

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique
Université Hassiba Benbouali de Chlef
Faculté de Génie Civil et d'Architecture
Département de Génie civil



Polycopié de Cours



Eléments de Topographie Pratique

Présenté par :

Dr. NOURI Said

2017-2018

Avant Propos

Ce document propose un polycopié de cours intitulé « Eléments de Topographie Pratique » destiné aux étudiants en Licence 2 et 3, Filières : « Génie Civil et Travaux Publics ».

Ce polycopié est une synthèse tirée de différents ouvrages en relation avec le thème. Il présente conformément au programme officiel, des notions, des définitions et des rappels sur les instruments topographiques, les méthodes d'observations et les mesures nécessaires pour la topographie. Il s'intéresse par la suite aux techniques de nivellements et de canevas topographique, en traitant : leurs types, leurs usages et leurs calculs.

Etant très vaste et ramifié, Le thème de topographie pratique touche plusieurs disciplines (géologie, géotechnique, hydraulique, génie civil et travaux publics), j'ai essayé dans l'élaboration de ce document de développer les aspects en relation avec le profil des étudiants auxquels ce document est destiné. Ce cours sera amélioré et poursuivi prochainement par la version travaux pratiques et dirigés, dans laquelle des exercices, des TP, des méthodes explicatives et complémentaires à ce cours seront proposés. Enfin, mes hommages à tous ceux qui ont contribué indirectement à la réalisation de ce cours (auteurs des différents ouvrages) sans oublier ceux qui me feront le plaisir de consulter ce document et de l'enrichir.

Table des matières

Chapitre 1 : Généralités

1- Définition de la topographie.....	1
2- Le levé topographique.....	1
2.1 La planimétrie.....	1
2.2 L'altimétrie.....	2
2.3 Le plan topographique.....	3
2.4 Altitude d'un point	3
2.5 Côte d'un point.....	4
2.6 La dénivelée.....	4
3-Les échelles.....	5
4- Les différents appareils de mesure topographique.....	6
4-1 Matériel de Terrain.....	6
4-2 Les Instrulments de Terrain.....	9

Chapitre 2 : Calcul des coordonnées et des surfaces

1-Représentation plane de la surface terrestre.....	13
1-2Longitude (λ).....	13
1-2 Latitude (φ).....	13
2- Les axes.....	14
2-1 Nord Géographique (NG).....	14
2-2 Le Nord de la carte ou Nord Lambert (NL ou Y).....	14
2-3 Nord Magnétique (MN).....	14
3- Les orientations.....	15
3-1 Azimut (AZ).....	15
3-2 Le Gisement (G).....	15
3-3Calcul du Gisement (G).....	16
3-4 Calcul des coordonnées à partir d'un gisement.....	17
4- Systèmes de levés topographiques.....	18
4-1 Levé par alignement.....	18

4-2 Levés topographiques par rayonnement.....	18
4-3 Levé par abscisses et ordonnées ou coordonnées rectangulaires.....	19
5- Calcul de surface.....	20
4-2 Calcul de surface par les coordonnées polaires.....	21
4-2 Calcul de surface par les coordonnées rectangulaires.....	21
6- Applications.....	22

Chapitre 3 : Mesure des distances et des angles

1- Introduction.....	24
2- Mesures directes des distances.....	24
2-1 Mesure d'une distance par chaînage.....	24
2.2. Les instruments de mesures.....	25
3. Mesures indirectes des distances.....	27
3.1. Mesure stadimétrique.....	27
3.1.1 Les stadimètres à angle constant.....	27
3.1.2 Les stadimètres à angle variable (par variation de pente).....	29
4- Mesure des angles.....	30
4-1- Classification des instruments.....	31
4-2- Principe de fonctionnement d'un théodolite.....	33
4-2-1 Les axes.....	33
4-2-2 Les cercles.....	34
4-3- Angle Horizontal.....	35
4-3-1 Principe de mesure.....	35
4-3-2 Orientation d'une direction (θ).....	35
4-3-3 Le Gisement d'une direction (G).....	36
4-3-4 L'orientation inverse ou arrière.....	37
4-4 Angle Vertical.....	37
4-4-1 Détermination de site (i).....	39

Chapitre 4: Le Nivellement direct et indirect ou l'Altimétrie

1- Généralités.....	44
---------------------	----

2-	Nivellement direct ou géométrique.....	45
2-1	Principe	46
2 – 2	Lectures sur la mire.....	46
2 – 3	Différents méthodes de nivellement.....	48
3-	Observations et Calculs.....	51
4-	Règles de compensation de l'écart de fermeture.....	52
5-	Applications.....	53
6-	Le Nivellement Indirect ou Planimétrie.....	56
7-	Tachéomètre Autoréducteur.....	59
7-1	Définition.....	59
7-2	Stadimétrie autoréducteur par variation de pentes.....	59
7-3	Dispositif autoréducteur par traits courbes.....	60
7-4	Réalisation pratique.....	60

