

Programme Topographie 1 L2 Génie Civil

CONTENU DE LA MATIERE

Chapitre 1. Généralités (3 semaines)

La topographie dans l'acte de construire, Les différents appareils de mesure topographique, Les échelles (les plans, les cartes), Les fautes et les erreurs

Chapitre 2. Mesure de distances (3 semaines)

Mesure directe des distances, Méthodes d'alignement et précisions, Pratique de mesurage, Mesures indirects de distance

Chapitre 3. Mesure des Angles (3 semaines)

Principe de fonctionnement d'un théodolite, Mise en station d'un théodolite (Réglage, Lecture),

Lecture d'angles horizontaux, Lecture d'angles verticaux.

Chapitre 4. Détermination des surfaces (3 semaines)

Calcul de la surface d'un polygone, Détermination des surfaces des contours représentés sur le plan, Planimètre et mesure des surfaces.

Chapitre 5. Nivellement direct et Indirect (3 semaines)

Nivellement Direct, Nivellement Indirect.

Mode d'évaluation :

Examen : 100%.

Références bibliographiques :

1. Antoine, P., Fabre, D., « **Topographie et topométrie modernes (Tome 1 et 2)** », Serge Milles et Jean Lagofun, 1999.
2. Bouquillard, « **Cours De Topographie** », BepTech.geo T1, 2006
3. Dubois, F. et Dupont, G. (1998) « **précis de topographie, Principes et méthodes** », Editions Eyrolles Paris
4. Herman, T. (1997a) « **Paramètres pour l'ellipsoïde** », Edition Hermès, Paris
5. Herman, T. (1997b) « **Paramètres pour la sphère** », Edition Dujardin, Toulouse
6. Meica (1997), « **Niveaux numériques** », MicaGeosystems, Paris
7. Tchou, M. (1976) « **Topographie appliquée** », Cours à l'école Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg, Spécialité Topographie.
8. Lapointe, L., Meyer G., « **Topographie appliquée aux Travaux Publics, Bâtiments et Levers urbains** », Editions Eyrolles Paris, 271p, 1984.
9. Dubuisson, « **Cours élémentaires de topographie** », Editions Eyrolles Paris, 120p, 1982.

II. MESURE DE DISTANCE

Pour établir des cartes topographiques, il est nécessaire de procéder à des mesures sur terrain des distances, des angles et des altitudes des différents points.

Dans ce chapitre, on étudiera les différents procédés de mesures de distances. Pour matérialiser les opérations de mesures, on utilise des instruments et des appareils topographiques.

Procédés de mesures des distances

Une longueur peut être mesurée :

- **Directement** : on la compare avec une mesure étalon (mètre, décamètre, double décamètre, ...) que l'on porte bout à bout autant de fois qu'il est nécessaire.
- **Indirectement** : on utilise des méthodes stadimétriques, parallaxiques, optiques, ...
- **Graphiquement ou par le calcul.**

II.1 MESURE DIRECTE DE DISTANCE

1) Jalonnement sans obstacle :

Jalonnement un alignement consiste à placer sur cet alignement un certain nombre d'objet qui facilitent la mesure des distances partielles. On peut dresser des **jalons d'arpenteur** entre lesquels on pourra procéder à des opérations de **chaînage**.

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

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

De A on voit B et le jalonnement est sans obstacle

L'opérateur installe en B un jalon ou un trépied d'appareil. Il se place derrière l'origine A et fait installer les jalons intermédiaires en commençant par le plus éloigné.

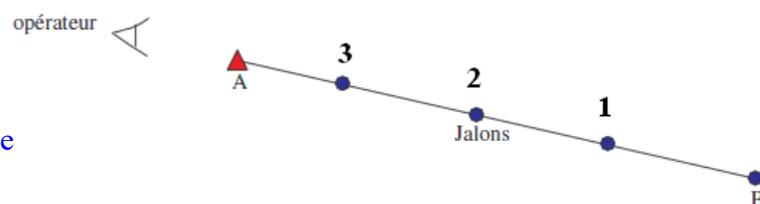


Fig. II.1 Jalonnement sans obstacle

2) Jalonnement avec obstacle franchissable (droite avec obstacle)

L'opérateur au point **M** se place aussi près de l'alignement **OE**, de tel sorte qu'il puisse voir **E**, par exemple en **1**. L'aide **N** aligné par l'opérateur sur **2E** se place en **2** d'où il aligne à son tour l'opérateur en **3** sur **2O**. L'opérateur **3** aligne ensuite l'aide en **4** sur **3E**. Et ainsi de suite jusqu'à ce que les alignements successifs aboutissent aux points corrects **M** et **N**, où les rectifications de position ne sont plus nécessaires (Fig. II.).

