



**Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès**

**Département de Génie Civil**

## **Cours de topographie**

**Néjib Ben Jamaa**

**Maître de Conférences**

## Préambule

Ce support de cours est destiné aux étudiants de 1<sup>ère</sup> année Génie Civil de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès. Il contient en plus des notions de base de la topographie des exercices partiellement corrigés pour permettre aux étudiants de suivre ce cours. Ce fascicule de cours ne peut en aucun cas être complet et la présence des étudiants pendant les séances du cours permettra de mieux éclaircir ce qui leur semble plus compliqué à comprendre.

Les séances de travaux pratiques permettront certainement de voir et de faire des mesures réelles sur le terrain. Le matériel disponible à l'ENIG comprenant des niveaux automatiques, des théodolites électroniques et des stations totales, donnera des informations supplémentaires à ce cours. Les étudiants auront l'occasion de manipuler ces appareils pour effectuer réellement des levés topographiques. Ils auront la possibilité de faire des nivellements directs et indirects, des levés par rayonnement et par cheminement. Ils comprendront comment se fait le calcul des coordonnées des points levés sur le terrain.

Je tiens par l'occasion à remercier notre collègue Jacques Lérault, ancien enseignant dans le département de Génie Civil de l'ENIG, qui m'a aidé à présenter ce fascicule.

Je tiens aussi à exprimer aux étudiants de 1<sup>ère</sup> année Génie Civil mes encouragements et je m'engage à être à leur disposition pour toute information complémentaire. C'est en fait notre devoir d'enseignant et aussi leur droit d'étudiant.

Bon courage et bonne réussite à tous et à toutes.

# I GENERALITES

## 1- DEFINITIONS

La topographie est la technique de représentation graphique d'un lieu sur le papier. On représente tous les détails du terrain qui s'y trouvent (routes, chemins, constructions, lignes électriques et téléphoniques,...etc.). L'opération correspondante est appelée levé topographique. Comme résultat, on obtient une carte ou un plan.

La topographie comprend deux disciplines: la topométrie et la topologie.

### a- La topométrie:

C'est la technique d'exécution des mesures de terrain. Elle nécessite deux catégories de mesures.

- La planimétrie consiste à mesurer les distances entre les différents points et à les rattacher en mesurant les angles horizontaux qu'ils font entre eux.

- L'altimétrie est la mesure des hauteurs, des altitudes et des dénivelées. Ces mesures sont faites à partir d'un plan horizontal de référence.

### b- La topologie:

La topologie est la science des formes du terrain (vallées, collines, montagnes,... etc.).

### Unités de mesures:

- Pour les longueurs: le mètre (m) avec ses multiples et sous-multiples.

- Pour les angles: le grade (gr) et ses sous-multiples.

Un tour d'horizon =  $2\pi$  rd = 400 grades = 360 degrés.

### Echelle:

L'échelle de la carte ou du plan est le facteur de réduction utilisé pour cette représentation. C'est le rapport entre la distance lue sur le plan et celle du terrain. Elle est généralement exprimée en un facteur de la forme (1/nx1000).

On distingue différents types de levés:

a- Levés à très grande échelle (1/5000, 1/2000, 1/1000, 1/500).

Exemple: A l'échelle 1/1000, 1 mm sur le plan représente 1 m sur le terrain.

Ce type de levé intéresse une zone très limitée en surface. Il est utilisé pour :

- définir des limites de propriétés;

- implanter des constructions et des ouvrages (routes, ponts, barrages, ...etc.).

b- Levés à grande échelle (1/10 000).

c- Levés à moyenne échelle (1/20 000).

d- Levés à petite ou très petite échelle ( $\leq 1/50\ 000 - 1/100\ 000$ ).

Pour passer d'une longueur réelle à une longueur graphique ou inversement, on peut éviter tout calcul en utilisant une échelle de réduction.

## **2- TRIANGULATION GEODESIQUE:**

La géodésie est la technique de représentation graphique des points espacés de plusieurs kilomètres. En raison de la grande surface de la partie à lever, il faut tenir compte de la courbure de la Terre. Le levé topographique a besoin d'être positionné par rapport à certains points géodésiques. Les coordonnées de ces points sont déterminées par la géodésie avec le maximum de précision possible.

### **Le canevas géodésique:**

Il est obtenu par le choix sur le terrain d'un ensemble de points élevés et visibles entre-eux qu'on relie par des visées formant des triangles. Les angles de ces derniers sont mesurés à l'aide d'un théodolite. On distingue différents types de réseaux:

#### **a- Réseaux de 1<sup>er</sup> ordre:**

Ce sont les premiers à définir sur le terrain. La longueur des cotés de ses triangles est d'environ 40 km. On cherche à atteindre dans la mesure des angles la précision maximale possible ( $1 \text{ à } 2 \cdot 10^{-4} \text{ gr}$ ).

#### **b- Réseaux de 2<sup>ème</sup> ordre:**

Ils sont définis à l'intérieur des réseaux de 1<sup>er</sup> ordre. La longueur des cotés varie de 10 à 15 km.

#### **c- Réseaux de 3<sup>ème</sup> ordre:**

La longueur des cotés est de l'ordre de 6 km. La densité des points des trois réseaux est d'environ un point tous les 20 km<sup>2</sup>.

#### **d - Réseaux de 4<sup>ème</sup> ordre:**

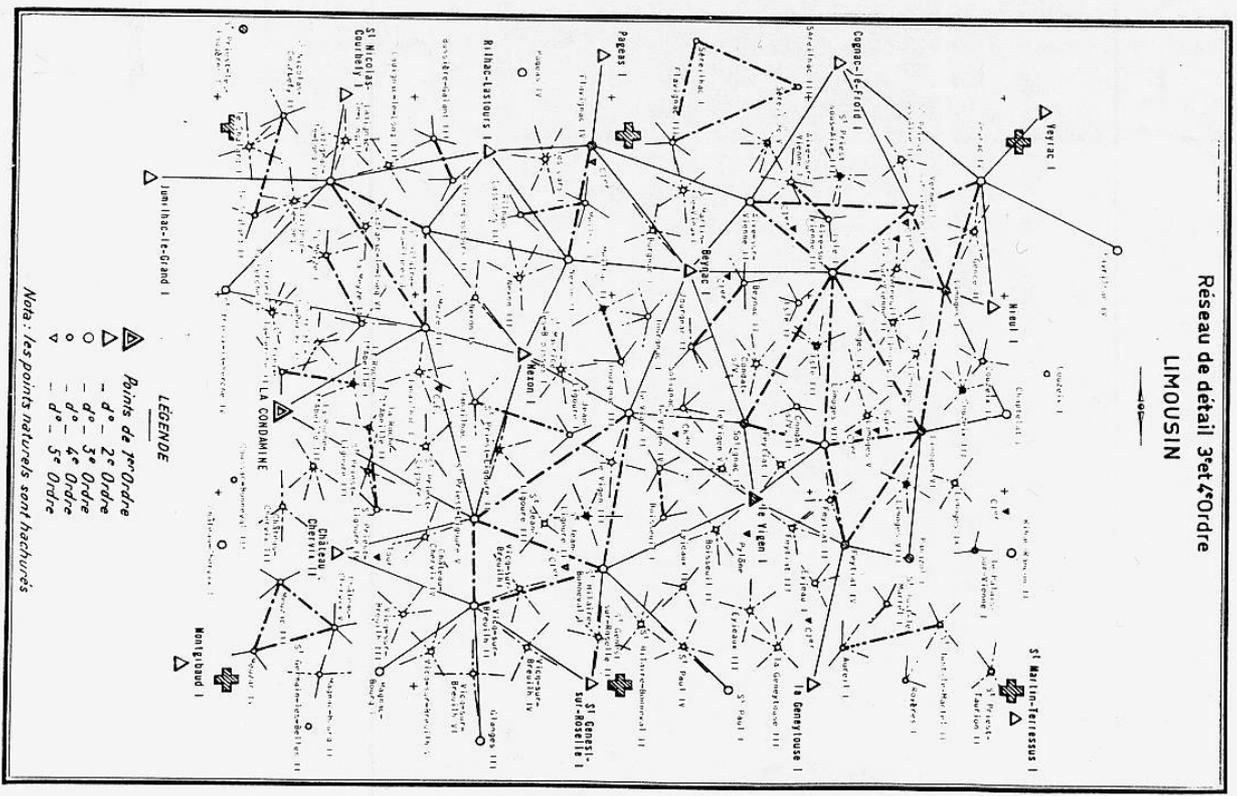
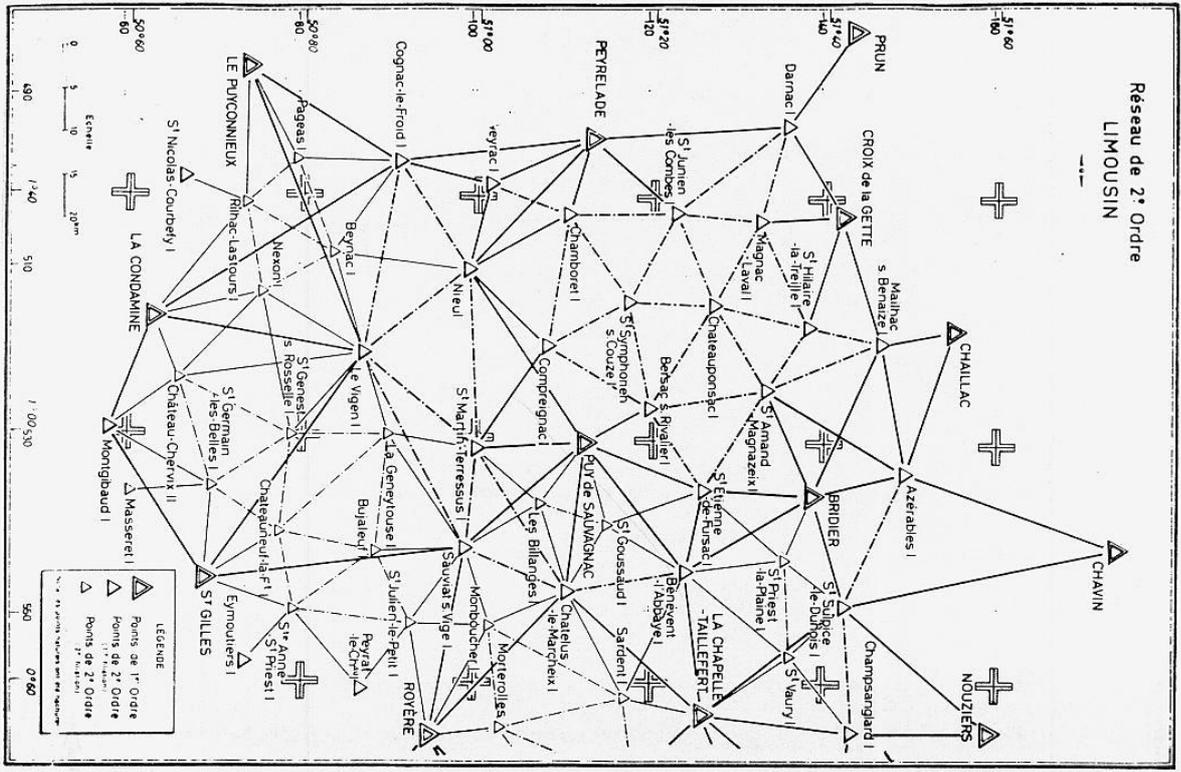
La longueur des cotés varie de 3 à 5 km. La densité moyenne de l'ensemble des points des quatre réseaux est d'un point tous les 8 à 9 km<sup>2</sup>. Ce qui correspondrait à un point tous les 3 km.

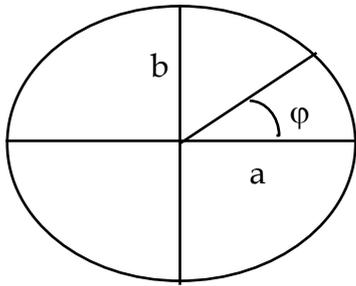
Au fur et à mesure que la longueur des cotés diminue, on peut abaisser la précision des mesures des angles. Ces opérations géodésiques ont beaucoup contribué à l'étude de la forme de la Terre.

## **3- SURFACE DE REFERENCE DE LA TERRE:**

La première idée de retenir comme surface de référence le niveau moyen des mers supposé prolongé sous les continents. Cette surface constitue le géoïde. La surface mathématique qui se rapproche le plus du géoïde est un ellipsoïde de révolution aplati aux pôles. L'ellipsoïde de HAYFORD (1909) a été recommandé comme ellipsoïde international en 1924 par l'assemblée générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale. Ces caractéristiques sont les suivantes:

*Canevas géodésiques*





$a = 6378.388 \text{ km}$   
 $b = 6356.912 \text{ km}$   
 $R_{\text{moy}} = 6370 \text{ km}$   
 $\alpha = 1/297$   
 $e = 1/150$

avec: a: demi-grand axe  
 b: demi-petit axe

$\alpha$ : aplatissement =  $(a-b)/a$   
 e: excentricité  $e^2 = (a^2-b^2)/a^2$

L'aplatissement est faible, le globe terrestre peut être assimilé à une sphère de 6370 km de rayon.

#### 4- REPERAGE DES POINTS SUR L'ELLIPSOÏDE:

##### 4-1- Coordonnées géographiques:

La position d'un point sur l'ellipsoïde est définie par ses coordonnées angulaires. Pour ce but, deux plans de référence ont été choisis.

- Le plan de l'équateur: C'est le plan perpendiculaire au petit axe de l'ellipsoïde en son milieu.

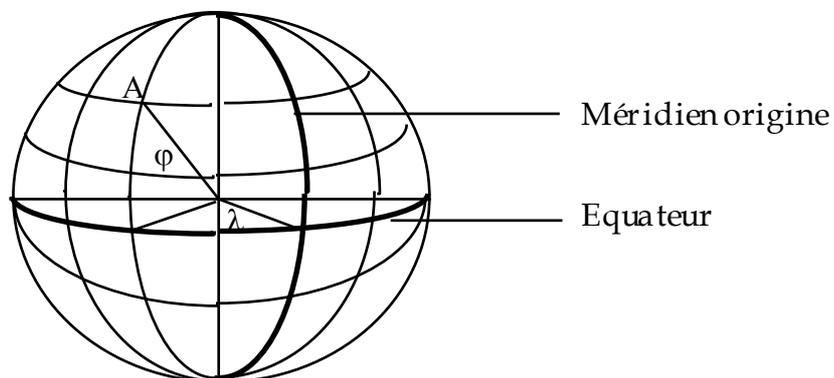
- Le plan méridien origine: C'est le demi-plan perpendiculaire au précédent et limité par le petit axe. On choisit arbitrairement sur le plan international, le méridien de Greenwich.

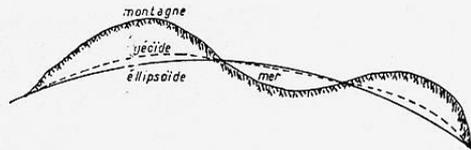
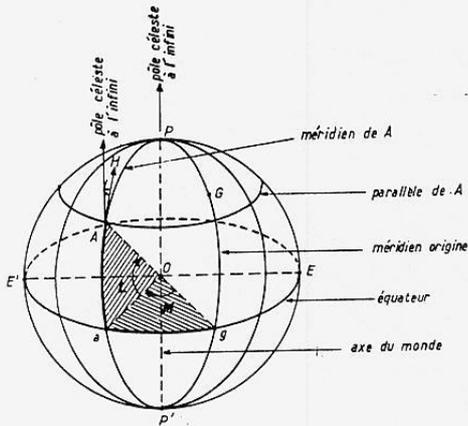
Un point est défini par sa longitude ( $\lambda$ ) et sa latitude ( $\varphi$ ).

On appelle **longitude** d'un lieu l'angle dièdre que fait le plan méridien de ce lieu avec un plan méridien origine. Il est compté positif vers l'ouest et négatif vers l'est. On appelle **latitude** géographique ou astronomique l'angle que fait la verticale du lieu, définie par la direction du fil à plomb, avec le plan de l'équateur. Il est compté de 0 à 100 gr, positif vers le nord et négatif vers le sud.

Exemple de Gabès:

longitude  $\lambda$  = 8,65 gr E = -8,65 gr  
 latitude  $\varphi$  = 37,65 gr N = +37,65 gr

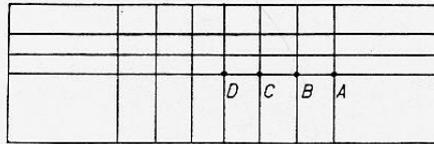
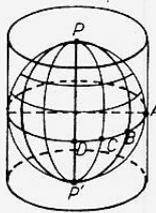




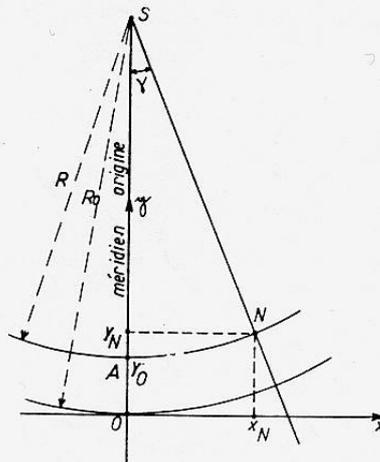
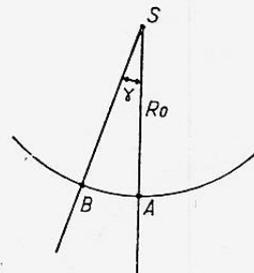
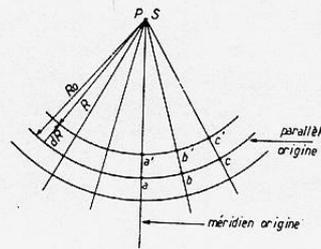
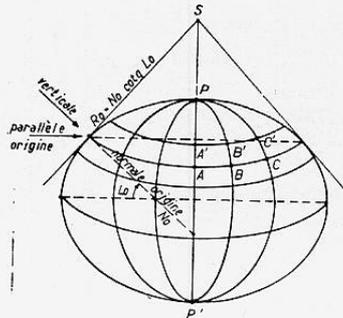
Ellipsoïde de référence

Coordonnées géographiques

Projection cylindrique :



Projection Lambert :



On voit que les coordonnées d'un point N du plan sont ainsi :

$$\begin{aligned} (x = R \sin \gamma & \quad (x = (R_0 - y_0) \sin \gamma, \\ (y = R_0 - R \cos \gamma & \quad \text{soit } (y = R_0 - (R_0 - y_0) \cos \gamma. \end{aligned}$$

#### 4-2- Coordonnées rectangulaires et représentation plane de la surface terrestre:

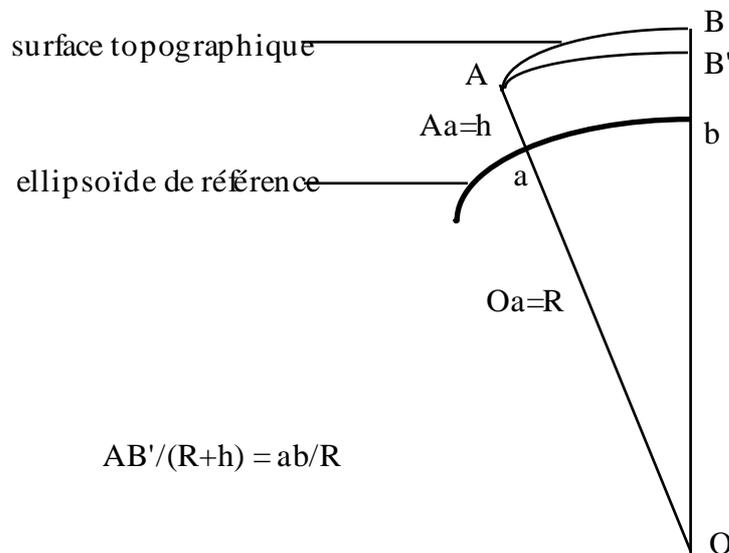
En topographie, on considère la surface de la Terre, objet du levé, comme plane. On ne commet de ce fait aucune erreur appréciable si la surface levée est relativement réduite. Par contre, dans le cas d'une représentation précise d'un territoire étendu, cette hypothèse ne serait plus valable et on devrait tenir compte de la courbure de la Terre.

##### a- Passage de la surface topographique à l'ellipsoïde:

Toutes les mesures effectuées par le géodésien ou le topographe sur la surface topographique doivent être projetées sur l'ellipsoïde de référence choisi. C'est ainsi que le réseau géodésique est constitué par les projections des stations géodésiques sur l'ellipsoïde et par les arcs de lignes géodésiques joignant ses projections. Les longueurs reçoivent une double correction.

- Une réduction à l'horizon du lieu, de AB en AB'.
- Une projection sur l'ellipsoïde de référence de AB' en ab.

La correction qui résulte de cette projection est de l'ordre de 0,16 m pour une longueur de 1000 m à 1000 m d'altitude. Elle est donc très petite et le plus souvent négligeable dans le cas d'un travail à moyenne altitude. A haute altitude, cette correction devient importante.



##### b- Passage de l'ellipsoïde au plan:

Ce passage s'effectue grâce à un système de projection qui a pour but de transformer une surface courbe en une surface plane. Un système de projection ou de représentation permet de passer des coordonnées géographiques ( $\lambda, \varphi$ ) sur l'ellipsoïde à des coordonnées rectangulaires planes ( $x, y$ ). Ce passage introduit une nouvelle correction aux longueurs mesurées, dite altération linéaire de la projection ( $\epsilon$ ).

$$x = f(\lambda, \varphi)$$

$$y = g(\lambda, \varphi)$$

Les fonctions f et g étant uniformes, c'est-à-dire à chaque valeur de ( $\lambda, \varphi$ ) correspond une seule valeur ( $x, y$ ) et réciproquement. Sachant que l'ellipsoïde n'étant pas applicable sur le plan, il ne peut pas y avoir de système de projection qui conserve tous les

éléments d'une figure donnée: surfaces et angles.

On distingue deux types de représentations:

- Les représentations **équivalentes conservent les surfaces**. Elles sont sans intérêt au point de vue topographique parce qu'elles altèrent les longueurs et les angles. Elles sont par contre intéressantes en cartographie générale.

- Les représentations **conformes conservent les angles**. Elles sont exclusivement employées à l'heure actuelle en géodésie et en topographie.

Il existe plusieurs projections dont on peut citer:

projection de Mercator, Gauss, Bonne, Lambert, ... etc.

### c- Projection Lambert:

C'est la représentation conforme de l'ellipsoïde terrestre sur un cône circonscrit le long d'un parallèle origine (ABC) de latitude  $L_0$ , puis le développement de ce cône sur le plan. Sur la surface de la Terre, on fait le choix d'un méridien origine (AP) et d'un parallèle origine (ABC) tel que A soit au centre de la région à représenter. La surface avoisinant le point A sera représentée en plan, dans un système de coordonnées rectangulaires XOY tout en respectant les conventions suivantes:

- Les méridiens sont représentés par des droites concourantes en S.

- Les parallèles sont représentés par des cercles concentriques ayant S pour centre.

- Les longueurs mesurées sur la Terre sont conservées sur le parallèle origine (altération linéaire nulle).

On peut constater facilement qu'en un point quelconque, tel que b, la direction du nord géographique représentée par bS, ne soit pas parallèle à l'axe des Y ; OS. Cet angle  $\gamma$  est appelé convergence des méridiens ou déclinaison Lambert.

Sur ce système de projection, les déformations de longueurs sont d'autant plus fortes que l'on s'éloigne du parallèle origine. Cette altération est approximativement égale à ( $\varepsilon = Y^2/2R^2$ )

avec Y0: distance entre le point et le parallèle origine

R : rayon moyen de la Terre

Ce type de projection est plus adapté pour les pays plus étendus en longitude (sens est-ouest) qu'en latitude (nord-sud). La Tunisie est couverte par deux systèmes de projection Lambert dits Lambert Nord et Lambert Sud dont les coordonnées sont les suivantes:

Nord Tunisie:  $L_0 = 40$  gr Nord       $M_0 = 11$  gr Est

Sud Tunisie:  $L_0 = 37$  gr Nord       $M_0 = 11$  gr Est

Pour le Maroc on a aussi deux systèmes de projection qui sont:

Nord Maroc:  $L_0 = 37$  gr Nord       $M_0 = 6$  gr Ouest

Sud Maroc:  $L_0 = 33$  gr Nord       $M_0 = 6$  gr Ouest.

Dans ce système de projection, les angles mesurés sur le terrain sont conservés et l'altération linéaire ne doit pas dépasser 1/1000 ( $\varepsilon < 0,001$ ).

### Exemple:

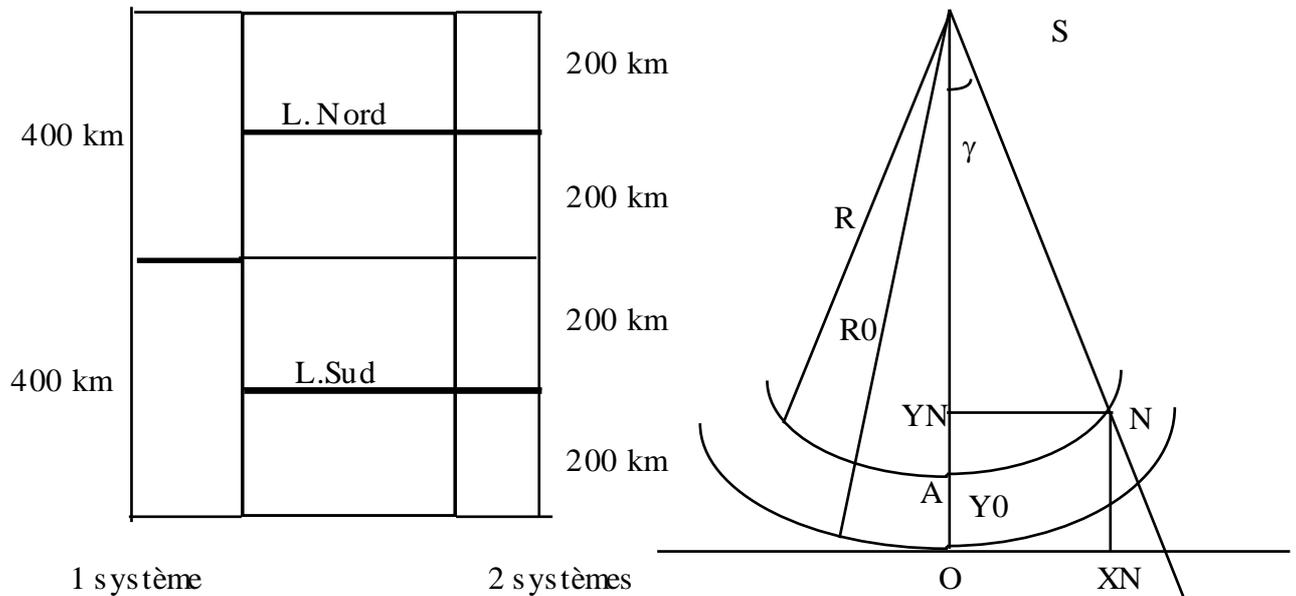
Si on choisit un seul système de projection pour la Tunisie, l'altération maximale aux extrémités sera de:

$$\varepsilon_1 = 400^2 / (2 \cdot 6370^2) = 0.00197 \approx 2/1000 \text{ donc } \varepsilon_1 > 1/1000$$

Si on choisit deux systèmes de projection,

$$\varepsilon_2 = 200^2 / (2 \cdot 6370^2) \approx 0.0005 \approx 0.5/1000 \text{ donc } \varepsilon_2 < 1/1000$$

C'est pourquoi, la Tunisie est couverte par deux systèmes de projection, Nord et Sud Tunisie.



Le repérage des points avec ce système de projection se fait grâce à:

- l'angle  $\gamma$  de son méridien avec le méridien origine;
- la distance  $Y_0$  au parallèle origine.

Un quadrillage orthogonal est superposé au quadrillage initial permettant le repérage des points grâce aux coordonnées rectangulaires (X,Y).

$$\begin{aligned} X &= R \sin \gamma & X &= (R_0 - Y_0) \cdot \sin \gamma & \text{avec } R &= R_0 - Y_0 \\ Y &= R_0 - R \cdot \cos \gamma & Y &= R_0 - (R_0 - Y_0) \cdot \cos \gamma \end{aligned}$$

## 5- DIRECTIONS:

### 5-1- Nord géographique:

Il est défini comme la direction du pôle nord. Ce nord peut ne pas coïncider avec la direction de l'axe des Y du système de coordonnées rectangulaires, dans le cas où l'on emploie le système de projection du pays.

### 5-2- Nord magnétique:

Il est indiqué, à un moment donné par la direction prise par l'aiguille aimantée. C'est un repère facilement utilisable mais il présente l'inconvénient de ne pas être stable.

### 5-3- Gisement:

On appelle gisement d'une direction l'angle fait par cette direction avec l'axe OY du système de coordonnées rectangulaires. Cet angle est compté à partir du nord Lambert dans le sens des aiguilles d'une montre de 0 à 400 gr (toujours positif).

