

Une tension moyenne permet d'annuler l'influence de l'élasticité, et de l'erreur de chaînette.

e) *Alignement*

C'est le type même de l'erreur accidentelle à caractère systématique.



$$L - D \approx \frac{h^2}{2L}$$

Fig. 30

Avec un double décimètre, une erreur d'alignement de 20 cm engendre une erreur de  $\frac{(0,20)^2}{40} = 0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$

f) *Horizontalité*

Le défaut d'horizontalité se produit sur les mesures par ressauts horizontaux. Elle est identique à celle qui provient du défaut d'alignement.

### Les erreurs accidentelles

- erreur de plombage,
- fiche non verticale,
- erreur de mise bout à bout, mauvais tracé.

### III.6. MESURE DES LONGUEURS 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

##### a) Mesure parallactique

###### Principe

On dispose en M une stadia horizontale (en métal invar). Un petit viseur permet d'orienter la stadia perpendiculairement à la direction SM.

La stadia est munie de deux voyants A et B symétriques par rapports à M' et écartés exactement de 2 m.

L'opérateur en station en S, mesure l'angle horizontal ou parallactique entre A et B avec un théodolite de précision (Wild T2, Zeiss TH2...).

Le calcul donne la distance horizontale.

$$AB = 2 \text{ m} \quad AM' = 1 \text{ m} \quad A = 100 \text{ gr} - a/2$$

$$\frac{1}{\sin a/2} = \frac{SM'}{\cos a/2} \quad \text{d' où } SM' = \frac{\cos a/2}{\sin a/2} = \cotg a/2$$

$$SM' = \frac{1}{\tg a/2} = \text{distance horizontale}$$

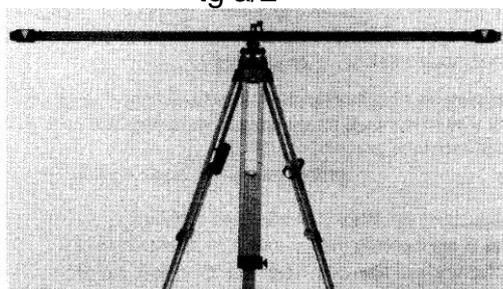
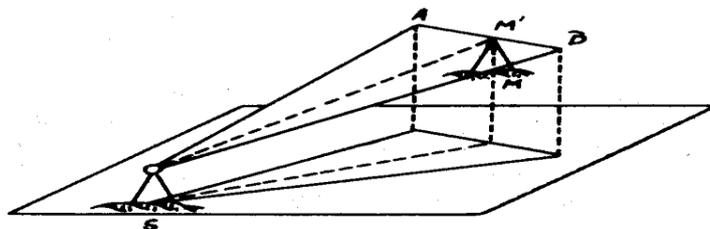


Fig. 31



Des tables donnent directement la distance horizontale en fonction d'alpha.

Deux paires de séquences sont nécessaires pour la mesure d'alpha. La précision de ce procédé est d'environ 1 cm pour une distance de 35 m.

### b) Les mesures stadimétriques

On utilise pour effectuer des mesures stadimétriques, soit un tachéomètre, optico-mécanique non autoréducteur (la distance horizontale est obtenue après un calcul), soit un tachéomètre optico-mécanique autoréducteur (la distance horizontale est donnée directement).

#### Les stadimètres non autoréducteurs à angle constant

Ils sont actuellement très peu utilisés en topométrie (portées et précisions réduites). Ils sont par contre toujours utilisés en nivellement direct. Le niveau étant un stadimètre à axe optique horizontal.

Une lunette stadimétrique est une lunette dont le réticule porte deux traits symétriques par rapport au trait niveleur. L'image de la mire se projette sur le réticule et forme un angle stadimétrique  $\alpha$ .

#### Principe

$c, b$  = traits du réticule

CB = images de  $c$  et  $b$  sur la mire

$l$  = différence de lecture sur une mire : lect sur C – lect sur B

$m$  et le rapport  $\frac{m}{d} = \text{tg } \alpha$  est constant

En général  $\frac{m}{d} = \frac{1}{100}$  de radian =  $\alpha = 0,63662\text{gr}$

$\frac{l}{D} = \frac{m}{d}$  la distance  $D$  est proportionnelle à  $l$ .

$$\frac{D}{\cos \alpha/2} = \frac{l/2}{\sin \alpha/2} \approx \frac{l}{\sin \alpha} \text{ d'où } D = \frac{l/2 \cot \alpha/2}{\text{tg } \alpha}$$

l'angle  $\alpha$  étant petit on peut écrire  $D \approx l/\text{tg } \alpha$

$\text{tg } \alpha = \text{tg } 0,63662\text{grades} = 0,01$  donc  $D = 100 l$

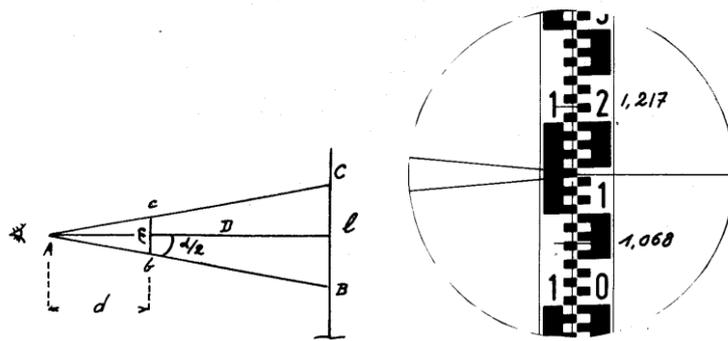


Fig. 32

Les lectures sont faites sur la mire au millimètre par interpolation à vue.

La distance D est donc donnée au mieux à  $\pm 1$  mm. 100 soit 10 cm près.

$$I = 1,217 - 1,068 = 0,149$$

$$\text{distance } D = 100 I = 14,90 \text{ m}$$

Cette méthode n'est applicable qu'en terrain sensiblement horizontal, la mire étant perpendiculaire à la visée donc tenue verticalement.

#### 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 première 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.

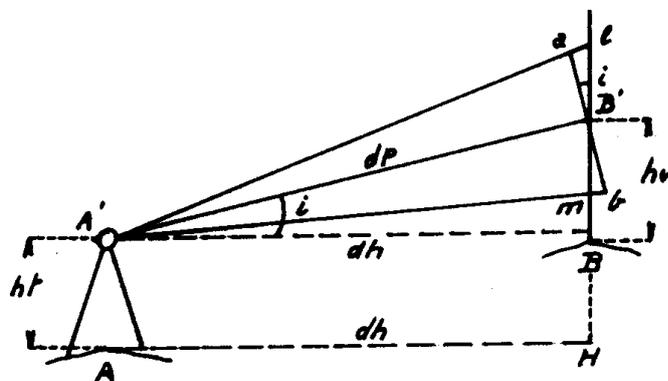


Fig. 33

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).

$$\begin{aligned} \text{Donc } aB' &= B' \cos i \\ bB' &= mB' \cos i \\ \text{d'où} \quad ab &= lm \cos i \end{aligned}$$

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

*Exemple:* Lecture trait stadimétrique supérieur  $l = 1,676$   
Lecture trait stadimétrique inférieur  $m = 1,364$

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

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

### c) Les instruments de mesure électronique des longueurs (I.M.E.L.)

#### Principe

Les instruments de mesure électronique des longueurs (I.M.E.L.) fonctionnent comme des chronomètres. Ils utilisent les ondes électromagnétiques qui se propagent en ligne droite, à une vitesse constante et connue.

L'intensité de l'onde porteuse (électromagnétique, centimétrique ou lumineuse) est modulée à l'émission par une fréquence plus basse.

L'onde porteuse est émise par un poste émetteur récepteur et renvoyée par celui-ci, soit par un réflecteur, soit par un deuxième récepteur (ondes radio). Les (I.M.E.L.) mesurent en fait des temps de parcours.

#### Formule générale

$$\text{distance} = \text{vitesse} \times \frac{\text{temps de parcours}}{2}$$

l'onde porteuse faisant l'aller – retour.

On distingue les instruments n'effectuant que des mesures de distances, est les tachéomètres électro – optiques. Parmi les tachéomètres électro – optiques on peut citer :

- Les tachéomètres intégrées
- Les tachéomètres électroniques compacts

### Les tachéomètres intégrés

Ils ne permettent pas la séparation physique du théodolite et de (I.M.E.L.), mais ils peuvent fonctionner séparément. Les lectures azimutales et zénithales sont optiques (micromètre de l'appareil). Les distances s'affichent en numérique sur le distancemètre.



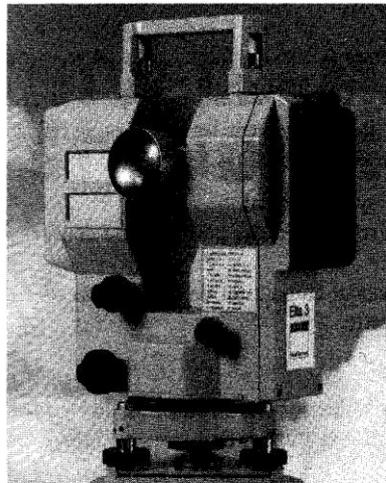
Fig. 34

### Tachéomètres électroniques compacts

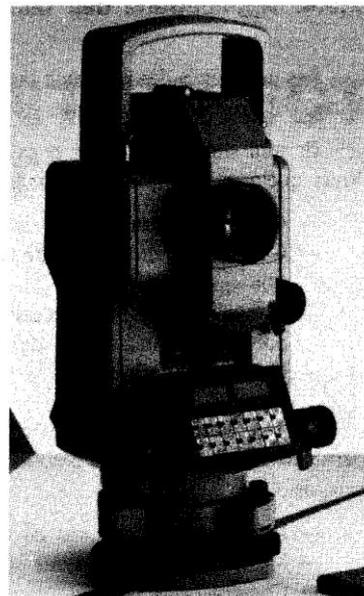
Un tachéomètre électronique comprend :

- un théodolite électronique,
- un (I.M.E.L.),
- un calculateur, qui transmet les données à l'enregistreur.

Ces instruments sont actuellement en pleine évolution. D'un prix assez élevé, ils demandent en outre toute une structure permettant une utilisation optimale et un amortissement rapide.

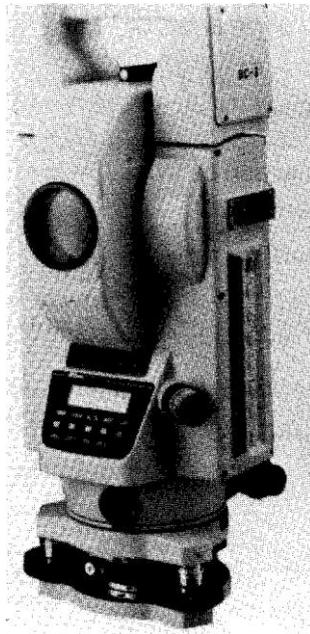


Zeiss Elta 3

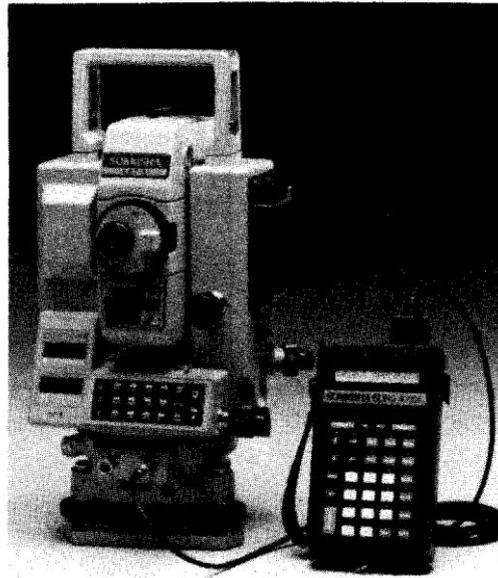


Wild TC 1600

Fig. 35



NIKON DTM 20



SOKKISHA SET 3

Fig. 36

### Lasers pulsés sans réflecteur

L'instrument envoie pendant une fraction de seconde des centaines, voire des milliers, d'impulsions laser sur une cible qui en réfléchit une partie vers l'émetteur ; la distance affichée est la moyenne de centaines, voire de milliers, de mesures du temps de parcours aller – retour d'une impulsion. Cette *technologie d'avenir*, qui offre de nouvelles perspectives – temps de mesure très court, haute précision, mesures sur objets en mouvement et surtout *mesures sans réflecteur* – est actuellement mise en œuvre, en topographie, sur des distancemètres ainsi que sur des matériels spécifiques parmi lesquels :

- les *jumelles laser* de classe 1 norme européenne EN 60825, laquelle définit la plus haute sécurité oculaire : Vector-Leica (fig. 37 – couleur hors-texte page D), portée maximale 2500 m, précision 2 m environ, équipées d'un compas magnétique et d'un clinomètre à affichage électronique permettant le positionnement dans les trois dimensions de la longueur mesurée ; le Lem 300 Geo, société Jenoptik, portées plus petites ;



Fig. 37

jumelles laser

- le *lasermètre*, laser de classe 2 qui interdit de regarder dans le faisceau visible ;

Disto-Leica (fig. 38), éventuel distancemètre modulaire d'un théodolite, particulièrement apprécié en levé d'intérieur, porte à 30 m sans réflecteur, plus de 100 m sur cible réfléchissante, avec une précision de quelques millimètres ; le nouveau Disto-Pro est équipé d'une mémoire de masse interne et d'une interface RS 232, qui lui permet d'échanger des données dans les deux sens avec des ordinateurs portables ou de bureau, les fonctions intégrées fournissant sur le site les angles et superficies par résolution de triangles. Autre fabrication : Sokkia NiNiMeter.

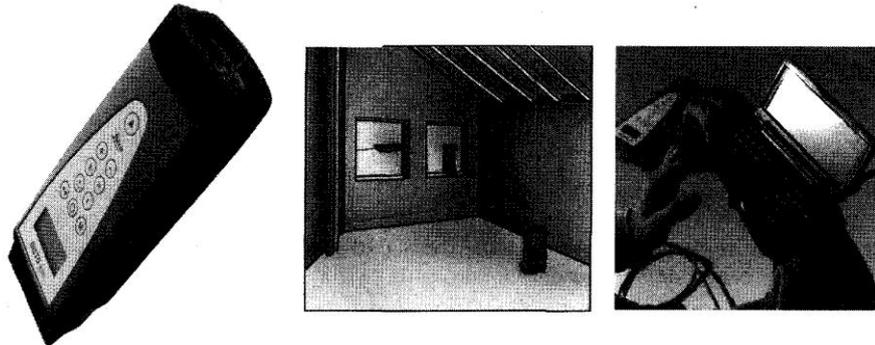


Fig. 38

#### d) Applications des tachéomètres électro-optiques

Les possibilités des nouveaux tachéomètres électro-optiques, qu'ils soient modulaires, intégrés ou électroniques compacts sont multiples.

Ils sont simples d'emploi et calculent instantanément les données de terrain. Voici quelques exemples de leurs nombreuses possibilités.

- Calcul des coordonnées dans un système local.
- Calcul de la distance et de la dénivelée entre des points d'une configuration quelconque.
- Hauteurs de points inaccessibles, calcul en continu de la dénivelée correspondant à l'inclinaison de la lunette.
- Calcul des surfaces.

Toutes ces données sont affichées en numérique aussi ces instruments sont particulièrement adaptés aux besoins des Travaux Publics du bâtiment et des levés urbains.

- Implantation (mesures en mode tracking).
- Mesures de déformations sur barrages et ouvrages d'art.
- Constructions précises.
- Positionnement d'éléments préfabriqués.
- Mesures de distances en épreuves d'athlétismes.

### III.7. 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 à même mesure que l'arc intercepté en unités correspondantes.

#### **Fonctions circulaires**

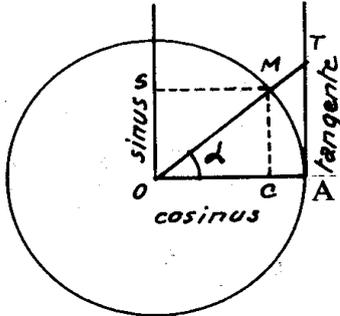
- Soit un cercle de rayon « UNITE ».

On appelle :

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

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

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



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

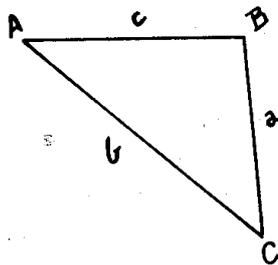
$$OS = CM = \sin \alpha \text{ donc } OC^2 + CM^2 = OM^2$$

mais  $OM = 1$  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 90 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 mnémoniques 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*.

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

$$\sin 220 \text{ gr} = \sin 20 \text{ gr}$$

*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

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

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

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

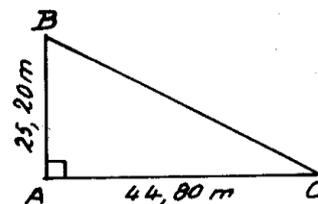
$$A = 100 \text{ grades} \quad \sin A = 1$$

$$\sin C = \frac{AB}{BC} = \frac{25,20}{51,40} = 0,49027$$

$$C = 32,62 \text{ gr}$$

$$\sin B = \frac{AC}{BC} = \frac{44,80}{51,40} = 0,87160$$

$$B = 67,38 \text{ gr}$$



Vérification:  $A + B + C = 200$  gr

On aurait pu également appliquer la formule en tangente

B est le complément de C  $\sin B = \cos C$

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

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

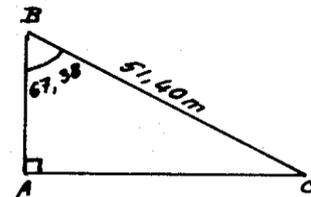
b) On connaît l'hypothénuse et un angle

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

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

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

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



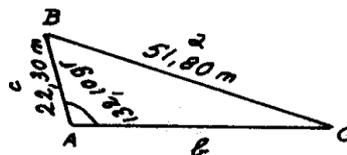
## 2) Triangle quelconque

a) On connaît un angle et 2 côtés non adjacents

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

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

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



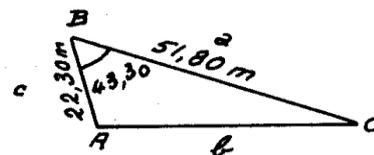
b) On connaît un angle et les deux côtés adjacents

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  $\alpha$  est très petit (en topométrie  $\leq 4$  grades).

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

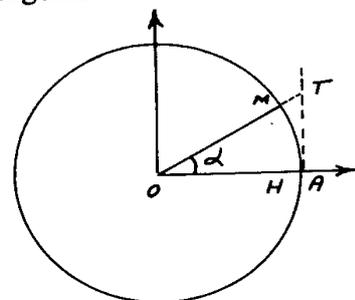
Par conséquent, la mesure d'un très petit angle exprimé en radians est très voisine de la valeur numérique de son sinus ou de sa tangente.

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 font 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 décimilligrade.

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.

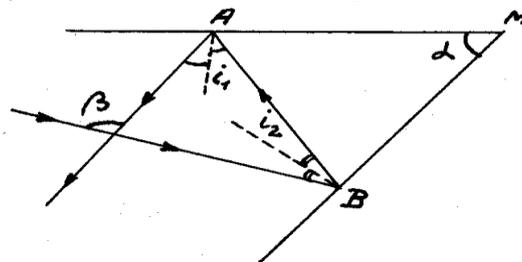
L'équerre optique se tient à la main, le centrage peut se faire soit avec un fil à plomb soit à l'aide d'une canne à plomber.

#### Principe

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

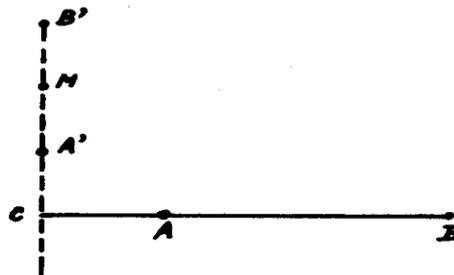
On a dans le triangle ABM (en grades),  $\alpha = 200 - (100 - i_1) - (100 - i_2) = i_1 + i_2$  d'où  $\beta = 2\alpha$ .

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.

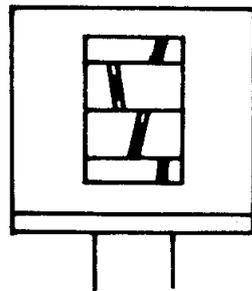
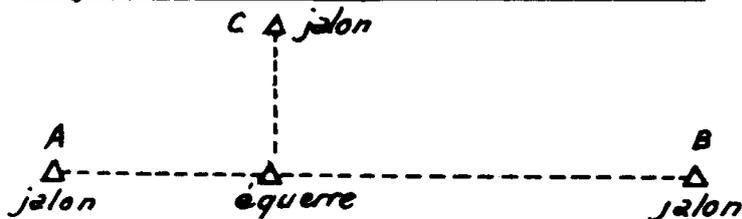
3) Se placer sur un alignement

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.