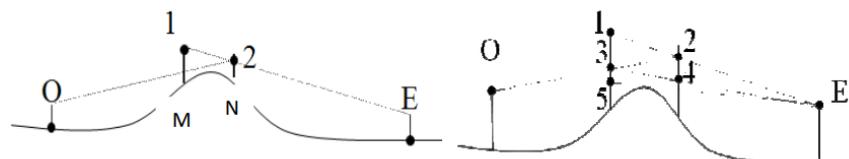


Fig. II.2 Jalonnement avec obstacle franchissable

3) Jalonnement avec obstacle infranchissable et sans visibilité

Si l'obstacle est de plus grande importance, il faut choisir une ligne d'opération annexe partant d'une des extrémités, par exemple AT. Planter les jalons en A et T. Abaisser avec l'équerre optique la perpendiculaire issue de l'autre extrémité B d'ou le point B'.

Mesurer les longueurs AB' et BB'. Choisir deux points M' et N' de part et d'autre de l'obstacle sur l'alignement AT. De ces deux points élever les perpendiculaires et implanter les points M'' et N'' si possible au-delà de l'alignement AB. Mesurer AM' et AN'.

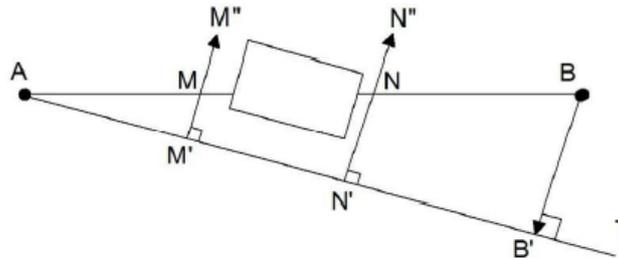


Fig. II.3 Jalonnement avec obstacle infranchissable

Calculer : $N'N = \frac{B'B}{AB'} \times AN'$ et $M'M = \frac{B'B}{AB'} \times AM'$

Porter ces deux côtes sur les alignements M'M'' et N'N'', pour implanter les points M et N sur l'alignement AB.

En prolongeant AM et BN vers l'obstacle, nous obtenons l'impact de cet alignement sur cet obstacle. La distance AB peut être obtenue par : $AB = \sqrt{AB'^2 + B'B^2}$

La même méthode peut être utilisée mais avec un théodolite : Choisir un point B' sur l'alignement AT. Mesurer l'angle AB'B. Reporter cet angle en M' et en N'.

4) Chaînage au ruban d'acier (étalon à trait) :

- Pour un chaînage horizontal, le chaîneur plante une fiche au point de départ et aligne l'aide dans la direction considérée. Après traction convenable l'aide plante sa fiche à l'extrémité du ruban.

L'opérateur donne le signal pour le départ d'une nouvelle portée et prend la première fiche de même qu'il prendra successivement les fiches plantées par l'aide. La dernière portée comporte en général un appoint inférieur à la longueur de l'étalon utilisé.

Cet appoint est mesuré à partir de la dernière fiche correspondant à des portées entières. Cette fiche étant plantée dans le sol, le nombre de portées entières sera donné par le nombre de fiches que l'opérateur aura dans sa main. Si au point de départ, on n'a pas utilisé de fiche, il convient au contraire de compter la dernière fiche.

- Lorsque le terrain est en pente irrégulière, il est difficile selon la pente, on peut chaîner par **ressauts horizontaux**.

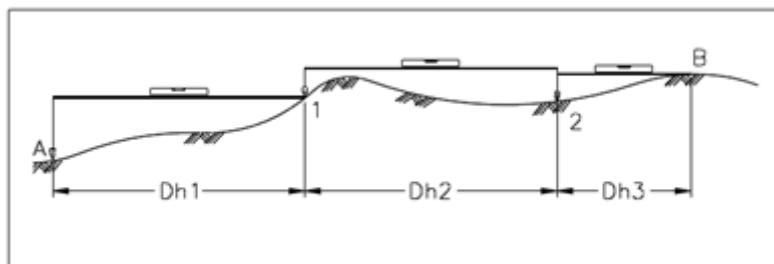


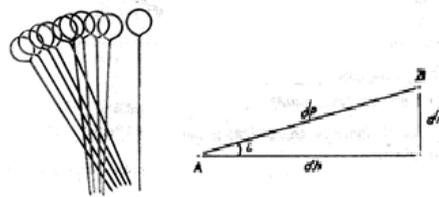
Fig. II.4 Mesure au ruban par ressauts horizontaux

L'aide tient le ruban horizontal et lâche la fiche plombée ou bien repère la trace d'un fil à plomb maintenu en contact avec la poignée avant. L'appoint final est mesuré au fil à plomb. On place la pointe du plomb au-dessus de l'extrémité B de la longueur à chaîner et on lit sur le ruban, tenu horizontalement l'appoint cherché. Bien entendu toute distance chaînée par ressauts horizontaux est réduite à l'horizon.