### 5-4- Orientation:

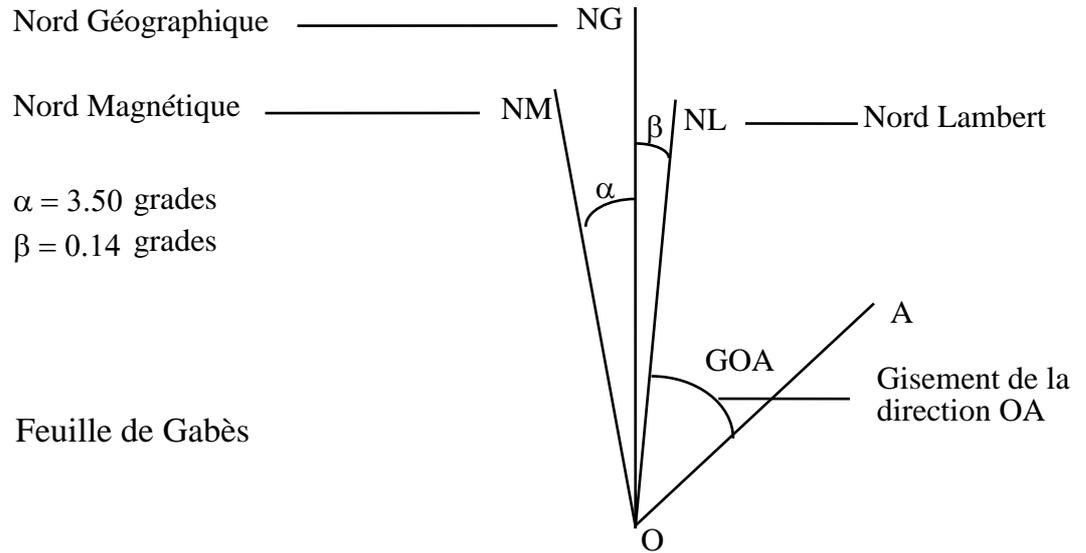
On appelle orientation d'une direction l'angle fait par cette direction avec l'axe OY du système de coordonnées rectangulaires. Cet angle est compté à partir du nord

Lambert dans le sens inverse des aiguilles d'une montre de 0 à 400 gr (toujours positif).

On utilise les gisements ou les orientations suivant le sens dans lequel les cercles des appareils de mesure (limbes) sont gradués.

### 5-5-Azimut:

On appelle azimut (Z) d'une direction AB l'angle mesuré au point A dans un plan horizontal entre la direction du nord géographique et la direction AB. Il est mesuré, de 0 à 400 gr, dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du nord. Il est toujours positif.



### ECHELLES DE REDUCTION NESTLER

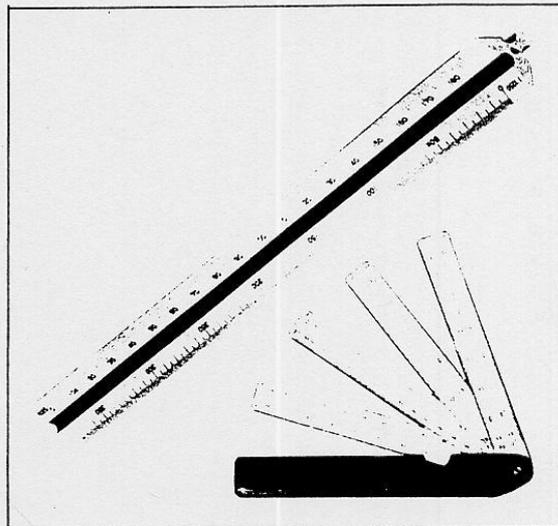
En anagit. Graduations de précision, lecture agréable, surfaces parfaitement lisses, faciles à nettoyer. Trois nervures avec code couleur différent pour mieux identifier l'échelle souhaitée. Longueur 30 cm. Livrées en étui rigide.

1:	20	25	50	75	100	125	Réf. 995 901
1:	100	200	250	300	400	500	Réf. 995 902
1:	500	1000	1250	1500	2000	2500	Réf. 995 903
1:	750	1000	1250	1500	2000	2500	Réf. 995 904
1:	500	625	1000	1250	2000	2500	Réf. 995 905
1:	25	50	100	200	1440	2880	Réf. 995 906
1:	500	1000	2000	2500	4000	5000	Réf. 995 907

### ECHELLES DE REDUCTION EN EVENTAIL ARISTO

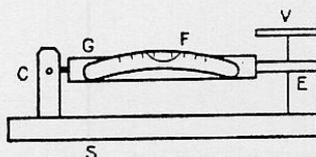
Longueur 15 cm.

Divisions :	1:	100/125/150/200/250/500/625/750/1000/1250/1500/2000/2500/5000.	Réf. 995 908
	1:	10/15/20/25/30/33 $\frac{1}{3}$ /40/50/75/100/125/150/200/250/300/400/500/750/1250.	Réf. 995 909

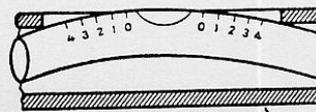


57  
57  
57  
57  
57  
57  
57

68  
74



— Nivelle.



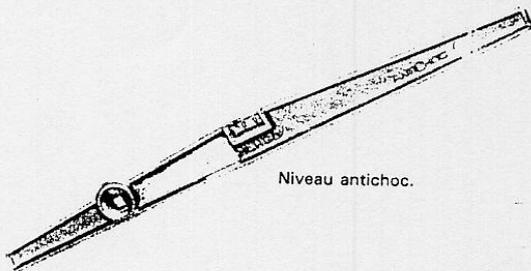
— Détail de la fiolle.

*Nivelle torique*

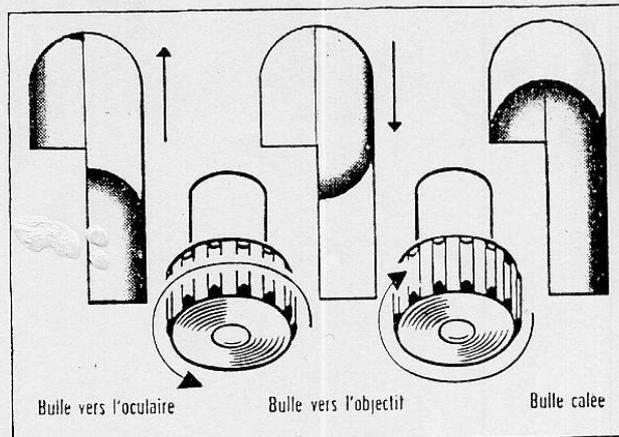
### NIVEAU ANTICHOC MLH 3

Robuste et maniable, fiolle horizontale indéréglable. Longueur 60 cm.

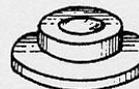
Réf. 996 637



Niveau antichoc.



Dispositif de calage du cercle diagramme



*Nivelle sphérique*

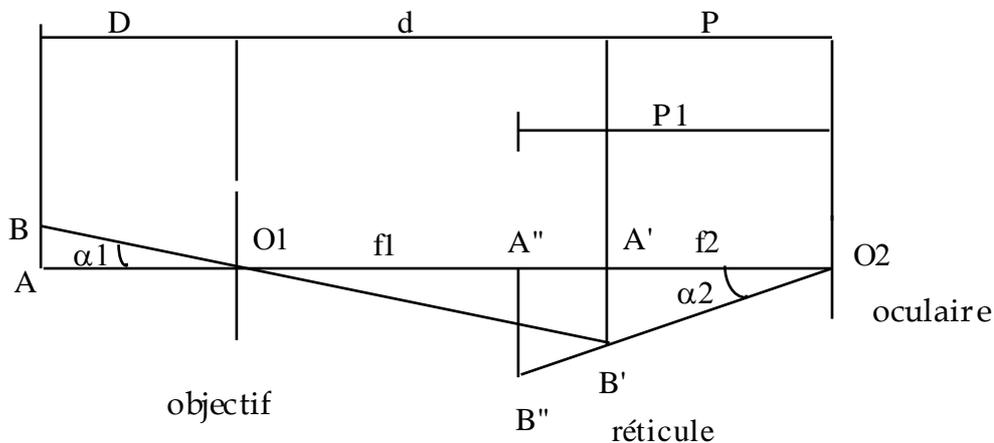
## II - ETUDE DES INSTRUMENTS DE MESURE

### 1- LUNETTE TOPOGRAPHIQUE:

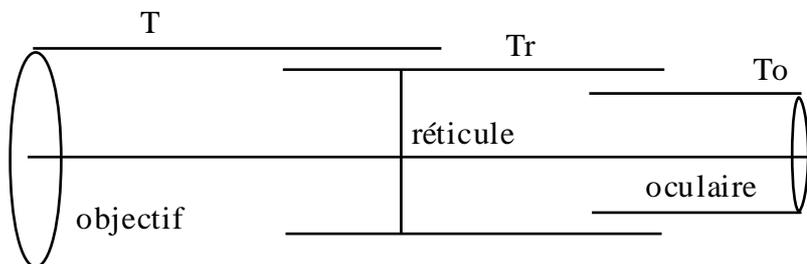
#### 1-1- Définition:

C'est le système optique de visée commun à presque tous les appareils topographiques. Elle équipe le niveau, le théodolite, le tachéomètre, l'alidade optoréductrice, etc.... Elle comprend un objectif O1, système optique convergent composé de plusieurs lentilles et un oculaire O2. F1 et F2 sont les foyers de ces lentilles et f1 la distance focale de l'objectif. Un objet quelconque AB (mire) situé à une distance D de l'objectif, formera son image intermédiaire en A'B' à une distance d de l'objectif. Cette distance est donnée par la loi de l'optique suivante:  $(1/D) + (1/d) = 1/f1$ .

L'image obtenue est réelle mais renversée, On place le réticule exactement à ce point. Cette image intermédiaire A'B', observée par l'oculaire qui agit de la façon d'une loupe, sera vue agrandie en une image finale et virtuelle, mais toujours renversée A''B''. L'image finale A''B'' est à une distance P1 de l'oculaire dont f2 est sa distance focale. P1 sera donnée par la relation suivante:  $(1/p) - (1/p1) = 1/f2$ .



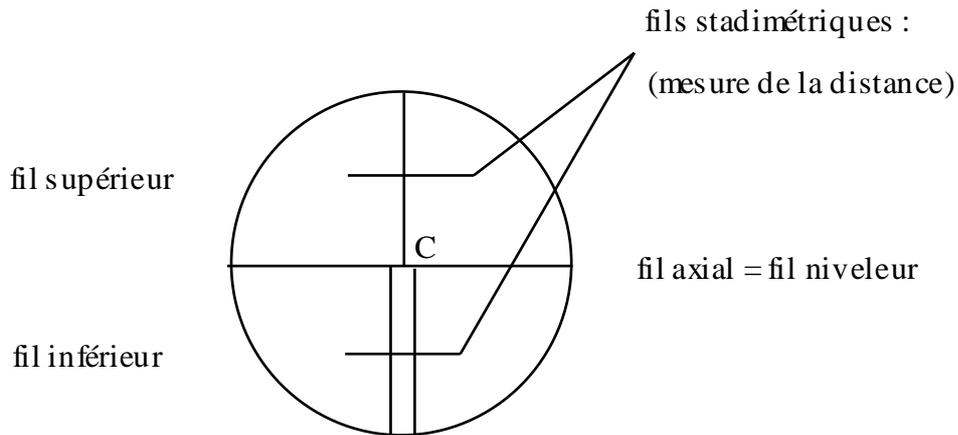
#### 1-2- La monture:



la monture comprend habituellement trois tubes pouvant coulisser l'un dans l'autre (ou un système mécanique équivalent): Le tube porte-objectif (T) fixe, le tube porte-réticule (Tr) qui sert à la mise au point de l'objet visé et qui déplace automatiquement le troisième tube porte-oculaire (To).

### 1-3- Le réticule:

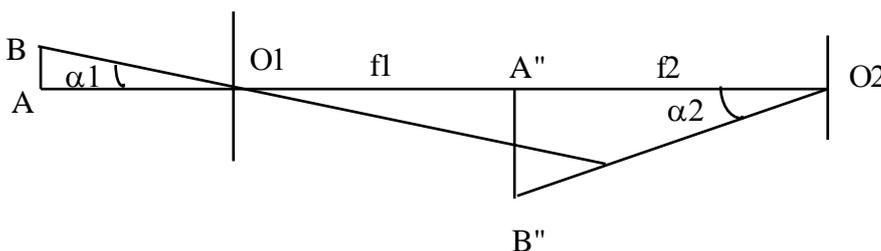
Le réticule est constitué par une lame de verre à faces parallèles sur laquelle sont gravés deux traits en croix: l'un horizontal, l'autre vertical (souvent la moitié de celui-ci est dédoublée). Les traits sont appelés fils de réticule. Leur intersection est appelée croisée du réticule. L'axe optique de la lunette est défini par le centre de l'objectif et la croisée du réticule.



### 1-4- Grossissement:

On appelle grossissement de la lunette, le rapport  $G = \frac{\tan \alpha_2}{\tan \alpha_1}$   $G = \frac{O_1F}{O_2F} = \frac{f_1}{f_2}$ .  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  étant les angles sous lesquels un objet lointain AB est vu à travers la lunette et à l'œil nu. C'est aussi le rapport de la taille apparente d'un objet lointain vu à travers la lunette et vu à l'œil nu. G est de l'ordre de 20 à 30 fois. Le grossissement est sensiblement égal au diamètre de l'objectif exprimé en mm.

Les qualités optiques d'une lunette sont précisées par la clarté, le champ, le grossissement et le pouvoir séparateur. Une lunette longue donne un grossissement fort et un champ faible et inversement. (Exemple d'une lunette de théodolite: champ visuel à 1 km = 30m et  $G = 30 \times$ ).



### 1-5- Mise au point:

La mise au point de l'image se fait en deux temps:

- Mise au point de l'image du réticule par translation du porte-oculaire en visant le ciel ou un fond clair. La mise au point est effectuée lorsqu'on a une image nette du réticule.

- Mise au point de l'image de l'objet visé par déplacement de l'ensemble porte-oculaire et porte-réticule en amenant le réticule dans le plan de l'image formée par l'objectif. Cette opération est effectuée lorsqu'on a une image nette de l'objet visé et que cette image reste fixe par rapport au réticule quand on déplace l'œil devant l'oculaire. Dans cette situation, on dit qu'il n'y a pas de la parallaxe.

Ces deux réglages sont essentiels et la qualité des mesures dépend en grande partie du soin avec lequel ils ont été réalisés.

Les appareils modernes sont équipés de lunettes courtes, à mise au point interne. Ce sont des lunettes à lentille divergente interne, formant téléobjectif. Elles comportent en supplément une lentille divergente placée entre l'objectif et son foyer image. La lunette à mise au point interne est un réel avantage car pour un grossissement égal:

- la lunette est plus courte;
- le réticule est fixe;
- la mise au foyer est très sensible;
- la lunette est parfaitement étanche;
- la conception mécanique est meilleure.

Le plus souvent, les lunettes donnent une image redressée, ce qui facilite la recherche des points à viser.

## **2- NIVELLE:**

### **2-1- Définition:**

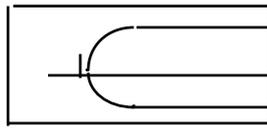
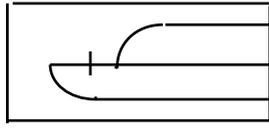
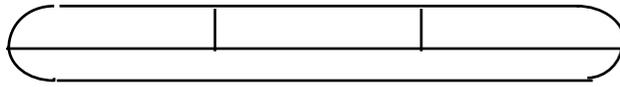
La nivelle, encore appelée niveau à bulle d'air, est un appareil permettant de vérifier ou de s'assurer de l'horizontalité d'une ligne ou d'un plan. En topographie, le plan horizontal est un plan privilégié car il sert de plan de référence. La même importance est donnée à la direction verticale.

### **2-2- Nivelle torique:**

Elle est constituée d'une fiole transparente qui a la forme d'un tore à paroi très lisse. Elle est fermée à ses deux extrémités et incomplètement remplie d'alcool ou d'éther. Le petit espace restant, d'une longueur de 1 à 3 cm, appelé bulle d'air occupe constamment la partie la plus élevée du tore. Le rayon du tore varie de 10 à 50 m suivant la précision des appareils. La nivelle est pourvue d'une graduation symétrique par rapport au milieu du tube. Le déplacement de la bulle est proportionnel au déplacement angulaire de la nivelle et au rayon du tore. Cette dernière considération détermine la sensibilité de la nivelle. Plus le tore est grand, plus la nivelle est sensible (exemple: un déplacement de 2 mm pour une déviation de 1,27 cgr).

### **2-3- Nivelle à coïncidence:**

Elle comporte un dispositif optique qui permet d'examiner ensemble les deux extrémités d'une même moitié longitudinale de bulle.



pas de coïncidence  
nivelle non réglée

coïncidence  
nivelle réglée

#### 2-4- Nivelles sphériques:

Dans cette nivelle, le tore est remplacé par un verre en forme de calotte sphérique. La bulle apparaît circulaire et se place à la verticale du centre de la sphère. Cette nivelle est très pratique. Elle est montée par les constructeurs sur les plateaux d'instruments, sur les mires, les canes de centrage et autres appareils. Le centre de la partie utile de la calotte est repéré par un cercle de diamètre sensiblement égal à celui de la bulle. Régler la nivelle, c'est rendre la bulle concentrique à ce cercle. Les nivelles sphériques utilisées en topographie ont un faible rayon ( $\approx 0.25$  m) donc une faible sensibilité.

### 3- LIMBES ET ORGANES DE LECTURE:

Les appareils de mesure d'angles comportent une partie mobile (alidade) dont il faut pouvoir évaluer le déplacement par rapport à la partie fixe. Pour cela, la partie fixe est munie d'un limbe circulaire gradué ayant son centre sur l'axe de rotation de la partie mobile. Cette dernière porte un index qui se déplace en regard de la graduation du limbe.

Le mouvement de l'ensemble de l'alidade et du limbe par rapport au bâti inférieur de l'instrument est appelé mouvement général. Le mouvement de l'alidade par rapport au limbe est appelé mouvement particulier.

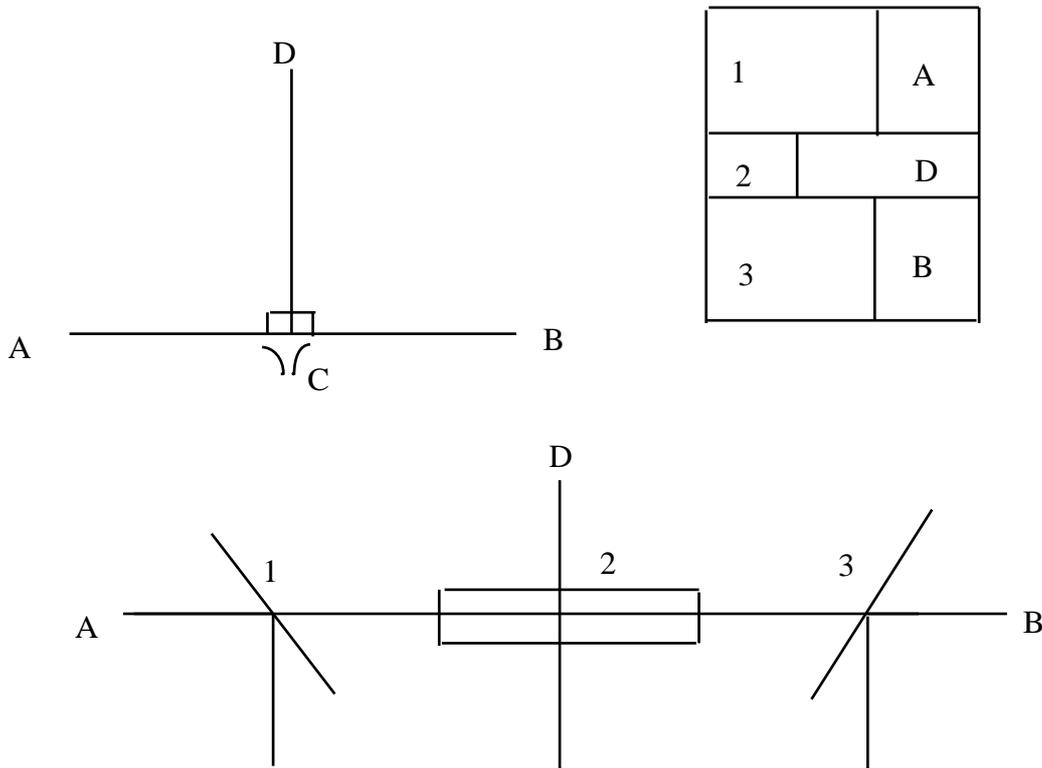
Pour obtenir une bonne précision, on équipe l'index d'un vernier. Si le vernier comporte  $n$  divisions, il est dit au  $n^{\text{ème}}$ . L'étendue de  $n$  divisions est la même que celle de  $(n-1)$  divisions du cercle. Chaque intervalle du vernier a pour valeur  $(n-1)/n = 1 - (1/n)$  divisions du cercle. La différence des intervalles vaut donc  $a = 1/n$  de la division du cercle. Si par exemple on a un vernier au  $1/20$  et les graduations du limbe sont de 20 en 20 cgr. Les 20 graduations du vernier correspondent à 19 graduations du limbe, donc à 3.8 gr. Donc  $a = 1/20$  de graduation du limbe, donc  $(1/20) \times 0.2 = 1/100$  gr soit donc 1 cgr.

### 4- EQUERRE OPTIQUE:

#### 4-1- Principe:

C'est un instrument de poche basé sur la réflexion des rayons lumineux pour réaliser des angles droits. Il est constitué en général par deux prismes collés de part et d'autre d'une lame de verre à faces parallèles. On réalise ainsi deux angles droits adjacents et en suite l'alignement des côtés opposés de ces angles. Chaque prisme

travaille sous l'incidence  $\pi/4$ . Quand CA, CB et CD sont perpendiculaires, les images des jalons en A, B et D sont alignées.



Les équerres optiques permettent:

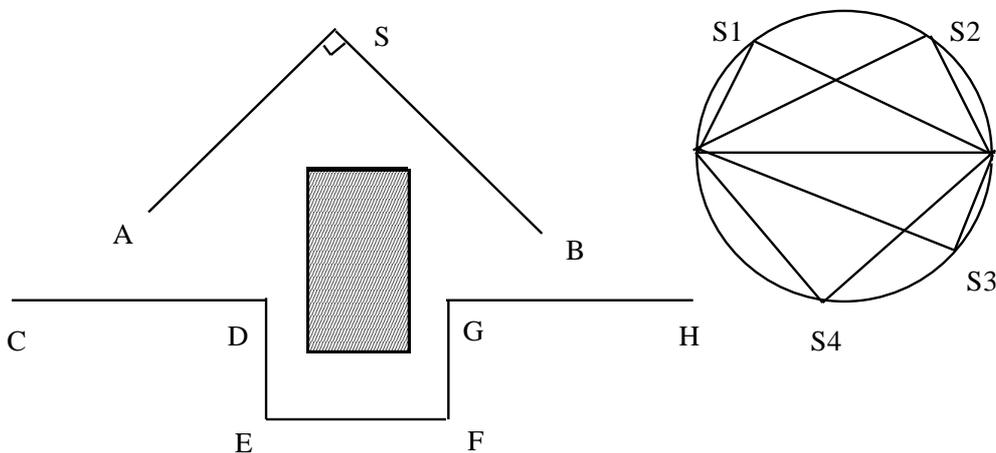
- de s'aligner entre deux points,
- d'un point pris sur une droite jalonnée de tracer une perpendiculaire à cette droite,
- d'abaisser d'un point une perpendiculaire sur un alignement

Sa précision est de l'ordre de 3 mm à 10 m.

#### 4-2- Applications:

A l'aide de l'équerre optique on peut:

- Mesurer une distance gênée par un obstacle. On marque le point S au sol tel que  $SA \perp SB$ .  $AB^2 = AS^2 + BS^2$ .
- Prolonger un alignement derrière n obstacle.
- Tracer un cercle de

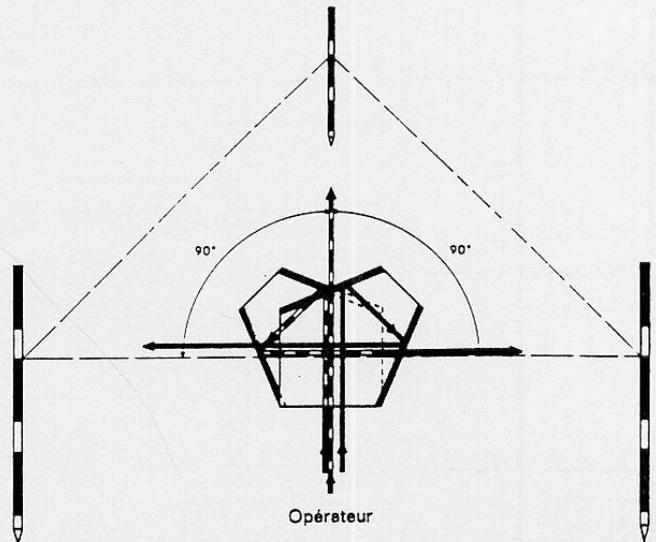
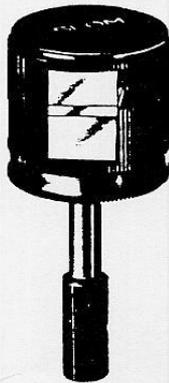


# ÉQUERRE OPTIQUE DOUBLE A PRISMES PENTAGONAUX SE 5

# SLOM

## DESCRIPTION

Elle est constituée essentiellement de 2 prismes pentagonaux superposés avec 2 faces argentées et collés entre eux. Elle est indé réglable. Ces prismes sont placés dans une monture dans laquelle sont ménagées des fenêtres pour observer d'une part les images droites et gauches au travers des prismes et d'autre part le 3<sup>e</sup> jalon directement.



## MODE D'EMPLOI :

Pour le transport et la protection des prismes, il suffit de faire pivoter la bague protectrice pour occulter les ouvertures.

Elle peut être démontée pour nettoyer les prismes.

Cette équerre d'alignement à grand champ permet d'exécuter les opérations classiques suivantes :

- Elever une perpendiculaire d'un point pris sur un alignement.

- S'aligner entre 2 points.

- Abaisser d'un point quelconque une perpendiculaire sur une droite jalonnée.

Sa précision est de l'ordre de 3 mm à 10 mètres.

Son poids est de 110 g.

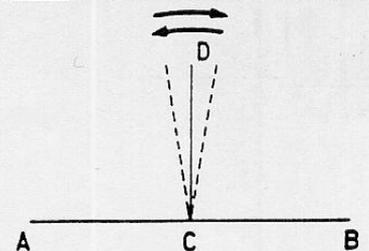
Cet appareil est utilisé soit avec un fil à plomb soit de préférence avec une canne à plomber SCP (en option voir au dos).

## EXEMPLES D'EMPLOI :

### I. — D'un point pris sur une droite jalonnée, tracer une perpendiculaire à cette droite :

- Se placer à la ligne des jalons AB, l'équerre à la hauteur de l'œil et le plomb à la verticale du point C d'où l'on veut élever une perpendiculaire.

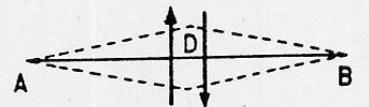
- Orienter l'appareil selon la droite jalonnée et, par déplacement de l'aide, amener en coïncidence l'image du jalon D qu'il tient, avec celles des jalons extrêmes placés en A et B.



### II. — Pour s'aligner entre deux points :

- Se tenir à peu près parallèlement à cette ligne.
- Tenir l'appareil à hauteur de l'œil et viser comme recommandé plus haut.
- Avancer ou reculer jusqu'à coïncidence des images A et B de ces deux points vus par réflexion dans les prismes.

A ce moment la pointe plombée définit un point exactement en alignement.



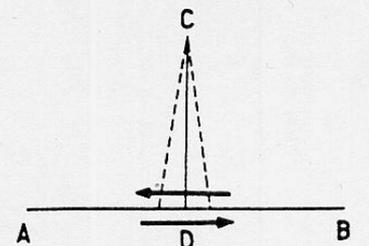
### III. — Pour abaisser d'un point une perpendiculaire sur un alignement :

- Se placer à peu près parallèlement à l'alignement AB et face au point C d'où l'on veut abaisser la perpendiculaire.

- S'aligner entre les deux points comme indiqué à l'exemple précédent.

- Se déplacer à droite ou à gauche sur cet alignement jusqu'à coïncidence des deux images A et B vues dans les prismes et du point C d'où doit être abaissée la perpendiculaire (C est vu directement entre les 2 prismes).

La pointe plombée définit alors le point cherché.