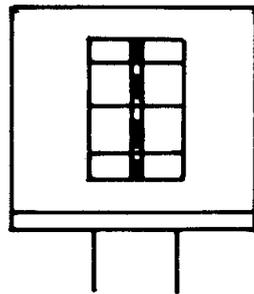
### b) Équerre à double prisme

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

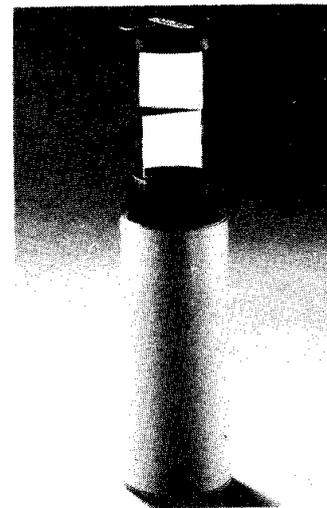
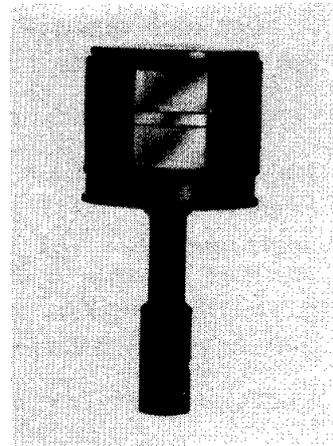
#### Perpendiculaire sur un alignement



*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 :  
 $2\pi$  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  $360^{\circ}$ ,  
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	$360^{\circ}$	6,28 rad	$2\pi$ rad	circonférence
200 gr	$180^{\circ}$	3,14 rad	$\pi$ rad	angle plat
100 gr	$90^{\circ}$	1,57 rad	$\frac{\pi}{2}$ rad	angle droit
63,66 gr	$57,30^{\circ}$	1 rad	—	—
1,111 gr	$1^{\circ}$	—	—	—
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).

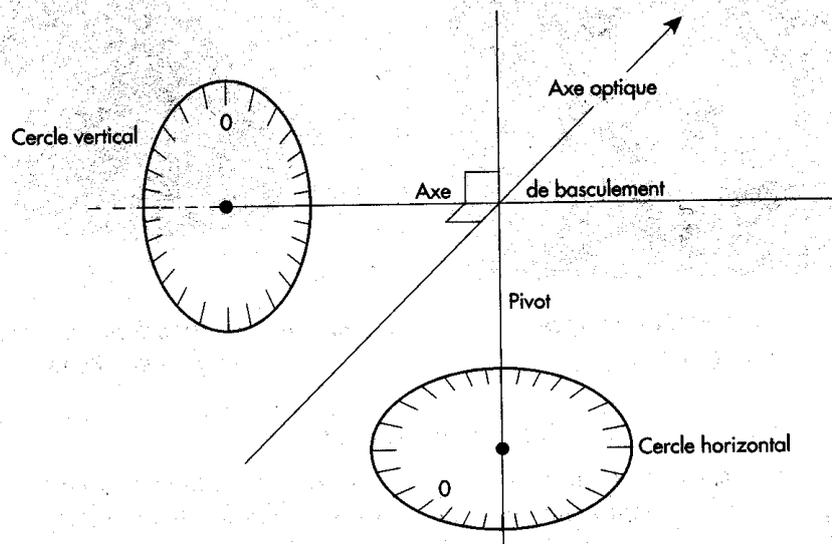


Fig. 39

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 ou 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 la mesure des angles verticaux.

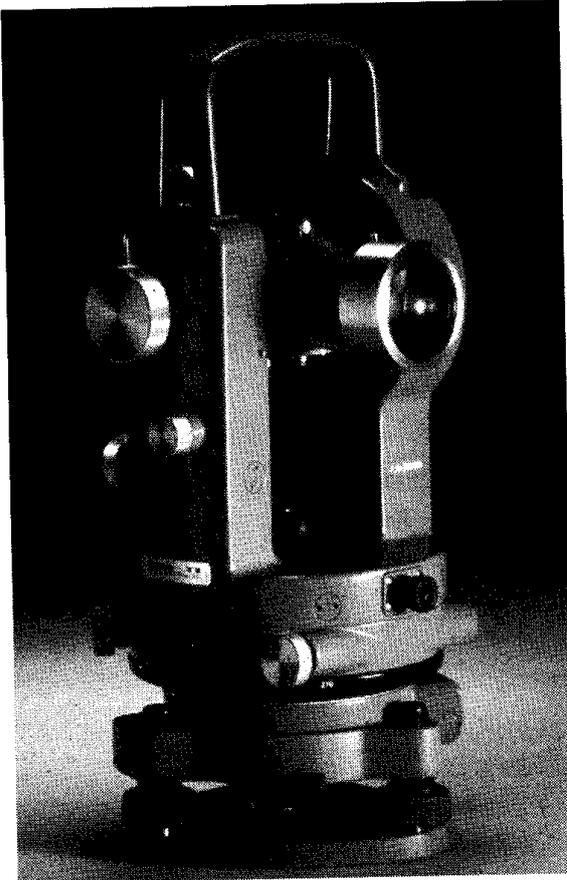


Figure 40 : théodolite optique



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, le 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

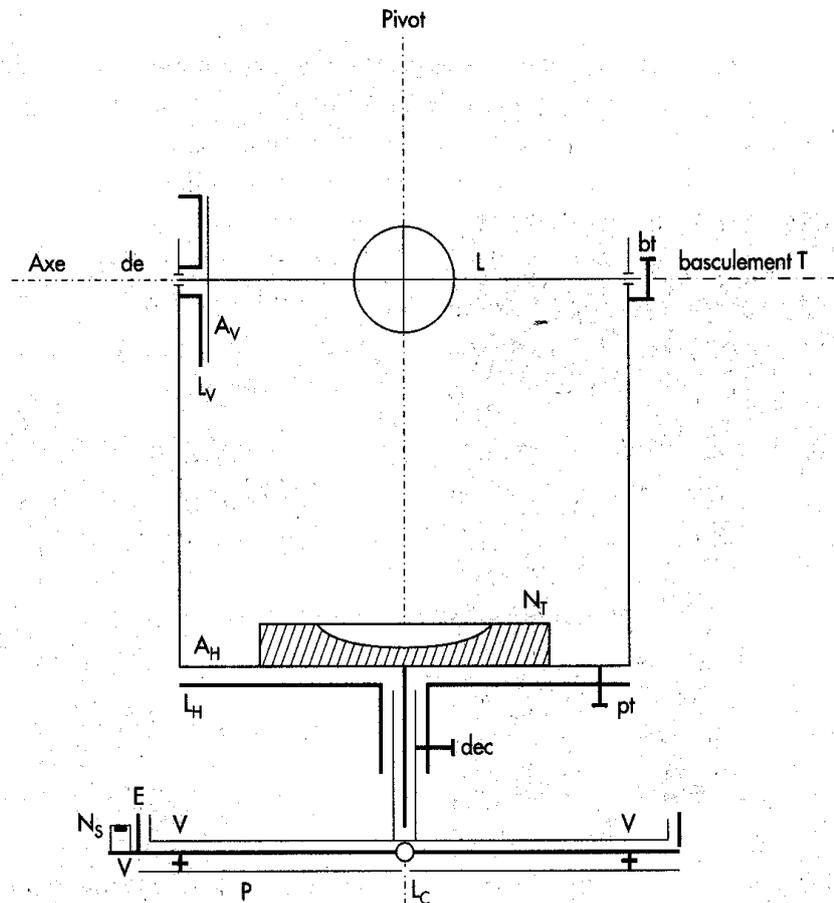


Figure 42 : coupe du théodolite

## 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

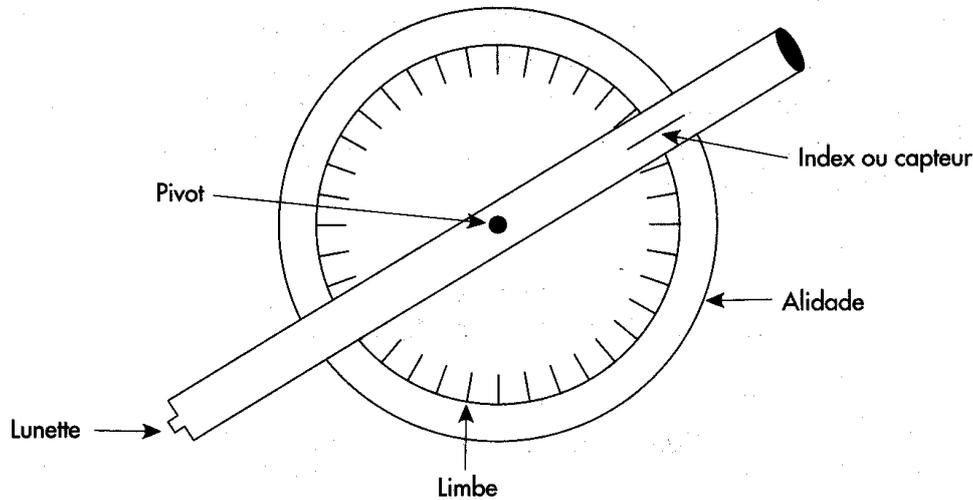


Fig. 43 : goniometre

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

- le limbe plan circulaire  $L_H$  (fig.43) porte l'échelle à traits, chiffrée généralement en  $g^{\circ}$  ou  $d^{\circ}$  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'alidade  $A_H$  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'alidade, notamment les instruments munis de centrage forcé.

### d) Cercle vertical

L'alidade  $A_H$  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 alidade  $A_V$  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 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,

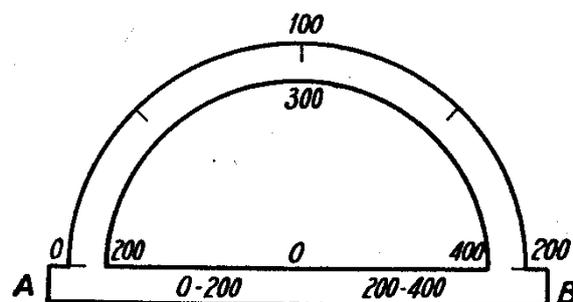


FIG. 44

(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.

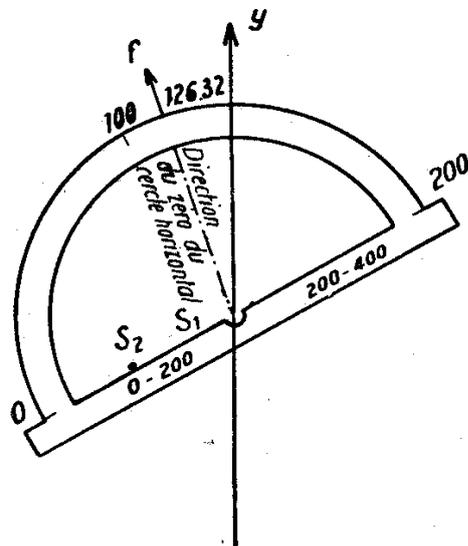


FIG. 45

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.

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.

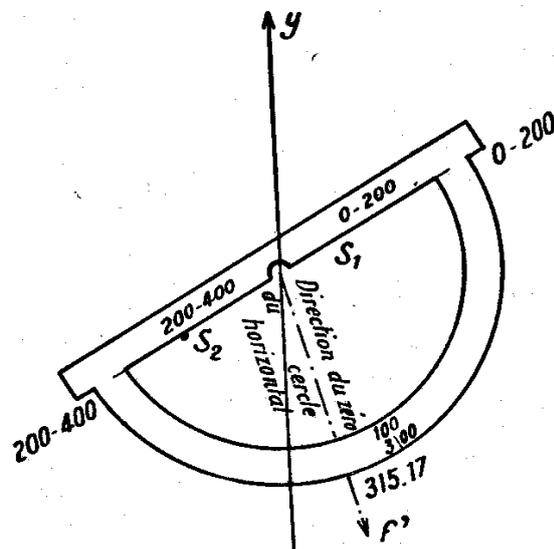


FIG. 46

## 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 (carte de base) 1/20 000	{	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 parcellaires		
1/1 000	{	Plans parcellaires		
1/500	{	Plans cadastraux urbains		
1/200	{	Plans de voirie, documents d'implantations		
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 :

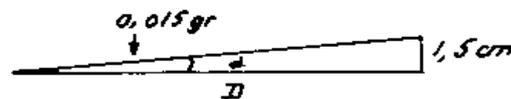
1,5 cm à l'échelle du 1/100,  
3 cm à l'échelle du 1/200.

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 cgr. 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 cgr.



$\alpha$  est très petit (annexe 1, page 245).

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

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

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

On calculera de la même manière :

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

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

#### b) Topométrie numérique

La topométrie numérique suppose un équipement opérationnel approprié :

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

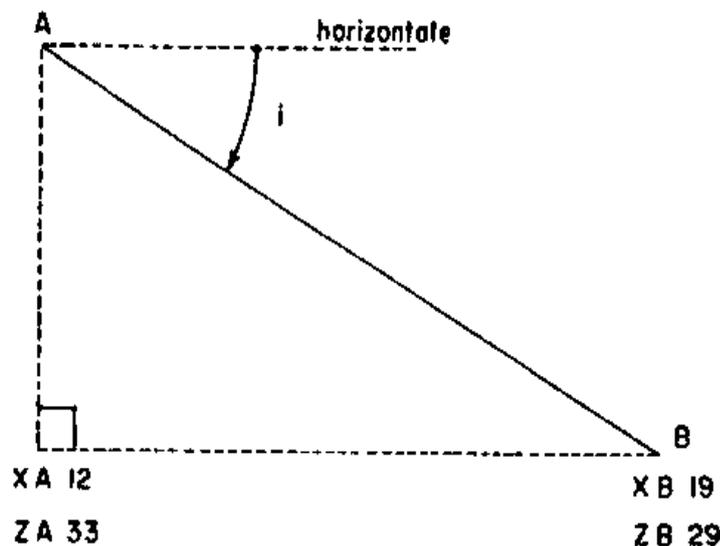
La topométrie numérique aboutit à un document dont tous les éléments sont définis par leurs coordonnées rectangulaires.

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, paliers exceptés.
- 4 Exemple scolaire :



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

**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 dénivelée ( $Z$  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 :**

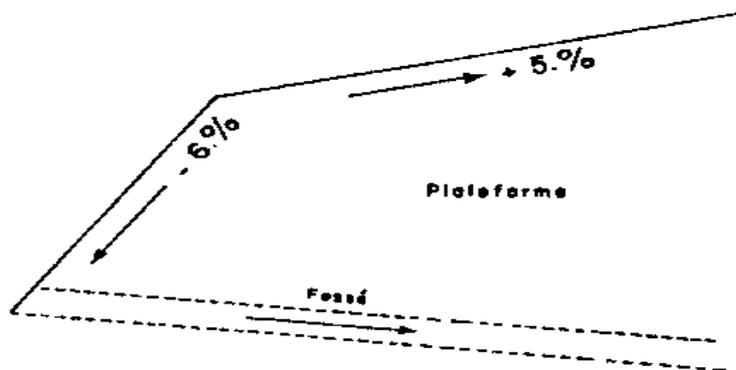
- 2,497 %  $\longrightarrow$  ou + 1,056 %  $\longrightarrow$   
(1) (2) (3) (1) (2) (3)

- 2,497 % signifie - 2<sup>m</sup>.497 pour 100 mètres horizontaux

ou - 2<sup>cm</sup>.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.**

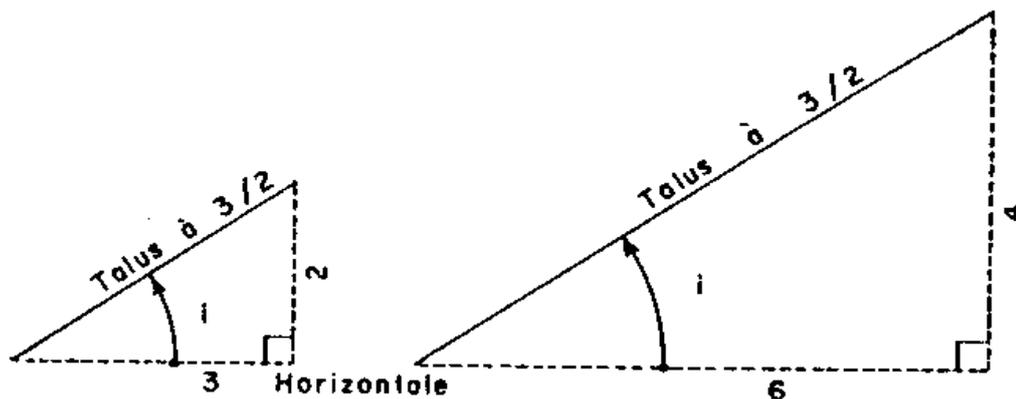
**f/ En plan, la direction de la plus grande pente est la direction que prend l'eau dans son écoulement (si aire de ruissellement parfaitement lisse).**

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.



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

## 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 où 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 où cote : La hauteur d'un point où 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 où dénivelée :  $\Delta Z_A$  et  $\Delta Z_C$  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).

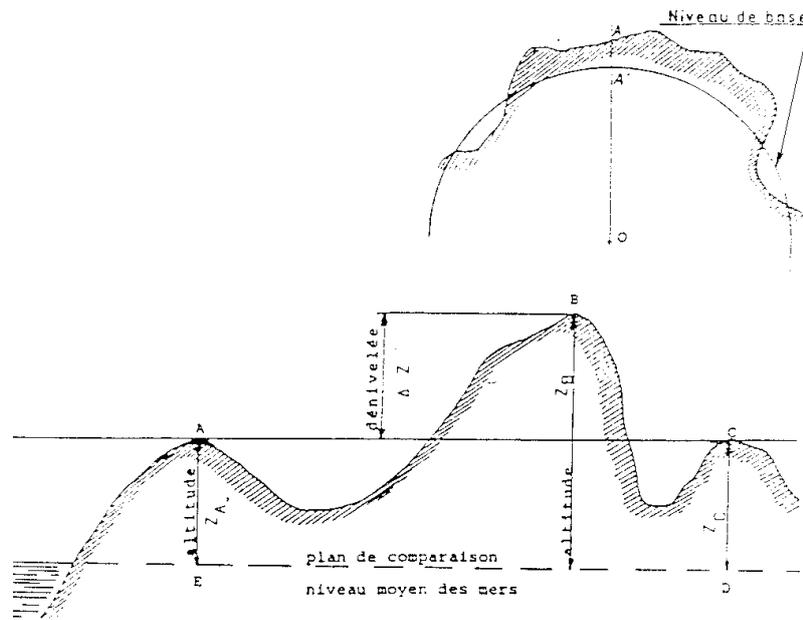


Fig. 47

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.

## VII.1. Principe du nivellement direct ordinaire.

### a) Observation

Le nivellement direct, encore appelé *nivellement géométrique*, consiste à déterminer la dénivelée  $\Delta Z_{AB}$  entre les deux points A et B (fig. 48) à l'aide d'un niveau, instrument définissant un plan horizontal de visée, et d'une mire placée successivement sur chaque point.

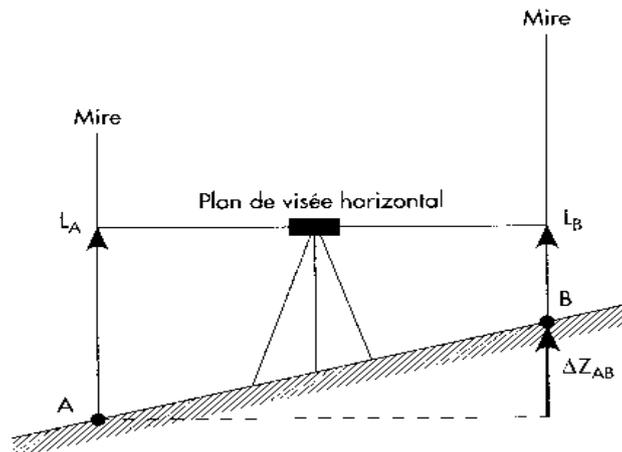


Fig.48 : égalité des portées

Les lectures directes  $L_A$  et  $L_B$  donnent la mesure directe de la dénivelée :  $\Delta Z_{AB} = L_A - L_B$ .

La *portée*, distance horizontale du niveau à la mire, varie suivant la pente mais n'excède guère 60 m ; dans la mesure du possible l'opérateur place le niveau à peu près à égale distance de A et B, cette *égalité des portées* n'impliquant pas du tout l'alignement en plan sur le segment AB mais seulement le positionnement sur sa médiatrice.