Dans un terrain en pente régulière à chaînage facile, il est préférable de chaîner selon la pente et tenir compte de la réduction à l'horizon.

$$dh = dp * \cos(i)$$

$$dh = dp - \frac{dn^2}{2dp} \text{ avec } dh = \sqrt{dp^2 - dn^2}$$



L'étalonnage au ruban d'acier de 20 m est réalisé pour la qualité courante et à la température de 20° avec une erreur moyenne quadratique de 3 mm cette erreur d'étalonnage introduit dans la mesure une erreur systématique de 3 cm pour une distance de 200 m.

Le chaînage au ruban introduit dans les mesures des erreurs systématiques d'étalonnage, de température (dilatation), élasticité, de pente, ... et des erreurs accidentelles de fiche ou de mise de bout à bout, de tension, de jalonnement ou d'alignement.

On peut admettre que l'erreur moyenne relative de chaînage au ruban d'acier est de : 0.02 à 0.05%.

II.2 MESURES INDIRECTES :

A. Procédé stadimétrique :

1. **Définition** : La mesure indirecte des distances ou stadiomètre consiste à déterminer une distance L en évaluant sur une mire ou sur une stadia la longueur interceptée par deux rayons optiques issus d'un même point.
2. **Principe** :

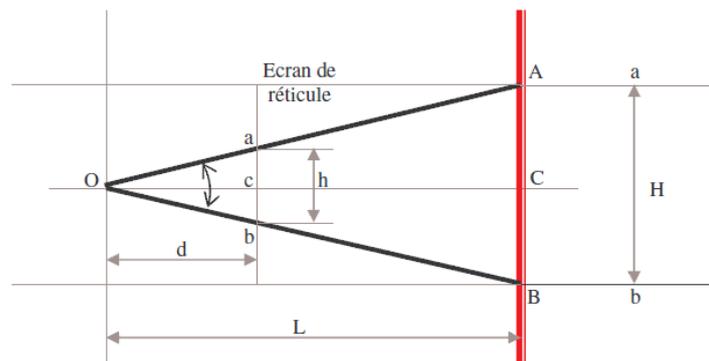


Fig. II.

La scalimétrie est basée sur le principe des triangles semblables. Un opérateur placé derrière l'instrument mis en station à son oeil au point S situé à l'une des extrémités de la ligne à mesurer OC. La **mire** ou la **stadia** est dressée suivant la verticale AB à l'autre extrémité. L'opérateur vise à travers un écran transparent ab (a : fil supérieur du réticule, b : fil inférieur). Dans les triangles semblables OAB et Oab, on a :

$$H/h = L/d \quad \text{soit} \quad d/h \times H = L$$

H et d sont des constantes de l'appareil, H est variable.

On pose $d/h = k$: coefficient constant égal à 25, 50 ou 100 suivant l'instrument utilisé, on peut donc écrire en définitive :

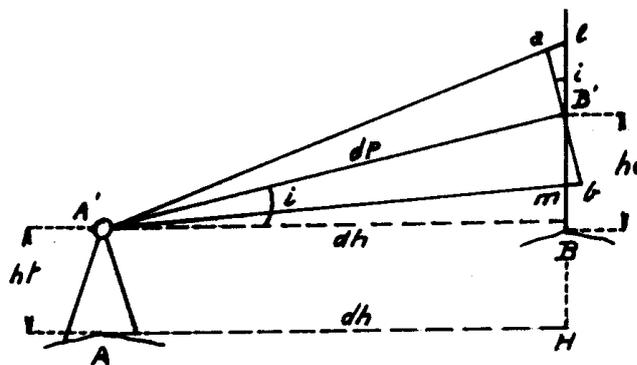
$$L = k \times H$$

Mire verticale : stadiomètre non réductrice

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

3. Mesures stadimétriques en terrain incliné :

Fig. II.



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

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

L'instrument étant en A , on vise B' avec le trait niveleur et on fait les lectures l et m sur la mire avec les traits stadimétriques. Considérons, en première approximation, au point B' la perpendiculaire à la visée $A'B'$.

Elle coupe les droites $A'l$ et $A'm$ aux points a et b .

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

Donc :

$$aB' = lB' * \cos(i)$$

$$bB' = mB' * \cos(i)$$

D'où : $ab = lm * \cos(i)$

Ce qui entraîne : $dp = A'B' = lm * 100 * \cos(i)$

$$dh = dp * \cos(i) = lm * 100 * \cos^2(i)$$

Ou :

$$dh = lm * 100 * \sin^2(V)$$

Exemple :

Lecture trait stadimétrique supérieur : $l = 1,676$

Lecture trait stadimétrique inférieur : $m = 1,364$

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

On aura : $dh = (1,676 - 1,364) * 100 * \cos^2(4,28) = 31.06 \text{ m}$

B. Procédé parallaxique :

Ce type de mesure parallaxique nécessite l'emploi d'un théodolite et d'une stadia.