## 5- NIVEAU:

### 5-1- Définition:

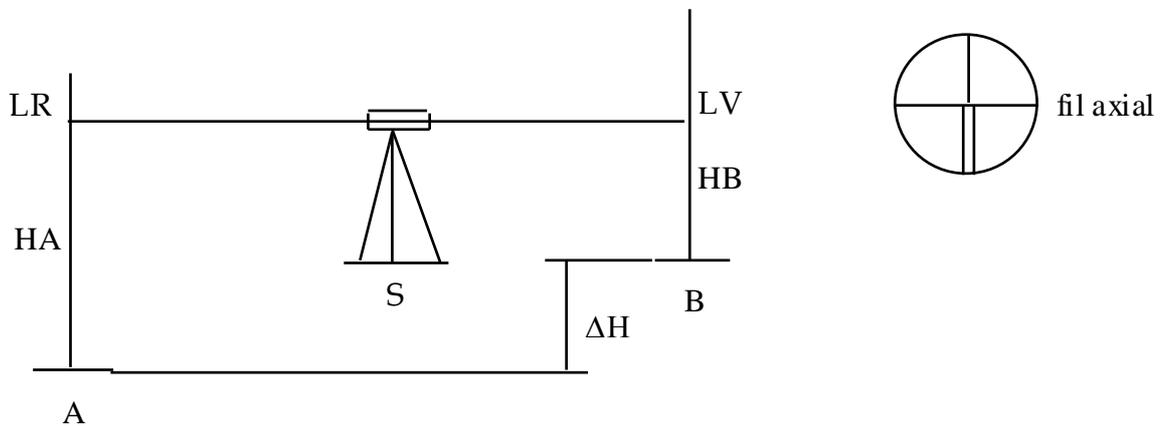
C'est un appareil conçu pour effectuer des visées horizontales. Il comprend:

- une lunette dont le réticule pourrait se réduire à un fil horizontal,
- une nivelle servant à rendre horizontal le plan de visée défini par le fil niveleur (fil axial) et le centre optique de l'appareil.

L'altimétrie ou nivellement a pour objet de déterminer avec exactitude par rapport à un plan horizontal de référence, la hauteur de chacun des points situés sur le terrain, ou mieux la différence des hauteurs entre ces points.

### 5-2- Principe:

Soit à chercher la différence de hauteur (ou de niveau) entre deux points A et B du terrain. Admettons A d'altitude connue et B dont on cherche l'altitude. On dit qu'on nivelle B à partir de A.



En pratique, on installe un niveau en S (station) et on vise successivement des mires parlantes tenues verticalement sur les deux points A et B. On désigne par  $N_A$  et  $N_B$  les niveaux de A et B respectivement.

$$N_B - N_A = H_A - H_B = L_R - L_V = \Delta H$$

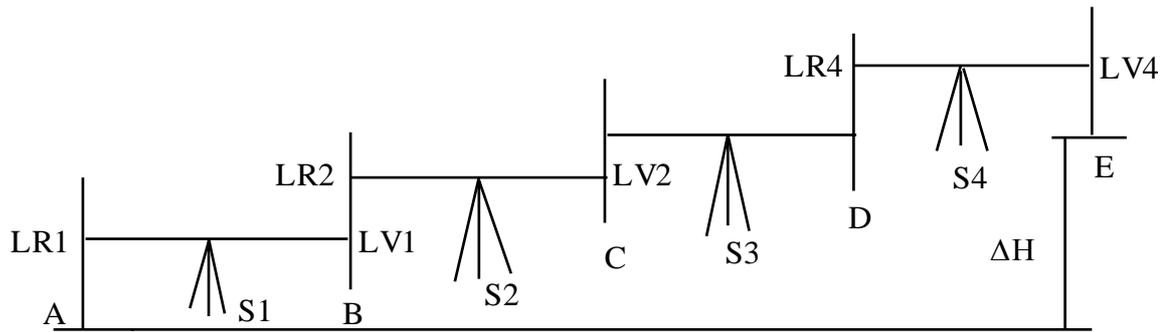
La visée sur la mire en A s'appelle "coup arrière", la lecture est désignée par LR. La visée sur la mire en B s'appelle "coup avant", la lecture est désignée par LV. Ces lectures se font au niveau du fil axial du réticule (fil niveleur). Il est indispensable de choisir le lieu de la station (S):

- à égale distance des points à niveler par cheminement,
- au centre des points à niveler par rayonnement.

### 5-3- Nivellement par cheminement:

Soit un nivellement cheminant de A vers E. On détermine successivement la différence de niveau entre les points A et B puis entre B et C, puis entre C et D et en fin entre D et E. La différence de niveau entre l'extrémité et l'origine d'un cheminement est

algébriquement égale à la différence entre la somme des lectures arrières et la somme des lectures avant.



Le nivellement direct se fait toujours par portées courtes pour des raisons de lisibilité de la mire et aussi, en terrain accidenté de longueur de la mire. La longueur moyenne des portées (distance entre la station et la mire) est de l'ordre de 50m.

$$N_B - N_A = L_{R1} - L_{V1}$$

$$N_C - N_B = L_{R2} - L_{V2}$$

$$N_D - N_C = L_{R3} - L_{V3}$$

$$N_E - N_D = L_{R4} - L_{V4}$$

$$N_E - N_A = \Sigma L_{Ri} - \Sigma L_{Vi} \quad \text{l'indice } i \text{ correspond au numéro de la station.}$$

#### 5-4- Nivellement par rayonnement:

Nous venons de voir que, dans le nivellement par cheminement, chaque station permet d'aller d'un point arrière à un unique point avant. Dans le nivellement par rayonnement, on peut aller du point arrière à plusieurs points avants. L'appareil étant mis en station en S, il est possible de déterminer de cette station les altitudes des différents points A, B, C et D. La première opération s'effectue exactement comme un nivellement élémentaire entre A devenu repère et B, déterminant ainsi l'altitude de B. La deuxième opération s'effectue comme un nivellement élémentaire entre B devenu repère et C, déterminant ainsi l'altitude de C, et ainsi de suite. On peut aussi revenir à chaque fois au point de départ A. La différence de niveau entre le point i et le point A est algébriquement égale à la différence entre la lecture arrière (lecture sur A) et la lecture avant (lecture sur le point i).

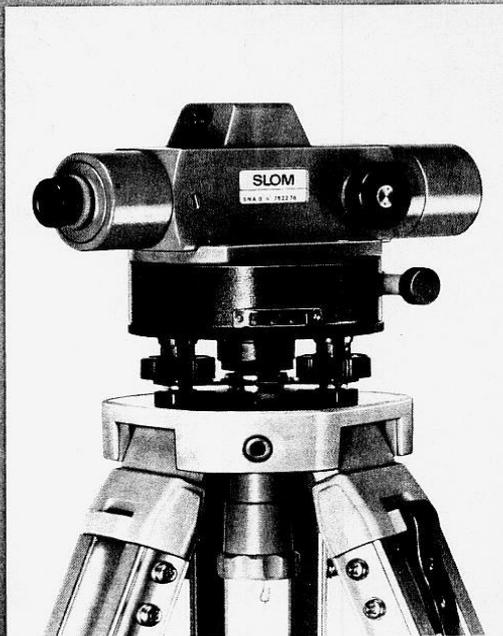
$$N_i - N_A = L_{RA} - L_{Vi} \text{ ou } N_i - N_{i-1} = L_{Ri-1} - L_{Vi}$$

Cette première méthode qui revient à chaque fois au point A à l'avantage de ne pas transmettre les erreurs effectuées aux points qui suivent.

# NIVEAU AUTOMATIQUE SNA 0 SLOM

Ce niveau a été étudié pour que son rapport qualité prix soit optimum. C'est l'appareil qu'exige l'entrepreneur : robuste, simple de mise en œuvre, mais sûr et d'un coût moyen.

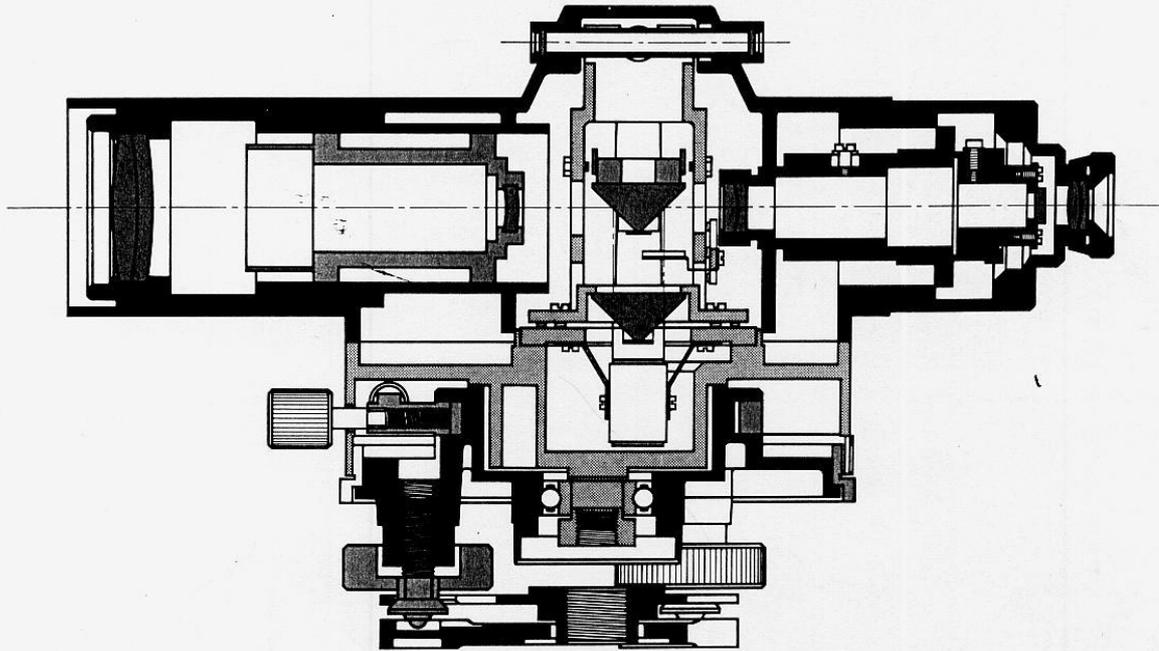
Aucune manipulation n'est à exécuter autre que le calage. A partir du moment où la bulle est dans son repère il est possible de faire des visées "tous azimuts" à partir d'une même station SANS AUCUN RÉGLAGE autre que la mise au point sur l'image.



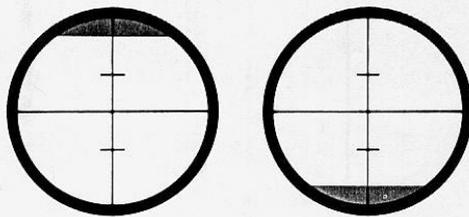
## CARACTÉRISTIQUES

- LUNETTE :** Longueur 253 mm - grossissement 22 x - image droite - ouverture 33 mm - distance minimum de visée 1,50 m - champ à 100 m : 2,60 m - stadia au 1/100 - constante supplémentaire 0 - plage d'automatisme  $\pm 10'$ .
- CERCLE :** Diamètre 110 mm - divisé en grade - lecture directe de l'unité - estimation au 1/10.
- EMBASE :** A 3 vis calantes - nivelle sphérique sensibilité 10/2 mm - filetage 5/8" - 11 filets/pouce.
- PRÉCISION :** Lecture du mm à 60 mètres des nivellements  $\pm 2$  à 3 mm sur 1 km.
- POIDS :** Appareil seul : 2,000 Kg.  
Appareil en coffret : 5,000 Kg.

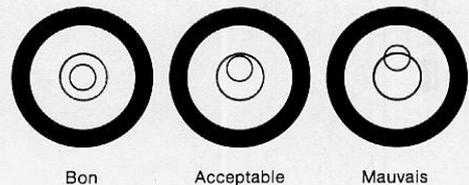




Coupe de l'appareil



Un plage rouge apparaissant en bas ou en haut du réticule signale que le niveau n'est pas dans sa plage d'automatisme. Le calage est à revoir.

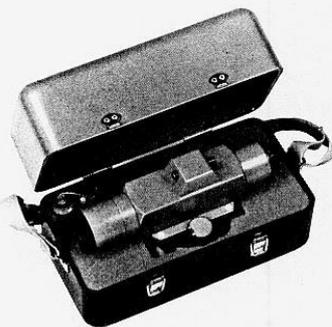


Bon

Acceptable

Mauvais

L'automatisme est assurée même si la bulle tangente le cercle.



Exemple de lecture de cercle : 386,5 g.



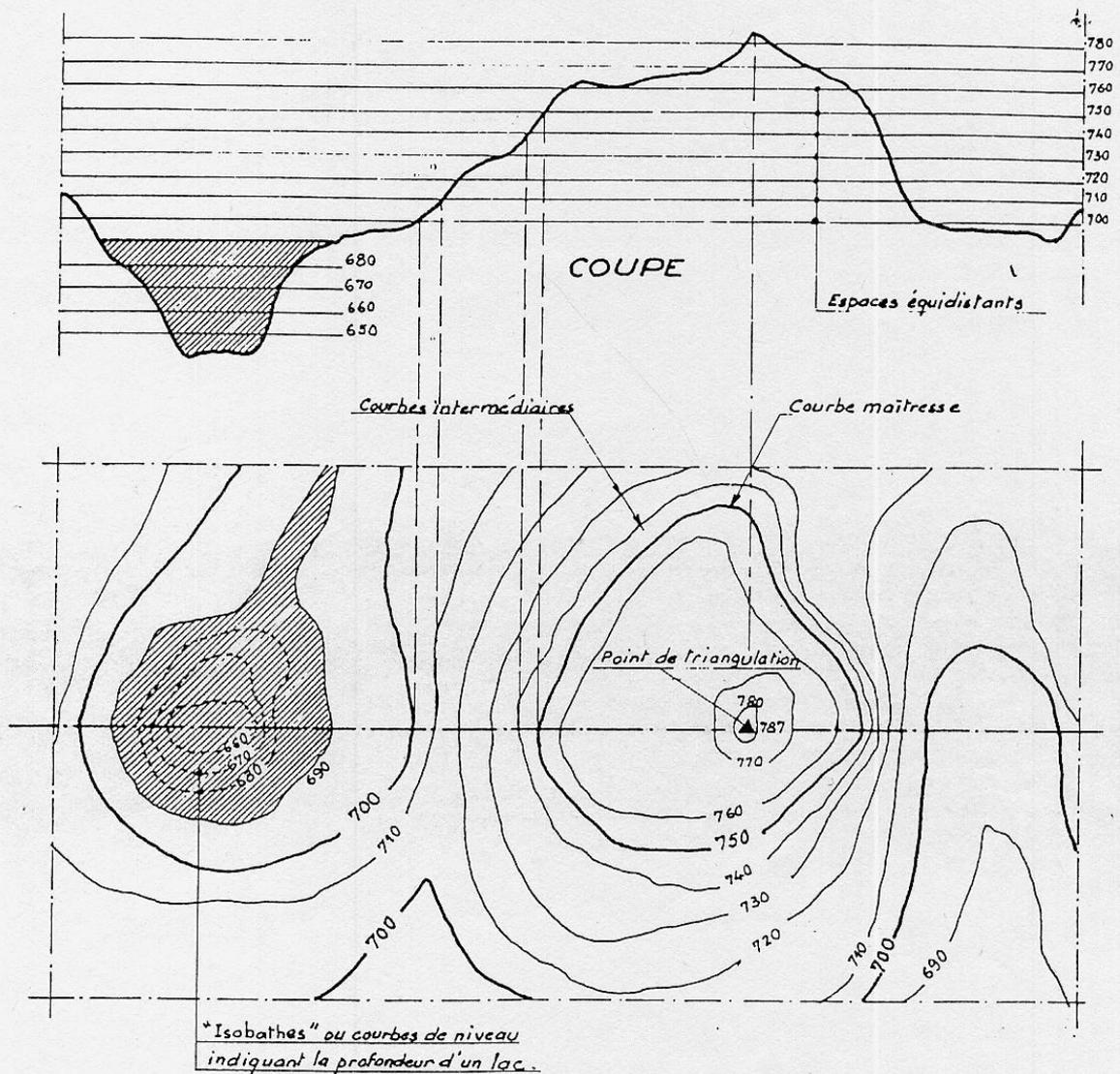
5.000 ex. - 10-85

Fabrique au Japon pour SLOM

SSO1 - PARIS

# LES PLANS TOPOGRAPHIQUES

## NIVELLEMENT



### PLAN A COURBES DE NIVEAU:

Méthode de représentation du relief d'un sol. Les altitudes des cartes géographiques et topographiques sont toujours données par rapport à un niveau de référence  $\pm 0.00$  correspondant à la cote 0329 de l'échelle des marées du fort St-Jean de Marseille.

La ligne qui relie tous les points de même niveau se nomme courbe de niveau, elle est aussi horizontale. Sur une même carte l'équidistance des courbes est constante, sa valeur varie suivant le relief du sol ou de l'échelle employée (1.00 - 2.00 - 5.00 - 10.00m). Des repères naturels ou artificiels permettent, par leur position géographique et altimétrique, d'effectuer une triangulation de points particuliers.



### 5-5- Applications du nivellement:

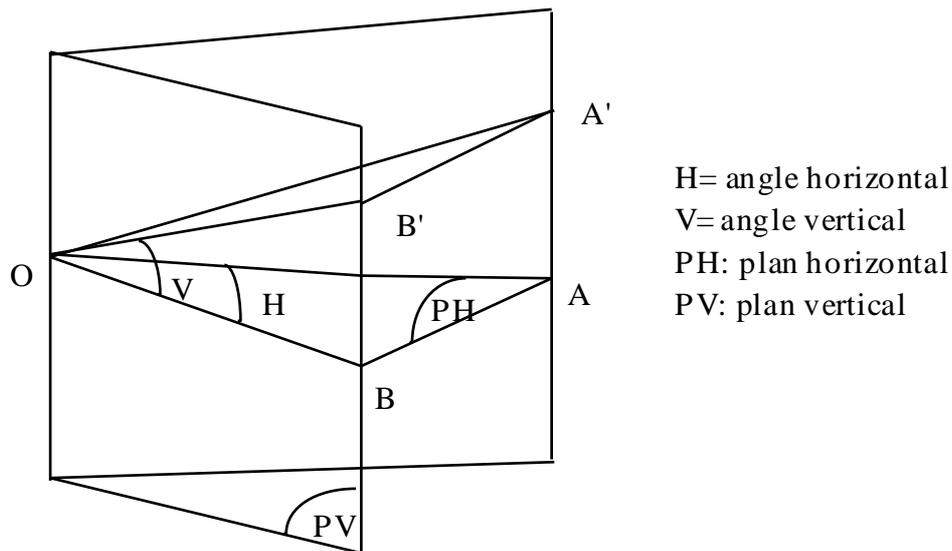
Le résultat du nivellement apparaîtra soit sous forme de courbes de niveau, soit sous forme de plan coté ou même sous forme de profils. Les cotes seront notées sur le levé au dessus de chaque point nivelé. Une courbe de niveau est définie par l'ensemble des points de même altitude. Un terrain plat est caractérisé par des courbes de niveau éloignées les unes des autres. Par contre, dans un terrain accidenté, les courbes de niveau sont très serrées.

## 6- THEODOLITE:

C'est un instrument qui permet la mesure des angles horizontaux (angles azimutaux) et des angles verticaux (angles zénithaux). Il est constitué par une lunette articulée autour d'un axe vertical appelé axe principal et d'un axe horizontal appelé axe secondaire ou axe des tourillons. L'axe principal est rendu vertical au moyen de trois vis calantes.

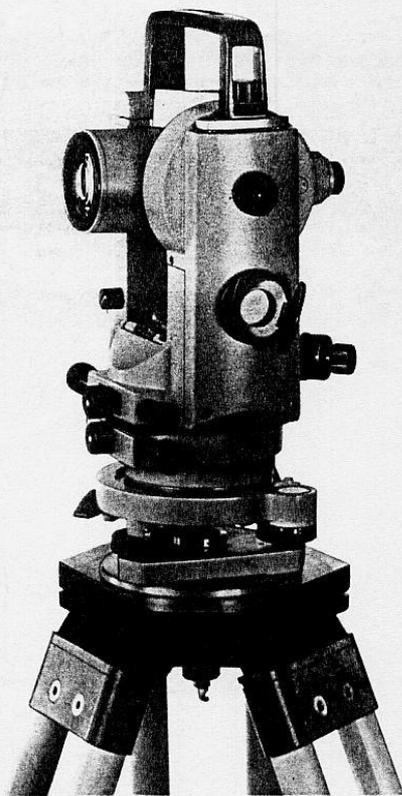
### 6-1- Mesure des angles horizontaux:

Cette mesure se fait à l'aide d'un cercle fixe, lié au terrain à travers le trépieds, gradué en grades ou en degrés appelé limbe horizontal et d'un cercle mobile portant des index de lecture appelé cercle alidade. Ces cercles sont centrés sur l'axe principal et lui sont perpendiculaires.



La rotation de l'alidade par rapport au limbe constitue le mouvement particulier. Pour mesurer l'angle horizontal AOB entre les directions OA et OB on vise successivement les points A et B et en lit à chaque fois la valeur de l'angle correspondante LA ou LB. La différence des lectures (LB-LA) donne la valeur de l'angle dans le plan horizontal. L'origine des lectures peut occuper une position quelconque.

# THEODOLITE DE PRECISION SLOM STN 1 B



Théodolite de précision STN 1 B.

Pour tous travaux où la connaissance très précise des angles est nécessaire, qu'ils soient horizontaux ou verticaux.

Auxiliaire précieux de l'Ingénieur sur les chantiers ou du Géomètre d'entreprise de T.P., il permet également les triangulations complémentaires.

#### CARACTÉRISTIQUES :

##### LUNETTE :

optique traitée,  
image droite - grossissement 30 X  
distance minimum de visée 1,5 m  
champ visuel à 1 km, 23 m  
stadia au 1/100  
constante additionnelle 0  
viseur de recherche

##### CERCLES :

en verre diamètre 70 mm  
divisés en grades uniquement  
lecture par un microscope  
unique gt 33 X accolé à la lunette :  
les 5 milligrades directement, le milligrade à  
l'estime  
cercle horizontal réitérateur et répéteur  
par double blocage avec fin rappel

##### EMBASE :

séparable à trois vis calantes

##### NIVELLES :

- sphérique pour calage approché, sensibilité 10"/2 mm
  - principale pour calage de l'axe vertical sensibilité 40"/2 mm
  - de lunette : sensibilité 40"/2 mm observable par miroir
- précision des nivellements  $\pm 1$  mm à 70 m

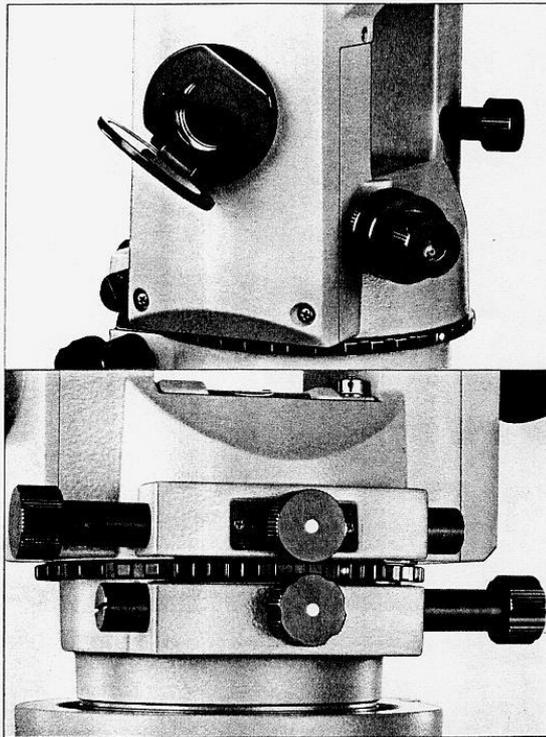
##### PLOMB OPTIQUE :

tournant, à double réglage

##### COFFRET :

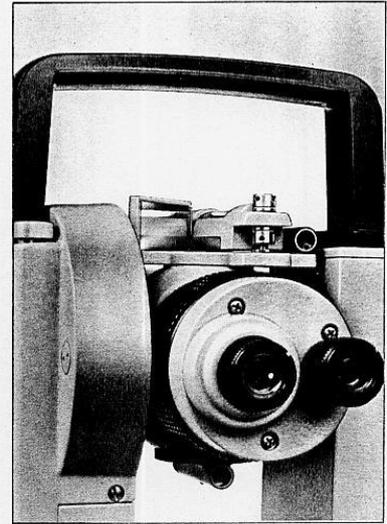
contenant l'appareil avec sa poignée de transport, boîtier d'éclairage des cercles, accessoires divers.



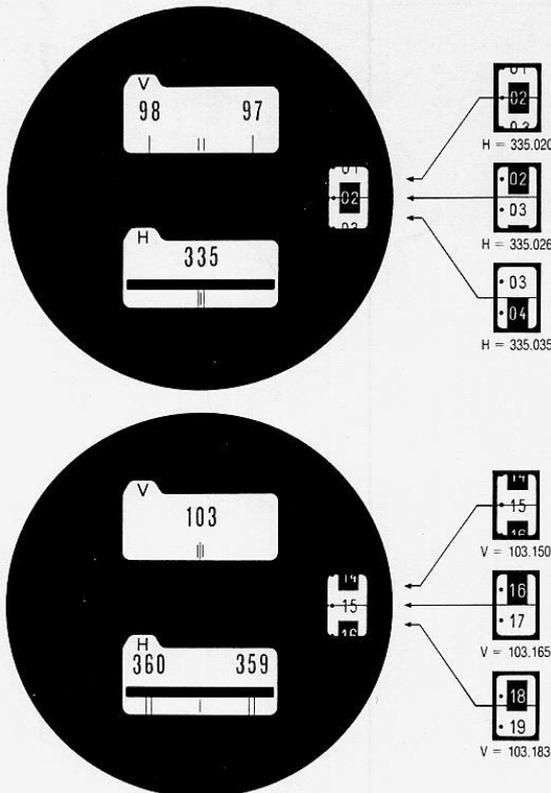


Plomb optique tournant à double réglage

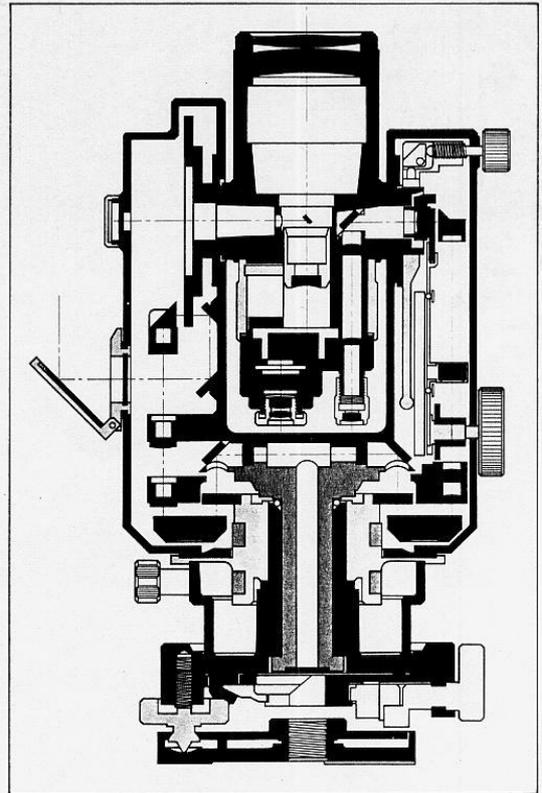
Le cercle horizontal est réitérateur et répéteur par double blocage avec fin rappel.



Toutes les observations sont regroupées à l'arrière de l'appareil. La poignée supérieure facilite le transport aux changements de stations.



Exemples de lecture de cercles.



Coupe de l'instrument.

Fabrique au Japon pour SLOM - S.S.O.I.



## 6-2- Mesure des angles verticaux:

Cette mesure se fait à l'aide d'un cercle fixe portant les index de lecture et d'un cercle mobile portant une graduation (limbe vertical). Ces cercles sont centrés sur l'axe secondaire et lui sont perpendiculaires. L'origine des lectures correspond à une direction privilégiée: l'horizontale ou la verticale.

## 6-3- Modes opératoires:

### 1- Répétition:

Elle consiste à mesurer plusieurs fois l'angle à déterminer en changeant à chaque fois l'orientation du limbe, de manière à utiliser tout le cercle divisé. Ce ci permet de diminuer l'erreur de division du limbe. Pour que l'appareil soit répétiteur, il faut qu'on puisse rendre l'alidade d'une part et le limbe d'autre part, séparément et à volonté, libres ou solidaires du bâti inférieur.

### 2- Tour d'horizon:

Quand on a plusieurs angles adjacents à mesurer, on choisit une direction SR comme référence puis on vise successivement les points en effectuant les lectures correspondantes sur le limbe. On ferme le tour d'horizon en pointant à nouveau R. La nouvelle lecture sur R diffère de la première d'une quantité appelée écart de fermeture, qui doit être admissible. Un tour d'horizon est dit orienté lorsqu'on connaît le gisement de la direction correspondant à la lecture zéro sur le limbe de l'appareil.