Si la configuration du terrain interdit la station de niveau entre A et B, cours d'eau par exemple, stationner à quelques mètres derrière A dans le prolongement de BA (fig. 49), puis derrière B et opérer par *visées réciproques* :

- visée directe :  $\Delta Z_{AB} = L_{A1} - L_{B1}$ ,
- visée inverse :  $\Delta Z_{AB} = L_{A2} - L_{B2}$ .

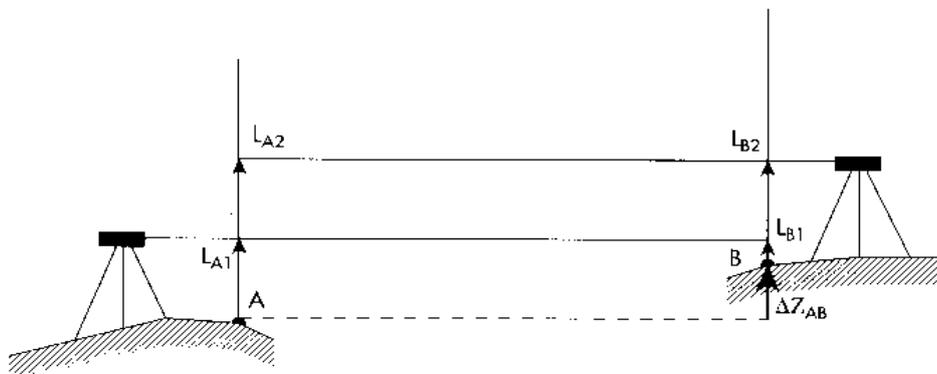


Fig . 49 : visées réciproques en nivellement direct

b) Lecture sur mir ordinaire

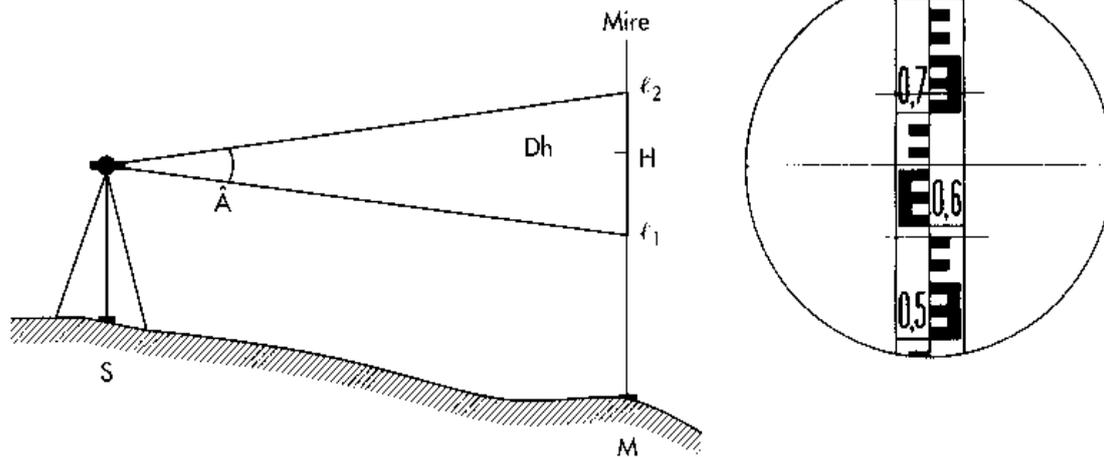


Fig .50 : lectures sur mire

Une *lunette stadimétrique* est une lunette de niveau dont le réticule porte deux traits stadimétriques, symétriques par rapport au grand trait horizontal de l'axe optique (fig. 50), qui déterminent deux lignes de visée formant dans le plan vertical l'*angle stadimétrique*  $\hat{A}$ .

L'axe optique et les deux rayons stadimétriques du niveau en station au point S rencontrent une règle graduée, appelée *mire*, maintenue verticale au point M.

Pour être opérationnelle dans l'environnement habituel du terrain, une mire ordinaire, en bois ou en aluminium, est constituée par l'assemblage de quatre éléments de un mètre, ou mieux, deux de deux mètres ; elle est calée verticale à l'aide d'une nivelle sphérique, maintenue immobile avec au moins un jalon que le *porte-mire* utilise comme contrefiche ; l'origine zéro de l'échelle est l'extrémité basse, ou *talon*, en contact avec le point M.

La lecture est un nombre de quatre chiffres qui donne la hauteur en mètres depuis le point sur lequel repose la mire :

- les chiffres des mètres et décimètres sont peints ; sur la figure, au trait médian ou *trait niveleur* 0,6 ;

- le chiffre de centimètres est égal au nombre d'échelons entiers qui précèdent le trait du réticule, ici 5 ; ces échelons, ou cases, de un centimètre, sont peints alternativement en rouge et blanc, groupés par cinq, comptés depuis l'origine du centimètre dans lequel se trouve le grand trait horizontal du réticule ;

- le chiffre des millimètres, estime au 1/10 de l'appoint entre le trait du réticule et l'origine de la case concernée ; ici 4.

La lecture estimée au trait niveleur donc  $H = 0,654$  m.

Contrôle en effectuant les deux lectures  $l_1$  et  $l_2$  aux traits stadimétriques et en vérifiant que l'égalité :  $l_2 - H = H - l_1$  est satisfaite au millimètres près ; sur la figure :  $l_1 = 0,590$  m,  $l_2 = 0,717$  m  $\rightarrow l_2 - H = 0,063$  m,  $H - l_1 = 0,064$  m.

## VII.2. Niveau et mire

### a) Niveau

#### Niveaux-blocs à nivelle torique

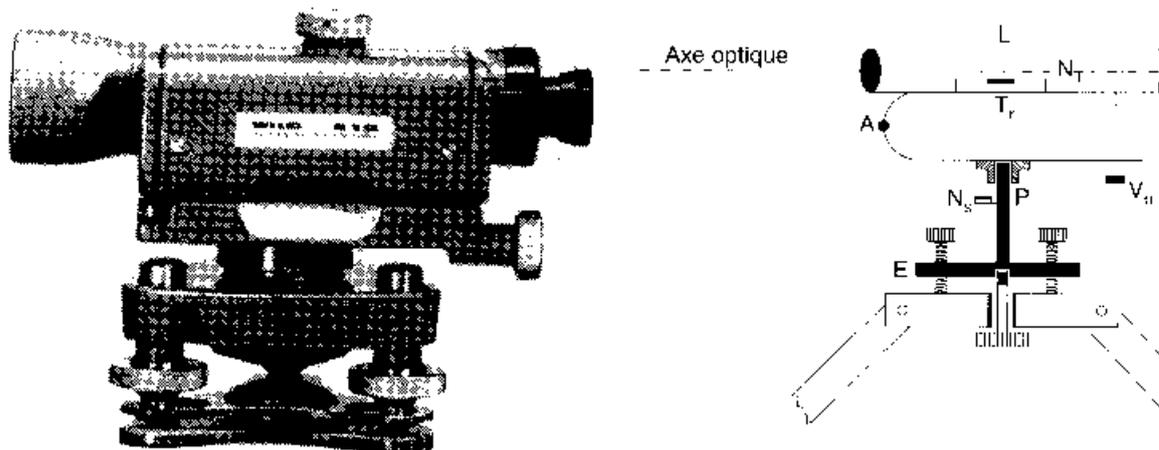


Fig.51 : niveau-bloc à nivelle

Le pivot P (fig. 51) est calé à peu près vertical à l'aide de la nivelle sphérique  $N_s$ , de sensibilité  $8' - 25''/2$  mm, et de l'embase E munie d'un système de calage rapide : triangle à vis calantes à grand débattement, rotule sphérique, couple de vis orthogonales, disques rotatifs superposés en forme de coins, etc.

La traverse horizontale Tr tourne autour du pivot avec vis de blocage et de fin pointé ; elle peut basculer légèrement à l'aide de l'articulation A et de la vis de basculement  $V_b$ .

La lunette L, de grossissement  $\times 15 - \times 20$ , est fixée sur la traverse solidairement avec la nivelle torique  $N_T$  de sensibilité  $40'' - 60''/2$  mm ; la nivelle est réglée de façon que l'axe optique soit horizontal quand la bulle est calée, le calage étant réalisé par basculement du « bloc » lunette-nivelle.

La précision de calage varie de  $8'' - 10''$  à  $1'' - 2''$  suivant le dispositif de calage (fig 52) , fiole graduée ou bulle coupée, c'est-à-dire mise en coïncidence des demi-extrémités opposées de la bulle.

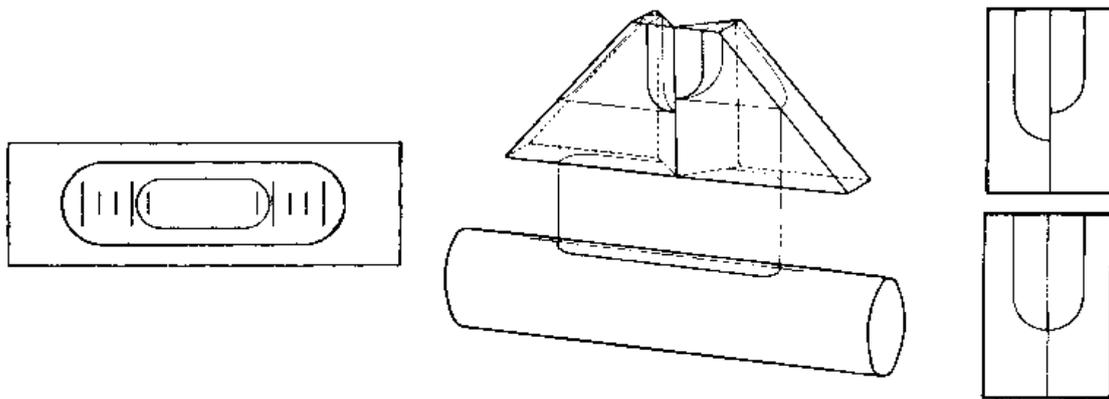


Fig. 52 : dispositifs de calage

L'emploi du niveau est simple :

- mettre le trépied en station en estimant l'horizontalité de sa tête sans souci de centrage, puis caler le pivot vertical à l'aide de la nivelle sphérique et du dispositif de calage ;
- pointer le trait vertical du réticule sur l'axe de la mire avec le pivotement et la vis de fin pointé ;
- caler la bulle de la nivelle torique ;
- faire la lecture sur la mire, estimée au millimètre

Un niveau-cercle est muni d'un goniomètre horizontal simplifié qui permet de mesurer des angles horizontaux avec une précision réduite.

### Niveaux automatiques

Après calage sommaire avec la nivelle sphérique, l'axe de la lunette et le rayon horizontal passant par le centre O de l'objectif forment un angle  $\alpha$  (fig. 53).

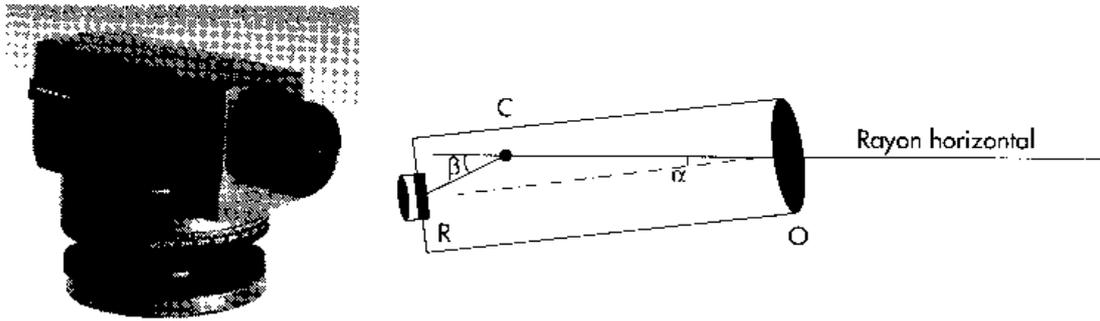


Fig. 53 : niveau automatique

Le compensateur C, interne à la lunette, amène le rayon horizontal au centre du réticule R suivant la relation :  $\beta = k \cdot \alpha$ , dans laquelle k est un facteur constant qui dépend à la fois de la distance focale et de la distance compensateur-réticule.

Pour qu'un niveau automatique soit sensible, le compensateur doit être le plus léger possible, soumis aux frictions minimales, tout en restant robuste. Les constructeurs ont réalisé de nombreux systèmes pendulaires à fils ou rubans, suspension magnétique, équilibre d'un liquide, etc., qui fonctionnent dans les limites de débattement du compensateur, 10' à 30' selon les matériels : un dispositif mécanique ou optique permet de vérifier le bon fonctionnement du compensateur après la mise en station. La précision de calage varie de 1" à 3".

Pour qu'un niveau automatique soit opérationnel, la durée des oscillations du système pendulaire doit être négligeable. Cette condition est remplie par un amortisseur pneumatique, expulsion de l'air d'un cylindre par un piston, ou un amortisseur magnétique, courant induit entre deux aimants permanents : le temps de stabilisation du compensateur est le plus souvent inférieur à la seconde.

Fiables, rapides, précis, commodes grâce notamment à la rotation à frottement dur sans vis de blocage mais avec vis de fin pointé, les niveaux automatiques ont supplanté les niveaux à nivelle en nivellement ordinaire comme en nivellement de précision.

### Niveaux numériques, mires codes-barres (M. Kasser)

Sur ces appareils, une lame semi-transparente près de l'oculaire permet à une barrette CCD (Charge Coupled Device utilisant un dispositif à transfert de charge) d'analyser une fine bande verticale de l'image, sur la graduation verticale vue par l'observateur. La mire est formée d'une alternance de bandes noires et blanches, dont les largeurs forment un code parfaitement défini (fig. 4.6). Lorsque le processeur analyse l'image observée, il la compare avec le code théorique, et le résultat de cette corrélation fournit à la fois la position de l'axe optique sur la mire et la distance de la mire déduite de la taille apparente du code.

Ce dispositif permet de rendre la lecture entièrement automatique, sans aucune manipulation des données, et de garantir que cette mesure a été acquise dans des conditions satisfaisantes ; si l'opérateur oublie de « buller » le niveau, la mesure ne peut se faire. De la sorte, la mesure est considérablement plus sûre, les risques de fautes étant très réduits, et plus rapide qu'avec les niveaux automatiques traditionnels.

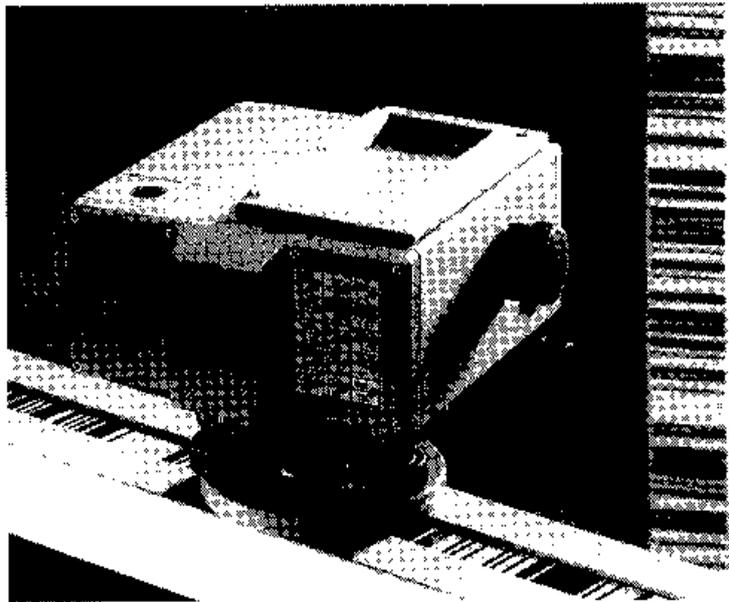


Fig. 54 : niveau numérique

Une réserve doit quand même être faite sur le problème de l'éclairage des mires, qui est plus exigeant qu'avec un observateur humain, la mesure s'avérant impossible alors qu'un opérateur attentif parviendrait sans peine à mesurer encore.

Enfin, notons que la mesure n'est pas plus précise, toutes les erreurs systématiques du nivellement direct sont toujours présentes, seule l'ergonomie est améliorée.

Toutefois, il convient d'être attentif au comportement de ces instruments pour les mesures de très haute précision. En particulier, les phénomènes de réfraction se présentent sous une forme différente parce que :

- la zone de mire étudiée par le processeur est large, ce qui amène à moyenniser des observations comparables avec ce qui se passe pour un observateur humain avec des observations plus basses sur la mire et donc subissant une réfraction plus importante :

la visée peut aller plus bas qu'avec une observation humaine, en particulier aller sous le bas de la mire, pourvu qu'un tronçon suffisant de mire soit visible dans le champ au-dessus de l'axe optique, zone où la réfraction est très forte.

Ces niveaux permettent des mesures automatiques : en continu pour surveiller des mouvements de bâtiments, de pièces soumises à des efforts, etc. avec une remarquable commodité et une grande précision.

Les niveaux numériques autorisent le nivellement automatique : saisie puis traitements informatiques des cheminements, points de détail, implantations, etc.

Les niveaux numériques motorisés visent automatiquement les points programmés par initialisation manuelle préalable.

## b) Mires

### Les mires parlantes

Ainsi dénommées pour que l'opérateur puisse lire la hauteur en quittant la station.

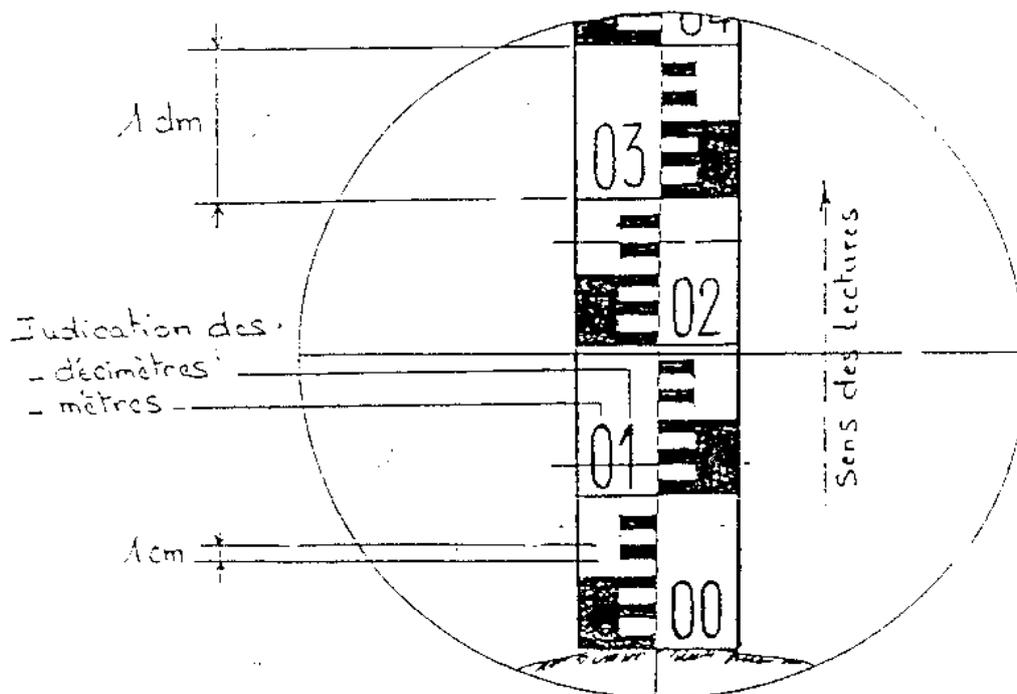
Ce sont des règles graduées permettant d'exécuter des lectures. Elles sont munies d'un dispositif de verticalité. Enfin, elles sont en bois et pliantes pour faciliter leur transport.

Il existe trois types de mire :

- la mire parlante droite
- la mire parlante à l'envers
- la mire parlante universelle

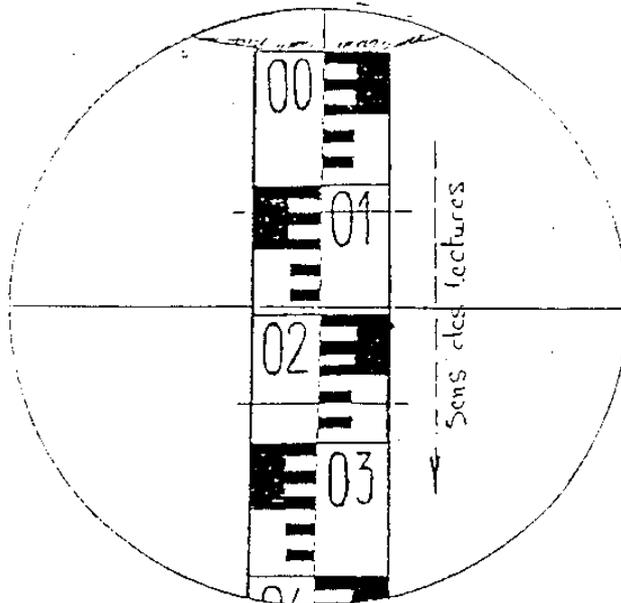
### Mire parlante droite

On l'utilise lorsque la lunette donne une image droite.