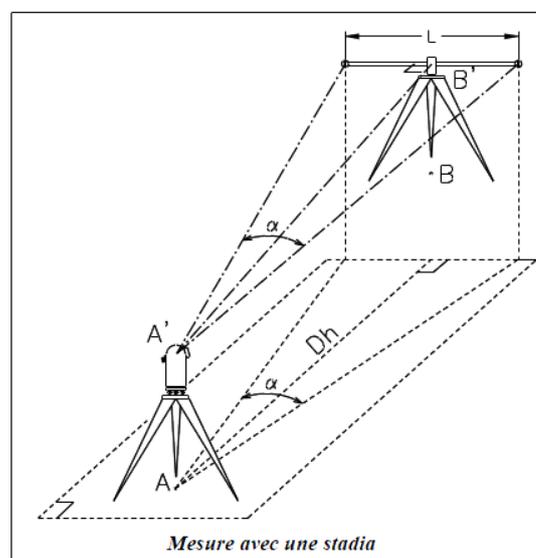
Une stadia est une règle comportant deux voyants (triangulaires ou circulaires) dont l'écartement est connu (généralement 2 m). Il existe des stadias Invar pour des mesures de haute précision.

La stadia est dotée d'une nivellement sphérique et d'un viseur pour régler sa perpendicularité par rapport à la ligne de visée $A'-B'$

Le calcul donne la distance horizontale :

$$dh = \cotg\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

avec : $l = 2 \text{ m}$



Applications

Exercice 1:

On mesure la distance en pente égale à 30 m et on a les altitudes ($Z_A = 125$ m, $Z_B = 140$ m)
On demande la distance horizontale dh ?

Exercice 2 :

Après les mesures sur un terrain en pente, on a les résultats suivants :

$$\alpha_1 = 15^\circ$$

$$\alpha_2 = 8^\circ$$

$$l_1 = 10 \text{ m}$$

$$l_2 = 15 \text{ m}$$

On demande la distance horizontale totale l ?

Exercice 3 :

Après la mesure de deux distances horizontales avec l'utilisation d'un théodolite, nous avons les résultats suivants :

	Mesure S-A	Mesure S-B
Lecture stadimétrique supérieure	2,48	1,50
Lecture stadimétrique axial	1,87	1,32
Lecture stadimétrique inférieure	1,26	1,15
Angle V (grad)	86,23	104,20

Exercice 4 :

Afin de déterminer le relief d'un terrain naturel au niveau d'une coupe transversale d'une route, on utilise un niveau installé en une station S pour viser trois points A , B et C .

Altitude du repère $Z_R = 856.80$ m.

Les résultats sont les suivants :

Station	Point visés	Lecture (m)
S	Rep	2.125
	A	1.015
	B	3.300
	C	2.562

1. Quel est le procédé de nivellement utilisé dans cette opération ?
2. Sachant que l'appareil a été parfaitement réglé, déterminer les altitudes des points A , B et C .

II.3 INSTRUMENTS DE MESURE :

II.3.1 NIVEAU

On distingue les niveaux automatiques et les niveaux non automatiques appelés aussi niveau bloc. Leur différence se situe seulement au niveau du dispositif qui rend l'axe optique horizontal. Ils sont équipés d'un réticule qui permet d'effectuer la lecture sur une mire.

Niveau NA20 ou NA24

1. Plaque de base
2. Cercle (Rapporteur)
3. Contrôle de fonctionnement ou Compensateur
4. Oculaire
5. Anneau amovible (réglage de collimat.)
6. Nivelles circulaires ou sphériques
7. Point de centrage
8. Visueur
9. Objectif
10. Mise au point
11. Fin mouvement
12. Vis calante (3)