#### a- Mode goniométrique:

Une direction peut être obtenue par rapport à des directions précédemment déterminées. Si le gisement de la direction OA est connu, la mesure de l'angle AOB permet de déterminer le gisement de la direction OB.

$$G_{OB} = G_{OA} + AOB.$$

#### b- Mode décliné:

Dans ce cas, on détermine la direction par rapport à la direction du nord magnétique donnée par l'aiguille aimantée (déclinatoire).

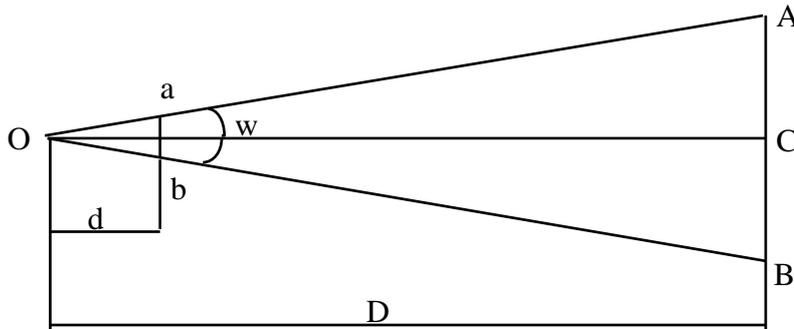
## 7- TACHEOMETRE:

C'est un instrument qui permet d'effectuer des mesures angulaires et des mesures indirectes de longueurs (distances et dénivelées).

### 7-1- Mesure indirecte des distances:

On peut mesurer une distance entre deux points sans la parcourir, mais en utilisant une mire spéciale appelée stadia et un instrument stadimétrique. La mire est dressée à l'une des extrémités de la ligne à mesurer et dont les lectures se font à l'aide d'un instrument mis en station à l'autre extrémité. La stadimétrie est basée sur la propriété des triangles semblables. Soit à mesurer la distance  $D = OC$ . On place l'instrument au point O et la mire est dressée suivant la verticale AB à l'autre extrémité.

L'opérateur vise à travers un écran transparent ab (fils stadimétriques du réticule) et note les divisions correspondantes à A et B de la mire.



$$AB = H \quad ab = h$$

d et h sont des constantes déterminées par le constructeur.

On a:  $H/h = D/d$  de cette relation on peut tirer l'expression  $D = (d/h) \cdot H$

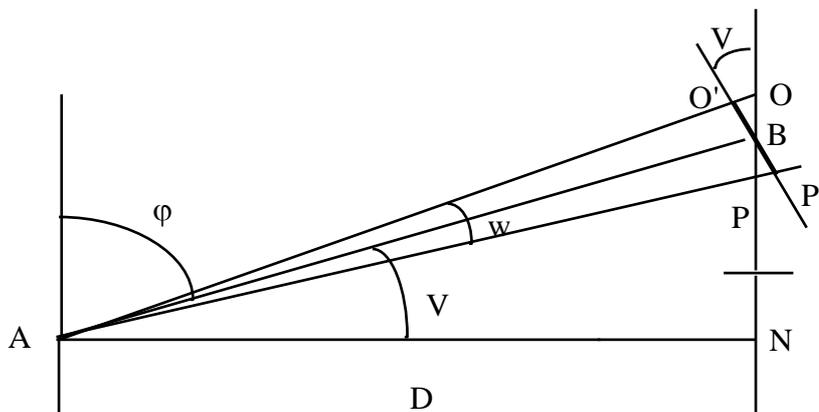
H est évalué par la différence des deux lectures faites sur la mire ( $H = L_A - L_B$ ).

Pour un instrument donné le rapport ( $d/h = K$ ) est calculé une fois pour toutes. La relation donnant la distance D devient:

$$D = K \cdot H = K \cdot (\text{fil sup.} - \text{fil inf.})$$

Certains constructeurs déterminent le coefficient K par une valeur donnée en chiffres ronds ( $K=100$  par exemple), de telle manière qu'il suffit de multiplier H par 100 pour obtenir la distance cherchée D. Les instruments stadimétriques correspondants sont dit à angle w constant.

### 7-2- Effet de l'inclinaison:



$$AB = K \cdot O'P'$$

$$D = AB \cdot \cos V$$

$$O'P' = OP \cdot \cos V$$

$$D = K \cdot OP \cdot \cos^2 V$$

$$D = K \cdot OP \cdot \sin^2 \phi$$

avec  $OP = (\text{fil sup} - \text{fil inf})$

$$NB = AB \cdot \sin V$$

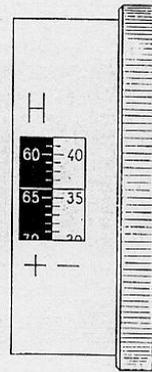
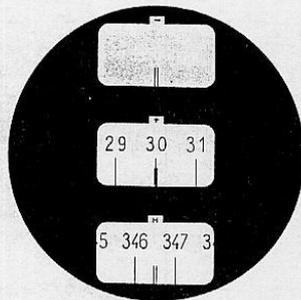
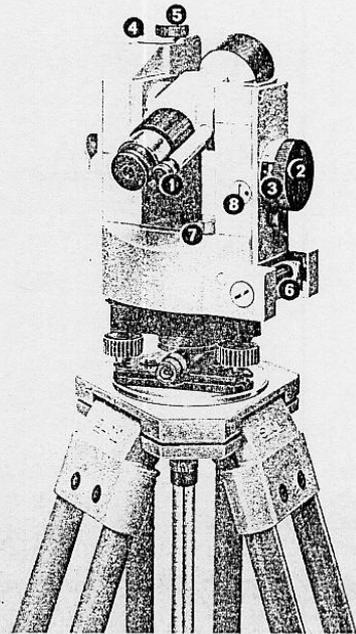
$$NB = K \cdot O'P' \cdot \sin V$$

$$NB = K \cdot OP \cdot \cos V \cdot \sin V$$

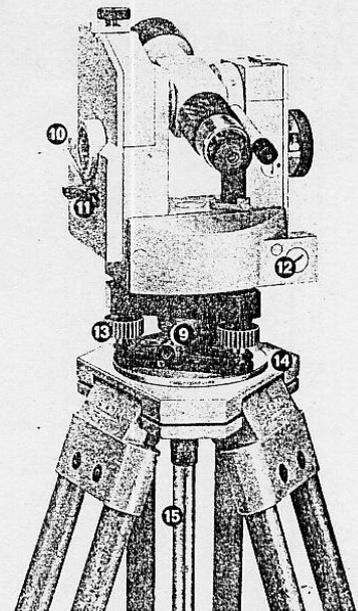
$$NB = 0.5 K \cdot OP \cdot \sin 2V$$

$$NB = 0.5 K \cdot OP \cdot \sin 2\phi$$

- ① Oculaire de lecture des angles et des tangentes
- ② Tambour d'appoint des angles et des tangentes
- ③ Fenêtre de lecture du micromètre d'appoint des angles et tangentes
- ④ Levier de blocage de la lunette
- ⑤ Vis de fin rappel de la lunette
- ⑥ Nivelle tubulaire principale
- ⑦ Pince de répétition
- ⑧ Réglage de la réglette des tangentes



- Champ du microscope de lecture  
Exemple de lecture de la pente positive + 30,640
- ⑨ Centrage optique
  - ⑩ Glace d'éclairage du cercle et de la réglette des tangentes
  - ⑪ Levier des rapports tachéométriques
  - ⑫ Bouchon de réglage de la nivelle principale
  - ⑬ Vis calantes
  - ⑭ Tête à translation du trépied
  - ⑮ Canne de centrage (éventuellement)



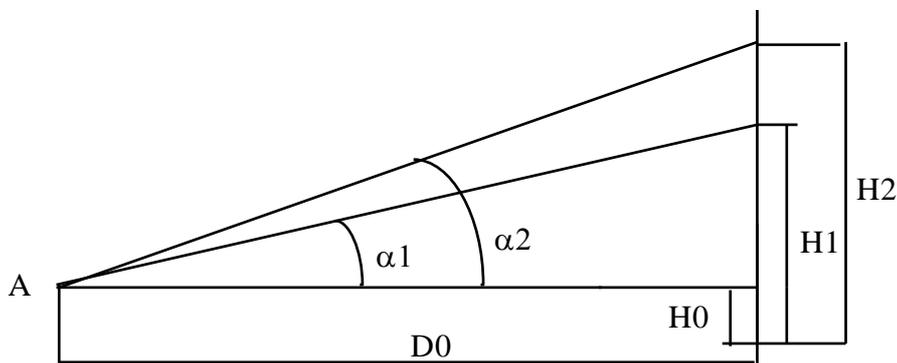
En général, le tachéomètre permet de mesurer les pentes, c'est à dire les tangentes des angles d'inclinaison tels que  $V$ . Les tachéomètres non réducteurs donnent la valeur de la distance allant du centre de l'appareil au point de visée sur la mire suivant la pente de la ligne de visée (AB). Cette distance doit être ramenée à l'horizontale par calcul (en multipliant par  $\cos^2 V$  ou  $\sin^2 \phi$ ). Les tachéomètres autoréducteurs donnent directement la distance réduite à l'horizontale.

### 7-3- Principe de l'auto-réduction:

On cherche à déterminer la distance  $OB = D_0$ . Si F est l'origine de la graduation de la mire, on a les relations suivantes:

$$FA = FB + BA \quad \text{ou} \quad H = H_0 + D_0 \cdot \text{tg } \alpha \quad (1)$$

Lorsqu'on effectue deux visées, on obtient:



$$H_1 = H_0 + D_0 \cdot \text{tg } \alpha_1 \quad \text{et} \quad H_2 = H_0 + D_0 \cdot \text{tg } \alpha_2$$

A partir de ces deux relations, on peut déterminer  $D_0$ .

$\text{tg } \alpha = P$  = pente de visée. La relation (1) devient:

$$H = H_0 + D_0 \cdot P$$

En faisant une différentielle par rapport à  $P$ , on obtient:

$$dH = D_0 \cdot dP \quad D_0 = dH/dP$$

Comme  $D_0$  est une constante, la formule s'applique à des variations  $\Delta H$  et  $\Delta P$  non infiniment petites de  $H$  et  $P$ . Donc  $D_0 = \Delta H/\Delta P$

$\Delta P$  est appelé rapport diastimométrique. Dans la pratique, le constructeur adopte des rapports  $\Delta P$  simples comme par exemple pour le tachéomètre SLOM STA 32, on a:

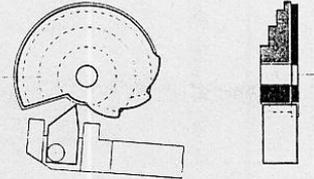
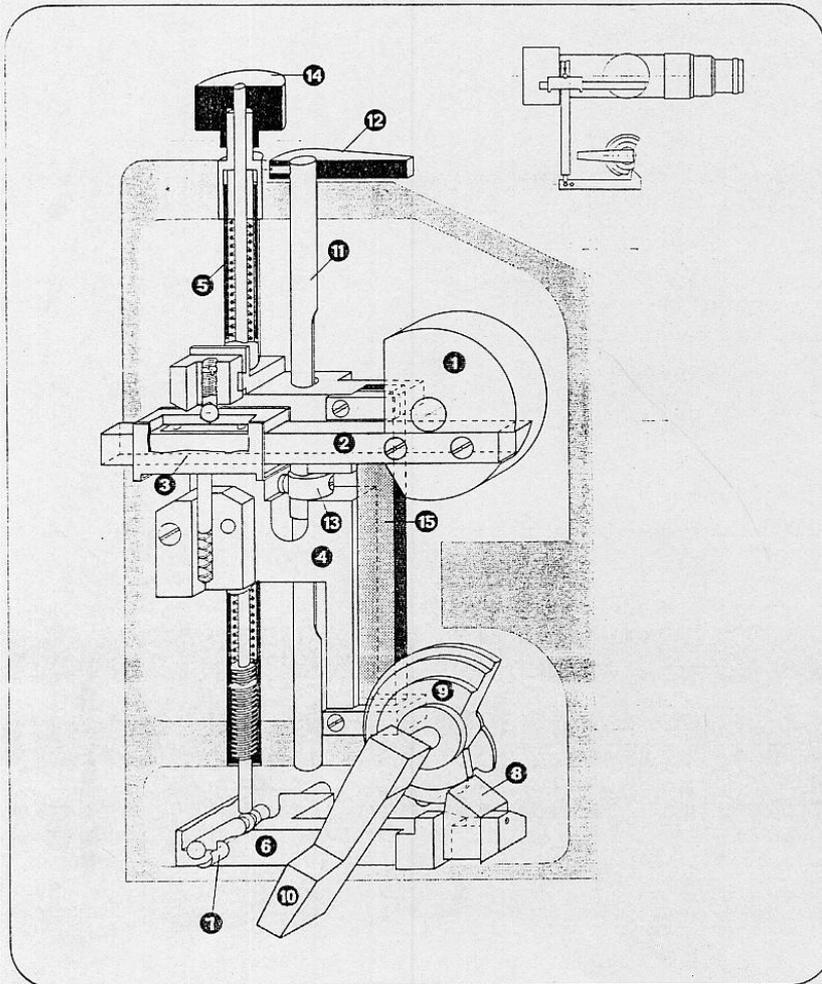
$$\Delta P_1 = 0.010 \quad \Delta P_2 = 0.018 \quad \Delta P_3 = 0.022$$

Les  $\Delta H$  correspondent à la différence de lecture sur le fil axial, le levier des rapports tachéométriques étant en position zéro ( $L_0$ ) et les autres positions ( $L_i$ ).

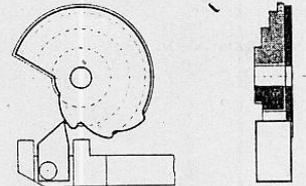
$$\Delta H_1 = L_1 - L_0 \quad \Delta H_2 = L_2 - L_0 \quad \Delta H_3 = L_3 - L_0$$

Dans ce cas le levier des rapports tachéométriques, commandant la lunette topographique, a quatre positions (0, 1, 2 et 3).

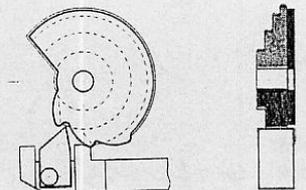
## Système autoréducteur



1 - Couteau sur position 0



2 - Couteau en cours de transfert sur la came des rampes



3 - Couteau posé sur la position 1

12

Exemple (voir également exemple du carnet) :

Position 0 = 100,0 cm

Position 1 = 170,4 cm

Position 2 = 226,7 cm

Position 3 = 254,9 cm

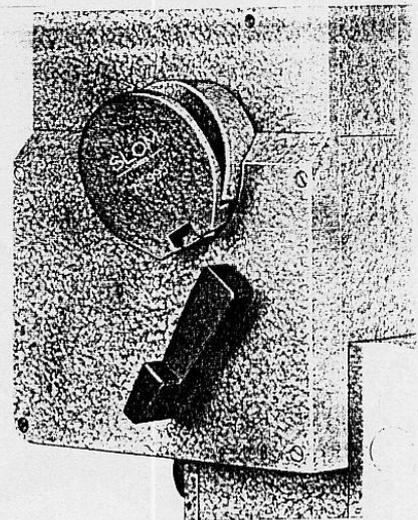
$$Dm = \frac{(170,4 - 100,0) \text{ cm}}{1} = 70,4 \text{ m}$$

$$Dm = \frac{(226,7 - 100,0) \text{ cm}}{1,8} = 70,39 \text{ m}$$

$$Dm = \frac{(254,9 - 100,0) \text{ cm}}{2,2} = 70,41 \text{ m}$$

$$Dm = \frac{(170,4 - 100,0) + (226,7 - 100,0)}{5}$$

$$+ \frac{(254,9 - 100,0) \text{ cm}}{5} = 70,40 \text{ m}$$



Levier des rapports

### Exemple de mesure

$L_0 = 100.0 \text{ cm}$	$D_0 = (170.4 - 100)/1 = 70.40 \text{ m}$
$L_1 = 170.4 \text{ cm}$	$D_0 = (226.7 - 100)/1.8 = 70.39 \text{ m}$
$L_2 = 226.7 \text{ cm}$	$D_0 = (254.9 - 100)/2.2 = 70.41 \text{ m}$
$L_3 = 254.9 \text{ cm}$	$D_{\text{moy}} = (170.4 + 226.7 + 254.9 - 3 \times 100)/5 = 70.40 \text{ m}$

NB: Comme les lectures  $L_i$  sont en cm, les différents  $\Delta P$  sont multipliés par 100 pour obtenir des distances en mètres.

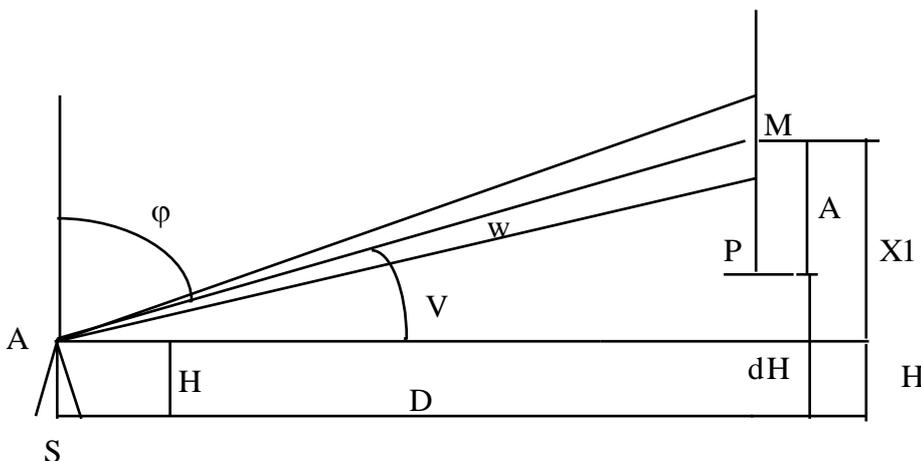
### 7-4- Nivellement indirect:

#### Principe:

Le nivellement indirect ou trigonométrique s'effectue par visées inclinées (pas avec le niveau). Connaissant la distance horizontale entre deux points à niveler, ainsi que l'angle de visée, la dénivelée entre ces points se détermine par le calcul.

Soient S et P les deux points dont on cherche la dénivelée. On stationne l'appareil en S et on vise une mire au point P. On effectue les opérations suivantes:

- On mesure la hauteur  $H$  comprise entre le point S au sol et l'axe secondaire de l'appareil.
- On mesure la distance horizontale  $D$  séparant les deux points S et P.
- On fait avec l'appareil une visée inclinée sur un point M quelconque de la mire.
- On mesure la hauteur  $A$  entre P et M en lisant sur la mire la graduation correspondant au fil axial (niveleur) du réticule.
- On lit l'angle vertical  $V$  formé par l'horizontale et la ligne de visée sur M.
- On calcule la différence de niveau  $dH$  en appliquant les relations suivantes:



$$\begin{aligned} X1 &= D \cdot \operatorname{tg} V = D \operatorname{cotg} \varphi \\ H + X1 &= dH + A \\ dH &= H + X1 - A \\ C_P &= C_S + dH \end{aligned}$$

Avec  $C_P$  et  $C_S$  les cotes des points P et S.

#### Exemple:

Cas d'un théodolite.

H: hauteur du théodolite (axe secondaire) = 1.40 m

$C_S$ : cote de la station = 5.895 m

A: lecture sur le fil axial = 1200 mm fil sup = 1364 mm fil inf = 1036 mm

D: distance horizontale = 32.80 m = 100 (fil sup - fil inf).  $\cos^2 V$   
 V: angle vertical = 0.300 gr  
 dH = +0.435 m      Cp = 6.330 m.

## 8- ALIDADE OPTOREDUCTRICE:

### 8-1- Description:

L'alidade optoréductrice est un instrument topographique permettant la mesure des distances réduites à l'horizontale et des dénivelées. Elle comprend:

- une lunette mobile autour d'un axe horizontal et comportant le dispositif optoréducteur,
- une colonne supportant l'axe de tourillonnement de la lunette et reposant sur un socle,
- un socle comportant une nivelle et une réglette,
- des règles ayant des échelles différentes (1/1000, 1/1250, 1/2000, et 1/2500).

### 8-2- Dispositif optoréducteur:

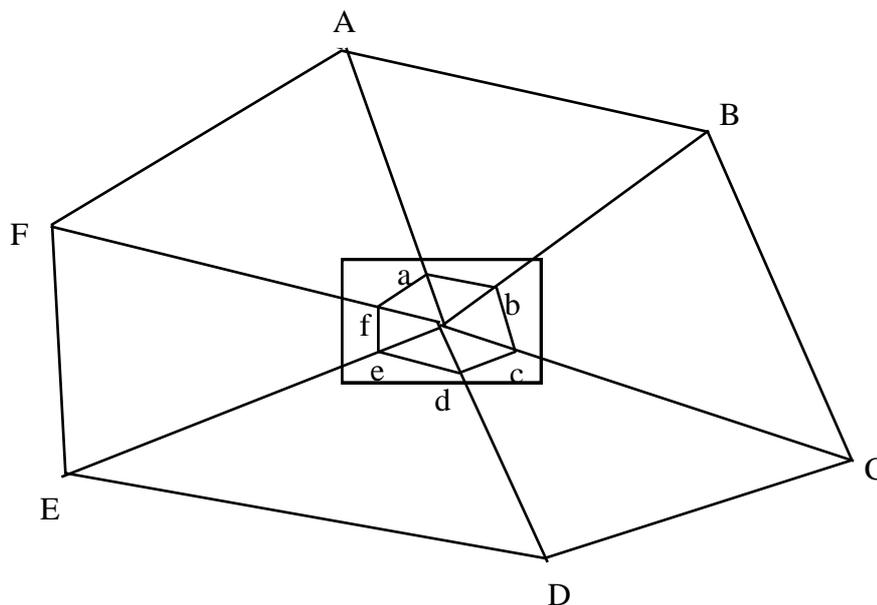
Ce dispositif laisse apparaître dans le champ de la lunette quatre traits légèrement incurvés qui sont de bas en haut:

- la courbe origine,
- la courbe altimétrique au 1/50<sup>ème</sup> pour la mesure des dénivelés,
- les deux courbes télémétriques 1/100<sup>ème</sup> et 1/50<sup>ème</sup> pour la mesure des distances, et deux traits marginaux verticaux.

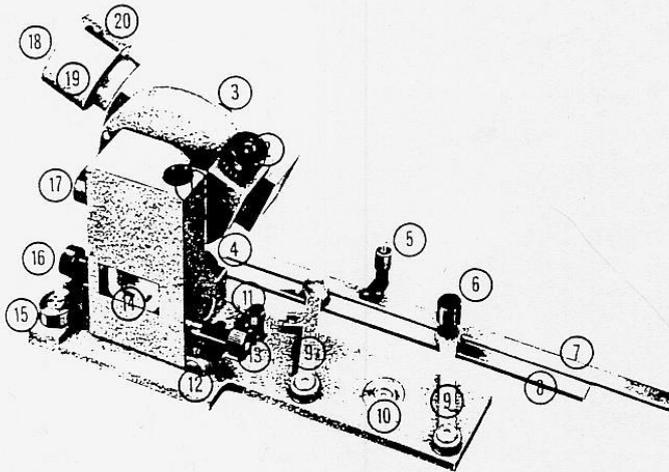
### 8-3- Mode opératoire:

#### a- Levé à la planchette par rayonnement:

L'opérateur doit choisir son point de station au centre approché du terrain, de manière à voir tous les points à viser. On vise successivement les différents points et on les reporte sur la feuille de papier à une échelle convenable. Le polygone obtenu (a, b, c, d, e, f) est rigoureusement semblable au polygone à lever (A, B, C, D, E, F).



# ALIDADE OPTOREDUCTRICE SAOR



1. Oculaire d'observation de la nivelle tubulaire du cercle diagramme.
2. Oculaire.
3. Bouton de mise au point lunette.
4. Bouton de calage de la nivelle transversale.
5. Piquoir de l'échelle amovible.
6. Bouton de manoeuvre du translateur.
7. Echelle amovible coulissante.
8. Règle parallèle du translateur.
9. Bras du translateur.
10. Nivelle sphérique.
11. Vis de blocage du translateur.
12. Nivelle transversale.
13. Vis de fin rappel en inclinaison.
14. Fenêtre d'éclairage de la nivelle tubulaire du cercle diagramme.
15. Bouton de fin rappel en direction.
16. Vis de fin calage de la nivelle tubulaire du cercle diagramme.
17. Vis de blocage en site de la lunette.
18. Objectif.
19. Pare-soleil objectif incorporé.
20. Dispositif de pointage rapide en direction.

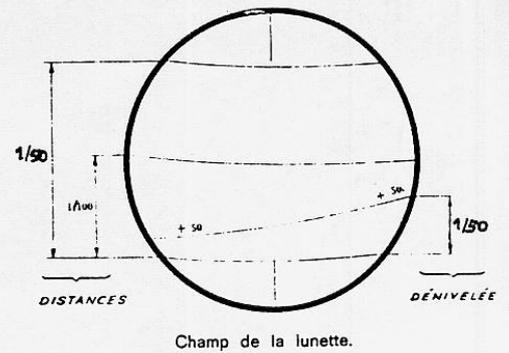
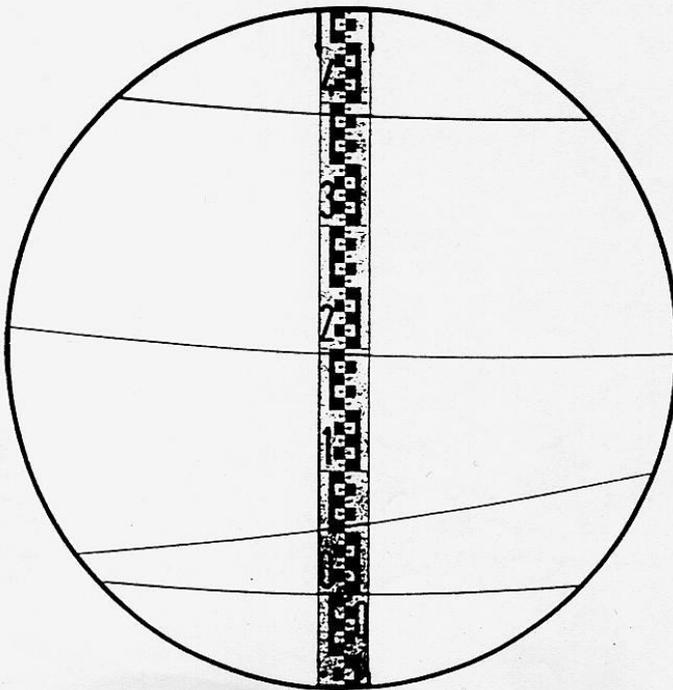
2° Un dispositif optoréducteur qui laisse apparaître dans le champ de la lunette  
4 traits légèrement incurvés qui sont de bas en haut :

- la courbe origine
  - la courbe altimétrique au 1/50 (toujours marquée + ou - 50)
  - les deux courbes télémétriques 1/100 et 1/50
- 2 traits marginaux, parties d'un même diamètre.

### EXEMPLE DE LECTURE

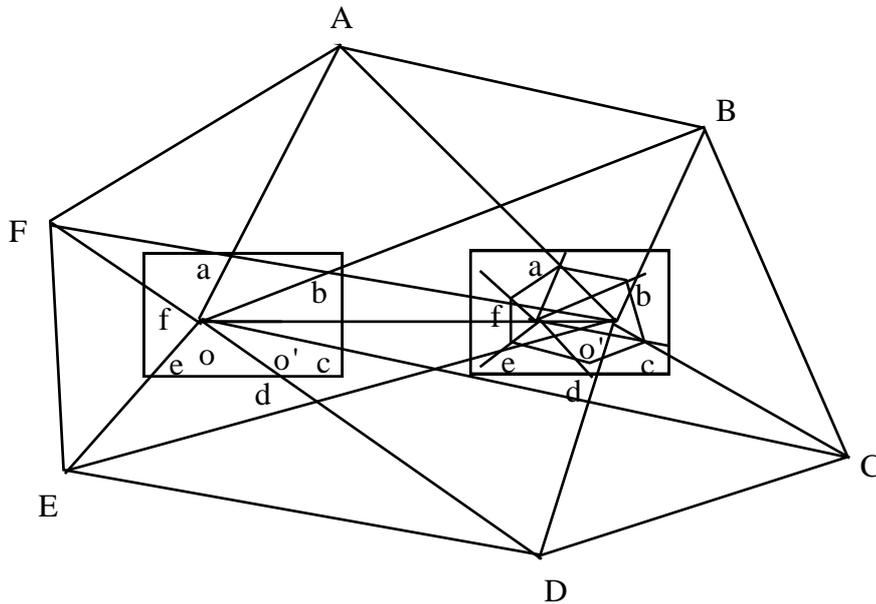
Dénivelée 5.50 m

Distance 39.00 m



### b- Levé par intersection:

L'opérateur commence par choisir une base de départ  $OO'$  qu'il mesure avec beaucoup de précision. Il reporte cette base sur la feuille de la planchette en  $oo'$  à l'échelle choisie. La planchette étant stationnée en  $O$ , on vise tous les points puis on change de station on  $O'$  et on vise de nouveau les différents points. A chaque fois on trace sur la feuille la direction  $OP$  ou  $O'P$ . L'intersection des deux directions issues de  $o$  et de  $o'$  vers le point  $p$ , donne le point correspondant à l'échelle de réduction choisie. L'ensemble des points d'intersection forme le levé du terrain.