Miroir parlante inversée

On l'utilise lorsque la lunette donne une image inversée.



Miroir universelle

On l'utilise dans les deux cas

image renversée

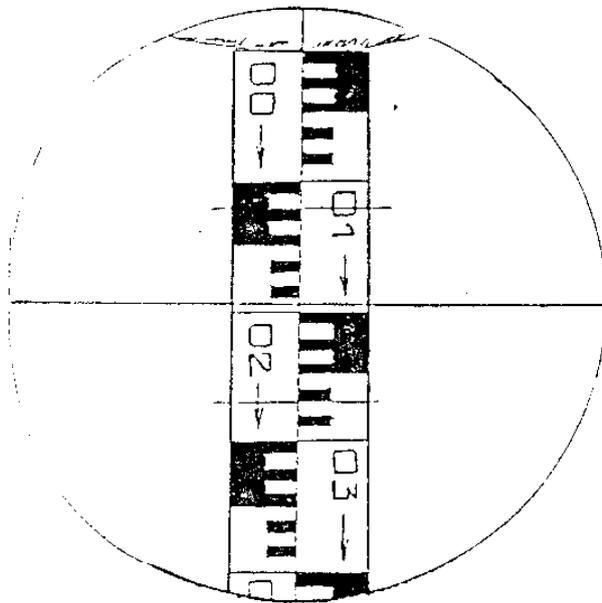
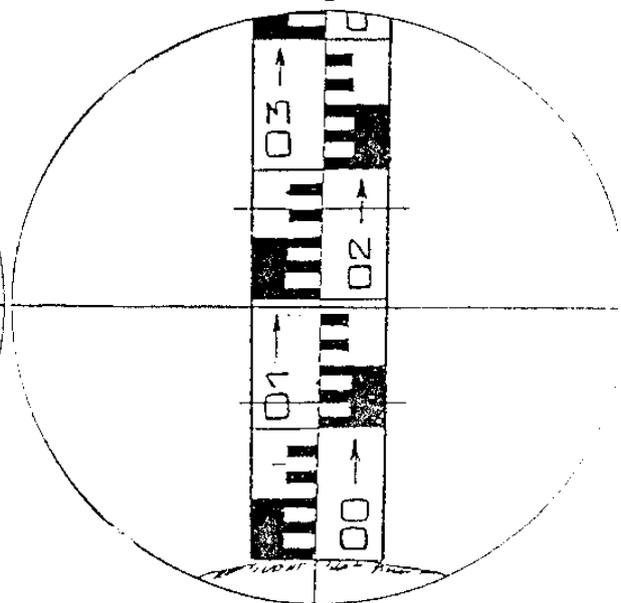


image droite



Lecture de la mire

La lecture de la mire se fait en énonçant mille pour le chiffre des mètres, cent pour les décimètres, dix pour les centimètres et unité pour les millimètres.

La plus petite graduation étant le centimètre (petit rectangle noir) on doit estimer l'évaluation du millimètre.

Lecture sur mire

Lecture au fil niveleur : Amener le trait vertical dans l'axe de la mire à l'aide de la vis de rappel en azimut.

Effectuer la lecture.

Si plusieurs lectures sont faites de la même station, vérifier avant chaque lecture la coïncidence des demi-bulles.

Lecture aux fils stadimétriques :

- la demi-somme des lectures aux fils stadimétriques est égale à la lecture au fil niveleur.
- la différence des lectures aux fils stadimétriques multipliée par 100 donne la distance entre le niveau et la mire.

Exemple mire parlante droite :

lecture au fil niveleur	0195	( 0 m 195 )	
lecture aux fils stadi.	inférieur	0120	
	supérieur	0270	
	somme	0390	/ 2 = 0195
distance entre le niveau et la mire			
	fil stadi. supérieur	0270	
	fil stadi. inférieur	0120	
	différence	0150	soit 0,15 x 100=15m

### VII.3. Dénivelée élémentaire

a) Points en dessous du plan de visée

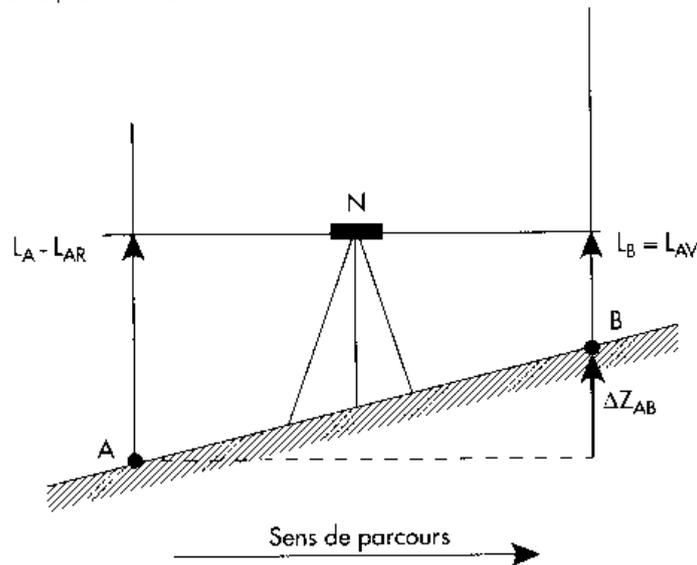


Fig . 55 : dénivelée

Le niveau étant en station en N à égalité des portées de A et B (fig. 55 ), calé avec la nivelle sphérique, l'opérateur pointe la mire en A par exemple, calcule la nivelle torique ou vérifie que le compensateur est en suspension libre, lit la hauteur de mire  $L_A$  ; les lectures supplémentaires aux deux traits stadimétriques permettent le contrôle et la mesure de la portée.

Après quoi, le porte-mire se déplace au point B et l'opérateur lit  $L_B$  dans les mêmes conditions.

Comme en nivellement les points de mire sont en général nombreux, rarement matérialisés sans désignation le plus souvent, l'opérateur les identifie à chaque station par rapport au sens de parcours de l'arrière vers l'avant, ici de A vers B.

La dénivelée dans le sens de parcours est donc la valeur algébrique  $\Delta Z_{AB} = L_A - L_B$ , notée de manière générale :  $\Delta Z = L_{AR} - L_{AV}$

En cas de visées réciproques (fig. 49 ) identifier soigneusement les lectures,  $L_A$  étant la lecture arrière,  $L_B$  la lecture avant, indépendamment des positions relatives du niveau et de la mire.

$$\Delta Z_{AB} = \frac{(L_{A_1} - L_{B_1}) + (L_{A_2} - L_{B_2})}{2} \Rightarrow \Delta Z = \frac{(L_{AR} - L_{AV})_1 + (L_{AR} - L_{AV})_2}{2}$$

Saisie manuelle et réductions des observations dans un carnet, ou saisie et traitement automatiques, selon le matériel utilisé.

Points Nivelés	Lectures		Dénivelées $\Delta Z$	Portées AR AV	Altitudes Z	Observations
	$L_{AR}$	$L_{AV}$				
Repère	2,149 1,979 m 1,808	170 171			196,251 m	Repère ABm <sub>3</sub> -65
M		1,307 1,143 m 0,979	+0,836	34,1 m 32,8	197,087	

b) Points au - dessus du plan de visée

Que l'on opère par égalité des portées ou par visées réciproques, la détermination de la dénivelée en grandeur et en signe selon le sens de parcours ne change pas, sous réserve d'affecter le signe « moins » aux lectures qui correspondent à des points de mire placés au-dessus du plan de visée (fig. 56 ).

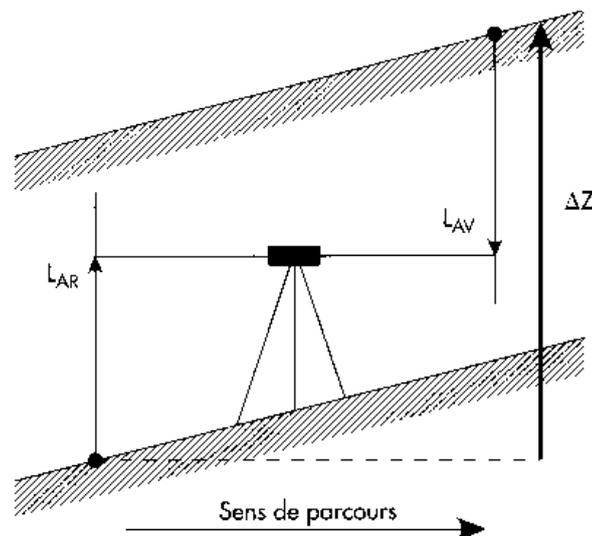


Fig . 56 : point au-dessus du plan de visée

$$\Delta Z = |L_{AR}| + |L_{AV}| = L_{AR} - L_{AV}, \text{ avec } L_{AV} < 0$$

Le signe d'une lecture dépend uniquement de la position du point en-dessous ou au-dessus du plan de visée, pas du fait que la lecture soit arrière ou avant.

La formule générale :  $\Delta Z = L_{AR} - L_{AV}$  s'applique indifféremment aux altitudes positives et aux altitudes négatives, rencontrées notamment en topographie souterraine.

Le niveau laser tournant automatique, avec détecteur laser coulissant sur canne ou sur mire, illustre bien la mesure d'une dénivelée élémentaire sur un chantier de BTP (fig. 57 ).

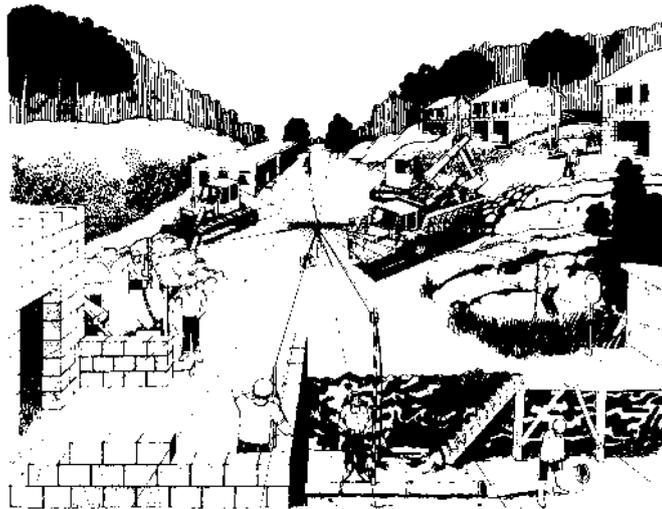


Fig. 57 : niveau laser rotatif

**Le nivellement direct est généralement exécuté selon l'un des deux modes suivant : par rayonnement ou par cheminement, ou le plus souvent par la combinaison de deux – par cheminement mixte.**

#### VII.4. Nivellement par rayonnement

Le niveau étant en station en un point S.

1 - Viser en lecture arrière, un point N d'altitude connue (ou à calculer d'un point d'un cheminement principal par exemple) :

2 - Viser en lecture avant, successivement, les points 1,2,3,...etc

Ce procédé permet d'obtenir rapidement les cotés d'un grand nombre de points d'un terrain.

3 - Calcul de l'altitude des points

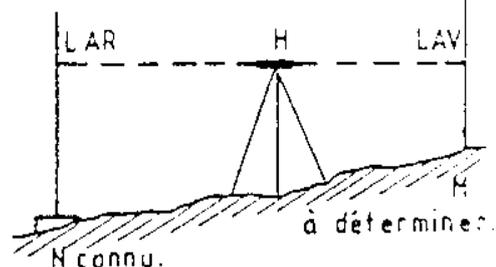
. calculer l'altitude du plan de visée H de l'appareil en station à partir de la mire "arrière" qui a été visée et qui est placée en un point N connu.

$$\text{Altitude H) = (Altitude N) + LAR}$$

. en déduire pour chaque point M rayonné depuis cette station en lecture avant

$$\text{(Altitude M) = (Altitude H) - LAV}$$

Disposition des calculs en tableau - Tenue du carnet de nivellement.



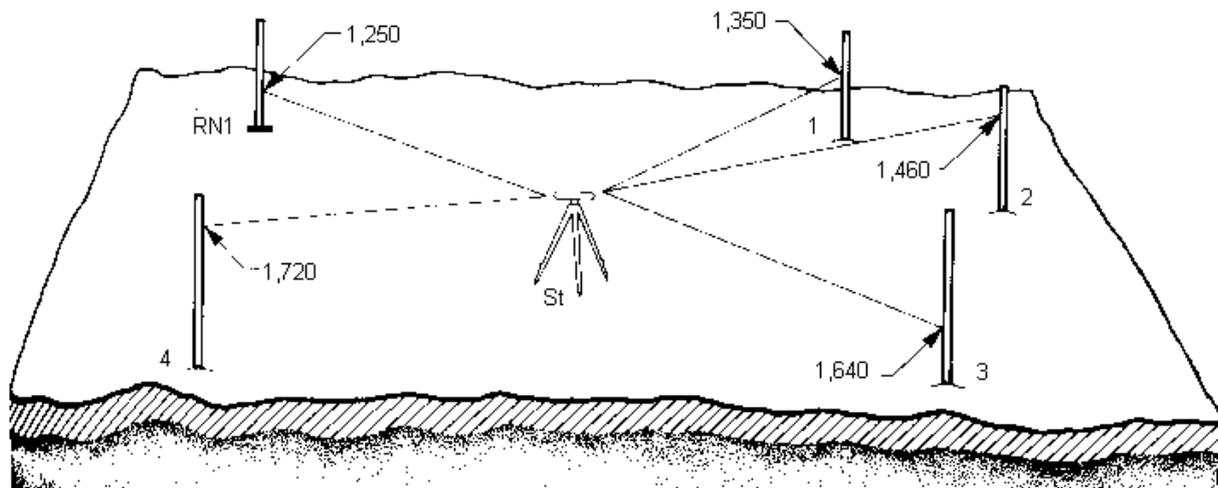


Fig. 58 : Nivellement par rayonnement

NIVELLEMENT : *Rayonnement*

Reperes N° des Points	DISTANCES	LECTURES		DIFFERENCES		COTES FINALE
		ARRIERES	AVANT	Montant	Descend	
		Cotes lues	Cotes lues	+	-	
RN1		1,250				100,00
1			1,350		0,100	99,90
2			1,460		0,210	99,79
3			1,640		0,390	99,61
4			1,720		0,470	99,53

## VII.5. Nivellement par cheminement encadré

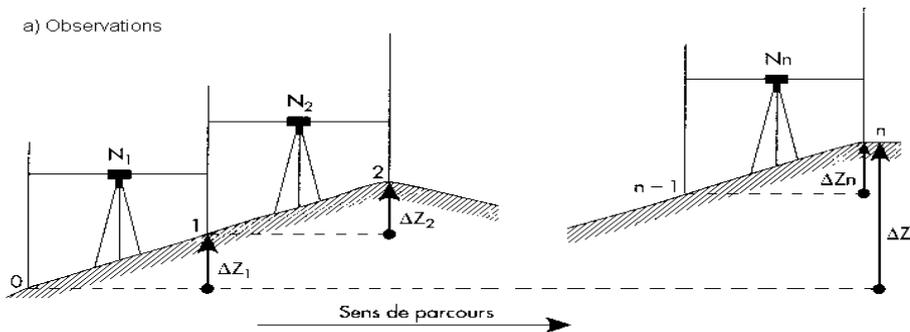


Fig. 59 : cheminement de nivellement

Lorsque le point de départ 0 et le point d'arrivée n sont situés de telle façon qu'une seule station de niveau ne suffise pas pour déterminer la dénivellée  $\Delta Z$  : éloignement, masques, dénivellations importantes, etc., décomposer la dénivellée totale en dénivellées élémentaires en cheminant sur les points intermédiaires 1, 2, ..., n - 1 (fig. 59).

Un cheminement encadré part d'un point 0 connu en altitude, passe sur un certain nombre de points intermédiaires qui seront conservés ou non, aboutit sur un autre point connu n : la forme géométrique du cheminement dans le plan horizontal n'a aucune importance.

Les observations s'effectuent dans l'ordre chronologique :

- le porte-mire tient la mire verticale sur le point de départ 0, l'opérateur met le niveau et station en  $N_1$  en estimant l'emplacement approximatif du point de mire suivant 1 de manière à respecter au mieux l'égalité des portées :  $N_1 0 \approx N_1 1$  ; il pointe la mire, cale la nivelltorique ou vérifie le compensateur, fait la lecture au trait niveleur  $L_{AR_0}$  et éventuellement les lectures  $\ell_1$  et  $\ell_2$  aux traits stadimétriques en contrôlant immédiatement l'égalité :  $\ell_2 - \ell_{AR_0} = \ell_{AR_0} - \ell_1$  à 1 mm près ;
- le porte-mire compte ses pas de 0 à  $N_1$  de manière à pouvoir matérialiser le point 1 à égalité des portées, autrement dit fait le même nombre de pas de  $N_1$  à 1 : le point intermédiaire doit être stable, pierre pointue enterrée, socle métallique transportable appelé crapau (fig. 60), piquet ou pointerolle quand le sol est meuble ;

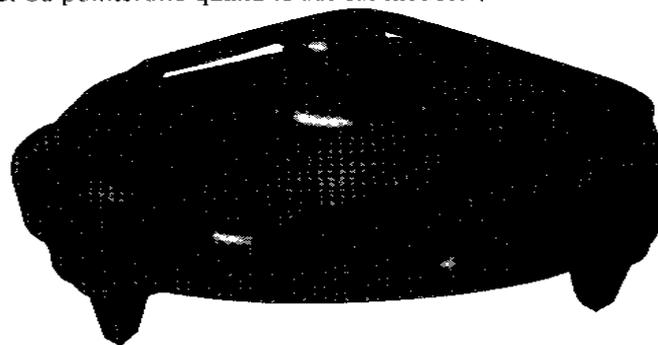


Fig. 60 : socle de nivellement

Le caractère ponctuel et la stabilité d'un point de mire sont les conditions essentielles pour effectuer de bonnes mesures.

- sur la mire verticale et immobile en 1 l'opérateur lit  $L_{AV_1}$  et éventuellement les lectures aux traits stadimétriques ;
- l'opérateur se déplace pour choisir la station  $N_2$  en prévoyant l'emplacement approximatif du point de mire 2 de manière à respecter l'égalité des portées, puis effectue la lecture arrière  $L_{AR_1}$  sur la mire que le porte-mire oriente vers l'instrument sans cesser de la maintenir sur le point ;
- pendant que le porte-mire se déplace pour aller au point 2, l'opérateur calcule la dénivelée précédente :  $\Delta Z_1 = L_{AR_1} - L_{AV_1}$ , avant de viser 2 ;
- l'opérateur et le porte-mire continuent ainsi à mesurer les dénivelées partielles successives, en se déplaçant alternativement, les observations se terminant par la lecture avant  $L_{AV_n}$  sur le point n.

b) Calcul des altitudes

Contrôle des dénivelées

$$\begin{aligned}
 L_{AR_1} - L_{AV_1} &= \Delta Z_1 \\
 L_{AR_2} - L_{AV_2} &= \Delta Z_2 \\
 &\vdots \\
 L_{AR_{i-1}} - L_{AV_i} &= \Delta Z_{i-1} \\
 &\vdots \\
 L_{AR_{n-1}} - L_{AV_n} &= \Delta Z_n \\
 \hline
 \sum_{i=0}^{n-1} L_{AR_i} - \sum_{i=1}^n L_{AV_i} &= \sum_{i=1}^n \Delta Z_i
 \end{aligned}$$

Fermeture - Tolérance

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= Z_0 + \Delta Z_1 \\
 Z_2 &= Z_1 + \Delta Z_2 \\
 &\vdots \\
 Z_i &= Z_{i-1} + \Delta Z_i \\
 &\vdots \\
 Z_n &= Z_{n-1} + \Delta Z_n \\
 \hline
 Z_n &= Z_0 + \sum_{i=1}^n \Delta Z_i
 \end{aligned}$$

Du fait des imprécisions des altitudes imposées  $Z_0$  et  $Z_n$ , comme de celles des dénivelées, l'altitude du point n, ainsi calculée directement à partir de l'altitude de départ  $Z_0$  et de la somme algébrique des dénivelées, correspond à l'altitude approchée  $Z_{n_a}$  proche de l'altitude connue  $Z_n$  ; la formule opérationnelle s'écrit donc :  $Z_{n_a} = Z_0 + \sum_{i=1}^n \Delta Z_i$ .

D'où l'écart de fermeture algébrique  $e_z = Z_{n_1} - Z_n$ , dont la valeur absolue doit être strictement inférieure à la tolérance  $T_z$  prévue par les règlements pour autoriser la poursuite des calculs. Les tolérances de 1980 sont calculées en fonction de la longueur du cheminement ou, lorsque le nombre de dénivelées excède 16, c'est-à-dire lorsque les portées sont inférieures à 30 m environ, en fonction du nombre de dénivelées.