Chapitre 5 : Canevas et lever de détail

1-	Définition du canevas.....	64
2-	Réseau polygonal.....	64
2-1	Principe.....	64
2-2	Forme des cheminements.....	64
2-2-1	Cheminement encadré.....	64
2-2-2	Cheminement fermé.....	64
2-2-3	Antenne.....	64
2-2-4	Point nodal.....	65
2-3	Classifications et caractéristiques des cheminements.....	65
2-4	Exécution pratique d'un cheminement.....	66
2-5	Calcul d'un cheminement encadré.....	67
2-5-1	Transmission des gisements.....	67
2-5-2	Compensation de l'écart de fermeture angulaire.....	68
2-5-3	Calcul des coordonnées	68
3-	Application.....	70
	Références Bibliographiques.....	71

Chapitre 1 : Généralités

1- Définition de la topographie

La topographie nécessite un état d'esprit où la rigueur, la précision, la clarté et la conscience professionnelle sont indispensables.

Le mot **TOPOGRAPHIE** est formé à partir de deux mots grecs : «**Topos**» qui signifient lieu et «**graphie**» qui signifie décrire, donc décrire à propos d'un lieu. La topographie consiste à représenter graphiquement un lieu sur le papier. Cette représentation se fait par une projection orthogonale du sol, sur une surface horizontale. L'opération correspondante s'appelle le **levé topographique**, technique qui a pour objet l'exécution, l'exploitation et le contrôle des observations concernant la position planimétrique et altimétrique.

Quelques définitions préalables de termes sont nécessaires :

2- Le levé topographique :

C'est l'ensemble des opérations destinées à recueillir sur le terrain les éléments nécessaires à l'établissement d'un plan ou d'une carte. Différents modes d'acquisition des données :

Un levé est réalisé à partir d'observations : actions d'observer au moyen d'un ou plusieurs instruments permettant des mesures

2.1 La planimétrie :

La planimétrie est la représentation en projection plane de l'ensemble des détails à deux dimensions du plan topographique. La planimétrie est la partie de la topographie rassemblant toutes les opérations effectuées à l'aide de mesures horizontales.

La planimétrie est l'exécution ou l'exploitation des observations et des mesures qui permettent de représenter sur un plan horizontal des détails situés à la surface du sol (terre). Elle comprend un ensemble d'opérations tel que :

a) les mesurages sur les lieux à l'aide d'angles horizontaux et de distance réduites à l'horizontale, des détails.

b) les calculs effectués au bureau ont pour but de fixer sur le plan les projections des points par rapport à un système d'axes choisi.

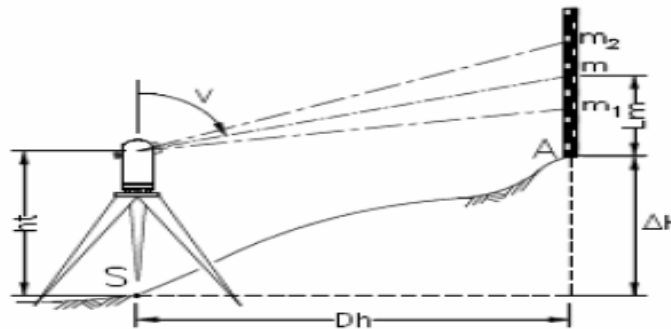


Fig. 1.1: Observations par planimétrie.

2.2 L'altimétrie :

L'altimétrie est la partie de la topographie rassemblant toutes les opérations effectuées à l'aide de mesures verticales. Elle représente le relief sur un plan ou une carte.

L'altimétrie constitue l'ensemble des opérations qui a pour objet de déterminer les ordonnées des différents points levés en planimétrie au-dessus d'une surface horizontale et plane de référence. La longueur de ces ordonnées porte le nom d'altitude. Leur mesurage peut s'effectuer soit directement au moyen d'un appareil définissant un plan horizontal {niveau} soit au moyen de mesure d'angles verticaux (la représentation du relief du sol).

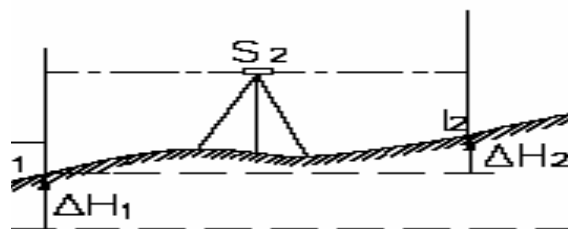


Fig. 1.2: Observations par altimétrie.