### c- Levé par cheminement:

On opère de la même manière qu'avec un théodolite. A partir de la première station on effectue le levé d'une partie du cheminement en appliquant le rayonnement. Puis on choisit sur le terrain une nouvelle station  $O'$  qu'on reporte sur la planchette. On change de station à  $O'$  et on exécute le reste du levé comme précédemment.

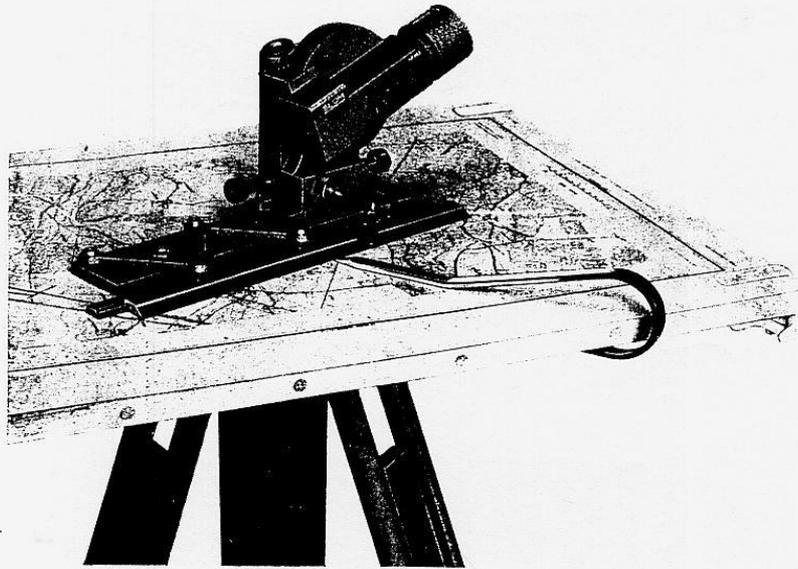


FIG. 252. — Exécution d'un levé à la planchette avec alidade optoréductrice SAOR, modèle SLOM.

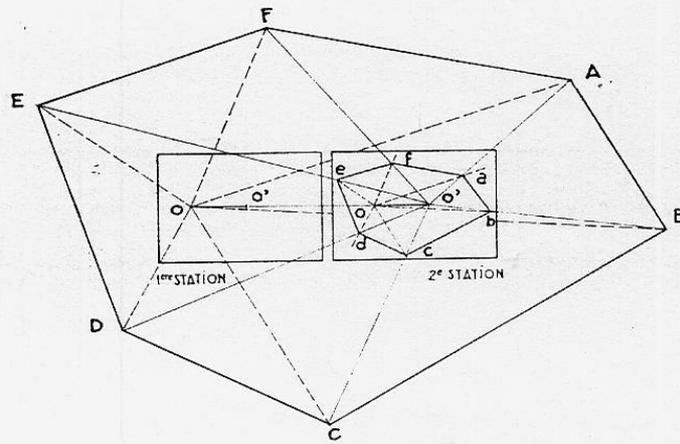


FIG. 257. Levé à la planchette par intersection.

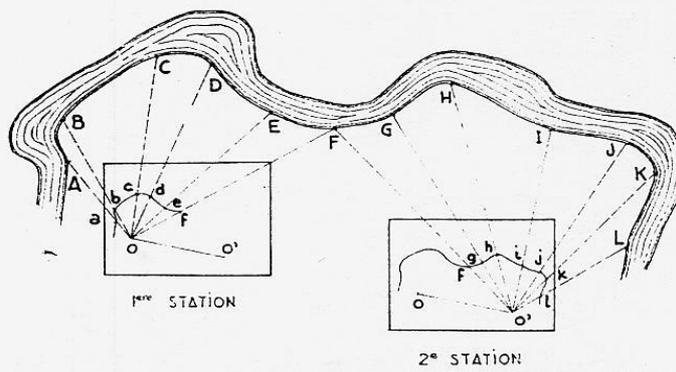
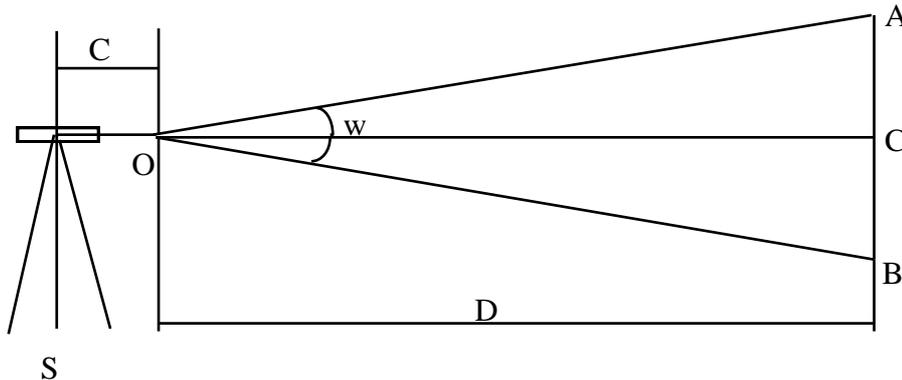


FIG. 258. Levé à la planchette par cheminement.

#### 4- Remarques:

##### a- Constante additionnelle:

Dans le cas où le foyer objet  $O$  de l'objectif ne coïncide pas avec l'axe principal et sa projection verticale  $S$  au sol, on doit ajouter à la distance  $D$  mesurée une correction  $C$ . Cette distance  $C$  constitue la correction d'anallatisme et sa valeur est appelée constante additionnelle. Un système optique permet de ramener  $O$  à la verticale de  $S$  et la lunette est alors dite anallatique ( $C=0$ ).



##### b- Limite d'emploi des instruments:

Toute mesure sur le terrain se traduit pour le topographe par un report graphique entaché par conséquent de l'erreur graphique dont la valeur moyenne est  $1/10^{\text{ème}}$  mm. Il en résulte que:

- Il ne faut pas employer des instruments trop précis engendrant des erreurs nettement inférieures à l'erreur graphique.
- Les instruments ne peuvent être employés au delà d'une certaine portée maximale qui constitue leur limite d'utilisation. Cette limite est donnée par les constructeurs pour chaque

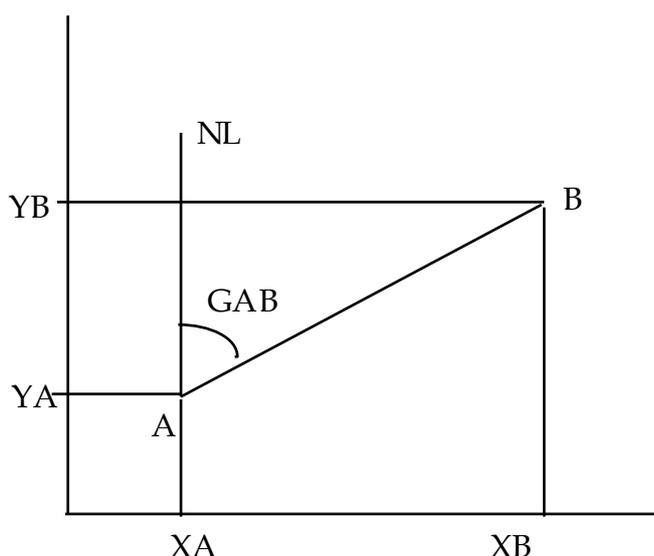
### III- CALCULS DANS LE SYSTEME DE COORDONNEES RECTANGULAIRES

#### Généralités:

On détermine les coordonnées des points en mesurant sur le terrain des angles et des distances. Si les coordonnées de quelques points sont connues, on peut déterminer les gisements des directions issues de ces points.

#### 1- Calcul des gisements:

Les coordonnées des points A et B sont connues, on peut déterminer le gisement de la direction AB ( $G_{AB}$ ).



$$A(X_A, Y_A) \quad B(X_B, Y_B) \quad \text{tg } G_{AB} = (X_B - X_A) / (Y_B - Y_A) = \Delta X / \Delta Y.$$

La valeur de la tangente ne suffit pas à déterminer un gisement, il faut également connaître les signes de  $\Delta X$  et de  $\Delta Y$ . Ces derniers permettent de déterminer le quadrant à quel appartient le gisement et d'appliquer la formule convenable.

- Quadrant N°1:

$$\Delta X > 0 \quad \Delta Y > 0 \quad \Delta X / \Delta Y > 0 \quad \text{Arctg } \Delta X / \Delta Y \in [0, 100[ \quad G_{OM1} \in [0, 100[ \\ G_{OM1} = \text{Arctg } \Delta X / \Delta Y.$$

- Quadrant N°2:

$$\Delta X > 0 \quad \Delta Y < 0 \quad \Delta X / \Delta Y < 0 \quad \text{Arctg } \Delta X / \Delta Y \in ]-100, 0] \quad G_{OM2} \in [100, 200] \\ G_{OM2} = \text{Arctg } (\Delta X / \Delta Y) + 200.$$

- Quadrant N°3:

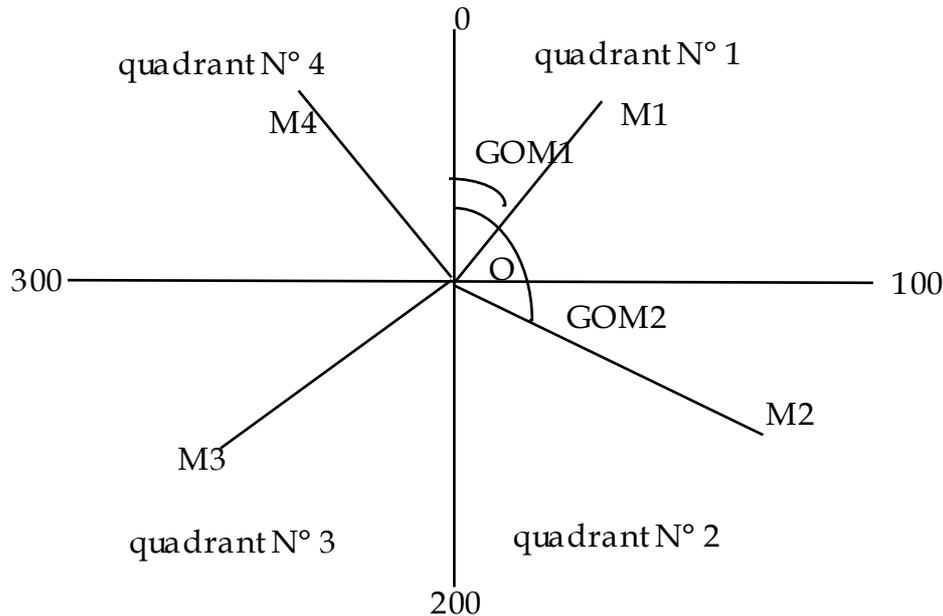
$$\Delta X < 0 \quad \Delta Y < 0 \quad \Delta X / \Delta Y > 0 \quad \text{Arctg } \Delta X / \Delta Y \in [0, 100[ \quad G_{OM3} \in [200, 300[ \\ G_{OM3} = \text{Arctg } (\Delta X / \Delta Y) + 200.$$

- Quadrant N°4:

$$\Delta X < 0 \quad \Delta Y > 0$$

$$\Delta X/\Delta Y < 0 \quad \text{Arctg } \Delta X/\Delta Y \in ]-100, 0] \quad G_{OM4} \in ]300, 400]$$

$$G_{OM4} = \text{Arctg } (\Delta X/\Delta Y) + 400.$$



### Exemple:

Soit à calculer les gisements des directions définies par les points suivants:

A(-5, 3) B(2, -7) C(5, 3) D(2, 7)

a-  $G_{AB}$ :

$$\Delta X = X_B - X_A = 7 > 0 \quad \Delta Y = Y_B - Y_A = -10 < 0 \quad \Delta X/\Delta Y = -0.7 < 0$$

$$\Rightarrow \text{quadrant N}^\circ 2 \quad G_{AB} = \text{Arctg } (\Delta X/\Delta Y) + 200 = 161.120 \text{ gr.}$$

b-  $G_{AD}$ :

$$\Delta X = 7 > 0 \quad \Delta Y = 4 > 0 \quad \Delta X/\Delta Y = 7/4 > 0$$

$$\Rightarrow \text{quadrant N}^\circ 1 \quad G_{AD} = \text{Arctg } (7/4) = 66.95 \text{ gr.}$$

## 2- Calcul des coordonnées:

Soit à calculer les coordonnées d'un point M ( $X_M, Y_M$ ) levé par rayonnement, connaissant les coordonnées du point A, le gisement de AM et la distance AM.

Les formules à appliquer sont:

$$X_M = X_A + AM \sin(G_{AM})$$

$$Y_M = Y_A + AM \cos(G_{AM})$$

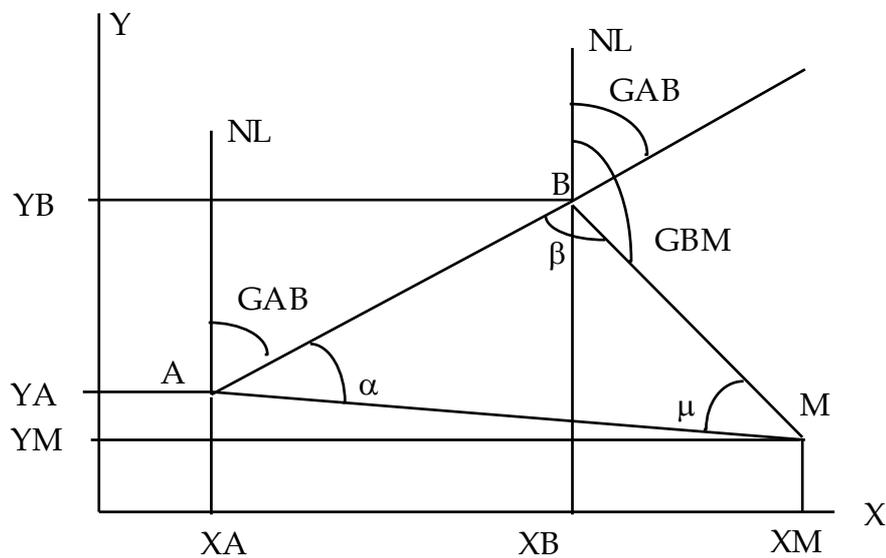
### Exemple:

$$\begin{aligned} A(-5, 3) \quad AM = 12.2 \text{ m} \quad G_{AM} = 161.120 \text{ gr} \\ XM = XA + AM \sin(G_{AM}) = -5 + 12.2 \sin(161.12) = 1.996 \\ YM = YA + AM \cos(G_{AM}) = 3 + 12.2 \cos(161.12) = -6.994 \\ M(1.996, -6.994). \end{aligned}$$

### 3- Triangulation:

#### 3-1- Principe de calcul de l'intersection à partir de deux visées:

Les points A et B sont connus et stationnables, on cherche à déterminer la position d'un point M non stationnable. Sur le terrain on mesure les angles horizontaux  $\alpha$  et  $\beta$ .



Nous avons besoin des gisements AM et BM.

On commence par le calcul de  $G_{AB}$ .

$$XM = XA + AM \sin(G_{AM})$$

$$YM = YA + AM \cos(G_{AM}) \Rightarrow AM = (YM - YA) / \cos(G_{AM})$$

$$G_{AM} = G_{AB} + \alpha$$

$$G_{BM} = G_{BA} - \beta \Rightarrow \beta = G_{BA} - G_{BM}$$

$$G_{BM} = G_{AB} + 200 - \beta$$

$$G_{MB} = G_{MA} + \mu \Rightarrow \mu = G_{BM} - G_{AM}.$$

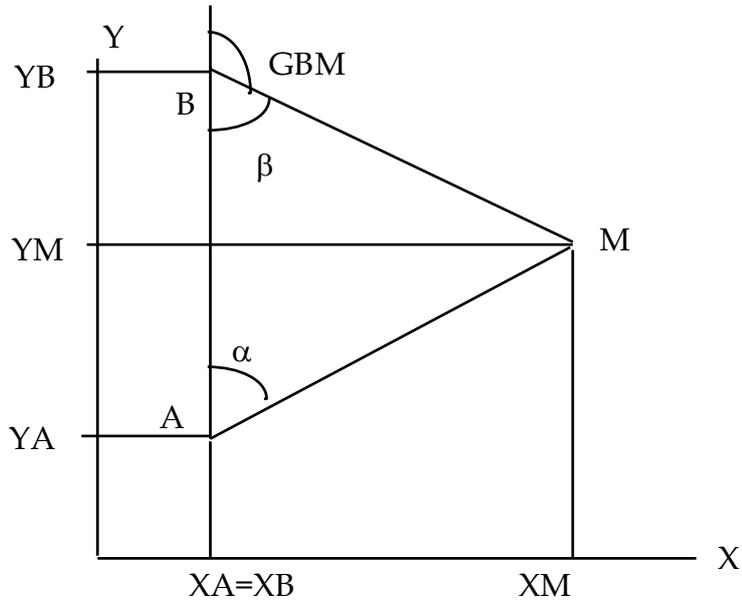
$$YM = YA + [(XA - XB) + (YB - YA) \cdot \text{tg}(G_{BM})] / [\text{tg}(G_{BM}) - \text{tg}(G_{AM})]$$

$$XM = XA + (YM - YA) \cdot \text{tg}(G_{AM})$$

#### 3-2- Exemple:

Déterminez les coordonnées du point M sachant que:

$$A(4, 1) \quad B(4, 5) \quad \alpha = \beta = 50 \text{ gr}.$$



$$G_{AM} = G_{AB} + \alpha = 0 + 50 = 50 \text{ gr} \quad \text{tg}(G_{AM}) = 1$$

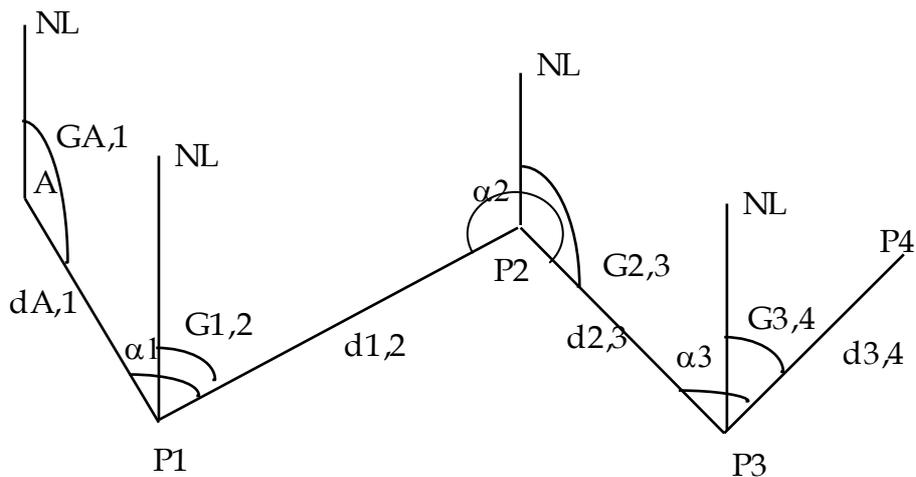
$$G_{BM} = G_{BA} - \beta = 200 - 50 = 150 \text{ gr} \quad \text{tg}(G_{BM}) = -1$$

$$YM = 1 + [0 + 4 \cdot (-1)] / [(-1) - 1] = 3$$

$$XM = 4 + (3 - 1) \cdot (1) = 6 \quad \Rightarrow \quad M(6, 3)$$

#### 4- Polygonation:

##### 4-1- Coordonnées des sommets:



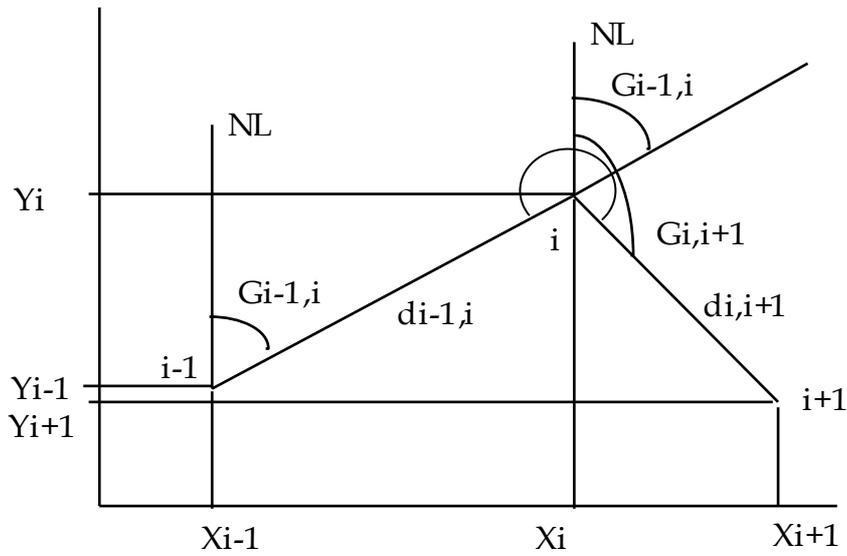
Connaissant les coordonnées du point  $P_{i-1}$  et  $P_i$ , on peut déterminer ceux du point  $P_{i+1}$ .

$$G_{i-1,i} = \text{Arctg}((X_i - X_{i-1}) / (Y_i - Y_{i-1})) + (0, 200 \text{ ou } 400 \text{ suivant le quadrant})$$

$$G_{i,i+1} = G_{i-1,i} + 200 + \alpha_i$$

$$X_{i+1} = X_i + d_{i,i+1} \sin(G_{i,i+1})$$

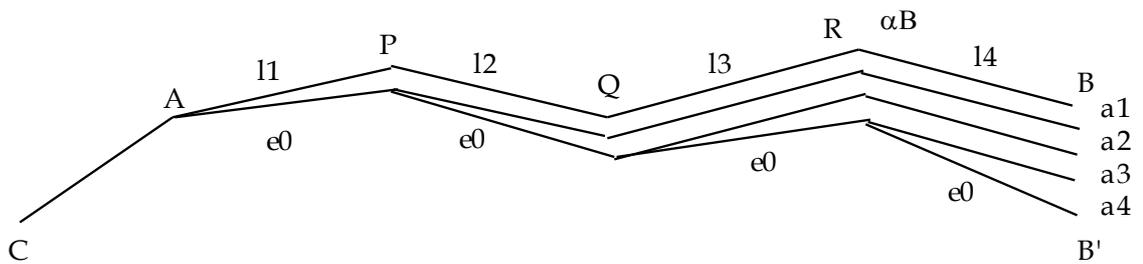
$$Y_{i+1} = Y_i + d_{i,i+1} \cos(G_{i,i+1})$$



Ces relations permettent de calculer les coordonnées des différents sommets de proche en proche. Chaque mesure est entachée de deux types d'erreurs: erreurs angulaires et erreurs linéaires.

#### 4-2- Cas des erreurs angulaires:

Ces erreurs déplacent le point final perpendiculairement à la direction générale du cheminement.



L'erreur moyenne quadratique (a) qu'on fait au bout d'un cheminement comportant n tronçons peut être obtenue par la formule suivante:

$$a = e_0 \cdot L \sqrt{\frac{n}{3}}$$

$$a = 0,000157 \cdot e \cdot L \sqrt{\frac{n}{3}}$$

$$T_{\text{ang}} = 2,7 \cdot a = 2,7 \cdot 0,000157 \cdot e \cdot L \sqrt{\frac{n}{3}}$$

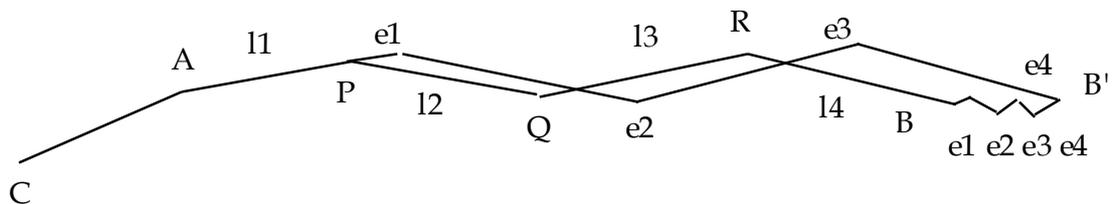
$e_0$ : erreur moyenne quadratique qu'on fait sur la mesure d'un angle (rd).

$e$ : erreur moyenne quadratique qu'on fait sur la mesure d'un angle (cgr).

$L$  (m),  $e$  (cgr) et  $T_{\text{ang}}$  (m).

#### 4-3- Cas des erreurs linéaires:

Ces erreurs déplacent le point final dans la direction générale du cheminement.



L'erreur moyenne quadratique ( $b$ ) qu'on fait au bout d'un cheminement de longueur  $L$  et comportant  $n$  tronçons peut être obtenue par l'une des formules suivantes:

$$b_1 = e_0 \cdot \sqrt{L}$$

$$b_2 = e_0 \cdot \sqrt{n}$$

$$T_{L_{in1}} = 2,7 \cdot b_1 = 2,7 \cdot e_0 \cdot \sqrt{L}$$

$$T_{L_{in2}} = 2,7 \cdot b_2 = 2,7 \cdot e_0 \cdot \sqrt{n}$$

$e_0$ : erreur moyenne quadratique qu'on fait sur la mesure d'une distance en (m/m) pour  $b_1$  et en (m/portée ou tronçon) pour  $b_2$ .

$L$  (m) et  $T_{lin}$  (m).

#### Exemple:

Soit un cheminement de 2500 m de longueur effectué en 10 tronçons.

L'erreur moyenne quadratique angulaire  $e = \pm 1 \text{ mgr} = 0,1 \text{ cgr}$ .

L'erreur moyenne quadratique linéaire  $e_0 = \pm 10^{-3} \text{ m/m}$ .

$$T_{\text{ang}} = 2,7.0,000157.e.L.\sqrt{\frac{n}{3}}$$

$$T_{\text{ang}} = 2,7.0,000157.0,1.2500\sqrt{\frac{10}{3}}$$

$$T_{\text{ang}} = 0,193\text{m}$$

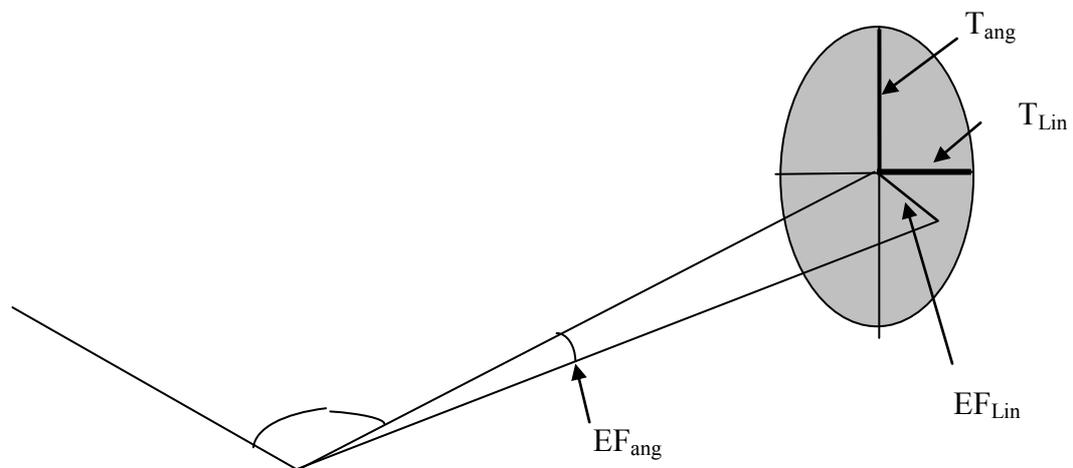
$$T_{\text{Lin}} = 2,7.e_0.\sqrt{L}$$

$$T_{\text{Lin}} = 2,7.10^{-3}.\sqrt{2500}$$

$$T_{\text{Lin}} = 0,135\text{m}$$

#### 4-4- Ecart de fermeture:

En raison des erreurs de mesure, on obtient pour B un point B' différent de sa position exacte. L'écart BB' s'appelle l'écart de fermeture linéaire. cet écart nous renseigne sur la précision du cheminement. Si cet écart est satisfaisant, il sera réparti sur les différentes mesures effectuées précédemment constituant ainsi la compensation des erreurs d'observation. On définit de la même manière un écart de fermeture angulaire qui est la différence entre les angles horizontaux  $\alpha_B$  et  $\alpha'B$ .