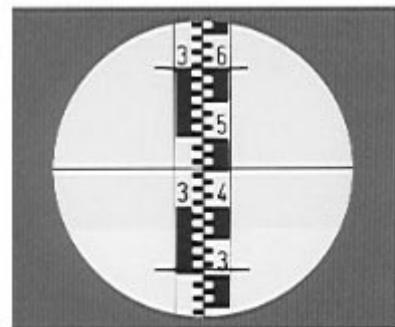
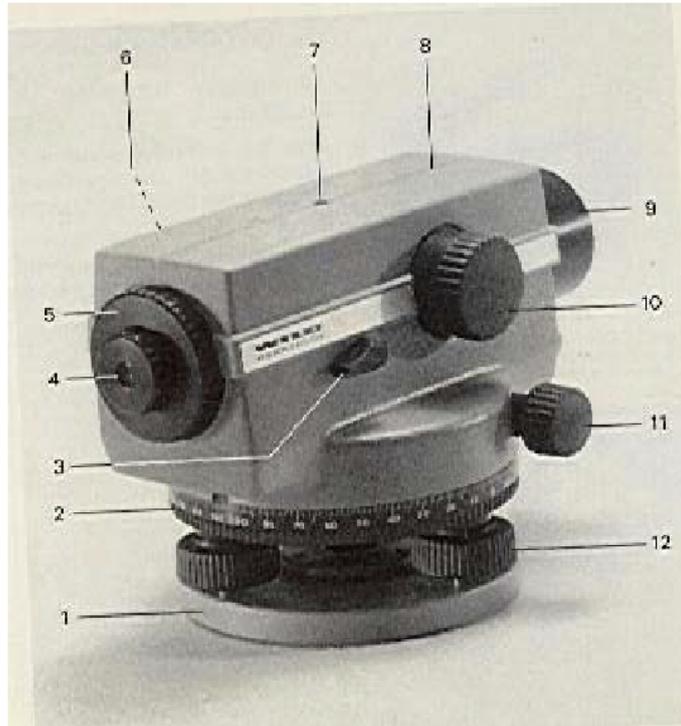
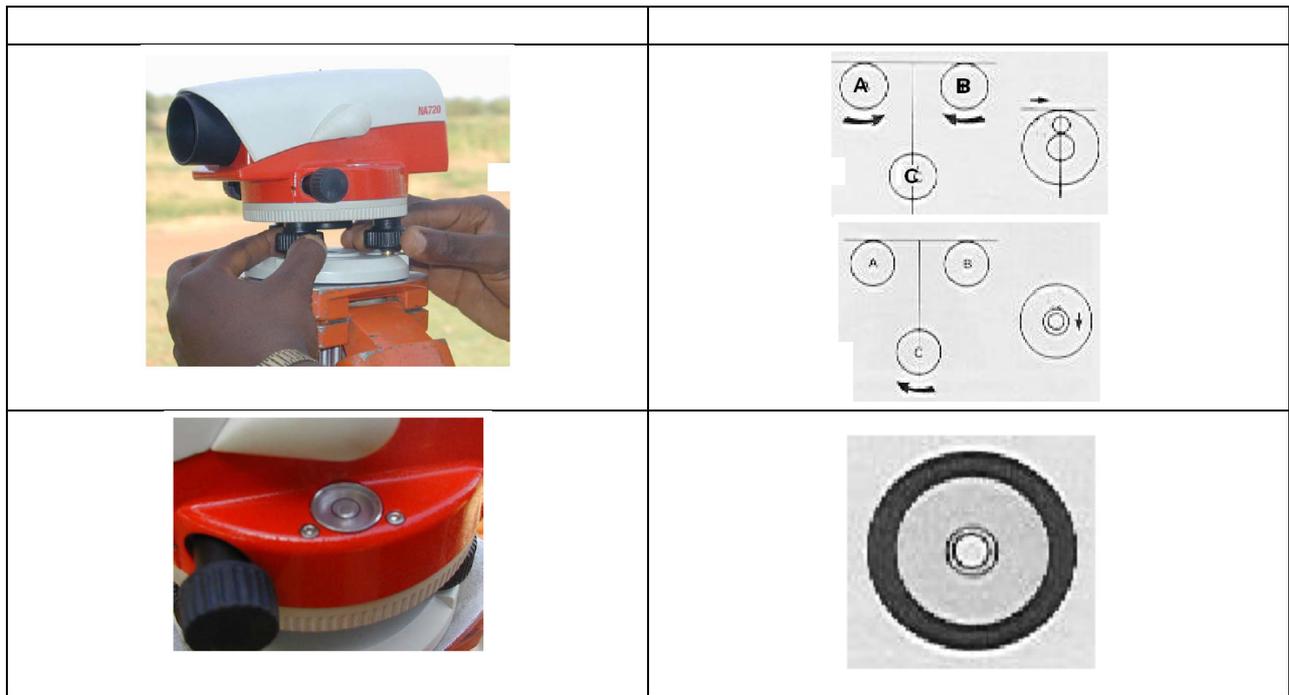
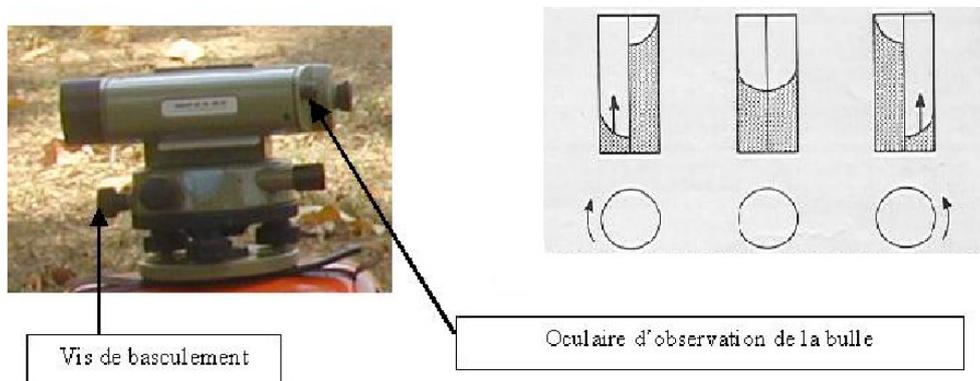


Image droite : lire 34 -5-6=346



a) Niveaux blocs

L'axe optique est rendu horizontal à l'aide d'une *vis de basculement* qui permet de caler la bulle encore appelée nivelle torique. Souvent le calage est réalisé par la mise en coïncidence des extrémités des demi-paraboles, qui représentent l'image de la bulle, observées dans un oculaire.