Nombre de dénivelées au kilomètre :  $n < 16$

LONGUEUR en kilomètres du cheminement	TOLÉRANCES		
	Nivellement de haute précision	Nivellement de précision	Nivellement ordinaire
	Millimètres	Millimètres	Millimètres
0,5	6	9	17
1	8	13	24
2	11	19	35
4	16	29	51
6	20	38	63
8	23	47	75
10	25	55	86
12	28	64	96
15	31	76	111

Nombre de dénivelées au kilomètre :  $n \geq 16$

NOMBRE TOTAL de dénivelées du cheminement	TOLÉRANCES		
	Nivellement de haute précision	Nivellement de précision	Nivellement ordinaire
	Millimètres	Millimètres	Millimètres
8	6	9	17
16	8	13	24
20	9	14	27
30	11	18	34
50	14	25	44
75	17	32	55
100	20	39	65
150	24	52	82
200	28	65	98
250	32	78	"
500	45	"	"
1 000	63	"	"

Les observations terminées l'opérateur, sur le terrain, calcule l'écart de fermeture et le soume à la tolérance ; en cas de dépassement les observations sont reprises.

À noter que deux erreurs parasites d'observation, ou deux fautes de calculs opposées, + 1 m e - 1 m par exemple, commises sur deux dénivelées de même signe, peuvent passer inaperçues la probabilité d'un tel événement étant toutefois négligeable.

Ajustement

Les altitudes connues de l'origine 0 et de l'extrémité n étant immuables, bien que probablement imparfaites, le calculateur est contraint d'annuler l'écart de fermeture en appliquant une correction  $e_z$  opposée de l'écart :  $Z_n = Z_{n_1} + e_z \Rightarrow e_z = Z_n - Z_{n_1} = -e_z$ .

En pratique, seule la correction est calculée du fait que sa valeur absolue, identique à celle de l'écart de fermeture, suffit pour vérifier que ce dernier est strictement inférieur à la tolérance.

L'altitude approchée  $Z_{n_u}$  provenant de celle de départ  $Z_0$  non modifiable et des dénivelées mesurées toutes avec la même précision, l'*ajustement* consiste à répartir la correction  $c_Z$  sur les différentes dénivelées proportionnellement aux portées, lesquelles conditionnent fortement la précision des hauteurs de mire lues ; en désignant par  $D_i$  la somme des portées arrière et avant de la station  $N_i$ , la correction  $c_{Z_i}$  à appliquer en grandeur et en signe à la dénivelée  $\Delta Z_i$  vaut :

$$c_{Z_i} = \frac{c_Z \cdot D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}$$

L'ajustement, mal nécessaire qui n'améliore pas les observations, est surtout une satisfaction de l'esprit, ce qui justifie l'arrondi des corrections partielles au millimètre, sous réserve que leur somme soit rigoureusement égale à la correction totale ; la correction totale peut aussi être répartie sur les différentes dénivelées proportionnellement à leur nombre, à leurs valeurs absolues, etc.

Contrôle des calculs en vérifiant que l'altitude du point d'arrivée, calculée de proche en proche depuis l'origine avec les dénivelées ajustées, est rigoureusement égale à l'altitude connue.

Les calculs sont faits dans le carnet des observations en cas de saisie manuelle des données ou traités par informatique en saisie automatique.

c) Algorithme

- $\ell_2 - L = L - \ell_1$  ;
  - $\Delta Z_i = L_{A_{K_{i-1}}} - L_{AV_i}$  ;
  - $\sum_{i=0}^{n-1} L_{AR_i} - \sum_{i=1}^n L_{AV_i} = \sum_{i=1}^n \Delta Z_i$  ;
  - $Z_{n_u} = Z_0 + \sum_{i=1}^n Z_i$  ;
  - $c_Z = Z_n - Z_{n_u}$  ;
  - $|c_Z| < Tz$  ;
- 
- $c_{Z_i} = \frac{c_Z \cdot D_i}{\sum_{j=1}^n D_j}$  ;
  - $Z_{i+1} = Z_i + (\Delta Z_{i+1} + c_{Z_{i+1}})$ .

d) Application

Points Nivelés	Lectures		Dénivelées $\Delta z$	Portées AR AV	Altitudes Z	Observations	
	L <sub>AR</sub>	L <sub>AV</sub>					
Repère	2,149	170			196,251m	Repère ABm <sub>3</sub> -65 type EST	
	1,979m						
	1,808	171					
	2,484	143	1,307	164	+0,836m	34,1m	
	1,341	143	1,143m	164	-1mm	32,8	197,086
	0,198	143	0,979	164	-0,267	28,6	
	0,648	86	1,761	153	-1	30,5	196,818
	0,562	87	1,608	152		17,3	
	0,475	87	1,456	152	-0,699	18,4	196,118
Borne	1,454	114	1,353	92	+0,544	22,8	Borne hectométrique n°7
	1,340	114	1,261	92	-1	22,4	
	1,226	114	1,169	92		27,5	
	2,130	138	0,908	112	+0,701	25,3	196,661
	1,992	137	0,796	112	-1	33,8	197,361
	1,855	137	0,684	112		31,5	
	1,710	169	1,418	127	-0,345	12,7	197,651
	1,541	169	1,291	126		7,8	
	1,372	169	1,165	126	+0,637	7,2	198,219
	1,465	67	1,061	157			
	1,398	67	0,904	158			
	1,331	67	0,746	158			
	1,427	39	1,807	64			
	1,388	39	1,743	63			
	1,349	39	1,680	63			
Pylône HT			0,856	36	+0,568		Massif sud
			0,820	36			
			0,784	36			
	$\Sigma = 11,541$	$\Sigma = 9,566$	$\Sigma = 1,975$	$\Sigma = 366,1$	$Z_{na} = 198,226$		
	$\Sigma_{AR} - \Sigma_{AV} = 1,975$				$C_z = -7mm$		
					$T_z = 17mm$		

### 6. Point nodal et cheminements nodaux

Les cheminements reliant les points connus en altitudes A, B, C (fig. 61) peuvent être calculés suivant plusieurs filiations :

- cheminement encadré A → N → B, sur lequel se greffe ensuite le cheminement C → N ;
- cheminement encadré A → N → C, sur lequel se greffe ensuite le cheminement B → N ;
- cheminement encadré B → N → C, sur lequel se greffe ensuite le cheminement A → N.

Compte tenu des ajustements, les résultats différeront légèrement selon la filiation choisie, alors que cette dernière est arbitraire et que les données sont strictes.

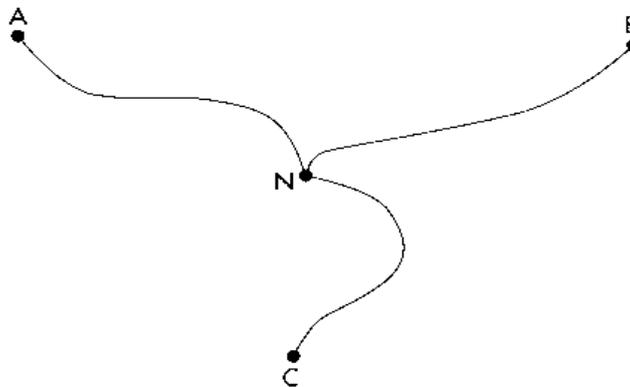


Fig . 61 : point nodal et cheminements nodaux altimétriques

De manière à obtenir un résultat unique et à homogénéiser l'ensemble, la filiation est remplacée par le *point nodal* engendré par les *cheminements nodaux*. Le point nodal altimétrique N est le point d'aboutissement, inconnu en altitude, de plusieurs cheminements issus d'origines connues différentes, A, B, C par exemple.

Les cheminements nodaux  $A \rightarrow N$ ,  $B \rightarrow N$ ,  $C \rightarrow N$  fournissent d'abord l'altitude du point nodal et ensuite sont ajustés comme des cheminements encadrés.

Les dénivelées élémentaires donnent les altitudes du point N :  $Z_{N_A} = Z_A + \sum_{i=1}^{n_A} \Delta Z_i$ ,  
 $Z_{N_B} = Z_B + \sum_{i=1}^{n_B} \Delta Z_i$ ,  $Z_{N_C} = Z_C + \sum_{i=1}^{n_C} \Delta Z_i$

La moyenne pondérée, éventuellement la moyenne arithmétique, de ces valeurs en principe voisines donne l'altitude du point nodal, les poids étant les inverses des carrés des tolérances.

$$Z_N = \frac{\frac{1}{T_A^2} \cdot Z_{N_A} + \frac{1}{T_B^2} \cdot Z_{N_B} + \frac{1}{T_C^2} \cdot Z_{N_C}}{\frac{1}{T_A^2} + \frac{1}{T_B^2} + \frac{1}{T_C^2}}$$

L'altitude du point nodal, une fois calculée, est introduite dans chacun des cheminements, les transformant ainsi en cheminements encadrés, ajustés comme tels.

Le point nodal, nœud de plusieurs cheminements nodaux, est la solution préférentielle à la filiation.

Exemple.—

$$\text{avec } Z_{N_A} = Z_1, Z_{N_B} = Z_2, Z_{N_C} = Z_3$$

### 7. Cheminement fermé

Le cheminement fermé, encore appelé boucle, part d'un point connu, passe sur un certain nombre de points intermédiaires qui seront conservés ou non, aboutit sur le point de départ ; c'est donc un seul et même point qui sert de référence au départ comme à l'arrivée.

En pratique, le cheminement fermé est fréquemment employé car :

- il autorise le nivellement quand on ne dispose que d'un seul repère pour le chantier ; toutefois, dans ce cas, *la vérification préalable du repère est impérative* ;
- on peut toujours attribuer une altitude arbitraire à un point fixe et durable, puis calculer tous les autres par rapport à lui ; ultérieurement, si le besoin s'en fait sentir, une simple constante permettra de passer des altitudes de ce système local aux altitudes du réseau de nivellement.

Les observations et les calculs s'effectuent de la même manière que pour un cheminement encadré, remarque faite qu'à nombre de dénivelées égal la fermeture doit en principe être plus faible car il n'y a aucune erreur entre l'altitude de départ et celle d'arrivée.

En nivellement direct ordinaire on ne fait *jamais de cheminement ouvert*, qui partirait d'un point 0 connu pour arriver sur un point différent n inconnu et donc n'offrirait aucun contrôle ; en effet, si le topographe a pu aller de 0 vers n, il peut revenir de n vers 0, et comme la forme planimétrique d'un cheminement de nivellement direct n'a pas d'importance il peut traiter les observations en cheminement fermé, voire en cheminement aller-retour qui toutefois est davantage une méthode de nivellement de précision

Exemple.—

Cheminement fermé en galerie minière sur des points situés en dessous et au-dessus du plan horizontal de visée ; par souci de simplification, seules les lectures au trait niveleur sont transcrites.

Points Nivelés	Lectures		Dénivelées $\Delta z$	Portées AR AV	Altitudes Z	Observations
	L <sub>AR</sub>	L <sub>AV</sub>				
N 148	+0,628m				-835,646m	Repère parement gauche MARIELLE
	+1,506	+1,714m	-1,086m		-836,730	
T 173	-1,835	-2,066	+3,572 +1mm		-833,157	Point théo
Broche	-1,917	-2,109	+0,274		-832,883	Travers banc
T 67	-1,732	-1,867	-0,050		-832,933	Trait corde galerie
Aiguillage	+1,587	+1,703	-3,435 +1		-836,367	Avec-marque rouge
N 148		+0,864	+0,723		-835,646	
	$\Sigma = -1,763$	$\Sigma = -1,761$	$\Sigma = -0,002$		$Z_{0n} = -835,646$ $C_z = +2\text{mm}$ $\bar{I}_z = 7\text{mm}$	
	$\Sigma_{AR} - \Sigma_{AV} = -0,002$					

### 8. Nivellement simultané d'un cheminement et des points de détail

À la station de niveau  $N_i$  d'un cheminement (fig. 62) l'opérateur enregistre tout d'abord la lecture arrière  $L_{ARi-1}$  sur le point arrière  $i-1$ , vise successivement les points de détails a, b, c par exemple pour lire les lectures avant  $L_{AVa}$ ,  $L_{AVb}$ ,  $L_{AVc}$ , puis termine la station sur le point avant  $i$  du cheminement avec la lecture correspondante  $L_{AVi}$  ; aucune lecture arrière ne sera faite ultérieurement sur les points de détail.

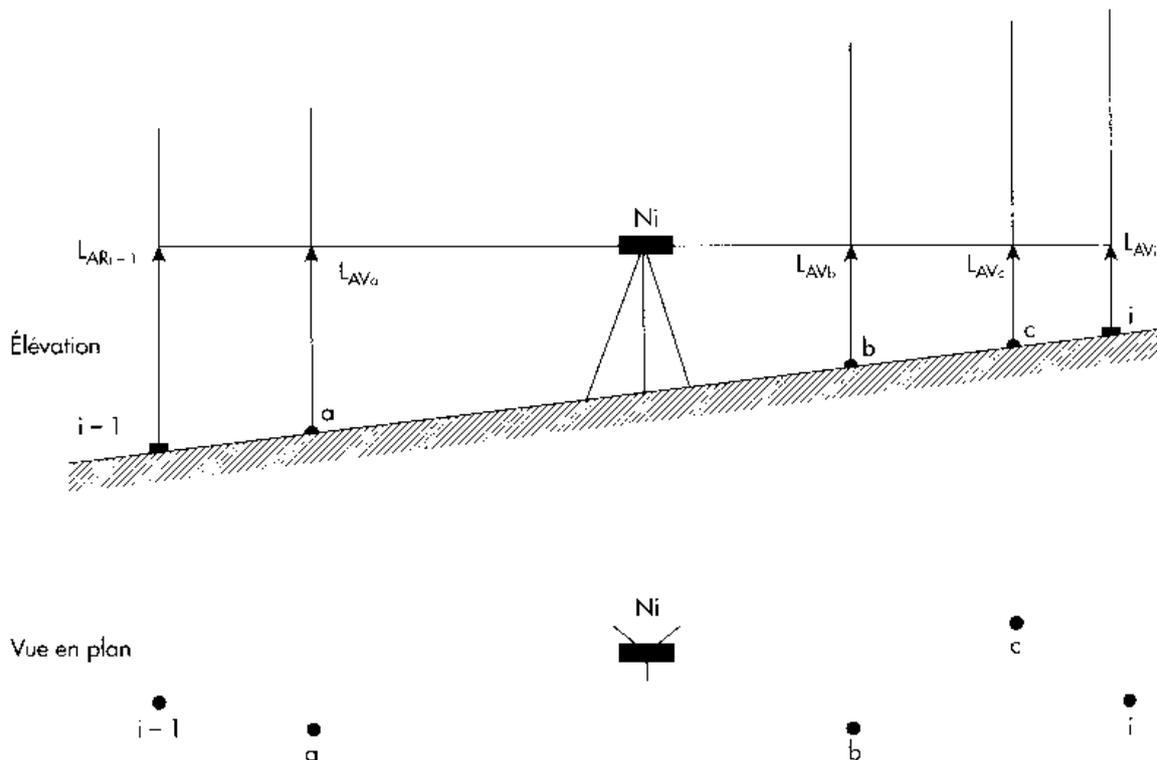


Fig. 62 : nivellement des détails

Calcul des altitudes en deux phases :

- d'abord, le calcul du cheminement, en négligeant complètement les points de détail, jusqu'à l'obtention des altitudes  $\dots Z_{i-1}, Z_p, \dots$  ajustées ;
- ensuite, station par station pour celles qui comportent des points de détail, calcul des altitudes de ces derniers. Pour ce faire, déterminer l'altitude du plan de visée horizontal de la station, en ajoutant à l'altitude du point arrière de cheminement la lecture arrière correspondante :  $Z_p = Z_{i-1} + L_{ARi-1}$  ; après quoi, retrancher à cette constante altimétrique les lectures faites sur les points de détail :  $Z_a = Z_p - L_{AVa}$ ,  $Z_b = Z_p - L_{AVb}$ ,  $Z_c = Z_p - L_{AVc}$ .

Exemple.—

Nivellement de trois points de détail depuis la deuxième station du cheminement fermé précédent

Points Nivelés	Lectures		Dénivelées $\Delta y$	Portées AR AV	Altitudes Z	Observations
	L <sub>AR</sub>	L <sub>AV</sub>				
N 148	+0,628m				-835,644m	Repère pavement zone MARIELLE
	+1,506	+1,714m	-1,086m		-836,730	
Haut de bande		+1,436			-836,660	-836,730 + +1,506 ----- Z <sub>P</sub> = -835,224
Blindé		-1,602			-833,622	
Raccord bande		+0,371			-835,595	
T 173	-1,835	-2,066	+3,572 +1mm		-833,157	Point théo
•			+0,274			
•						
•						
•						

Les résultats ne sont pas contrôlés et par conséquent sont susceptibles d'être faussés par des erreurs parasites d'observation, lectures, saisie, etc., des fautes de calcul, ainsi que des erreurs systématiques parmi lesquelles notamment l'erreur de collimation.

C'est pourquoi, avant d'effectuer les observations, l'opérateur doit bien choisir les points : points de cheminement contrôlés et précis pour lesquels la lecture avant est suivie d'une lecture arrière, points de détail sans contrôle ni précision déterminés uniquement par une lecture avant.

## 9. Précision

### a) Erreurs parasites

**Calage** : oubli de caler la nivelle, bulle amenée entre deux traits de la fiole non symétriques, compensateur bloqué.

**Lecture**, en particulier confusion du trait niveleur avec un trait stadimétrique.

**Transcription** dans le carnet.

### b) Erreurs systématiques

De même signe, elles s'accroissent proportionnellement au nombre de dénivelées et conduisent rapidement à sortir des tolérances.

**Erreur d'étalonnage de la mire** ; les mires de nivellement ordinaire ne sont pas soumises aux tolérances des mesures matérialisées de longueur, alors qu'elles sont souvent maltraitées. Elles peuvent être aisément vérifiées avec un triple décimètre de longueur exacte, en les mesurant 4 fois par exemple ; en effet, pour un écart-type de marquage des extrémités du triple décimètre égal à 0,1 mm, l'écart-type sur la moyenne des quatre mesures vaut  $\frac{0,1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{14}}{\sqrt{4}} \approx 0,3$  mm très inférieur au millimètre de la lecture estimée.

**Défaut de verticalité de la mire**, éliminé avec une nivelle sphérique réglée et la mise en œuvre de un ou deux jalons servant de contrefiches. Le réglage de la nivelle consiste, après avoir calé la mire verticale dans deux plans perpendiculaires à l'aide d'un niveau de maçon ou d'un long fil à plomb, à rendre concentriques la bulle circulaire et le cercle repère de la fiole en jouant sur les vis de basculement de la nivelle ; un contrôle efficace et peu coûteux du dérèglement d'une nivelle est assuré par l'installation de deux nivelles sphériques sur une même mire.

**Collimation**, c'est-à-dire inclinaison de l'axe optique par rapport à l'horizontale quand la bulle est calée ou le compensateur en équilibre. L'erreur de collimation est éliminée par l'égalité des portées (fig. 63) aussi bien que par les visées réciproques (fig. 64).