## IV - LES PROCÉDES PLANIMÉTRIQUES

### Généralités:

On détermine planimétriquement les points d'un levé en les rattachant à un certain nombre de points d'un canevas. Ce rattachement peut se faire:

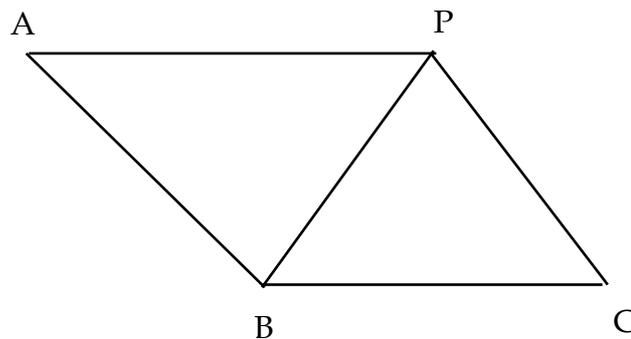
- par des mesures linéaires seules,
- par des mesures angulaires seules,
- par des mesures linéaires et angulaires.

Mais quel que soit le procédé employé, toute opération de détermination doit comporter une vérification.

### 1- Mesures linéaires seules:

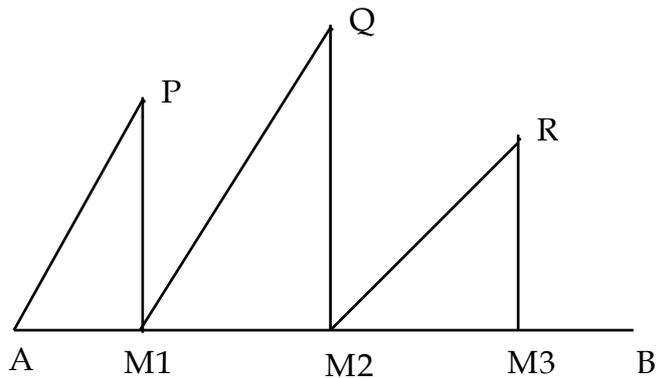
#### 1-1- Trilatération:

Les points A et B sont connus, on veut lever le point P. On mesure les distances AP et BP. Les coordonnées de P sont obtenues soit graphiquement (intersection de deux cercles) soit par le calcul. La vérification se fait à l'aide d'un point C connu en mesurant CP.



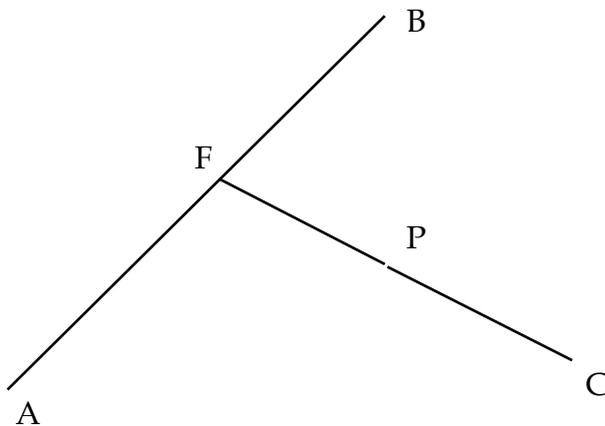
#### 1-2- Fausses abscisses et ordonnées:

Les points A et B sont connus, on veut lever les points P, Q et R. Sur le terrain on aligne M1, M2 et M3 sur AB approximativement à l'intersection des perpendiculaires abaissées de P, Q et R sur AB. On mesure les longueurs AM1, M1M2, M2M3, M3B (fausses abscisses) puis M1P, M2Q, M3R (fausses ordonnées), les diagonales AP, M1Q et M2R puis les diagonales de contrôle M2P, M3Q, et BR. Il s'agit d'une méthode graphique.



### 1-3- Alignement:

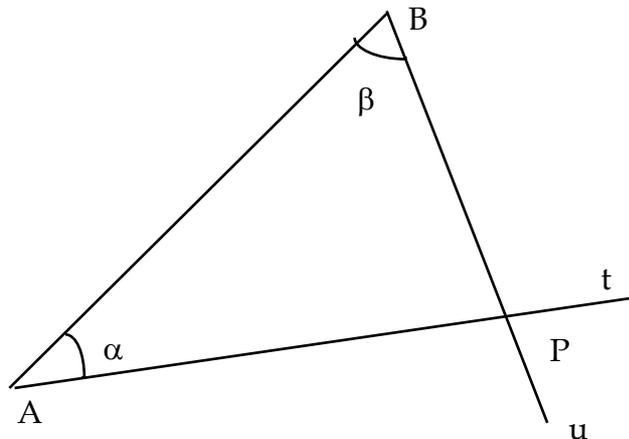
Les points A, B et C sont connus, on veut lever le point P. On détermine tout d'abord la position du point F, intersection de l'alignement AB et du prolongement de l'alignement CP. On mesure les longueurs AF, FB, CP et PF. Il s'agit d'une méthode graphique. Ce procédé est utilisé pour des levés parcellaires au 1/500<sup>ème</sup>.



## 2- Mesures angulaires seules:

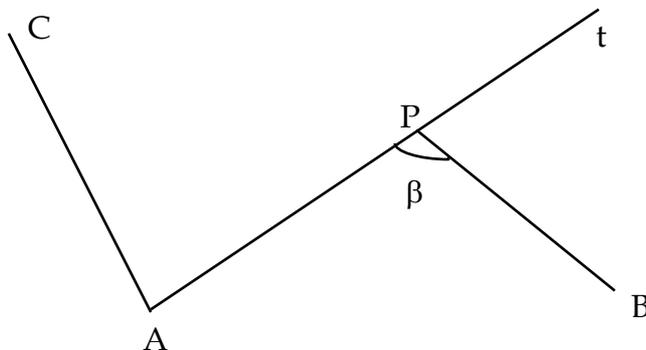
### 2-1- Intersection:

Les points A et B sont connus et stationnables, on veut déterminer la position du point inconnu P. A partir de A et B on mesure les angles horizontaux  $\alpha$  et  $\beta$ . Graphiquement, on trace les directions At et Bu. L'intersection donne le point P.



### 2-2- Recoupement:

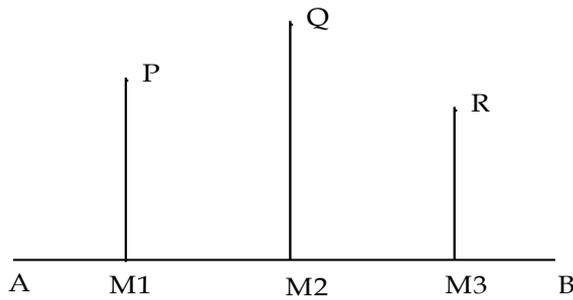
Les points A, B, C sont connus, on veut lever le point inconnu P. On fait une visée d'intersection AP orientée à partir de la direction connue AC ou AB. Depuis P, on vise A et B pour déterminer  $\beta$ .



### 3- Mesures linéaires et angulaires combinées:

#### 3-1- Levé par abscisses et ordonnées:

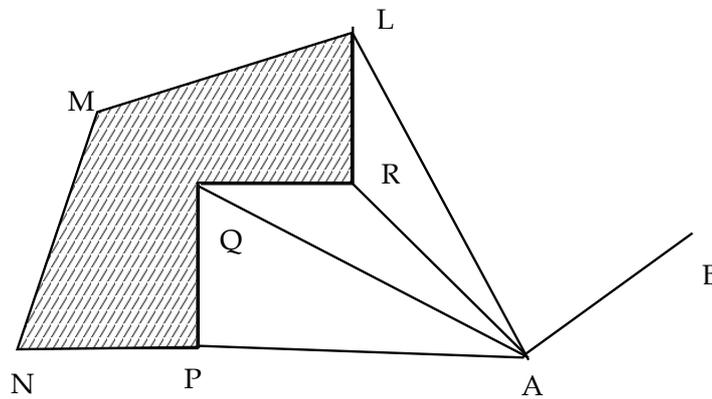
C'est un procédé analogue à la méthode des fausses abscisses et ordonnées mais il se pratique à l'aide de l'équerre optique. Ce dernier permet de placer les points M1, M2 et M3 pieds des perpendiculaires abaissées de P, Q et R sur la ligne de base AB. Chaque point est défini par son abscisse  $AM_i$  et son ordonnée  $M_iP_i$ . Il est contrôlé par une mesure supplémentaire AP ou un chaînage entre les points à définir PQ et QR. Ce procédé est employé pour le levé des détails des plans à très grande échelle (1/100, 1/200, 1/500).



### 3-2- Levé par rayonnement:

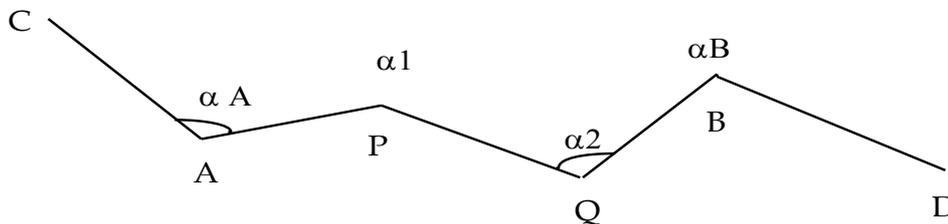
Le rayonnement est procédé topographique associant à une mesure d'angle ou tracé d'une direction, une mesure de distance dite porté du rayonnement. C'est une méthode de levé de détail pouvant être employée avec le tachéomètre, le théodolite et l'alidade optoréductrice. Ce levé s'appuie sur un système de coordonnées polaires ( $r, \alpha$ ).

Le rayonnement est direct lorsqu'on stationne le point connu A. Il peut être effectué aussi bien en mode goniométrique qu'en mode décliné. Le rayonnement est dit inverse lorsqu'on stationne le point à déterminer. Seul le mode décliné est alors possible.



### 3-3- Levé par cheminement:

Un cheminement est une succession d'opérations élémentaires de rayonnement permettant de transmettre de proche en proche la position des stations successives. Il peut s'effectuer en mode goniométrique ou en mode décliné. Lorsque le point final B est différent du point de départ A, on dit que le cheminement est ouvert. Il est d'autant plus tendu que les angles  $\alpha_A, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_B$  sont plus voisins de  $200 \text{ gr}$  et qu'ils se rapprochent de l'alignement. Lorsque le cheminement revient à son point de départ, on dit qu'il est fermé.





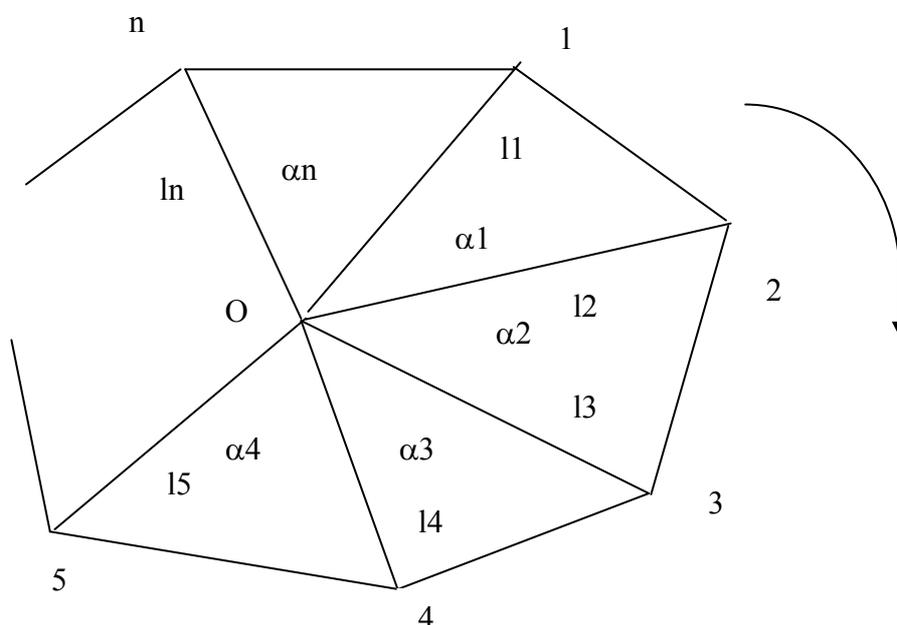
## V - CALCUL DES SURFACES

### 1- Polygones définis par coordonnées polaires des sommets :

- Choisir un sens de rotation ;
- Chaque sommet (n) est rattaché au point O par la longueur  $l_n$  et le gisement  $G_n$  ;
- Désignons par  $\alpha$  les angles au centre tels que :  $\alpha_n = G_{n+1} - G_n$  ;
- La surface du polygone est la somme algébrique des surfaces de tous les triangles :

$$2S = l_1 l_2 \sin \alpha_1 + l_2 l_3 \sin \alpha_2 + l_3 l_4 \sin \alpha_3 + \dots + l_n l_1 \sin \alpha_n.$$

Si la station O est à l'extérieur du polygone, la surface du dernier triangle ( $l_n l_1 \sin \alpha_n$ ) a un signe négatif.



### Exemple de polygone à cinq sommets:

L1 = 48.12 m	GO1 = 53.12 gr	$\alpha_1 = G02 - G01 = 46.91$ gr;
L2 = 51.33 m	GO2 = 100.03 gr	$\alpha_2 = G03 - G02 = 47.38$ gr;
L3 = 48.71 m	GO3 = 147.41 gr	$\alpha_3 = G04 - G03 = 114.12$ gr;
L4 = 57.48 m	GO4 = 261.53 gr	$\alpha_4 = G05 - G04 = 118.84$ gr;
L5 = 47.93 m	GO5 = 380.37 gr	$\alpha_5 = G01 - G05 = 72.75$ gr;
		Somme = 400.00 gr

$$2S = l_1 l_2 \sin \alpha_1 + l_2 l_3 \sin \alpha_2 + l_3 l_4 \sin \alpha_3 + l_4 l_5 \sin \alpha_4 + l_5 l_1 \sin \alpha_5$$

$$48.12 \times 51.33 \times \sin 46.91 = 1659.76$$

$$51.33 \times 48.71 \times \sin 47.38 = 1693.73$$

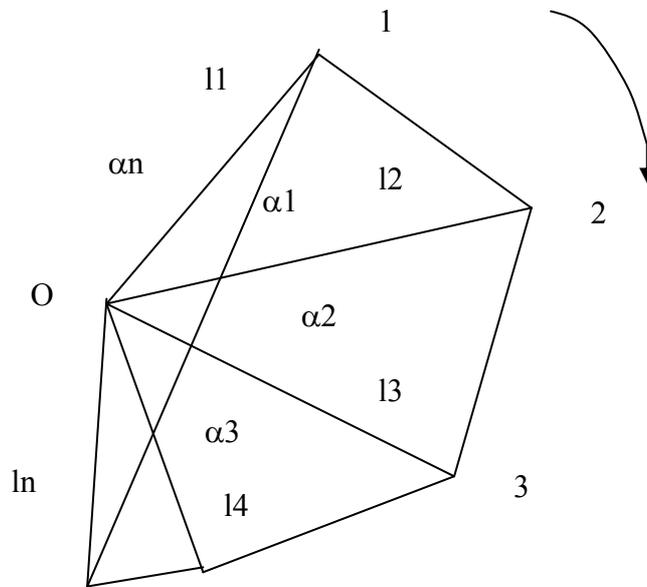
$$48.71 \times 57.48 \times \sin 114.12 = 2731.27$$

$$57.48 \times 47.93 \times \sin 118.84 = 2635.25$$

$$47.93 \times 48.12 \times \sin 72.75 = 2098.31$$

$$2S = 10818.32 \text{ m}^2$$

$$\underline{\underline{S = 5409.16 \text{ m}^2}}$$



**2- Polygones définis par coordonnées rectangulaires des sommets :**

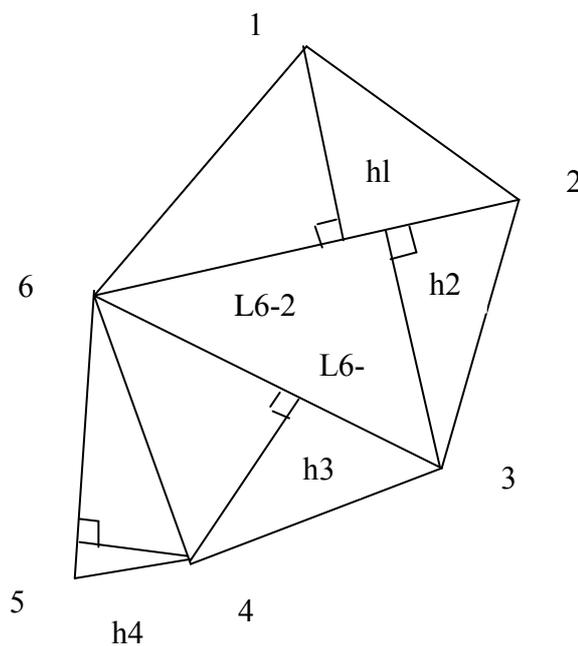
La surface d'un polygone dont on connaît les coordonnées rectangulaires des sommets peut être calculée en appliquant la formule suivante :

$$2S = \sum [X_n (Y_{n-1} - Y_{n+1})] = - \sum [Y_n (X_{n-1} - X_{n+1})]$$

**3- Cas général**

La surface d'un polygone dont on connaît les coordonnées rectangulaires des sommets peut être calculée en décomposant la figure en triangles, rectangles ou trapèzes. Soit à chercher la surface du polygone (1,2,3,4,5,6,1). On divise cette surface en plusieurs triangles. On calcule la surface de chaque triangle et on fait la somme des surfaces. On appliquera la formule suivante :  $2S = \sum (L_i H_i)$ .

Dans ce cas on a :  $2S = (L_{6-2} h_1 + L_{6-2} h_2 + L_{6-3} h_3 + L_{6-5} h_4)$



# VI TRACE DE ROUTE, PROFILS ET CUBATURES

## 1- Terminologie routière

Il est important de définir un certain nombre de termes techniques utilisés dans les travaux routiers. La chaussée est la surface de la route aménagée pour la circulation des véhicules. C'est aussi l'ensemble des couches de matériaux qui supportent le passage des véhicules. La chaussée peut être à deux ou plusieurs voies en fonction de l'importance de la route. Les accotements sont les parties de la route qui bordent la chaussée. Ils constituent avec la chaussée la plate-forme. L'assiette est la surface du terrain comprenant la plate-forme, les banquettes, les fossés, les talus et l'encombrement total de l'ouvrage. L'emprise de la route est la partie du terrain appartenant à la collectivité, affectée à la route et à ses dépendances, qui coïncide avec le domaine public.

## 2- Profils en long:

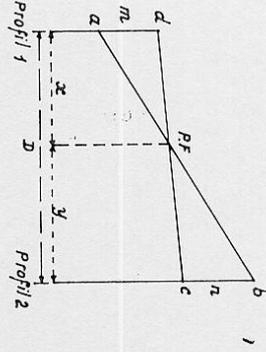
Un profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'une route. Son étude est associée à celle du tracé en plan. Dans un premier stade de tracé de route, les profils en long sont dessinés en utilisant les cartes à plus grande échelle existantes. On reporte en abscisses les distances et en ordonnées les altitudes. On adopte une échelle des hauteurs égale à dix fois celle des longueurs afin de mieux apercevoir les dénivelées du terrain. On choisit un niveau de référence appelé plan de comparaison, dont l'altitude est la plus basse des points du profil, pour limiter la hauteur des plans. Le lever d'un profil du terrain naturel peut se faire par nivellement direct ou indirect. Le profil en long du projet (ligne rouge), se décompose en une succession de lignes droites, d'arcs de cercle et de paraboles. Il doit être continu et les brusques changements de déclivité sont à proscrire. La déclivité de la route est exprimée par la tangente de l'angle compris entre l'horizontale et le côté du profil en long. Cette déclivité est appelée rampe pour les montées et pente pour les descentes.

## 2- Profils en travers:

Un profil en travers représente une coupe verticale du terrain suivant un plan perpendiculaire à l'axe de la route. Il représente le terrain naturel, le gabarit type de la route ou les deux superposés. Les profils en travers sont des sections transversales séparées correspondant à chaque point du profil en long. Ces profils sont indispensables à toute étude de tracé, notamment pour le calcul de la cubature des terrassements. Suivant le terrain naturel et le projet, on peut classer les profils en travers en trois catégories : profil en déblai, profil en remblai et profil mixte remblai / déblai. En général, l'échelle adoptée pour les profils en travers est le 1/100 ou 1/200. Elle est la même pour les hauteurs et les longueurs. Le dessin doit être exécuté de telle sorte que la partie gauche du profil corresponde au côté gauche de la voie pour un observateur tournant le dos à l'origine du profil et allant son terme final. Cette convention est appelée rabattement du profil en travers vers l'extrémité du tracé. Le profil type du projet est superposé ensuite en reportant d'abord le point d'axe dont l'altitude est donnée sur le profil en long. Les profils en travers sont numérotés sur le plan général ainsi que

sur le profil en long, de l'origine à la fin du projet.

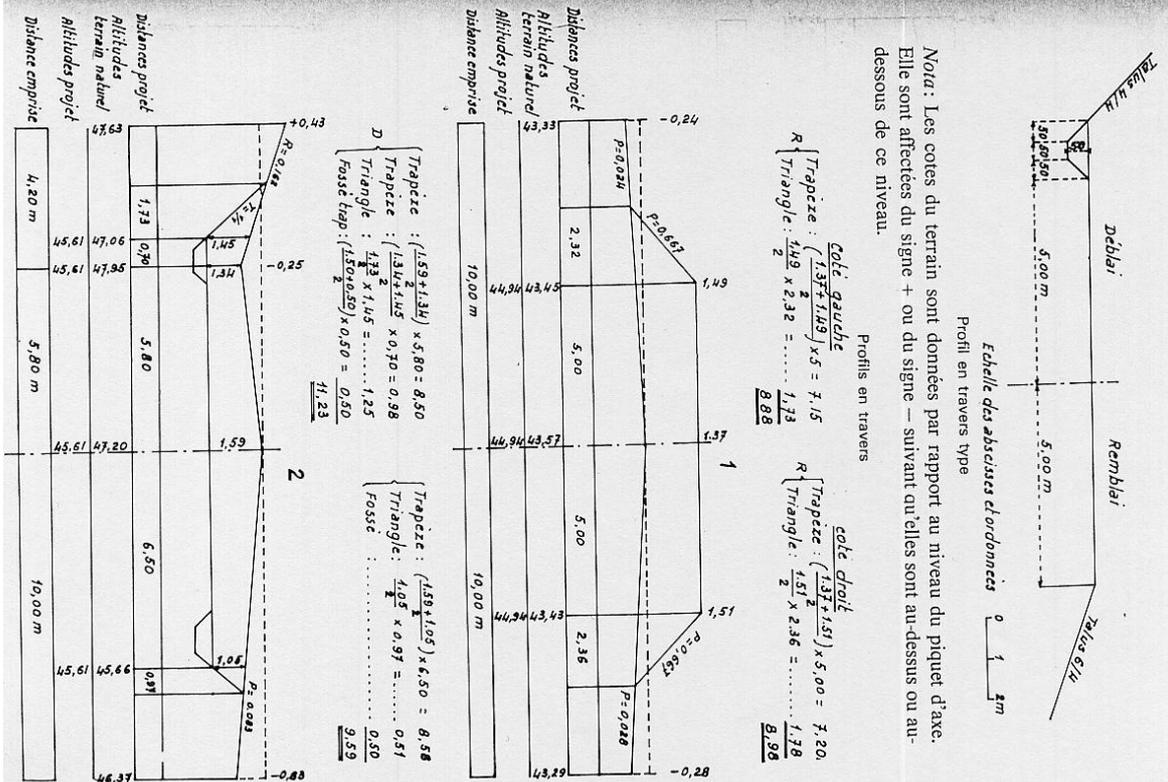
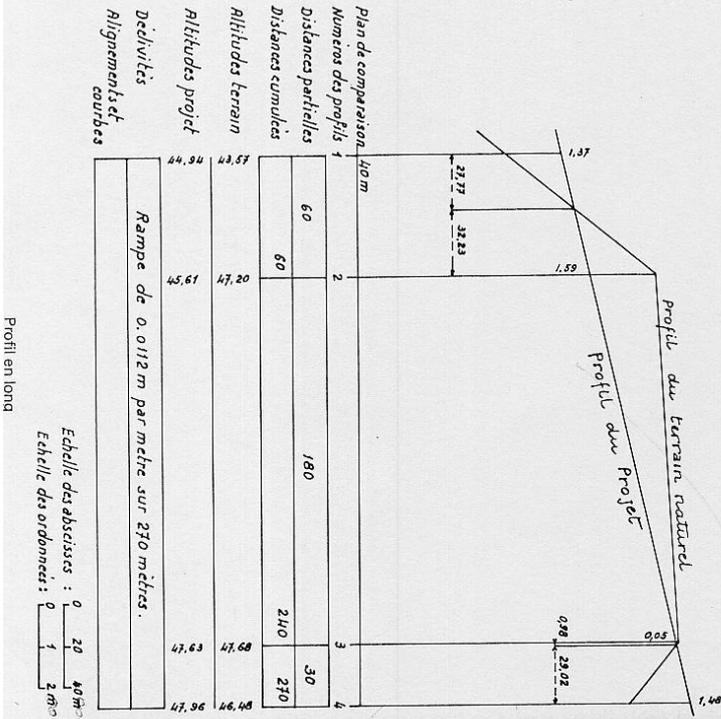
Exemple de calcul :  
(Voir croquis du profil en long)



$$\frac{x}{m} = \frac{D-x}{n} = \frac{D}{m+n} \text{ d'où } x = \frac{m \cdot D}{m+n}$$

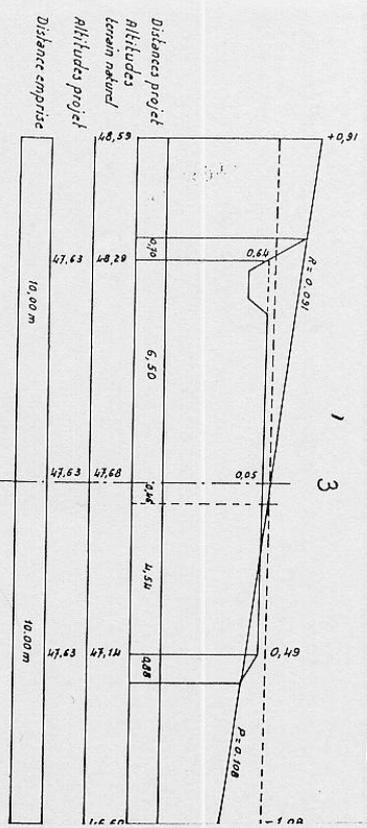
Application au profil fictif :

$$x = \frac{1,37 \cdot 60}{1,37 + 1,59} = \frac{82,20}{2,96} = 27,77$$

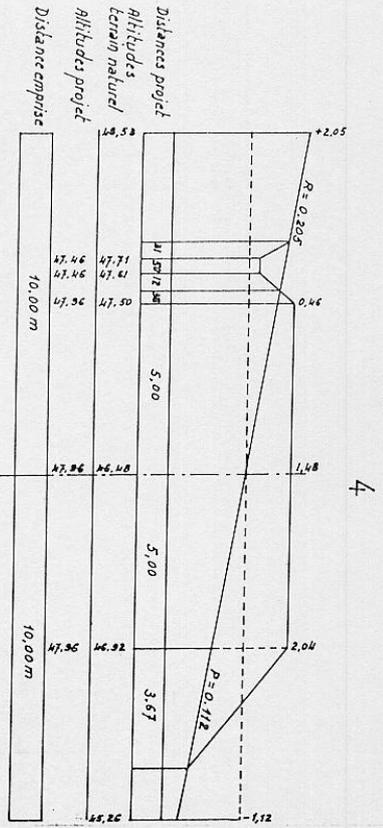


$$D \begin{cases} \text{Trapèze : } \frac{(0,05+0,5H)}{2} \times 6,50 = 2,24 \\ \text{Triangle : } \frac{0,8H}{2} \times 0,70 = \dots\dots\dots 0,22 \\ \text{Fosse : } \dots\dots\dots \frac{0,50}{2,96} \end{cases} \quad D - \text{Triangle } \frac{0,05}{2} \times 0,16 = \frac{0,01}{1,11}$$

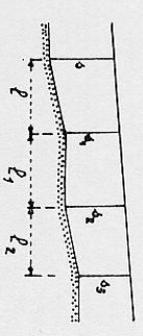
$$R \begin{cases} \text{Triangle } \frac{0,15}{2} \times 4,5H = 1,11 \\ \text{Triangle } \frac{0,19}{2} \times 0,88 = \frac{0,22}{1,33} \end{cases}$$



$$D \begin{cases} \text{Triangle : } \frac{0,15}{2} \times 0,12 = \dots\dots\dots 0,01 \\ \text{Trapèze : } \frac{(0,25+0,15)}{2} \times 0,50 = 0,10 \\ \text{Triangle : } \frac{0,15}{2} \times 0,31 = \dots\dots\dots \frac{0,15}{4,94} \end{cases} \quad R \begin{cases} \text{Trapèze : } \frac{(1,18+2,0H)}{2} \times 5,00 = 8,80 \\ \text{Triangle : } \frac{2,0H}{2} \times 3,67 = \frac{3,74}{12,54} \end{cases}$$



volume des terres entre deux profils, en multipliant la surface moyenne de deux profils successifs par leur distance entre eux.