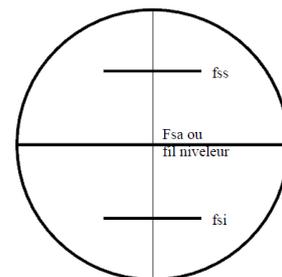


b) Le réticule

C'est un disque de verre fixe par rapport à l'objectif, on le voit en regardant dans l'oculaire. *Le réticule* porte trois traits horizontaux fss, fsa et fsi appelés respectivement *fil stadimétrique supérieur*, *fil stadimétrique axial ou fil niveleur* et *fil stadimétrique inférieur*.

Le fil niveleur représente le plan horizontal et les fils supérieur et inférieur sont symétriques par rapport au fil niveleur.

Le réticule doit être réglé pour faire apparaître tous ces différents fils. Pour cela tourner l'oculaire 4 jusqu'à ce que les fils deviennent bien visibles.



II.3.2 MIRE

Une mire de nivellement est une échelle linéaire qu'il faut tenir verticalement, qui ne doit en aucun cas être considérée comme un accessoire de moindre importance. La valeur de la mesure d'une dénivelée dépendant en effet autant de la mire que du niveau. Il est donc important de mettre du sérieux dans la tenue d'une mire pour la rendre verticale.

On distingue plusieurs types de mire dont la mire ordinaire centimétrique à quatre mètres de long. Elle est la plus utilisée. Elle est constituée de deux parties de deux mètres reliées par une charnière et un verrou.

La mire est calée avec une nivelle sphérique en mettant la bulle circulaire dans son cercle repère. La mire est constituée par des échelons ou case, d'un centimètre, groupés par cinq pour aider à la lecture.

II.3.3 LE TREPIED

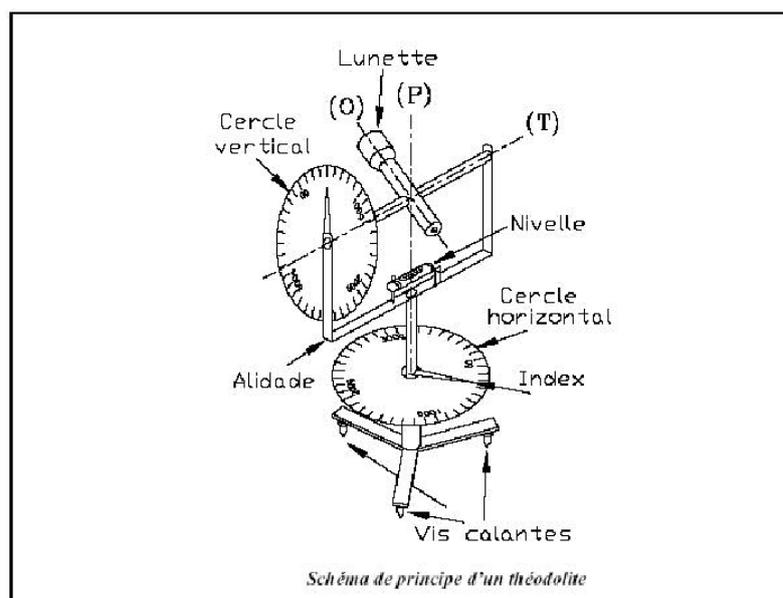
Les trépieds en bois sont très utilisés. Un trépied doit être robuste pour supporter l'appareil afin de lui assurer une stabilité. Le trépied est muni d'une vis centrale qui permet de fixer l'appareil sur le plateau qui peut être protégé par une coiffe.

Les jambes coulissantes permettent de régler le niveau à hauteur de l'œil de l'opérateur.

Le mouvement des jambes du trépied doit être régulier. Les jambes doivent garder leur écartement quand le trépied est soulevé par le plateau.