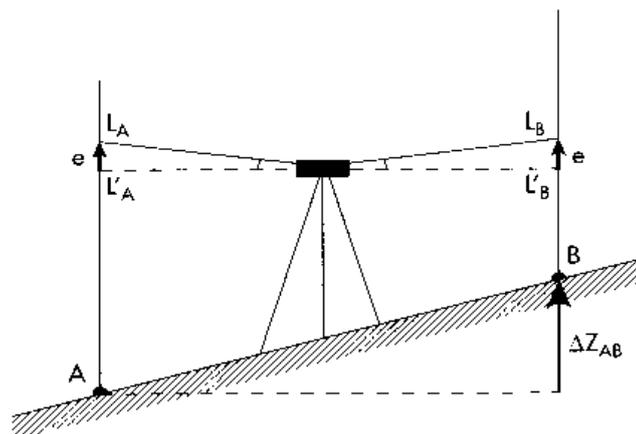


Fig. 63 : élimination de la collimation par égalité des portées

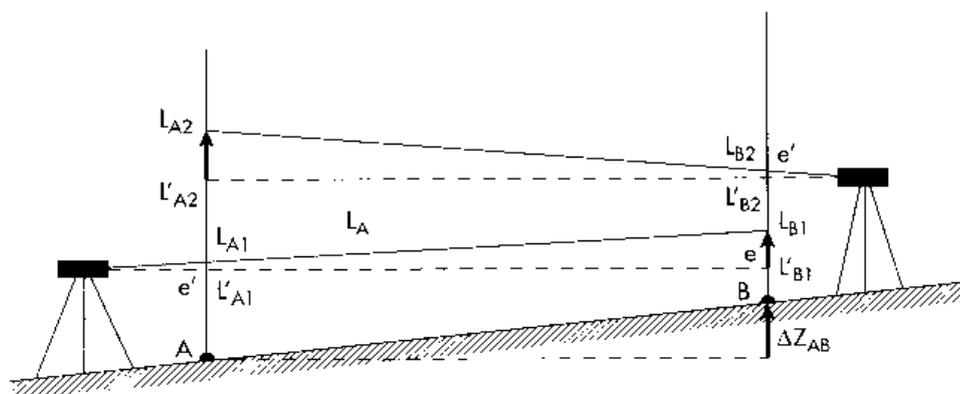


Fig. 64 : élimination de la collimation par visées réciproques

Si  $I_A$  et  $I_B$  sont les lectures entachées par l'erreur de collimation,  $L'_A$  et  $L'_B$  les lectures fictives sans collimation correspondant à une ligne de visée horizontale, il vient :

$$L_A - L_B = (L'_A + e) - (L'_B + e) = L'_A - L'_B = \Delta Z_{AB}$$

Sous réserve que les portées soient sensiblement les mêmes aux deux stations :

$$\frac{(L_{A_1} - L_{B_1}) + (L_{A_2} - L_{B_2})}{2} = \frac{[(L'_{A_1} + e) - (L'_{B_1} + e)] + [(L'_{A_2} + e) - (L'_{B_2} + e)]}{2} = \Delta Z_{AB}$$

#### c) Erreur accidentelles

**Parallaxe** ; l'image intermédiaire donnée par l'ensemble objectif-mise au point de la lunette n'est pas exactement dans le plan du réticule. L'opérateur voit le trait niveleur « monter ou descendre » le long des graduations de la mire quand il bouge la tête de haut en bas derrière l'oculaire ; la parallaxe doit être éliminée en soignant la mise au point ;

**Calage** de la bulle ou du compensateur ;

**Estime** du millimètre ;

**Flamboisement**, mouvements verticaux de l'air chauffé par le soleil au-dessus de certains revêtements comme le bitume par exemple ; éviter les visées proches du sol.

#### d) Ecart - type

L'écart-type au kilomètre de cheminement de nivellement ordinaire varie de 7 à 10 mm selon le matériel, les conditions de mise en œuvre, notamment la stabilité des points de mire, la météorologie, en particulier la force du vent, etc.

#### e) Vérification et réglage de la collimation

Si le topographe n'a pas la possibilité d'utiliser un collimateur dans un atelier spécialisé, il aligne, sur un terrain plat, quatre points tels que  $S_1A = AB = BS_2 = D = 20$  m (fig 65).

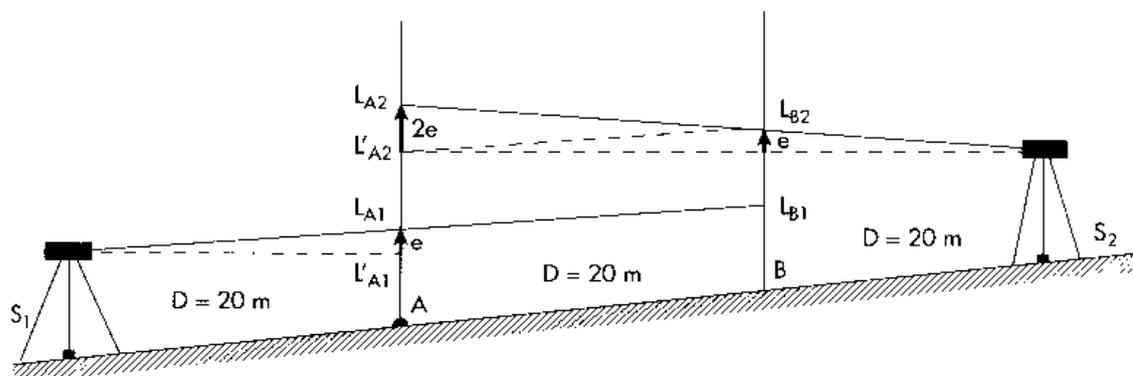


Fig. 65 : vérification de la collimation

Stationner  $S_1$ , caler, lire  $L_{A1}$  et  $L_{B1}$ , puis stationner  $S_2$ , lire  $L_{A2}$  et  $L_{B2}$ . Sans erreur de collimation les lignes de visée horizontales donneraient les lectures  $L'_{A1}$  et  $L'_{A2}$  ; la collimation générant une dénivellée  $e$  à la distance  $D$ , les segments :  $L_{A1}$ ,  $L_{B1}$  et  $L'_{A2}$ ,  $L_{B2}$  sont parallèles.

$$L'_{A2} - L_{A1} = L_{B2} - L_{B1} \Rightarrow L'_{A2} = (L_{B2} - L_{B1}) + L_{A1}$$

L'erreur de collimation  $e$  à la distance  $D$  vaut donc :

$$e = \frac{L_{A2} - L'_{A2}}{2} \Rightarrow e = \frac{(L_{A2} - L_{A1}) - (L_{B2} - L_{B1})}{2}$$

Exemple.—

$$L_{A1} = 1,451 \text{ m}, L_{B1} = 1,326 \text{ m}, L_{A2} = 1,669 \text{ m}, L_{B2} = 1,540 \text{ m}$$

$$e = + 2 \text{ mm à } 20 \text{ m}$$

Le réglage de la ligne de visée, effectué à la deuxième station  $S_2$ , consiste :

- sur un niveau automatique, à agir sur la vis de réglage du réticule pour lire  $L'_{A2}$  ;
- sur un niveau à nivelle, à basculer le bloc lunette-nivelle pour lire  $L'_{A2}$  puis à régler la nivelle.

Avec un niveau numérique, stationner A, viser  $S_1$  puis  $S_2$ , après quoi stationner B, viser  $S_2$  puis  $S_1$  et introduire dans la mémoire les valeurs mesurées en suivant la procédure propre à l'instrument. Le programme calcule la correction de collimation de la mesure électronique, l'opérateur la mémorise, les mesures ultérieures sont corrigées automatiquement ; attention, la collimation de la mesure optique doit être corrigée, *en plus*, par déplacement du réticule.

## VII. 10. 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.62', les points 1, 2 et 3 sont rayonnés depuis la station  $S1$  dont le

point arrière est la référence (R) et le point avant 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**.

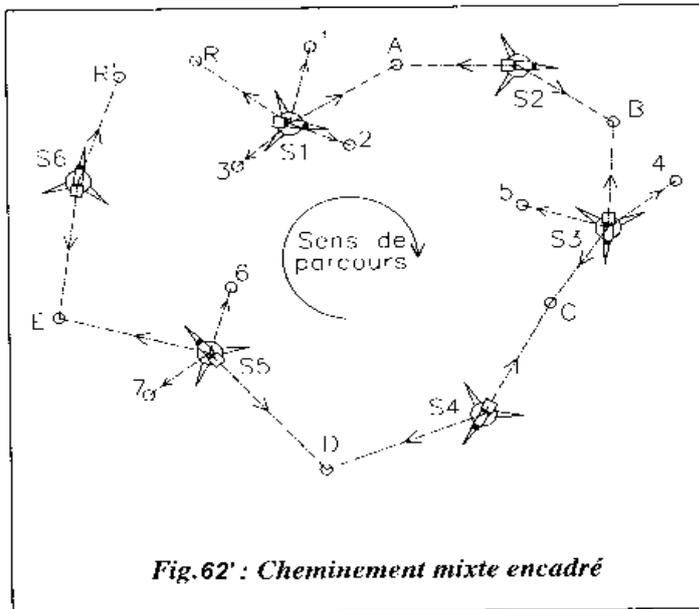


Fig.62' : Cheminement mixte encadré

Le cheminement de la figure 62' 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 :  $H(\text{du point rayonné}) = H(\text{du point du cheminement}) + \Delta H$ . 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 :  $H_{pv_{Sf}} = 124,968 + 2,591 = 127,559$  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 :  $H_2 = H_{pv_{Sf}} - 1,922 = 125,637$  m.

**Exemple :** le tableau ci-après détaille le calcul du parcours schématisé à la figure 62'. Le tableau traite automatiquement les points rayonnés : il suffit de ne pas entrer de lecture arrière.

Carnet de nivellement ordinaire

Date : 01/05/96

Altitude de départ : 124,968 m

Matériel : NA 0 (a)

Altitude d'arrivée : 125,703 m

Opérateur : Dupond

n	Point visé	Lectures arrière			Lectures avant			Portée Dh m	Dénivelées Dn (mm)		Comp. * mm	Altitude 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	1063		-3	126,028
6	B	1 749	1 678	1 607	1 072	1 046	1 022	9,4	1767		-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	0039		-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	43,1		-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 :  $f_H = 14$  mm ; Tolérance :  $T_H = 15$  mm.

Conclusion : tolérances vérifiées pour 29 dénivelées au kilomètre.

### 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.

## VII.11. Nivellement des surfaces

### Quadrillage

Ce procédé est employé surtout dans les terrains plats où il est très difficile de saisir les formes du relief :

On dispose les points régulièrement en carroyage rectangulaire de 10, 15, 20... mètres de côté (fig.70' ).

On peut les implanter avec la chaîne et l'équerre; il est alors inutile de lever les points en planimétrie puisqu'ils sont parfaitement déterminés en position. Il suffit de les niveler de préférence avec un niveau. Les limites de la parcelle sont mises en place par prolongements des alignements du quadrillage. On relève également les points de détail situés à l'intérieur de la parcelle. On emploie cette méthode pour certaines études de terrassement et pour les nivellements de vignes et de

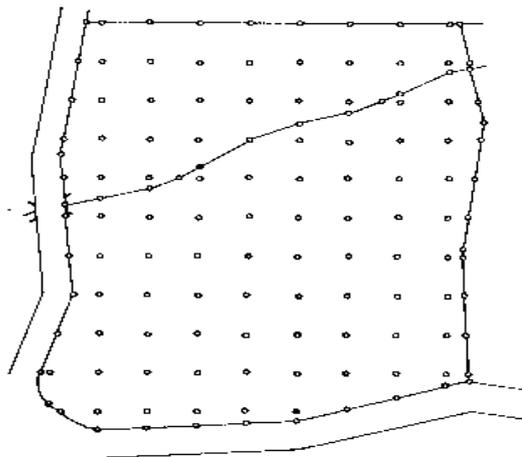


FIG. 70'

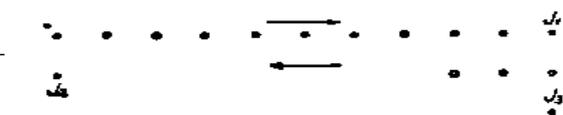


FIG. 70''

rizières dont les terrains doivent être submergés par une épaisseur d'eau uniforme.

Les points peuvent dans un levé tachéométrique être disposés approximativement, les porte-mires évaluant les distances au pas en opérant par lignes parallèles. L'espacement des lignes peut être matérialisé à leur extrémité par des jalons. Après la première ligne, le porte-mire déplace le jalon

de  $J_1$  en  $J_3$  qu'il utilisera pour la 3<sup>e</sup> ligne, puis revient de moitié sur ses pas pour faire la 2<sup>e</sup> ligne alignée sur  $J_2$  et ainsi de suite (fig.70'').

Les points sont alors levés par rayonnement en utilisant soit un niveau cercle, soit un tachéomètre.

## VII.12. Nivellement géométrique de précision

### a) Cheminement aller retour

En général, il sert à mesurer la dénivelée entre le point de départ 0 du cheminement aller et le point d'arrivée n, sans souci des points intermédiaires.

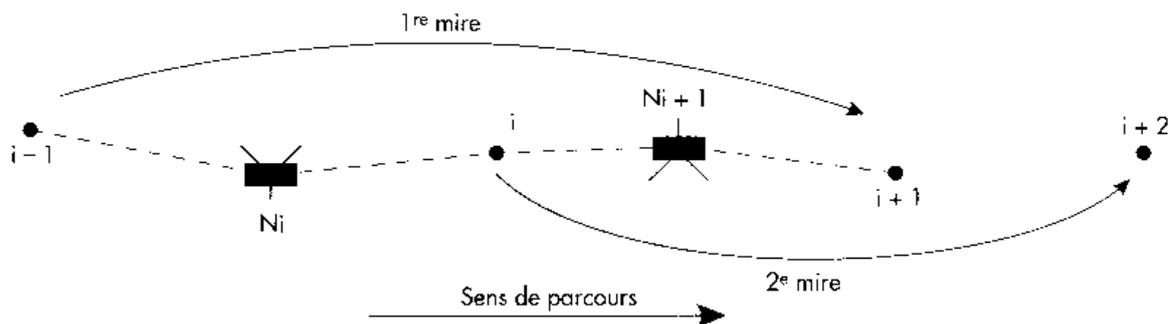


Figure 66 : aller et retour

À la station  $N_i$  du cheminement aller (fig. 66) l'opérateur lit la mire arrière placée sur  $i - 1$  : pointé du coin niveleur et lectures des traits stadimétriques sur l'échelle 1 dont le zéro est au talon de la mire invar à double échelle, suivis du pointé et de la lecture de l'échelle 2 sans lire les traits stadimétriques : lecture arrière et portée avec un niveau électronique. Après quoi, il vise une deuxième mire placée sur le point suivant  $i$ , effectue la lecture avant et les lectures complémentaires de la même façon.

À la station suivante  $N_i + 1$ , la mire en  $i$  pivote sans quitter le point pour tenir lieu de mire arrière, celle située en  $i - 1$  venant en  $i + 1$  comme mire avant ; ainsi, chaque mire tient lieu à tour de rôle de mire arrière et de mire avant.

L'instruction du 28 janvier 1980 prescrit de ne pas excéder 35 m pour les portées et d'assurer leur égalité à 1 m près ; opérer au pas, avec un triple décimètre ou une ficelle ou encore en ajustant la portée avant à partir de la portée stadimétrique arrière ; à noter que les niveaux électroniques avec mire code-barre permettent d'assurer l'égalité des portées avec une très grande précision, pratiquement sans perte de temps.

La dénivelée de 0 à n est calculée par la formule : 
$$\Delta Z = \sum_{i=0}^{n-1} L_{AR_i} - \sum_{i=1}^n L_{AV_i}$$

Le cheminement retour de n vers 0 est observé dans les mêmes conditions, en passant éventuellement sur les mêmes points intermédiaires quand ils sont restés en place. « spit » par exemple.

Si T est la tolérance d'un cheminement, la tolérance de l'écart entre les valeurs absolues des dénivelées aller et retour est égale à  $T\sqrt{2}$ , celle de la moyenne des dénivelées à  $\frac{T}{\sqrt{2}}$ .

### b) Cheminement double à doubles stations

Un seul parcours de 0 vers n, avec deux mires, en respectant l'égalité des portées, fournit deux dénivelées indépendantes.

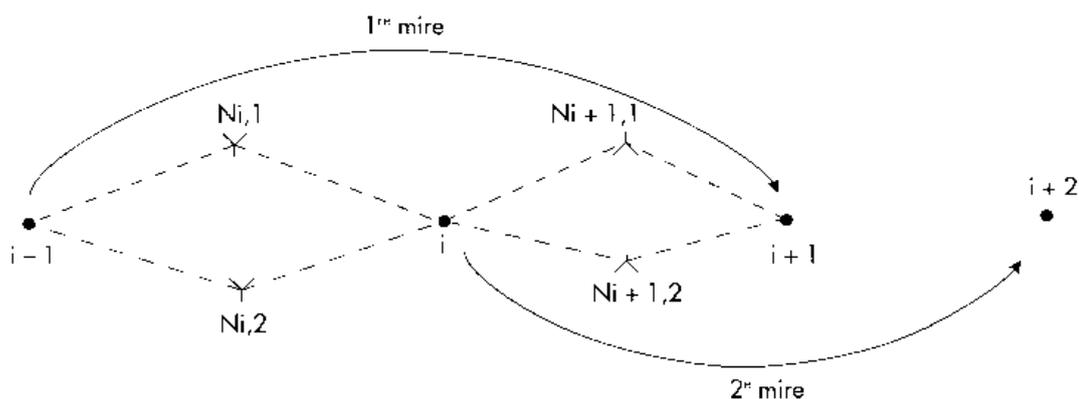


Fig. 67 : doubles stations

À la station  $N_{i,1}$  l'opérateur lit la lecture arrière sur  $i-1$  puis la lecture avant sur la mire  $i$ , pointé du coin niveleur et lecture des traits stadimétriques sur l'échelle 1 ou lecture et portée avec un niveau numérique (fig. 67). Il déplace alors légèrement le niveau, met en station en  $N_{i,2}$  et effectue des nouvelles lectures arrière et avant sur les mires immobiles en  $i-1$  et  $i$ , échelle 2 sans les traits stadimétriques ou lecture automatique sans portée. Contrôle immédiat des observations en vérifiant que l'égalité :  $(L_{AR_{i-1}} - L_{AV_i})_1 = (L_{AR_{i-1}} - L_{AV_i})_2$  est respectée à 0.3 mm près au maximum.

La dénivelée de 0 à n est ainsi mesurée deux fois, par deux cheminement indépendants 1 et 2 ayant les points de mire en commun ; écart et tolérances calculés comme pour la méthode du cheminement aller et retour.

Nivellement de précision avec un niveau électronique et deux mires code barre.

Points de mire	OBSERVATIONS				Contrôle de marche 1-2	Portées	DENIVELÉES
	Cheminement 1		Cheminement 2				
	L <sub>AR</sub>	L <sub>AV</sub>	L <sub>AR</sub>	L <sub>AV</sub>			
148	1,48644 <sub>m</sub>		1,51298 <sub>m</sub>		AR	AR 31,62 <sub>m</sub>	1 = 0,07524 m
	1,53017	1,41120 <sub>m</sub>	1,49634	1,43785 <sub>m</sub>	AV	AV 31,67	2 = 0,07513
					AR	AR 33,68	1 = 0,03042
	1,46913	1,49975	1,47017	1,46585	AV	AV 33,60	2 = 0,03049
					AR	AR 29,65	1 = -0,01113
	1,51349	1,48026	1,53310	1,48145	AV	AV 29,67	2 = -0,01128
					AR	AR 32,88	1 = 0,16416
	1,50033	1,34933	1,45088	1,36902	AV	AV 33,00	2 = 0,16408
					AR	AR 34,45	1 = 0,08315
	1,52345	1,41718	1,50111	1,36754	AV	AV 34,35	2 = 0,08334
					AR	AR 25,11	1 = 0,12345
	1,50298	1,40000	1,53895	1,37767	AV	AV 25,06	2 = 0,12344
					AR	AR 19,38	1 = -0,03967
	1,49999	1,54265	1,47081	1,57872	AV	AV 19,42	2 = -0,03977
					AR	AR 15,66	1 = 0,02200
149		1,47799		1,44859	AV	AV 15,78	2 = 0,02222
					AR	AR	1 =
					AV	AV	2 =
					AR	AR	1 =
					AV	AV	2 =
					AR	AR	1 =
					AV	AV	2 =
					AR	AR	1 =
					AV	AV	2 =
					AR	AR	1 =
					AV	AV	2 =

$\Delta_{Z_1} = 0,44762\text{ m}$	$\Delta_{Z_2} = 0,44765\text{ m}$	$T = 6\text{ mm}$
$ \Delta_{Z_1}  -  \Delta_{Z_2}  = -0,003\text{ mm}$		$T\sqrt{2} = 8\text{ mm}$
$\Delta_{Z_1} = 0,44764\text{ m}$	$T\sqrt{2} = 6\text{ mm}$	

### c) Cheminement double à doubles points de mire

Dérivé de la méthode Cholesky, il consiste à faire un seul parcours de 0 vers n, avec 2 mires, 4 crapauds, en observant deux cheminements voisins et indépendants, l'égalité des portées étant bien entendu respectée.

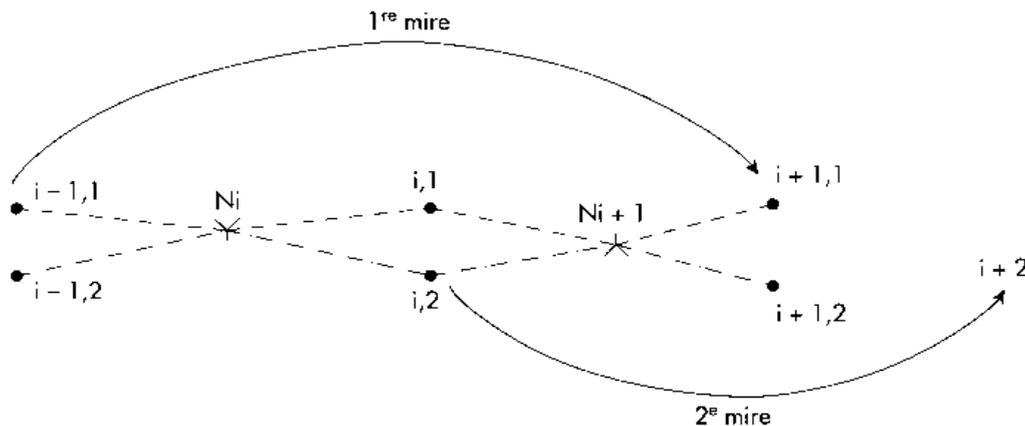


Fig . 68 : doubles points de mire

Les doubles points de mire du cheminement 1 ou cheminement de gauche (fig. 68) et du cheminement 2 ou cheminement de droite sont placés l'un à côté de l'autre, matérialisés par des crapauds 1 et 2 ou de couleurs différentes, ou encore par des piquets ou pointerolles en sol meuble.