On a finalement la formule suivante :

$$V = \frac{s + s_1}{2} \times l + \frac{s_1 + s_2}{2} \times l_1 + \frac{s_2 + s_3}{2} \times l_2 \text{ etc...}$$

qui peut se transformer, pour la commodité des calculs en :

$$V = s \times \frac{l}{2} + s_1 \left( \frac{l + l_1}{2} \right) + s_2 \left( \frac{l_1 + l_2}{2} \right) + s_3 \left( \frac{l_2 + l_3}{2} \right) \text{ etc...}$$

C'est généralement sous cette forme que la formule est employée.

**Exemple de calculs (voir croquis des profils)**

Numeros des profils (P <sup>x</sup> )	Demi-somme des longueurs entre profils (moyenne)	Déblais			Remblais				
		surfaces côté droit	côté gauche	Total	surfaces côté droit	côté gauche	Total		
1	$\frac{27,77}{2}$	—	—	—	8,98	8,88	17,86	24,8	
2	$\frac{60,00}{2}$	—	—	—	—	—	—	—	
3	$\frac{32,23+180}{2}$	9,59	11,23	20,82	220,9	—	—	—	
4	$\frac{180+30}{2}$	0,01	2,96	2,97	312	4,33	4,33	14,0	
Totaux	$\frac{30}{2}$	—	0,15	0,15	2	12,54	4,94	17,48	26,2
									650

Nota : Les profils fictifs sont considérés comme ayant une surface nulle, ils permettent de passer sans interruption d'un profil remblai au suivant en déblai ou inversement.

### 3- Cubature des terrassements:

La cubature des terrassements consiste à calculer les volumes des terres à enlever (déblais), ou bien à ajouter (remblai) pour assurer l'exécution du projet. Les volumes sont calculés à l'aide des éléments suivants :

- Surfaces de déblai et de remblai extraites des profils en travers.
- Distances entre profils en travers.

Les surfaces élémentaires, triangles et trapèzes, qui composent les profils sont indiquées sur les croquis ainsi que leur somme pour les côtés gauches et droits des profils. Ces surfaces correspondent à la partie du profil comprise entre la ligne du projet et celle du terrain naturel. Soit le volume  $v$  compris entre deux profils successifs  $s$  et  $s_1$ . On admet que le volume  $v$  est égal à la moyenne des surfaces des profils  $s$  et  $s_1$  multipliée par la distance  $l$  entre profils.  $v = l (s + s_1)/2$ .

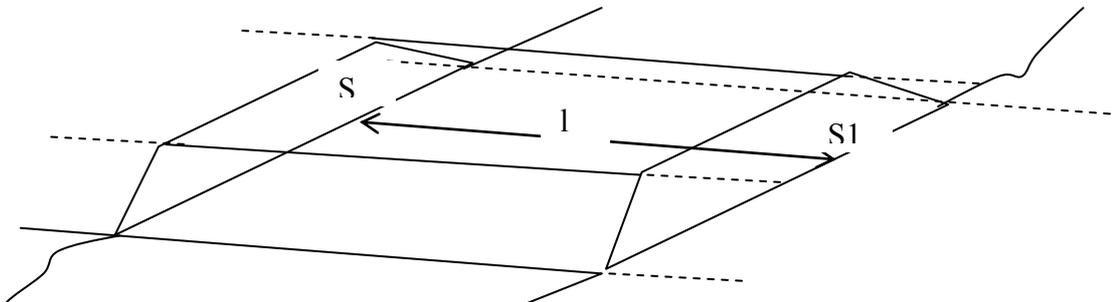
On étend ce principe de proche en proche à tous les profils. Cette méthode de calcul dite par la moyenne des aires consiste donc à évaluer approximativement le volume des terres entre deux profils. Pour tout le profil on applique la formule suivant :

$$V = l (s + s_1)/2 + l_1 (s_1 + s_2)/2 + l_2 (s_2 + s_3)/2 \text{ etc...}$$

qui peut se transformer pour la commodité des calculs en :

$$V = l s /2 + s_1 (l + l_1)/2 + s_2 (l_1 + l_2)/2 + s_3 (l_2 + l_3)/2 \text{ etc...}$$

C'est généralement sous cette forme que cette formule est employée.



# MATERIALIZATION DES ALIGNEMENTS

## 1- Définitions

La ligne droite passant par deux repères d'un site donné constitue un alignement. On peut alors implanter tout une série d'éléments d'ouvrage sur cet alignement comme par exemple des semelles de fondation dont l'axe se confond avec l'alignement. On dira que ces semelles sont alignées. L'alignement public « alignement » est la limite entre le domaine public et le domaine privé (Arrêté d'alignement). Cet alignement doit figurer sur le plan de masse. L'alignement de référence est la ligne droite matérialisée par des repères permanents sur le terrain où doit s'édifier une construction. Il servira de base d'implantation des ouvrages à réaliser. Cet alignement de référence peut être la limite du domaine public, l'axe de la chaussée ou bien une bordure de trottoir rectiligne ou toute autre ligne droite facile à repérer sur le terrain. Les géomètres appellent cet alignement base de rattachement ou directrice. Les repères d'alignements ont les éléments existants ou fixés au site qui permettront de matérialiser la base d'implantation : bornes, piquets, jalons, broches, chaises, taquets, etc.

Pour matérialiser l'alignement de manière continue :

- Sur le terrain, on se sert de cordeau ou de fils de fer tendus entre deux piquets, broches ou chaises, ou encore de sillon creusé à la pioche, de tracés au plâtre ou à la chaux.
- Sur les ouvrages, on bat la ligne bleue, ce qui consiste à pincer un cordeau enduit de bleu à tracer, tendu entre deux points de l'alignement à matérialiser : on obtient ainsi un trait continu coloré.

## 2- Piquetage de l'emprise d'un terrassement général

### a- Objectif visé

Cette opération consiste à planter dans le sol, des piquets en bois qui :

- soit dessineront les contours de la fouille à creuser; par exemple les piquets A, B, C, D, E, F, G, H;
- soit indiqueront aux conducteurs d'engins les alignements délimitant les bandes de terrain à excaver ou à niveler ; par exemple : les alignements des piquets 1-2, 3-4 et 5-6, recoupés par les alignements des piquets 7-8 et 9-10 puis 11-12 et 13-14.

### b- Réalisation du piquetage

On utilise des piquets en chevron 8 x 8 ou en bois rond  $\Phi$  8 cm, épointé, longs de 1.50 m, enfoncés à la masse dans le sol, sur 30 à 50 cm selon la compacité du terrain. La tête des piquets peut être entaillée à mi épaisseur et comporter alors un clou dont la cote d'altitude servira de repère pour le réglage du fond de fouille ou l'arase du terrain à niveler. On peut également repérer les limites de la parcelle concernée au moyen de jalons.

## 3- Opération de bornage

### a- Objectif visé

Cela consiste à matérialiser la ligne séparative de deux ou plusieurs terrains à l'aide de bornes placés à chaque changement de direction du contour concerné.

### b- réalisation pratique

Le bornage s'effectue au moyen de bornes en pierre dure (granit, calcaire compact) ou en béton selon le processus suivant :

Soit par exemple la parcelle A B C D E F représentée sur la figure 1,6 parcelle relevée sur le plan cadastral. Le premier travail, du ressort du géomètre, est l'implantation

proprement dite de la parcelle selon des procédés. Cela se traduira dans un premier temps par la matérialisation des sommets du polygone au moyen de jalons. Il s'agit de remplacer ces jalons par des bornes scellées dans le sol : il faut pour cela creuser un trou à chaque sommet du terrain tout en conservant les alignements du contour. A cet effet des jalons supplémentaires sont plantés de part et d'autre de chaque sommet et l'on peut alors, par exemple, remplacer le jalon A, par le piquet 1, puis les alignements concernés matérialisés par les piquets 2-1-3 et 4-1-5. Chaque tête reçoit un clou afin que les ficelles tendues 2-3 et 4-5 se recoupent exactement sur le clou du piquet 1. Le piquet 1 enlevé, on procède au creusement du trou. Une fois la borne scellée au béton, et le trou comblé, il suffit de retendre les ficelles pour obtenir la direction des deux alignements concernés, dont la trace sera gravée au burin sur la face supérieure et visible de la borne. S'il s'agit d'une borne d'implantation du chantier, la cote d'altitude peut également y être inscrite à la peinture.

#### **4- Utilisation de jalons pour visualiser des alignements**

A partir d'un piquetage préétabli, les jalons constituent un matériel pratique pour visualiser à tout moment, les alignements nécessaires à la réalisation de travaux tels que routes, pistes d'aérodrome, terrains de sport, etc. ou encore pour faciliter les chaînages indispensables. Pour jalonner une ligne droite, l'opérateur vise le pied du jalon ou tangentiellement au jalon ; il conviendra de signaux avec l'aide, pour provoquer le déplacement du jalon vers la gauche ou la droite.

#### **5- Emploi du cercle d'alignement**

L'utilisation de cet appareil optique pour l'implantation de repères alignés est à recommander dans les cas suivants

- alignements à établir dépassant 200 m de longueur ;
- évolution sur terrain très accidenté, comportant de fortes pentes ;
- implantation très précise des alignements.

L'appareil peut être un niveau, un théodolite ou un tachéomètre comportant un cercle horizontal gradué (limbe).

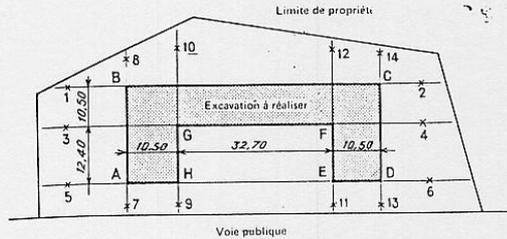


Fig. 1.3. — Piquetage de l'emprise d'un terrassement général.

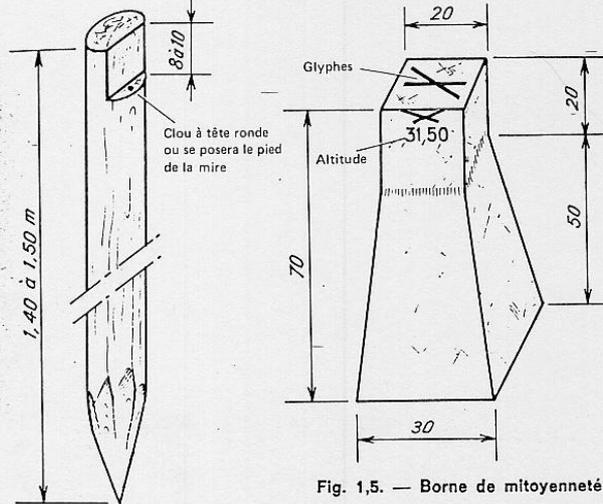


Fig. 1.4. — Piquet en bois, Ø 8 cm.

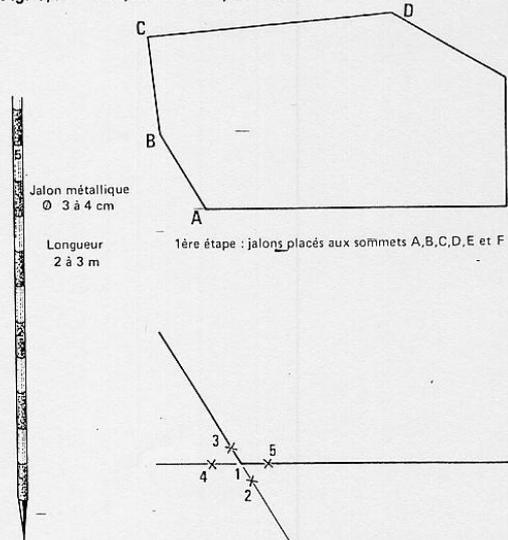
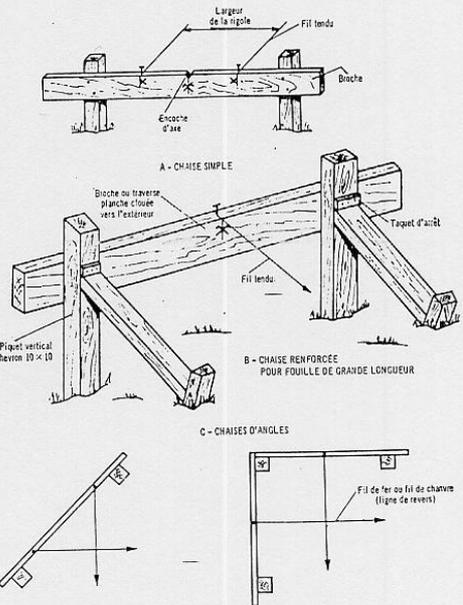
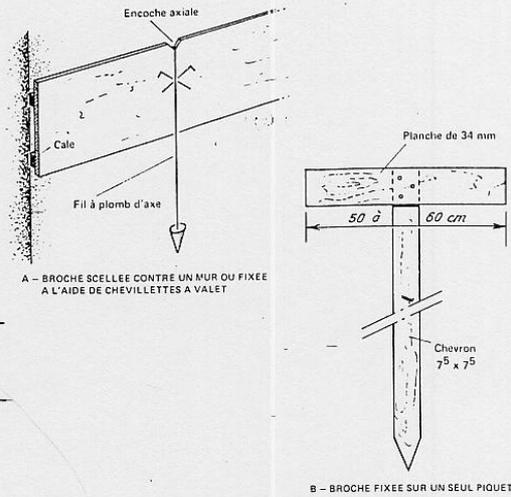


Fig. 1.6. — Opération de bornage.



Les chaises doivent être alignées, et leurs broches se trouver dans le même plan horizontal. Bien enfoncer les piquets. Ne pas placer les chaises trop près des fouilles (à 1,50 m environ).

Fig. 1.7. — Chaises d'implantation

Les chaises doivent être alignées, et leurs broches se trouver dans le même plan horizontal. Bien enfoncer les piquets. Ne pas placer les chaises trop près des fouilles (à 1,50 m environ).

### Exercice N°1

Il s'agit d'un nivellement par rayonnement à l'aide d'un niveau.

- Calculez les distances  $D_{S1-Pi}$
- Calculez les dénivelées  $dh_{P1-Pi}$  entre le point P1 et le point Pi.
- Calculez les dénivelées  $dh_{Pi-Pi+1}$  entre le point Pi et le point Pi+1.
- Sachant que la cote du point 1 est  $C_{P1} = 20$  m, calculez les cotes des autres points.
- Calculez la dénivelée  $dh_{P1-P6}$  entre le point P1 et le point P6.

N° station	N° Point	fil sup. (cm)	fil axial (cm)	fil inf. (cm)	distance (m)	dénivelée $dh_{1-i}:(m)$	dénivelée $dhi-i+1:(m)$	Cote (m)
1	1	156.5	143.2	130.0	26.5			20
	2	144.2	126.2	108.2	36.0	0.17	0.17	20.170
	3	182.8	169.4	156.0	26.8			
	4	193.4	180.1	166.8	26.6			
	5	157.1	132.8	108.6	48.5			
	6	138.5	124.9	111.3	27.2	0.183	0.079	20.183

a- Calcul des distances

$$D_{S1-Pi} = 100 \text{ (fil Sup. - fil Inf.)}$$

$$D_{S1-P1} = 100 (156.5 - 130.0) = 26.5 \text{ m}$$

b- Calcul des dénivelées entre le point P1 et le point Pi

Dans ce cas le point N°1 est pris comme point de référence pour tous les autres points.

$$dh_{P1-Pi} = LR_1 - LV_i \quad \text{Les lectures sont sur le fil axial (fil niveleur)}$$

$$dh_{P1-P2} = LR_1 - LV_2 = \mathbf{143.2} - 126.2 = +17 \text{ cm} = +0.17 \text{ m}$$

$$dh_{P1-P3} = LR_1 - LV_3 = \mathbf{143.2} - 169.4 = -26.2 \text{ cm} = -0.262 \text{ m}$$

c- Calcul des dénivelées entre le point Pi et le point Pi+1

Dans ce cas on revient au point précédent qui sera pris comme point de référence pour le point suivant.

$$dh_{Pi-Pi+1} = LR_i - LV_{i+1} \quad \text{Les lectures sont sur le fil axial (fil niveleur)}$$

$$dh_{P1-P2} = LR_1 - LV_2 = \mathbf{143.2} - 126.2 = +17 \text{ cm} = +0.17 \text{ m}$$

$$dh_{P2-P3} = LR_2 - LV_3 = \mathbf{126.2} - 169.4 = -43.2 \text{ cm} = -0.432 \text{ m}$$

d- calculez les cotes des autres points

$$C_{Pi+1} = C_{P1} + dh_{P1-Pi}$$

$$C_{P2} = C_{P1} + dh_{P1-P2} = 20.0 + 0.17 = 20.170 \text{ m}$$

$$C_{P3} = C_{P1} + dh_{P1-P3} = 20.0 + (-0.262) = 19.738 \text{ m}$$

ou en revenant au point 2 :

$$C_{P3} = C_{P2} + dh_{P2-P3} = 20.170 + (-0.432) = 19.738 \text{ m}$$

e- Calcul de la dénivelée  $dh_{P1-P6}$  entre le point P1 et le point P6

$$dh_{P1-P6} = LR_1 - LV_6 = \mathbf{143.2} - 124.9 = +18.3 \text{ cm} = +0.183 \text{ m.}$$

$$dh_{P1-P6} = C_{P6} - C_{P1} = 20.183 - 20.0 = +0.183 \text{ m.}$$

## Exercice N°2

Il s'agit d'un levé par rayonnement à l'aide d'un théodolite.

- Calculez les distances réduites à l'horizontale  $D_{S1-Pi}$ .
- Calculez les dénivelées  $dh_{S1-pi}$  entre S1 et le point Pi sachant que  $H_{théod}=1.50$  m.
- Sachant que la cote de la station S1 est  $C_{S1} = 10$  m, calculez les cotes des différents points 1 à 5.
- Sachant que le gisement de la direction S1-P1 est 48.00 gr et que les coordonnées de la station S1 sont (100, 100) m, calculez les coordonnées des différents points.
- Représentez les différents points à l'échelle 1/500<sup>ème</sup>.
- Calculez analytiquement la surface (réelle) du polygone (1,2,3,4,5,1).

N° Station	1				
N° Point	1	2	3	4	5
fil sup. (cm)	156,5	144,2	182,8	157,1	149,3
fil axial (cm)	143,2	126,2	169,4	132,8	124,6
fil inf. (cm)	130	108,2	156	108,6	100
angle H. (gr)	48	92	170	305,4	354,2
angle V. (gr)	0	0	2	0	4
distance (m)	26,5		26,774		
D tg(V)	0		0,841		
dénivelée (m)	0,068		0,647		
Cote (m)	10,068		10,647		
X (m)	118,140		112,155		
Y (m)	119,318		76,145		
Dist.Ech. (mm)	53		53.5		

a- Calcul des distances

$$D_{S1-Pi} = 100 (\text{fil Sup.} - \text{fil Inf.}) \cos^2 V_i$$

$$D_{S1-P1} = 100 (156.5 - 130.0) \cos^2(0) = 26.5 \text{ m}$$

$$D_{S1-P3} = 100 (182.8 - 156.0) \cos^2(2) = 26.774 \text{ m}$$

b- Calcul des dénivelées

$$X_{1-i} = D_i \text{ tg}(v_i)$$

$$X_{1-1} = D_1 \text{ tg}(0) = X_{1-2} = X_{1-4} = 0 \text{ m.} \quad v_1 = v_2 = v_4 = 0$$

$$X_{1-3} = D_3 \text{ tg}(v_3) = 26.774 \text{ tg}(2) = 0.841 \text{ m}$$

$$dh_{S1-pi} = H_{théod} + X_{1-i} - A_i$$

$$dh_{S1-p1} = H_{théod} + X_{1-1} - A_1 = 1.5 + 0 - 1.432 = 0.068 \text{ m}$$

c- Calcul des côtes

$$C_{pi} = C_{ps} + dh_{S1-pi}$$

$$C_{p1} = C_{ps} + dh_{S1-p1} = 10 + 0.068 = 10.068 \text{ m}$$

d- Calcul des coordonnées

Comme le gisement de la direction S1-P1 est égal à l'angle horizontal AH on prendra donc :

$$G_{S1,i} = AH_i$$

$$\begin{aligned}
X_i &= X_{S1} + D_{S1-P_i} \sin(G_{S1,i}) & Y_i &= Y_{S1} + D_{S1-P_i} \cos(G_{S1,i}) \\
X_1 &= X_{S1} + D_{S1-P1} \sin(G_{S1,1}) & Y_1 &= Y_{S1} + D_{S1-P1} \cos(G_{S1,1}) \\
X_1 &= 100 + 26.5 \sin(48) = 118.140 \text{ m} & Y_1 &= 100 + 26.5 \cos(48) = 119.318 \text{ m} \\
X_5 &= 100 + 49.106 \sin(354.2) = 67.642 \text{ m} & Y_5 &= 100 + 49.106 \cos(354.2) = 136.937 \text{ m}
\end{aligned}$$

e- Représentation des points

Calcul des distances à l'échelle 1/500<sup>ème</sup>.

$$D_{1\text{éch}} = D_{S1-P1} / 500 \quad D_{1\text{éch}} = D_{S1-P1} / 500 = 26.5 / 500 = 0.053 \text{ m} = 53 \text{ mm}$$

$$D_{2\text{éch}} = D_{S1-P2} / 500 = 36.0 / 500 = 0.072 \text{ m} = 72 \text{ mm}$$

f- Calcul de la surface

On va appliquer la méthode analytique se basant sur les distances et les angles  $\alpha_i$  au sommet. On représente une esquisse à main levée pour respecter l'ordre des points dans le polygone obtenu. La formule à appliquer est :

$$2S = l_1 l_2 \sin \alpha_1 + l_2 l_3 \sin \alpha_2 + l_3 l_4 \sin \alpha_3 + l_4 l_5 \sin \alpha_4 + l_5 l_1 \sin \alpha_5 .$$

Les  $l_i$  sont égaux aux  $D_{S1-P_i}$  : ( $l_i = D_{S1-P_i}$ )

On calcul les différents  $\alpha_i$  de la façon suivante :

$$\alpha_1 = G_{S1,2} - G_{S1,1} = 92.0 - 48.0 = 44 \text{ gr.}$$

$$\alpha_2 = G_{S1,3} - G_{S1,2} = 170 - 92.0 = 78 \text{ gr.}$$

$$\alpha_3 = G_{S1,4} - G_{S1,3} = 305.4 - 170 = 135.4 \text{ gr.}$$

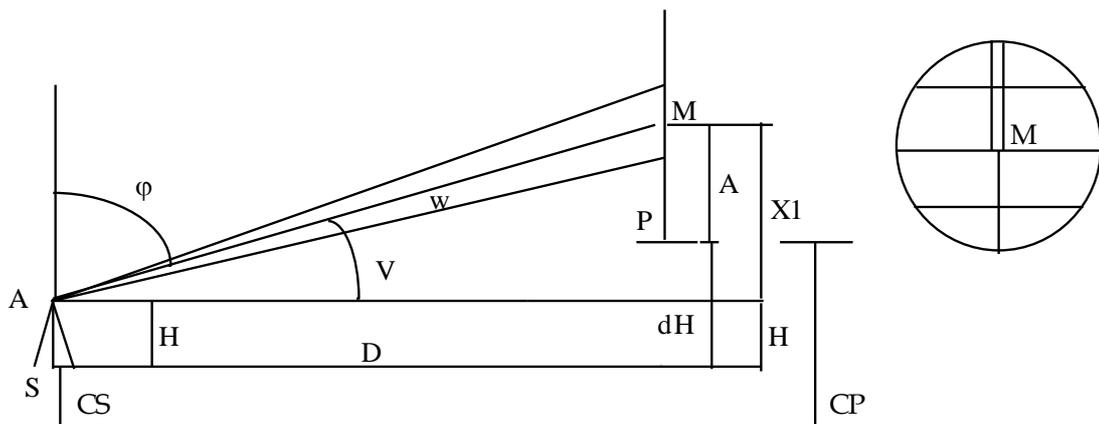
$$\alpha_4 = G_{S1,5} - G_{S1,4} = 354.2 - 305.4 = 48.8 \text{ gr.}$$

$$\alpha_5 = G_{S1,1} - G_{S1,5} = 448.0 - 354.2 = 93.8 \text{ gr.}$$

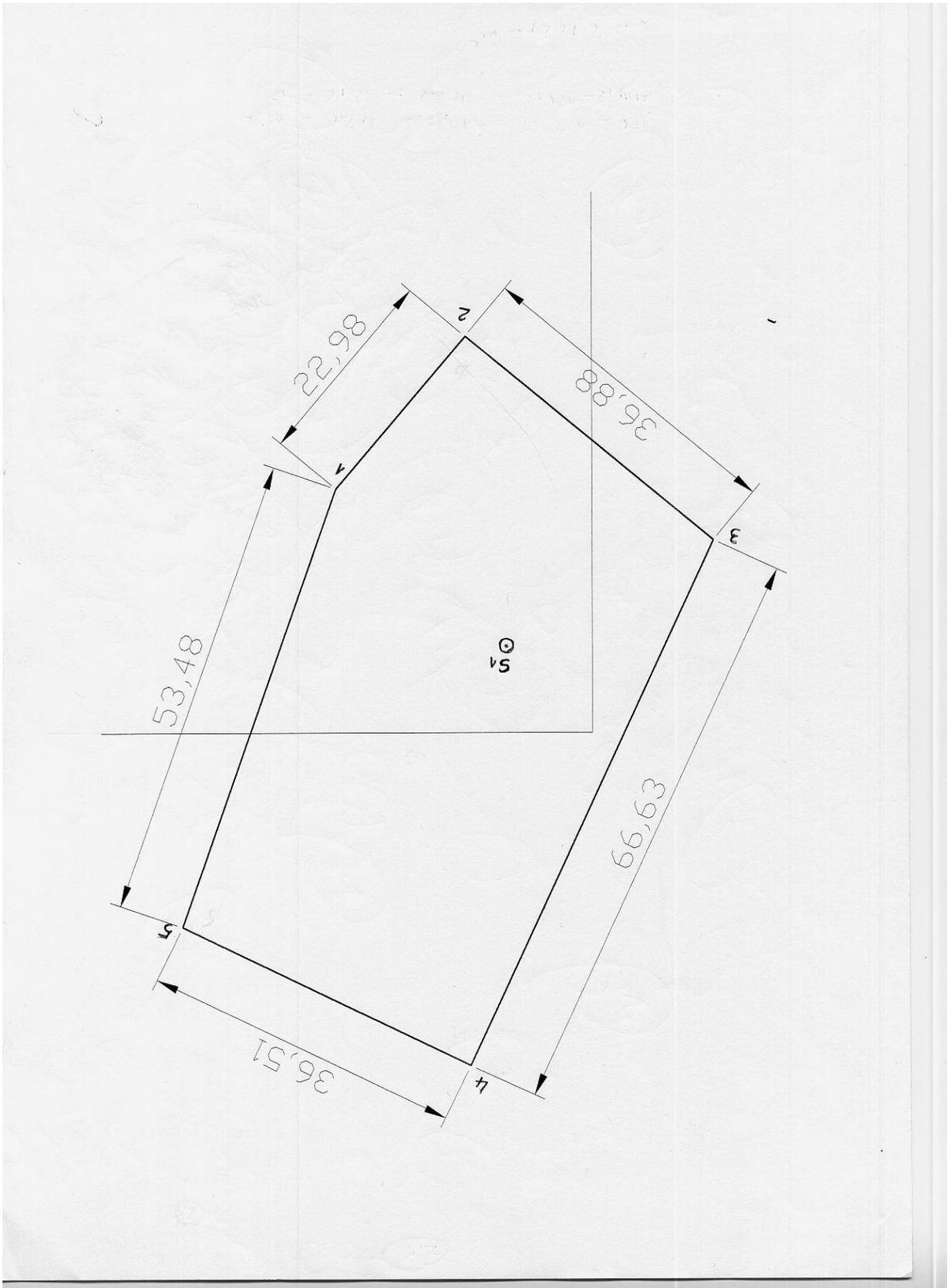
$$\alpha_1 = 44 \text{ gr} \quad \alpha_2 = 78 \text{ gr} \quad \alpha_3 = 135.4 \text{ gr} \quad \alpha_4 = 48.8 \text{ gr} \quad \alpha_5 = 93.8 \text{ gr}$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 = 400.00 \text{ gr}$$

$$\text{La surface } S = 2782.31 \text{ m}^2.$$



Représentation des points à l'échelle 1/500<sup>ème</sup>.