II.3.4 THEODOLITE

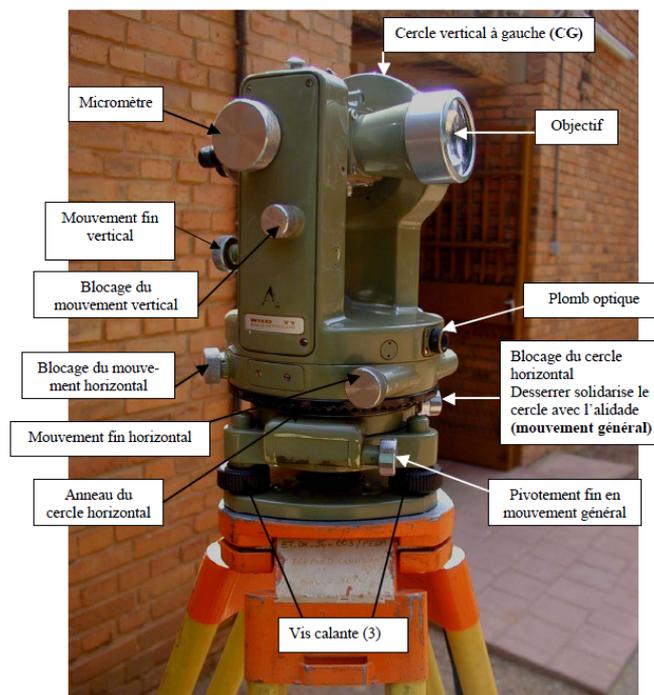
Un théodolite est un appareil permettant de mesurer des angles horizontaux et des angles verticaux.

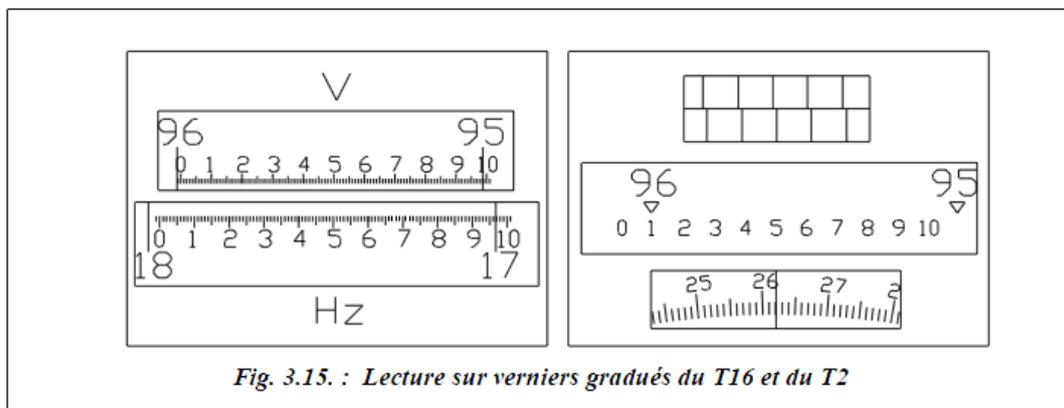
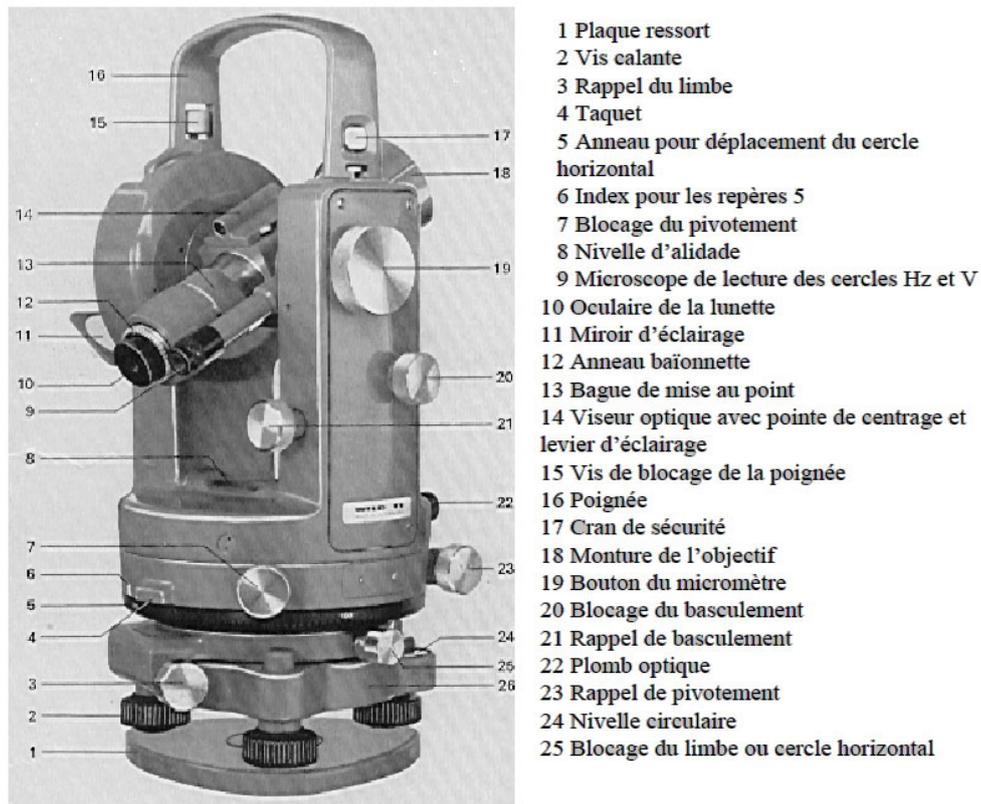


Le terme théodolite « **optico-mécanique** » regroupe l'ensemble des appareils à lecture mécanique par opposition aux appareils « **optico-électroniques** » couramment appelés **appareils électroniques**.