À la station  $N_i$  l'opérateur lit successivement :

1.  $L_{ARI-1,1}$  sur la mire 1, échelle 1, coin niveleur et traits stadimétriques ou lecture arrière et portée avec un niveau numérique ;
2.  $L_{AVi,1}$  mire 2, mêmes lectures que précédemment ;
3.  $L_{AVi,2}$  mire 2, échelle 2, coin niveleur sans traits stadimétriques ou lecture automatique sans portée ;
4.  $L_{ARI-1,2}$  mire 1, mêmes lectures que sur  $i,2$ .

Cet ordre chronologique, parfois qualifié improprement de « tour d'horizon », a l'avantage de réduire fortement l'erreur due à une variation rapide de la réfraction.

On peut également, à chaque station, débiter les observations sur la même mire, de 0 à n, en inversant une fois sur deux le sens de rotation du niveau ; ce procédé améliore légèrement les résultats mais est moins « organisationnel ».

Le *contrôle de marche*, effectué comme son nom l'indique au fur et à mesure des observations, consiste à calculer deux fois la différence des lectures faites sur chacun des points doubles et à vérifier que l'égalité :  $L_{AVi,1} - L_{AVi,2} = L_{ARI,1} - L_{ARI,2}$  est respectée à 0,3 mm près au plus.

Ces différences représentent la dénivelée  $i,1$  vers  $i,2$  pour les lectures sur la mire code-barre, la somme de la dénivelée et de la constante de décalage des deux échelles pour la mire à double échelle. Le contrôle de marche permet de s'assurer de la stabilité des points de mire d'une station à la suivante.

Écart et tolérances calculés comme dans les méthodes précédentes.

Exemple.—

Nivellement de précision avec lectures optiques sur mire à double échelle.

Points de mire	OBSERVATIONS						DENIVELEES
	Cheminement 1		Cheminement 2		Contrôle de marche 1-2	Portées	
	LAR	LAV	LAR	LAV			
Repère gare	108,9 97,728cm 86,5		399,261cm		AR -301,533cm	AR 22,4m	1 = -40,177cm
	134,2 119,995 105,9	147,8 137,905cm 128,1	431,687	469,617cm	AV -311,712 AR -311,692	AV 19,7 AR 28,3	2 = -50,356 1 = -50,642
	188,3 173,266 163,2	185,0 170,637 156,2	471,404	468,806	AV -298,169 AR -298,138	AV 28,8 AR 20,1	2 = -37,119 1 = -4,883
	157,1 141,173 125,4	188,3 178,149 167,8	454,611	491,575	AV -313,426 AR -313,438	AV 20,5 AR 31,7	2 = -20,171 1 = 10,768
don ponceau		146,0 130,405 114,9		431,956	AV -301,551 AR	AV 31,1 AR	2 = 22,655 1 =
					AV	AV	2 =
$\Delta_{Z_1} = -84,934 \text{ cm}$		$\Delta_{Z_2} = -84,991 \text{ cm}$		$T = 5 \text{ mm}$			
$ \Delta_{Z_1}  -  \Delta_{Z_2}  = -0,057 \text{ cm}$				$T\sqrt{2} = 7 \text{ mm}$			
$\Delta_Z = -84,963 \text{ cm}$				$T/\sqrt{2} = 4 \text{ mm}$			

d) Précision

Les erreurs parasites sont décelées et corrigées par les méthodes mises en œuvre, les erreurs accidentelles étant de même nature que celles étudiées en nivellement direct ordinaire parallaxe, calage, lecture, flamboiement.

**Étalonnage de la mire**, qui consiste d'une part à vérifier au comparateur le ruban invar, l'expérience montrant d'ailleurs qu'il reste très stable dans le temps, d'autre part et surtout à régler les talons lorsqu'ils sont rapportés ; l'erreur au talon résiduelle est éliminée pour un nombre pair de stations.

**Défaut de verticalité de la mire**, qui ne saurait excéder 0,003 rad, d'où la nécessité d'un réglage soigné de la nivelle sphérique et la mise en œuvre de contrefiches.

**Collimation** ; vérifications fréquentes et réglages.

Par rapport au nivellement ordinaire, trois autres erreurs systématiques doivent être prises en considération :

## Niveau apparent

La sphéricité de la Terre et la réfraction font que la ligne de visée est incurvée vers le sol, en restant toutefois au-dessus de la surface de niveau de l'axe optique (fig. 69).

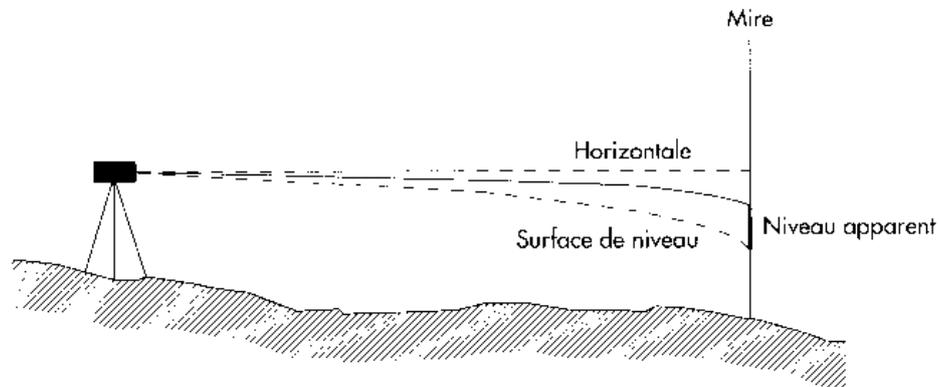


Fig. 69 : niveau apparent

L'écart entre la ligne de visée et la surface de niveau représente l'erreur de niveau apparent, dont la valeur dépend de la portée et qui par conséquent est éliminée par l'égalité des portées.

## Sens de mise en station

L'axe de basculement d'un niveau-bloc, ou le point de compensation d'un niveau automatique, n'étant pas sur le pivot, le défaut de verticalité de ce dernier se traduit par un abaissement de l'axe optique pour une des lectures et une élévation équivalente pour l'autre : d'où une erreur, minime certes mais systématique, égale à la différence de hauteur des deux positions de l'axe optique : afin d'éliminer cette erreur, diriger la lunette vers la mire arrière aux stations impaires par exemple  $N_1, N_3, \dots$ , etc., avant de caler la nivelle sphérique, vers la mire avant aux stations paires.

## Sens de marche

Erreur constatée, tout se passant comme si, à chaque station, le niveau avait tendance à monter ou les supports de mire à descendre. L'inversion des branches du trépied, par rapport au sens de marche, d'une station à la suivante (fig. 70) semble améliorer quelque peu les résultats.

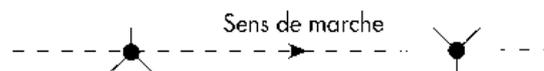


Fig. 70 : inversion des branches du trépied

Aujourd'hui encore la qualité du nivellement géométrique de précision est conditionnée par les erreurs systématiques, dont certaines restent mal expliquées.

L'écart-type du nivellement de précision ne peut guère descendre au-dessous de 0,4 mm/km de cheminement double.

### e) Nivellement géométrique motorisé

Le développement des niveaux automatiques qui réduisent les temps de station a conduit très vite à rechercher également la réduction des temps de parcours, en particulier pour les long développements comme les autoroutes par exemple.

Les premiers essais ont débuté en 1962 à l'université technique de Dresde (Allemagne), pour déboucher rapidement sur l'adaptation à trois véhicules, un porte-niveau et deux porte-mires d'un trépied allongé lourd et de mires en invar articulées, le nivellement motorisé étant dans ce cas la transposition de la méthodologie du nivellement pedestre (fig.71).



Fig. 71: nivellement géométrique motorisé

Plus rapide et moins cher que le nivellement à pied pour un écart-type au kilomètre variable de 0,45 mm à 3 mm, le nivellement motorisé et automatisé, c'est-à-dire fournissant les résultats en temps réel, est développé à l'IGN sous le sigle Nigemo.

## VIII. PROFIL EN LONG

C'est une *coupe verticale du TN et du projet* faite suivant l'axe du tracé, avec lequel il est établi conjointement (fig. 72) ; il autorise le dessin ultérieur des profils en travers et la cubature de terrassements.

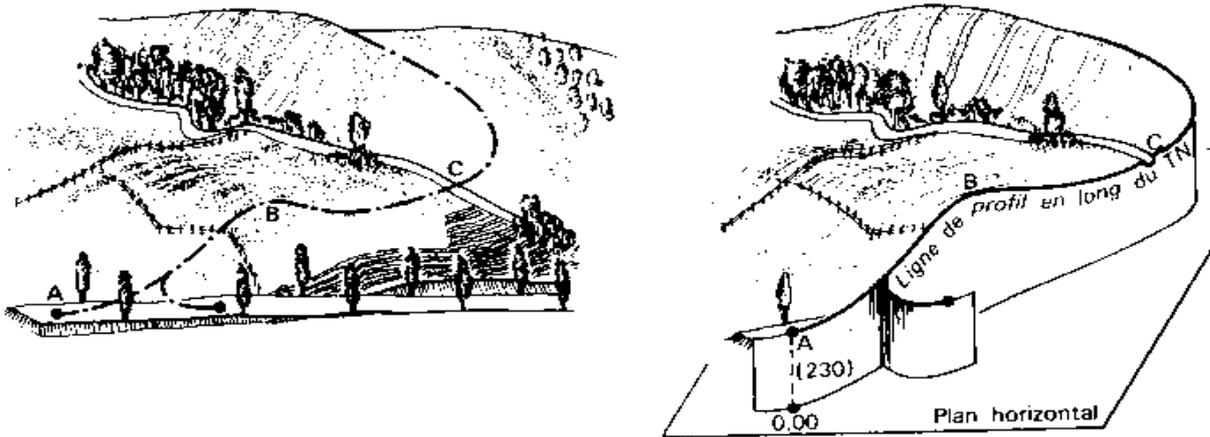


Fig. 72 : profil en long

### 1. Lever d'un profil en long du terrain naturel

Trois méthodes de lever sont possibles. Par nivellement direct du profil si les pentes sont inférieures à 10 %, par nivellement indirect si les pentes sont supérieures, ou par lever tachéométrique à partir de la polygonale de base.

#### a) Cheminement de nivellement direct

Les points du cheminement sont les points caractéristiques du profil préalablement matérialisés (changements de pente, points du tracé en plan, etc...).

A chaque point du profil en long doit correspondre un profil en travers.

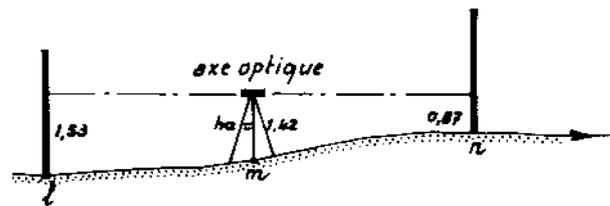
Si la distance entre deux points successifs de changement de pente est supérieure au minimum exigé entre deux profils en travers (25 à 50 m suivant le cas) des points intermédiaires sont placés sur le profil en long.

Les longueurs entre points du profil peuvent être mesurées au ruban suivant la pente et réduites à l'horizontale par calcul en tenant compte des différences de niveau.

Si l'itinéraire du cheminement coïncide avec le profil, il est possible d'obtenir les longueurs des côtés par lectures stadimétriques, et en stationnant un point sur deux.

La hauteur de l'instrument est mesurée afin d'obtenir l'altitude du point stationné.

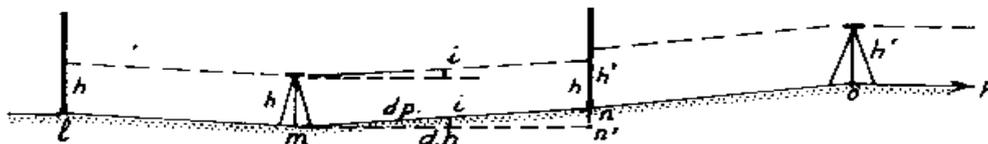
Exemple :



altitude du point arrière  $l = 84,37$   
 altitude axe optique:  $84,37 + 1,53 = 85,90$   
 altitude du point  $m$ :  $85,90 - 1,42 = 84,48$

### b) Cheminement de nivellement indirect au théodolite

Le cheminement suit nécessairement l'axe de la voie et l'opérateur stationne un point sur deux du profil. Pour éviter des calculs, les angles de pente du terrain sont mesurés directement par observation des mires à hauteur d'instrument.



La ligne de visée est ainsi parallèle au côté du profil. Les distances sont mesurées au ruban suivant la pente et réduites à l'horizontale par calcul. Il est possible également d'obtenir les distances par observations stadimétriques. Cependant il convient de noter que les mesures stadimétriques (indécision de l'ordre du décimètre), sont moins précises que les mesures au ruban.

### c) Lever tachéométrique du profil en long

#### d) Piquetage du profil en long.

Il est indispensable de relever tous les points de changement de pente le long du projet. On place donc un piquet à chaque inflexion importante de la surface du sol. Lorsque le terrain est peu accidenté, on place quand même un piquet au moins tous les 50 mètres dans les alignements droits et tous les 30 mètres dans les courbes.

#### e) Levé de profil en long.

Lors de l'implantation, les distances horizontales entre piquets sont mesurées à la chaîne ou à la stadia selon la précision désirée. Les altitudes des têtes de piquets sont déterminées par un cheminement généralement mesuré en nivellement direct, quelquefois en nivellement trigonométrique. On mesure la hauteur de chaque tête de piquet au-dessus du sol. On en déduit ainsi facilement l'altitude du terrain naturel en chaque point, arrondie au centimètre le plus proche.

Quelquefois, le profil en long est établi à partir du plan coté, les distances sont alors kutchées sur le plan et les altitudes obtenues par interpolation entre les points cotés ou les courbes de niveau les plus proches. Ce procédé, bien que moins précis, est parfois suffisant pour l'étude du projet. L'implantation est faite ultérieurement en respectant les indications du plan.

Dans un premier temps, dessiner d'abord le profil en long du TN ; pour l'avant-projet les distances sont mesurées sur le plan et les altitudes calculées à l'aide des courbes de niveau.

Dans un deuxième temps, sur le profil en long du TN, à partir des mêmes éléments de référence en planimétrie et altimétrie, dessiner et calculer le profil en long du projet conditionné par le TN et par les obligations techniques : déclivités maximales, gabarits, etc.

En pratique, on reporte les dénivelées, ou hauteurs, à une échelle plus grande que celle utilisée pour les longueurs de manière à faire apparaître au mieux le relief en l'exagérant.

En définitive, un profil en long est un graphique sur lequel les points de TN et de projet de l'axe du tracé sont reportés :

- en abscisses par leurs distances horizontales ;

- en ordonnées par leurs dénivelées depuis une horizontale de référence.

Les points successifs du TN d'une part, ceux du projet d'autre part, sont reliés par des droites puisque la pente entre deux points consécutifs est supposée constante, tous les points d'inflexion devant être figurés.

Ces deux lignes constituent respectivement :

- la ligne de profil en long du TN, dessinée en trait noir moyen ;

- la ligne de profil en long du projet, dessinée en trait rouge épais (fig. 73).

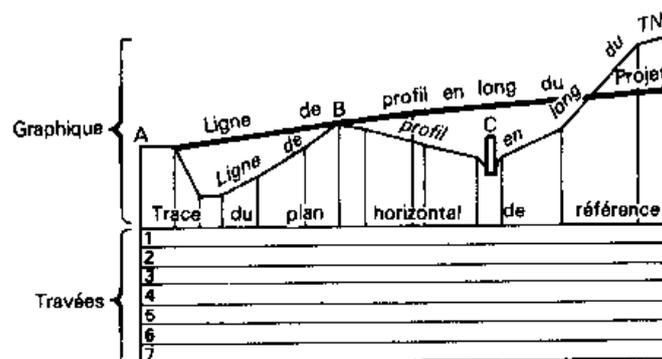


Fig. 73: graphique et travées du profil en long

D'ailleurs, d'une manière générale en travaux publics, pour tous les documents dessinés sur papier dessin :

- ce qui se rapporte à la situation existante (TN) se dessine en noir, cotes et écritures penchées ;
- ce qui se rapporte au projet se dessine en rouge, cotes et écritures droites.

Pour les dessins sur papier calque destinés au tirage héliographique, tout en noir, respecter les caractères penchés et droits.

Le graphique est complété par des renseignements numériques, portés pour l'essentiel en dessous de l'horizontale de référence dans des travées, dont le nombre et le contenu varient suivant les besoins.

Le profil en long s'oriente de la gauche vers la droite, son origine et son extrémité étant les mêmes que celles du plan.

En parcourant le profil en long de la gauche vers la droite, autrement dit de l'origine vers l'extrémité, les déclivités se classent en trois catégories : rampes, pentes, paliers.

Une *rampe* est une déclivité que l'on parcourt en montant.

Une *pente* est une déclivité que l'on parcourt en descendant, bien que le mot pente s'utilise d'une manière très générale pour toutes les déclivités ; pentes et rampes n'excèdent pas 7 %, sauf exception.

Un *palier* correspond à un parcours horizontal.

Par suite on appelle :

- *point haut*, le sommet situé à la fin d'une rampe et au début de la pente suivante ;
- *point bas*, le creux situé à la fin d'une pente et au début de la rampe suivante ; c'est le point où se rassemblent les eaux de ruissellement qu'il faut évacuer.

Au sommet d'une côte le conducteur doit apercevoir une voiture venant à sa rencontre et pouvoir s'arrêter devant un obstacle de hauteur négligeable (fig. 74) ; on admet que l'œil du conducteur est à 1 m au-dessus de la chaussée.

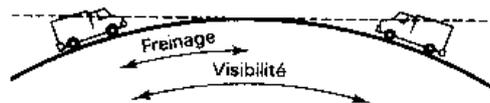


Fig. 74 : distances de freinage et de visibilité du profil en long

En pratique, pour accroître le confort du parcours, les montées et les descentes sont reliées par des courbes de raccordement circulaires ou paraboliques.

### Échelles

Un profil en long a toujours deux échelles :

- l'échelle des distances, c'est-à-dire des abscisses, qui est systématiquement celle du plan ;
- l'échelle des hauteurs, c'est-à-dire des ordonnées, qui est cinq ou dix fois plus grande que la précédente.

La déformation est fonction de l'échelle des longueurs mais également de la hauteur totale du profil, que l'on s'efforce de faire tenir en entier sur une bande papier de 297 mm de haut, pliée ensuite au format A4 : 210 × 297 mm.

r Indiquer toujours les deux échelles d'un profil en long.

### Horizontale de référence

Affecter à l'horizontale supérieure des travées une altitude ronde, multiple de cinq ou dix mètres, choisie de telle manière que le graphique TN et projet tienne entièrement dans l hauteur comprise entre l'horizontale de référence et le cadre supérieur de la feuille.

Si, entre les points les plus bas et les plus hauts du TN ou du projet, la dénivellée est trop importante, changer l'altitude de l'horizontale de référence en décalant le graphique en hauteur (fig. 75).