### Exercice N°3

Il s'agit d'un nivellement par cheminement fermé à l'aide d'un niveau.

a- Calculez les distances et les dénivelées.

b- Calculez l'écart de fermeture.

$$D = 100 \cdot (\text{Fil Sup.} - \text{Fil Inf.})$$

$$D_{S1-P1} = 100 (122 - 94) = 28 \text{ m}$$

$$Dh_i = LR_i - LV_i \quad (\text{lectures sur le fil axial à partir de la même station}).$$

$$Dh_1 = LR_1 - LV_1$$

$$Dh_1 = 108 - 270.2 = -162.2 \text{ cm}$$

$$Dh = \sum (LR_i - LV_i) = +1.5 \text{ cm}$$

Tableau de mesures :

Station N°:	Points N°:	Fil Sup (cm)	Fil Axial (cm)	Fil Inf (cm)	Distances (m)	Dénivelée (cm)
1	LR1	122.0	108.0	94.0	28.0	-162.2
	LV1	285.8	270.2	254.6	31.2	
2	LR2	148.5	132.4	116.1		+36.4
	LV2	111.0	96.0	81.0		
3	LR3	154.4	141.5	128.6		-38.6
	LV3	193.4	180.1	166.8		
4	LR4	196.9	183.4	170.0		-7.2
	LV4	202.7	190.6	178.2		
5	LR5	117.5	104.2	91.1		-50
	LV5	170.2	154.2	138.8		
6	LR6	138.5	124.9	111.3		
	LV6	151.9	137.9	123.9		
7	LR7	190.2	176.4	162.6		
	LV7	150.1	136.5	122.9		
8	LR8	143.8	132.4	121.0		
	LV8	103.6	88.8	74.0		
9	LR9	162.2	151.7	141.2		
	LV9	107.8	94.5	81.2		
10	LR10	112.2	96.1	80.0		
	LV10	82.6	72.9	63.2		
11	LR11	166.2	156.7	147.2	19.0	
	LV11	93.8	84.5	75.2	18.6	
				Total:	582.4	+1.5 = Dh

### Exercice N°4

Il s'agit d'un nivellement par rayonnement à l'aide d'un niveau.

a- Calculez les distances.

b- Calculez la différence de niveau entre le 1<sup>er</sup> point et les autres points.

c- Sachant que la côte du point 1 est  $C_{p1} = 20$  m, calculez les côtes des autres points.

Tableau de mesures N°1:

N° St.	N° Pt	Fil Sup (cm)	Fil Axial (cm)	Fil Inf (cm)	Distance (m)	Dénivel. (cm)	Côte (m)
1	1	138.5	124.9	111.3	27.2		20
	2	151.9	137.9	123.9	28.0	-13	19.87
	3	190.2	176.4	162.6	27.6		
	4	150.1	136.5	122.9	27.2		
	5	143.8	132.4	121.0	22.8		
	6	103.6	88.8	74.0	29.6	36.1	20.361

### Exercice N°5

Il s'agit d'un nivellement par cheminement à l'aide d'un niveau.

a- Calculez les distances et les dénivelées.

b- Calculez la dénivelée entre le point 1 et le point 5 ( $D_{h_{1-5}}$ ).

Tableau de mesures N°1:

Station N°:	Points N°:	Fil Sup (cm)	Fil Axial (cm)	Fil Inf (cm)	Distances (m)	Dénivelée (cm)
1	1	117.5	104.2	91.1	26.4	
	2	170.2	154.2	138.8	31.4	-50
2	2	138.5	124.9	111.3		
	3	151.9	137.9	123.9		
3	3	190.2	176.4	162.6		
	4	150.1	136.5	122.9		
4	4	143.8	132.4	121.0		
	5	103.6	88.8	74.0		
					$D_{h_{1-5}} =$	+20.5 cm

### Exercice N°6

Il s'agit d'un levé à l'aide d'un théodolite.

a- Calculez les distances réduites à l'horizontale  $D_{S_1-P_i}$  et  $D_{S_2-P_i}$ , ( $K = 100$ ).

a- Calculez les dénivelées  $dh_{S_1-p_i}$  entre la station S1 et les points 1, 2, 3 et S2.  $HS_1 = 1.45$ m

b- Calculez les dénivelées  $dh_{S_2-p_i}$  entre la station S2 et les points 5 et 6.  $HS_2 = 1.50$ m.

d- Sachant que la côte de la station S1 est  $C_{S_1} = 10$  m, calculez les côtes des différents points.

e- Calculez les coordonnées des différents points en prenant comme origine des angles horizontaux de la station S1 le Nord Lambert et comme coordonnées de S1 (10,10) m.

HS1= 1.45 m   HS2 = 1.50 m   S1 (10,10,10) m   Angle H = Gisement

N° St.	N° Pt	fil sup. (cm)	fil axial (cm)	fil inf. (cm)	angle H. (gr)	angle φ. (gr)	Dist. (m)	Déniv. dh (m)	Cote (m)	D cotg(φ) (m)	X (m)	Y (m)
S1	1	192,2	180	167,8	328,945	102,73	24,355		8,604	-1,045	-11,881	20,696
	2	143,5	125	107	306,445	102,87						
	3	79	50	21	305,117	102,607						
	S2	159,6	140	120,1	154,688	97,856	39,455	1,379	11,379		35,771	-19,876
S2	S1	-	-	-	0	-						
	5	171,8	160	148,1	311,876	99,721	23,700	0,003	11,382	0,104	15,266	-31,759
	6	169	150	131	363,005	102,307						

### Exercice N°7

Il s'agit d'un levé par rayonnement à l'aide d'une station totale.

a- Calculez les dénivelées  $dh_{S1-pi}$  entre la station S1 et les point 1 et S1 sachant que HS1= 1.50 m.

b- Calculez les dénivelées  $dh_{S2-pi}$  entre la station S2 et les point 2 et S1 sachant que HS2= 1.43 m.

c- Calculez les coordonnées des différents points en prenant comme origine des angles horizontaux de la station S1 le Nord Lambert et comme coordonnées de S1 (10,10) m.

HS1 = 1.50 m      HS2 = 1.43 m      S1 (0, 0, 0)      Angle H = Gisement

N°Pt	H Prisme (m)	Gisement (gr)	angle H. (gr)	angle φ. (gr)	Distance (m)	Dénivelée (m)	Cote (m)	Dcotg(φ) (m)	X (m)	Y (m)
P1	1.80	88.289	88.289	94.917	7.093	0.2675	0.2675	0.5675	6.973	1.297
S2	1.80	2.8726	2.8726	100.818						
S1	1.80	202.872	0	98.837						
P2	1.80	172.037	369.1646	98.638	32.333	0.3214	-1.2475	0.6914	18.202	69.333

Pour le calcul de la dénivelée, on utilise le nivellement indirect. On prend comme lecture sur le fil axial la hauteur du prisme HP. Cette hauteur correspond en fait à la croisée du réticule qui coïncide avec le centre du prisme. L'appareil nous donne directement la distance réduite à l'horizontale, et les angles horizontaux et azimutaux. La station totale permet aussi de faire les calculs des coordonnées rectangulaires X et Y pour chaque point.

### Exercice N° 8

Il s'agit d'un nivellement par rayonnement à l'aide d'un niveau.

a- Calculez les distances  $D_{S1-Pi}$  et les dénivelées  $dh_{p1-pi}$  entre le point 1 et le point i.

b- Sachant que la cote du point 1 est  $C_{P1} = 30$  m, calculez les cotes des points 2 et 3.

N° station	N° Point	fil sup. (cm)	fil axial (cm)	fil inf. (cm)	distance (m)	dénivelée dh : (cm)	Cote (m)
1	1	182.8	169.4	156.0	<b>26.80</b>		<b>30</b>
	2	157.1	132.8	108.6			
	3	138.5	124.9	111.3	<b>27.20</b>	<b>44.5</b>	<b>30.445</b>

$D1 = 100(\text{fil sup} - \text{fil inf})$

$D1 = 100(182.8 - 156) = 2680 \text{ cm} = 26.80 \text{ m}$ .

$dh_{p1-p2} = LR1 - LV2 = 169.4 - 132.8 = +36.6 \text{ cm} = 0.366 \text{ m}$

$dh_{p1-p3} = LR1 - LV3 = 169.4 - 124.9 = +44.5 \text{ cm} = 0.445 \text{ m}$

$C_{Pi} = C_{P1} + dh_{p1-pi}$

$C_{P1} = 30 + 0.366 = 30.366 \text{ m}$

### Exercice N° 9

On a effectué un levé topographique à l'aide d'un tachéomètre. Les mesures sont données dans le tableau suivant.

- Calculez les distances réduites à l'horizontale  $d_i$  et  $d_{moy}$ .
- Représenter sur cercle gradué les différents points à l'échelle 1/250<sup>ème</sup>.
- Calculez la surface du polygone (1, 2, S2, 3).
- Sachant que  $G_{S1-S2} = 19.900 \text{ gr}$  et S1 (10, 100), déterminez les gisements des directions S1-2, S1-3 et S2-4.
- Déterminez les coordonnées des points 3, S2 et 4.

N°station	N° Point	L0 (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	angle H. (gr)
S1	1	265.0	290.0	310.2	319.8	269.0
	2	14.4	35.9	53.0	61.5	7.5
	3	37.5	66.4	89.5	101.0	223.5
	S2	120.0	141.4	158.6	167.0	95.9
S2	S1	100.0	121.4	138.6	147.0	309.2
	4	121.2	163.5	197.4	214.1	267.2

N°station	N° Point	D1 (m)	Dmoy (m)	Gisement (gr)	X (m)	Y (m)
S1	1	<b>25.0</b>	<b>25.0</b>			
	2	<b>21.5</b>	<b>21.44</b>	<b>GS1-2 =331.5</b>		
	3	<b>28.9</b>	<b>28.88</b>	<b>GS1-3 =147.5</b>	<b>31.207</b>	<b>80.396</b>
	S2	<b>21.4</b>	<b>21.4</b>	<b>GS1-S2 =19.9</b>	<b>16.580</b>	<b>120.362</b>
S2	S1	<b>21.4</b>	<b>21.4</b>		<b>10</b>	<b>100</b>
	4	<b>42.3</b>	<b>42.28</b>	<b>GS2-4 =177.9</b>	<b>30.965</b>	<b>80.605</b>

a- Calcul des distances:

$D_{moy} (m) = (L1 + L2 + L3 - 3 * L0) / 5$      $L_i (cm)$      $D1(m) = (L1-L0)/1$

$D_{moy P1} = (290+310.2+319.8-3x265)/5 = 25 \text{ m}$      $D1P1 = 290-265 = 25 \text{ m}$

$D1P4 = 163.5-121.2 = 42.3 \text{ m}$

c- Calcul de la surface du polygone (1,2,S2,3).

On calcule les angles au sommet  $\alpha_1$  à  $\alpha_4$  à partir des angles horizontaux et en tenant compte de la disposition des différents points sur le graphique.

$$\alpha_1 = 138.5 \text{ gr} = \text{AH}_2 - \text{AH}_1 = (400+7.5)-269$$

$$\alpha_2 = 88.4 \text{ gr} = \text{AHS}_2 - \text{AH}_2 = 95.9-7.5$$

$$\alpha_3 = 127.6 \text{ gr} = \text{AH}_3 - \text{AHS}_2 = 223.5 - 95.9$$

$$\alpha_4 = 45.5 \text{ gr} = \text{AH}_1 - \text{AH}_3 = 269 - 223.5$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 400 \text{ gr}$$

$$2S = 11 \times 12 \sin \alpha_1 + 12 \times 13 \sin \alpha_2 + 13 \times 14 \sin \alpha_3 + 14 \times 11 \sin \alpha_4$$

$$S = \mathbf{963.103 \text{ m}^2}$$

d- Calcul des gisements

$$G_{S_1-S_2} = 19.900 \text{ gr} \quad \text{Angle H. } S_1-S_2 = 95.9 \text{ gr} \quad \text{Difference} = 95.9-19.9 = 76 \text{ gr.}$$

Donc pour retrouver les différents gisements de  $S_1-P_2$  et  $S_1-P_3$  on doit retrancher à chaque fois 76 gr.

$$G_{S_1-P_2} = \text{AHP}_2 - 76 = 7.5 - 76 = -68.5 \text{ gr}$$

Comme les gisements sont tous positifs, donc  $G_{S_1-P_2} = -68.5 + 400 = 331.5 \text{ gr.}$

$$G_{S_1-P_3} = \text{AHP}_3 - 76 = 223.5 - 76 = 147.5 \text{ gr}$$

Pour calculer le gisement  $G_{S_2-P_4}$ , il faut déterminer l'angle  $\alpha_4$  et appliquer la relation suivante :

$$G_{S_2-P_4} = G_{S_1-S_2} + 200 + \alpha_4$$

$$\alpha_4 = 267.2-309.2 = -42 \text{ gr} \quad \alpha_4 = -42+400= 358 \text{ gr}$$

$$G_{S_2-P_4} = 19.9 + 200 + 358 = 577.9 \text{ gr}$$

$$G_{S_2-P_4} = 177.9 \text{ gr}$$

$$\text{XP}_3 = \text{XS}_1 + \text{Dmoy P}_3 \sin(G_{S_1-P_3}) = 10 + 28.8 \sin(147.5) = 31.207 \text{ m}$$

$$\text{XS}_2 = \text{XS}_1 + \text{Dmoy S}_2 \sin(G_{S_1-S_2}) = 10 + 21.4 \sin(19.9) = 16.580 \text{ m}$$

$$\text{XP}_4 = \text{XS}_2 + \text{Dmoy P}_4 \sin(G_{S_1-P_4}) = 16.580 + 42.28 \sin(177.9) = 30.965 \text{ m}$$

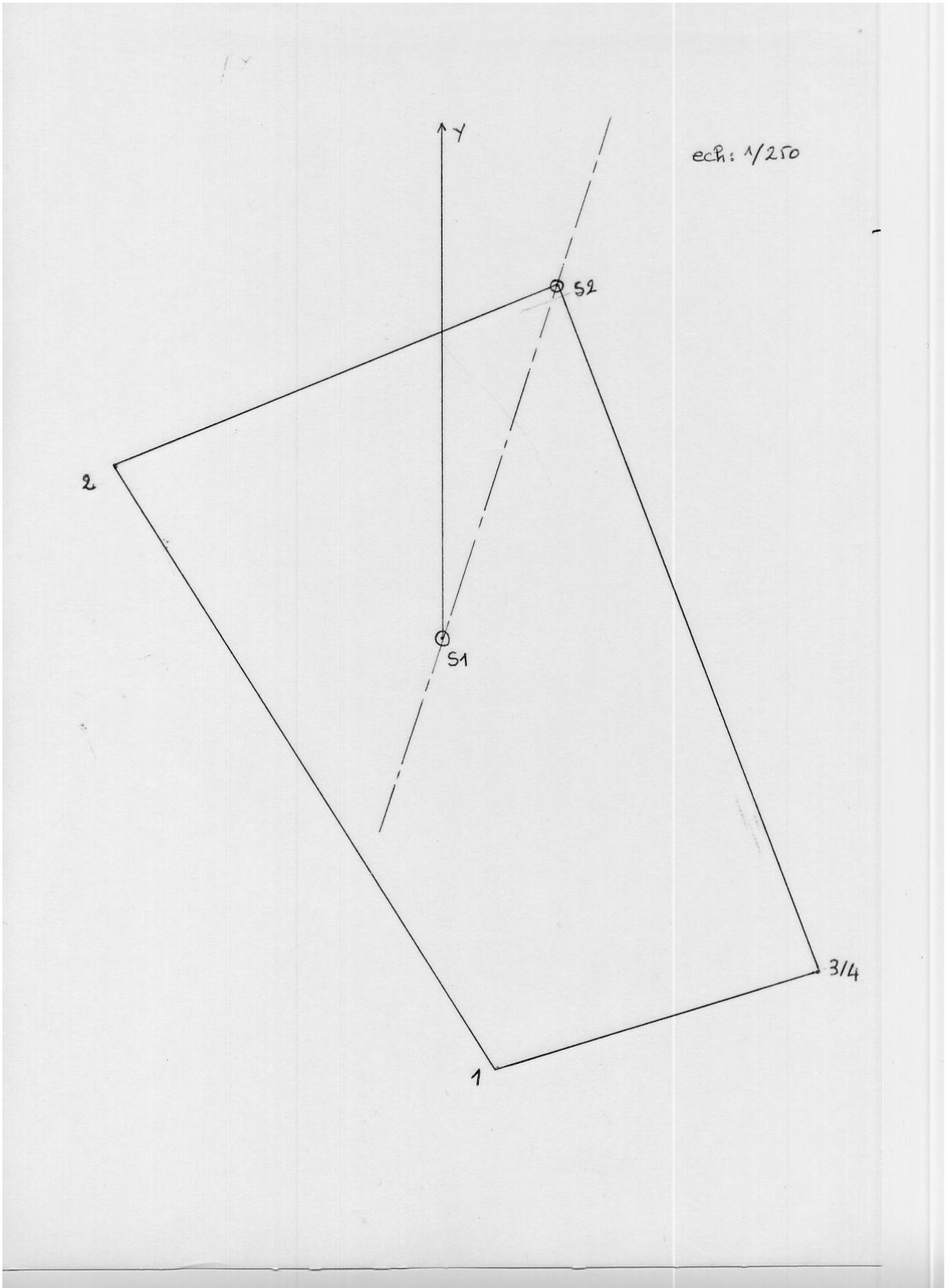
$$\text{YP}_3 = \text{YS}_1 + \text{Dmoy P}_3 \cos(G_{S_1-P_3}) = 100 + 28.8 \cos(147.5) = 80.396 \text{ m}$$

$$\text{YS}_2 = \text{YS}_1 + \text{Dmoy S}_2 \cos(G_{S_1-S_2}) = 100 + 21.4 \cos(19.9) = 120.362 \text{ m}$$

$$\text{YP}_4 = \text{YS}_2 + \text{Dmoy P}_4 \cos(G_{S_1-P_4}) = 120.362 + 42.28 \cos(177.9) = 80.605 \text{ m}$$

b- Représentation graphique

$$D_{i\text{éch}} = D_{S_1-P_i} / 250 \quad D_{1\text{éch}} = D_{S_1-P_1} / 250 = 25/250 = 0.10 \text{ m} = 10 \text{ cm.}$$



### Exercice N°10

Il s'agit d'un levé par rayonnement à l'aide d'un théodolite.

- Calculez les distances réduites à l'horizontale  $D_{S1-Pi}$ .
- Calculez les dénivelées  $dh_{S1-pi}$  entre la station S1 et le point i sachant que  $H = 1.45$  m.
- Représentez sur le cercle gradué les différents points à l'échelle  $1/250^{ème}$ .
- Sachant que la cote de la station S1 est  $C_{S1} = 10$  m, calculez les côtes des différents points 1 à 7.
- Calculez la surface (réelle) du polygone (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 1).
- Sachant que le gisement de la direction S1-P1 est  $4.999$  gr et que les coordonnées de la station S1 sont (100, 200) m, calculez les coordonnées des différents points.

N° station	N° Point	fil sup. (cm)	fil axial (cm)	fil inf. (cm)	angle H. (gr)	angle V. (gr)	distance (m)	dénivelée dh : (cm)	Cote (m)	D tg(V) (m)	X (m)	Y (m)
1	1	229,2	208,1	187	4,999	0	42,200	-0,631	9,369	0,000	103,310	242,070
	2	238,7	222,2	204,8	6,915	0,462	33,898					
	3	247,8	230,2	212,8	16,011	4,16	34,851					
	4	65,5	49,1	33	24,555	394,96	32,297					
	5	87,5	71,2	55	27,387	395,51	32,339					
	6	134,5	113,5	92,8	49,175	395,51	41,493					
	7	78,5	52	22,5	51,278	397,08	55,882	-1,635	8,365	-2,565	140,300	238,714

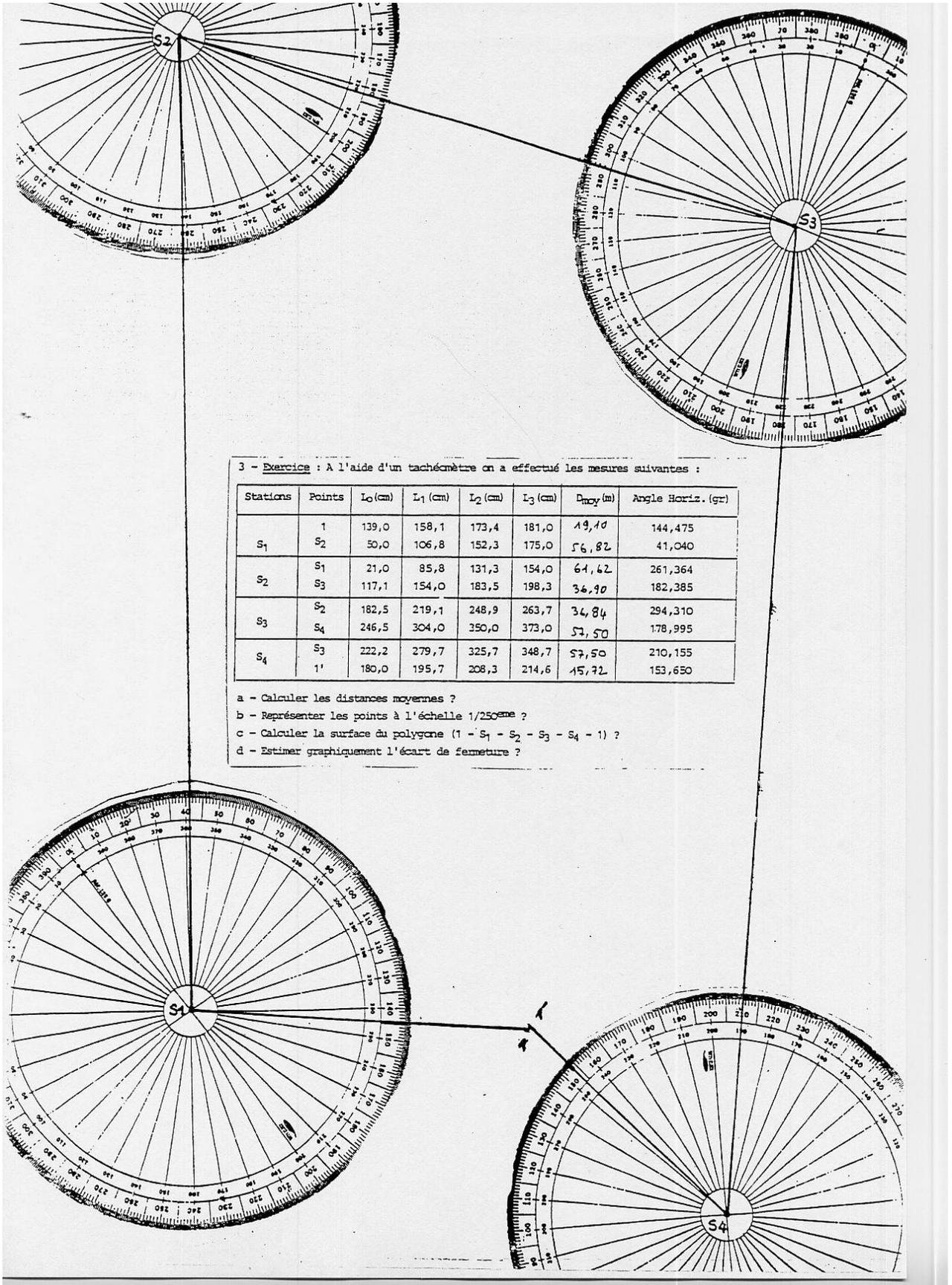
### Exercice N°11

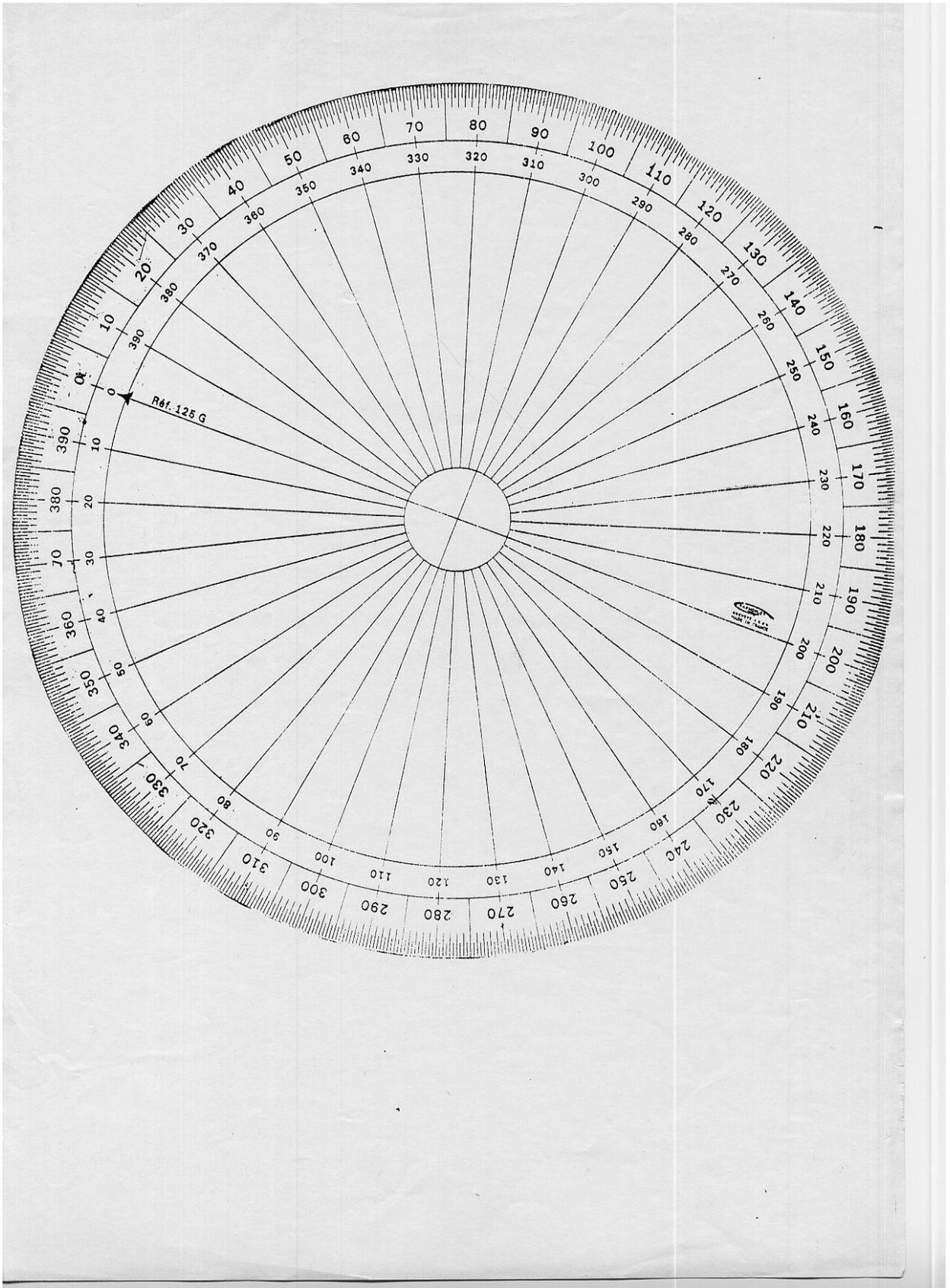
On a effectué un levé topographique à l'aide d'un tachéomètre. Les mesures sont données dans le tableau suivant.

- Calculez les distances réduites à l'horizontale  $D_{moy}$ .
- Représenter les différents points à l'échelle  $1/250^{ème}$
- Calculez la surface du polygone (1, S2, S3, S4, 1').

N°station	N° Point	L0 (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	Dmoy (m)	angle H. (gr)
S1	1	139.0	158.1	173.4	181.0	19.10	144.475
	S2	50.0	106.8	152.3	175.0		41.040
S2	S1	21.0	77.8	1123.3	146.0		261.364
	S3	117.1	154.0	183.5	198.3		182.385
S3	S2	182.5	219.1	248.9	263.7		294.310
	S4	246.5	304.0	350.0	373.0		178.995
S4	S3	222.2	279.7	325.7	348.7		210.155
	1'	180.0	195.7	208.3	214.6	15.72	153.650

Représentation graphique à l'échelle  $1/250^{ème}$ .





### **Bibliographie cours de topographie**

- Chaussier J-B., Initiation à la géologie et à la topographie, à l'usage des aides-géologues, techniciens de chantiers et d'exploitation minière. Edition BRGM, Orléans, 1989. (GCV-724)
- D'Hollander R., Topographie générale. (GCV-51)
  - T1: Généralités, mesure des angles et des distances, Edition Eyrolles, Paris, 1970.
  - T2: Les procédés topographiques en planimétrie et en nivellement. Edition Eyrolles, Paris, 1971.
- Dubuisson B., Cours élémentaire de topographie. Edition Eyrolles, Paris, 1974.
- Durbec G., Cours de topométrie générale. (GCV-53)
  - T1 : Généralités, instruments de mesures. Edition Eyrolles, Paris, 1974.
  - T2 : Méthodes de levé, altimétrie. Edition Eyrolles, Paris, 1975.
- Lapointe L., Meyer G., Topographie appliquée aux travaux publics, bâtiments et levés urbains. (4<sup>ème</sup> édition). Editions Eyrolles, Paris, 1991. (GCV-774)
- Revault J., Revault E., La topographie pratique. Edition J-B. Baillièrre, Paris, 1976. (GCV-237)