- (P) : **axe principal**, il doit être vertical après la mise en station du théodolite et doit passer par le centre de la graduation horizontale (et le point stationné).
- (T) : **axe secondaire** (ou **axe des tourillons**), il est perpendiculaire à (P) et doit passer au centre de la graduation verticale.
- (O) : **axe optique** (ou **axe de visée**), il doit toujours être perpendiculaire à (T), les trois axes (P), (T) et (O) devant être concourants.
- L'**alidade** : c'est un ensemble mobile autour de l'axe principal (P) comprenant le cercle vertical, la lunette, la nivelle torique d'alidade et les dispositifs de lecture (symbolisés ici par des index).
- Le **cercle vertical** (graduation verticale). Il est solidaire de la lunette et pivote autour de l'axe des tourillons (T).
- Le **cercle horizontal** ou **limbe** (graduation horizontale). Il est le plus souvent fixe par rapport à l'embase mais il peut être solidarisé à l'alidade par un système d'embrayage (T1, T16, RDS) : on parle alors de **mouvement général** de l'alidade et du cercle autour de (P) ; c'est le mouvement utilisé lors du positionnement du zéro du cercle sur un point donné. Lorsqu'il est fixe par rapport au socle, on parle de **mouvement azimutal ou particulier** : c'est le mouvement utilisé lors des lectures angulaires. Sur le T2, un système de vis sans fin permet d'entraîner le cercle et de positionner son zéro.

WILD T1





Par exemple, dans le théodolite T16, les deux cercles sont lisibles en même temps ; on peut lire : $V = 95,98^\circ$ gon et $H_z = 17,96^\circ$ gon.



Solution d'application**Ex01 :**

$$Z_A = 125 \text{ m}$$

$$Z_B = 140 \text{ m}$$

$$L_{AB} = 30 \text{ m}$$

dh ?



$$dV = Z_B - Z_A = 15 \text{ m}$$

$$dh = \sqrt{30^2 - 15^2} = 25,98 \text{ m}$$

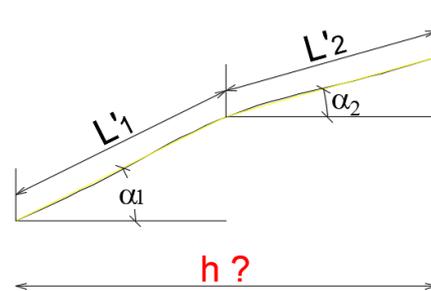
Ex02 :

$$\{ L_1 = L'_1 \cos(\alpha_1) = 10 \cos(15^\circ) = 9,65 \text{ m}$$

$$\{ L_2 = L'_2 \cos(\alpha_2) = 15 \cos(8^\circ) = 14,85 \text{ m}$$

h ?

$$h = L_1 + L_2 = 24,50 \text{ m}$$

**Ex03 :**

$$L_{S-A} = 100 \times (L_{Sup} - L_{inf}) \times \sin^2(V)$$

$$L_{S-A} = 100 \times (2,48 - 1,26) \times \sin^2(86,23gr)$$

$$L_{S-A} = 116,38 \text{ m}$$

$V < 100 \implies$ le point A est plus élevé que S

Ou :

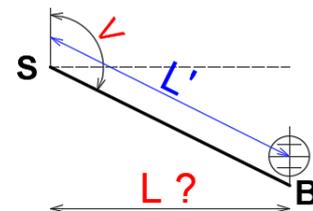
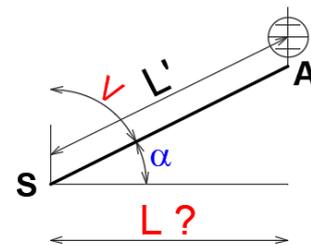
$$L_{S-A} = 100 \times (L_{Sup} - L_{inf}) \times \cos^2(\alpha)$$

$$L_{S-B} = 100 \times (L_{Sup} - L_{inf}) \times \sin^2(V)$$

$$L_{S-B} = 100 \times (1,50 - 1,15) \times \sin^2(104,20gr)$$

$$L_{S-B} = 34,84 \text{ m}$$

$V > 100 \implies$ le point S est plus élevé que B

**Ex04 :**

$$Z_{Rep} = 856,80 \text{ m}$$

$$Z_{Station} = 856,80 + 2,125 = 858,925 \text{ m}$$

$$Z_A = Z_{Station} - lec_{S-A} = 858,925 - 1,015 = 857,910 \text{ m}$$

$$Z_B = Z_{Station} - lec_{S-B} = 858,925 - 3,300 = 855,625 \text{ m}$$

$$Z_C = Z_{Station} - lec_{S-C} = 858,925 - 2,562 = 856,363 \text{ m}$$