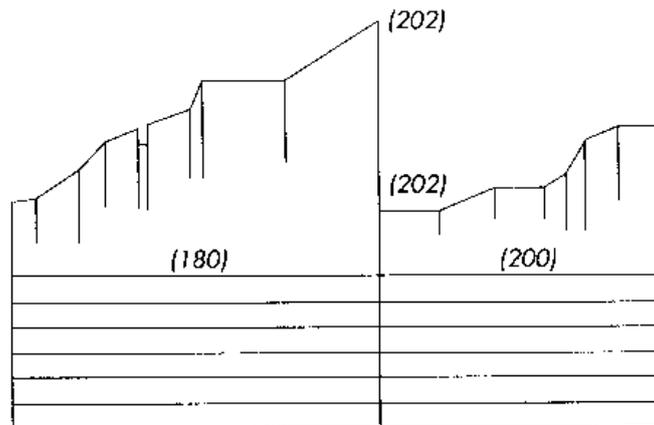


Fig. 75: changement d'horizontale de référence

### Présentation

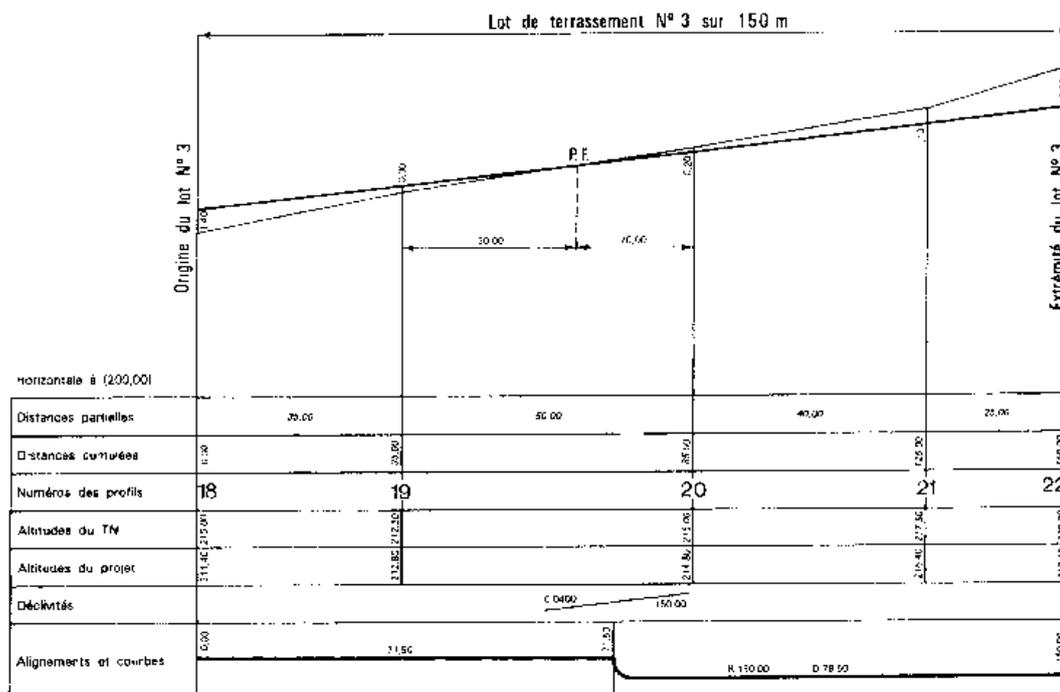


Fig. 76: présentation du profil en long

- Le profil en long de la figure 76 amène les remarques suivantes :
- la troisième travée peut également comporter les sondages, points particuliers, etc. ;
  - les déclivités du projet figurent en représentation conventionnelle, laquelle indique la pente, la distance à laquelle elle s'applique et le sens de la déclivité : rampe ou pente suivant que le trait monte ou descend de la gauche vers la droite ;
  - la septième travée schématise le tracé de l'axe (fig. 77).

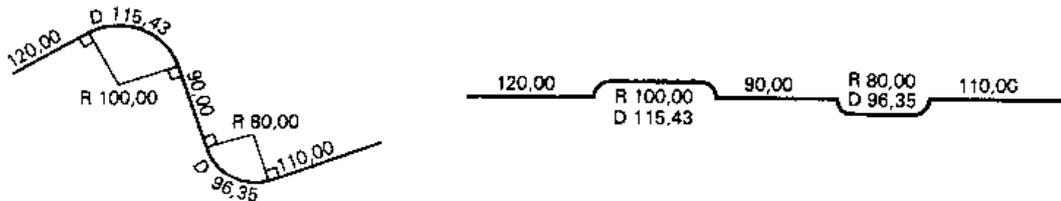


Fig. 77: schématisation du tracé de l'axe

Un point de passage étant le point d'intersection des lignes de projet et de TN, on suppose qu'à ce point correspond un profil en travers de surface nulle appelé profil fictif (PF). Si l'altitude du profil fictif n'a pas lieu d'être déterminée, par contre sa position planimétrique par rapport aux deux profils en travers encadrants est utile pour la cubature des terrassements ; elle se détermine aisément.

Exemple.—

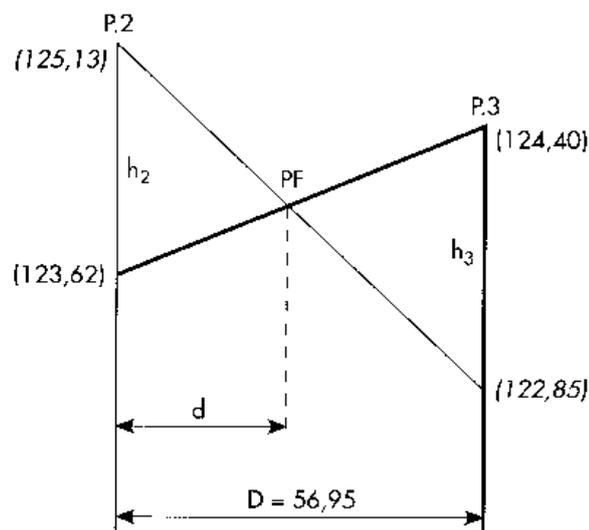


Fig. 78: position planimétrique du profil fictif

$$\frac{d}{h_2} = \frac{D-d}{h_3} = \frac{D}{h_2+h_3} \rightarrow d = \frac{h_2 \cdot D}{h_2+h_3} \text{ (fig 78)}$$

$$b_2 = 125,13 - 123,62 = 1,51$$

$$b_3 = 124,40 - 122,85 = 1,55$$

$$d = \frac{1,51 \times 56,95}{1,51 + 1,55} = 28,10 \text{ m}$$

Schématiser les ouvrages d'art à leurs emplacements et inscrire leurs définitions sommaires, que l'on doit retrouver sur le plan.

Teinter les remblais en rose et les déblais en jaune.

**MODULE N°:10**  
**NOTIONS ET CONCEPT DE LA**  
**TOPOGRAPHIE**  
**GUIDE DE TRAVAUX**  
**PRATIQUE**

## 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).

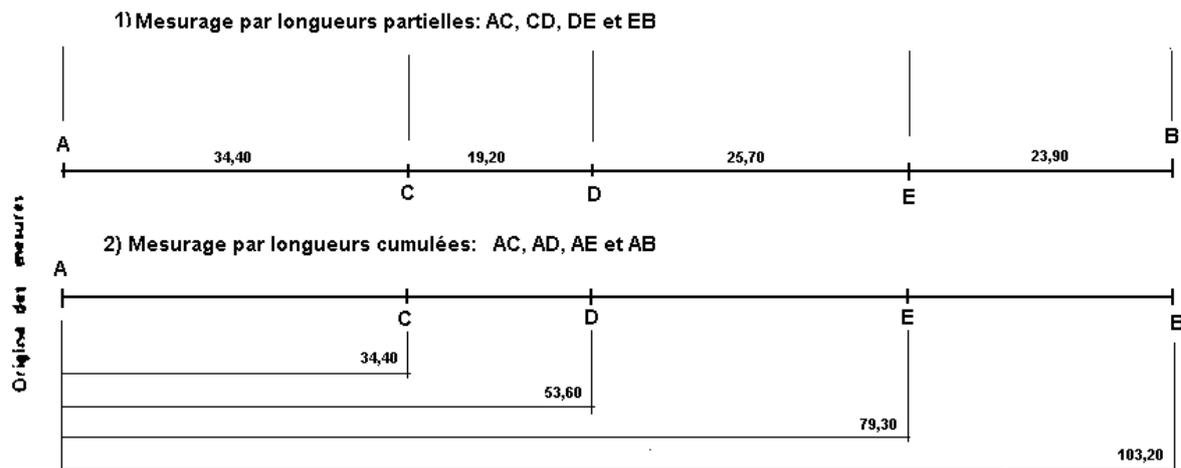


Fig. 79

**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).

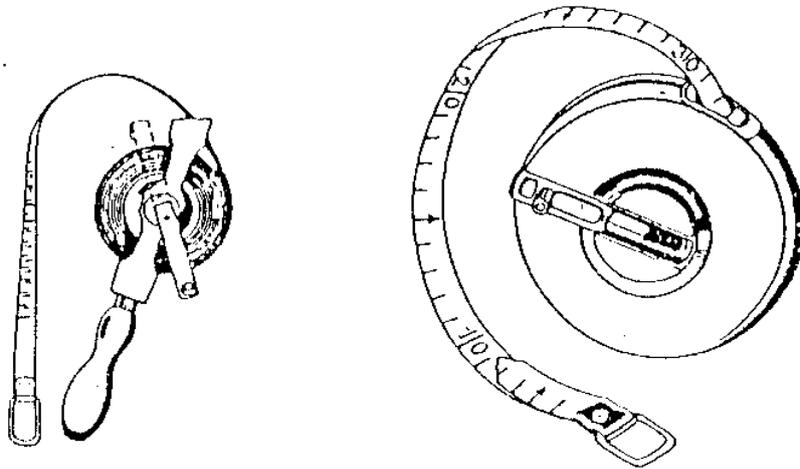


Fig.80

**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 cultellation.
- 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 cultellation) 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 cultellation 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 mesurée, 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.

- 5) 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 dénivelées 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).
- 6) Vérifier si l'anneau du ruban est compris ou non dans la mesure, en repérant l'origine de la graduation.
- 7) 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

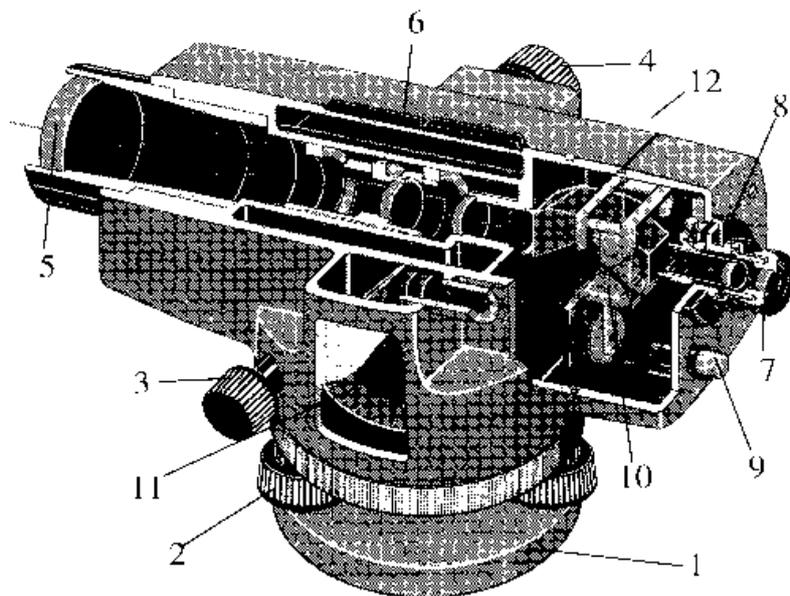
**II.1. Objectif visé :** On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de mise en station un niveau de chantier.

**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 :

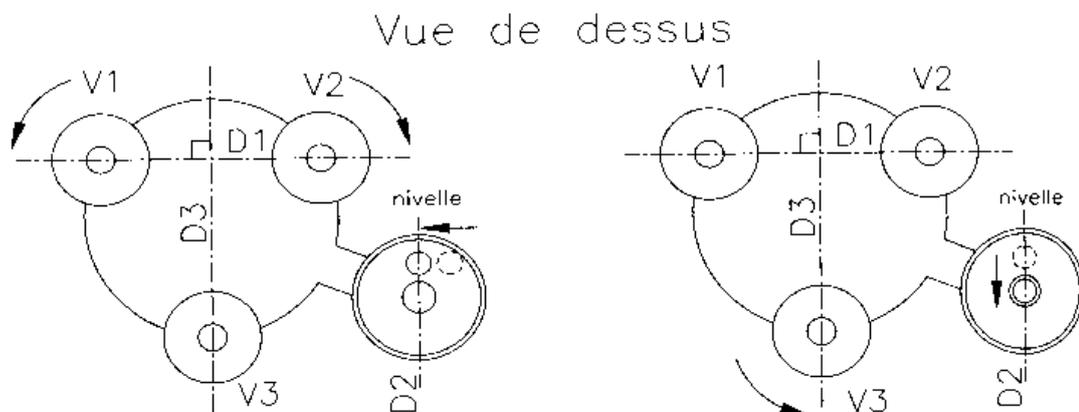
- 1. Embase
- 2. Vis calantes (3 vis)
- 3. Rotation lente
- 4. Mise au point sur l'objet
- 5. Objectif
- 6. Viseur d'approche rapide
- 7. Oculaire
- 8. Anneau amovible
- 9. Contrôle de l'automatisme
- 10. Compensateur à pendule
- 11. Cercle horizontal (option sur le NA2)
- 12. Nivelles sphériques (invisible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



**Fig.81:** NAK2 (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'horizon lité 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 (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 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  $8\frac{1}{2}$  mm soit une rotation angulaire de 15 cgon pour un déplacement de 2mm. Une erreur de calage de la bulle de 0,2 mm entraînerait donc une erreur angulaire de  $\epsilon = 1\ 5$  cgon

La visée sur une mire placée à 35 m donne un écart  $e = 35 \cdot 10^3 \cdot \tan \varepsilon \approx 8$  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 .

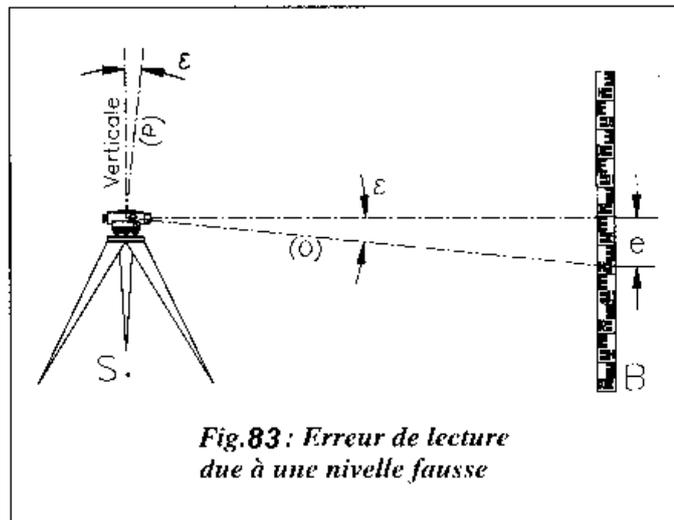


Fig.83 : Erreur de lecture due à une nivelle fausse

### 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

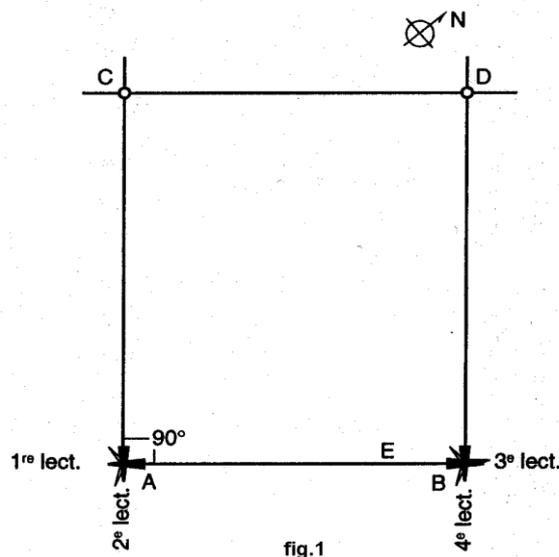
**III.3. Equipement :** Un niveau de chantier, un trépied, une mire, nivelle de de mire ou niveau de menuisier.

**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  $100^{\text{gr}}$  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.

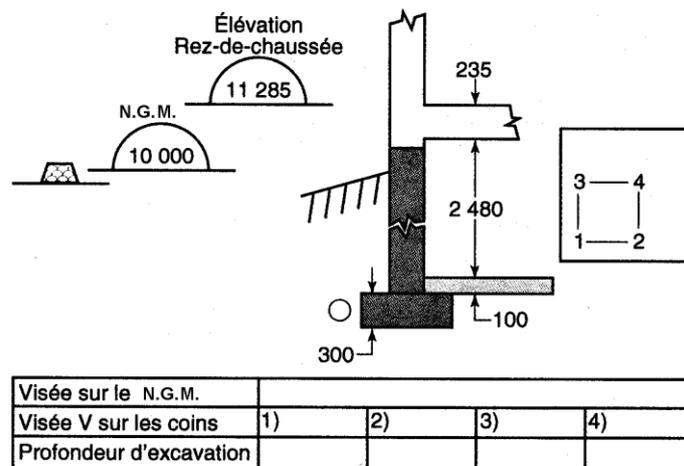


FIG. 1

#### 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

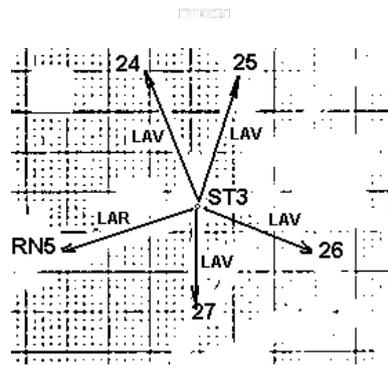
**VI.2. Durée du TP :** 4 heures

**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<sub>1</sub> 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<sup>ere</sup> disposition : Calcul par rapport au plan de visée

NUMÉROS		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<sup>eme</sup> disposition : Calcul en cheminement :

N° DES		DISTANCES	LECTURES		MOYENNES		DIFFÉRENCES		ALTITUDES	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<sup>eme</sup> disposition : Rayonnement

N° DES		DISTANCES	LECTURES	MOYENNES	LECTURES	MOYENNES	DIFFÉRENCES		ALTITUDES	OBSERVATIONS	
Stations	Points		AR	AR	AV	AV	+	-			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
3	RN 5	70	1,656 1,652	1,654					46,149		
	24	56			0,138 0,142	0,140	1,514		47,663		
	25	28			1,316 1,314	1,315	0,339		46,488		
	26	30			2,952 2,954	2,953		1,299	44,850		
	27	47			1,048 1,046	1,047	0,607		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

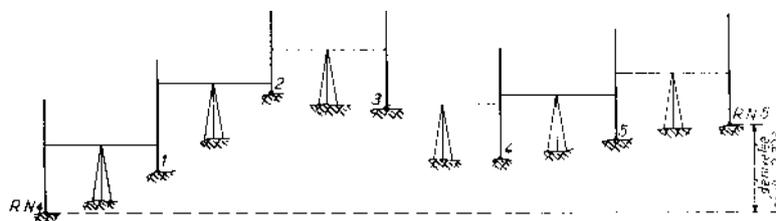
**VII.2. Durée du TP** : 4 heures

**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 AR	MOYENNE AR	LECTURES AV	MOYENNE AV	DIFFÉRENCES		ALTITUDES	OBSERVATIONS
	partielles	cumulées					+	-		
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 2,431	2,429	0,758 0,754	0,756	1,088 + 1		44,915	
2	140	260	1,256 1,260	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		0,374 - 1	46,652	
4	150	510	1,732 1,736	1,734	2,479 2,475	2,477		2,449 - 1	44,204	
5	120	630	1,854 1,858	1,856	1,215 1,211	1,213	0,521 + 1		44,726	
RN 5	130	760			0,436 0,432	0,434	1,422 + 1		46,149	
	760		18,298	9,149 6,832	13,664	6,832	5,140 2,823	2,823 5,140	43,826 + 2,317	Calcul de la fermeture
				2,317			2,317	7,963	46,143	
									$\epsilon = - 0,006$	



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 + 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.

**Module 10:  
Notions Et Concept De La  
Topographie**

**EVALUATION DE FIN DE  
MODULE**

Epreuve de fin de module :

Durée : 2 heures

Barème : /20

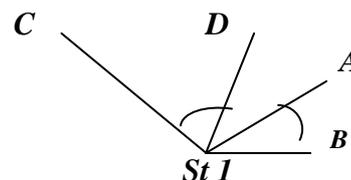
**Exercices et/ou Questions**

**Barème**

1. La mesure linéaire s'effectue selon 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 suivantes : 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 : 4/20
  - 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. 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 visés	Lectures CG	Lectures CD	Moyennes
<b>1</b>	<b>A</b>	104,85	304,80	.....
	<b>B</b>	228,43	8,38	.....
	<b>C</b>	313,64	113,60	.....
	<b>D</b>	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 tournez le niveau de chantier vers 3 divers points et vous fêtes les lectures suivantes : P<sub>1</sub>- 2409 ; P<sub>2</sub> -3614 et P<sub>3</sub> – 0175. Calculez les altitudes de ces trois points ! 5/20

Total : 20/20

## CORRIGE

### 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  $400^{\text{gr}}$  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

Liste des références bibliographiques

Ouvrage	Auteur	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

NB : Outre les ouvrages, la liste peut comporter toutes autres ressources jugées utiles (Sites Internet, Catalogues constructeurs, Cassettes, CD, ...)