2.3 Le plan topographique :

Le plan topographique est la représentation exacte obtenue par projection, sur un plan horizontal, de tous les points caractéristiques situés sur le terrain.

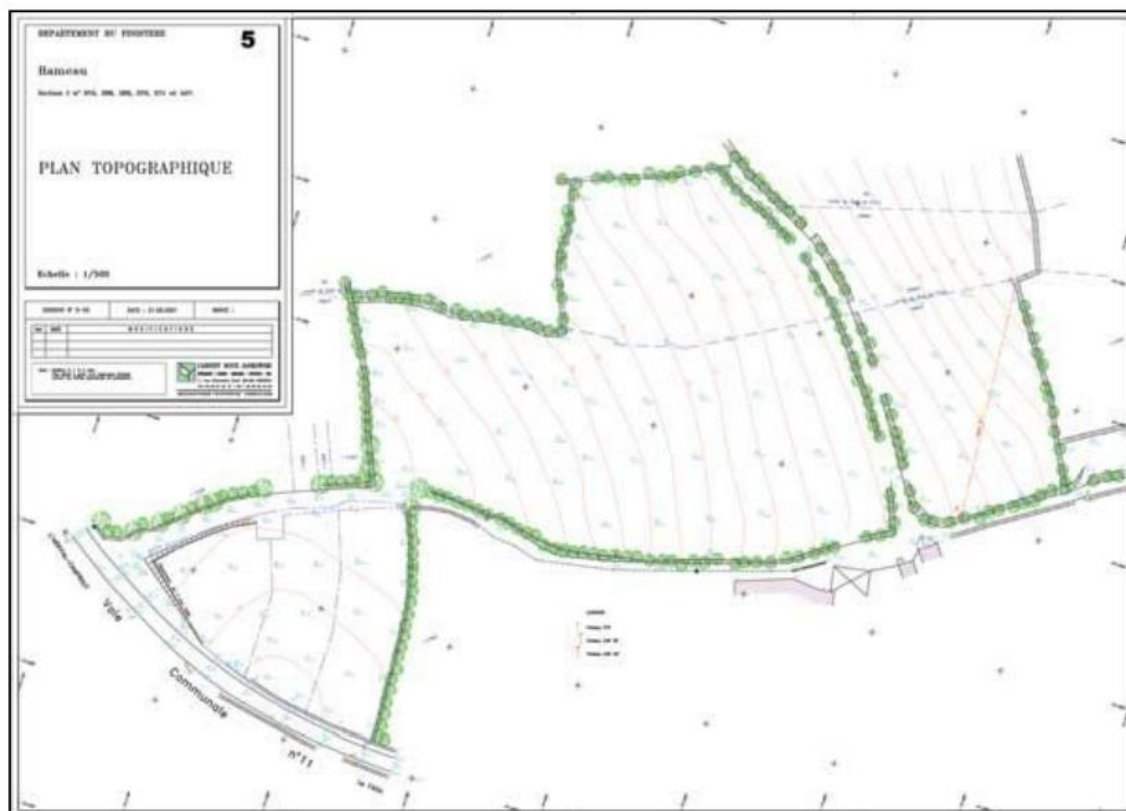


Fig. 1.3: Plan topographique.

2.4 Altitude d'un point :

Hauteur de ce point par rapport au niveau moyen des eaux de la mer.

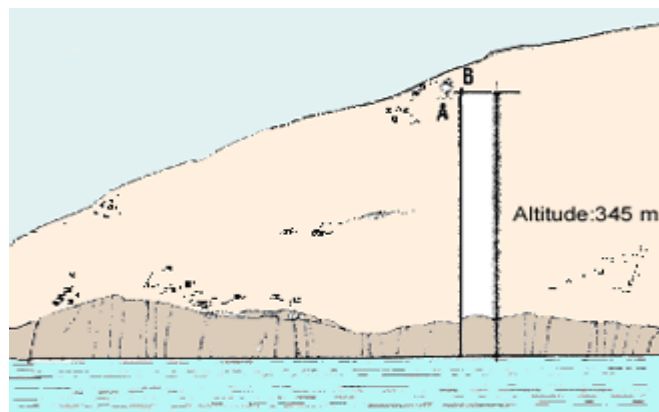


Fig. 1.4: Altitude d'un point.

2.5 Côte d'un point :

Hauteur d'un point par rapport à un plan horizontal de référence.



Fig. 1.5: Côte d'un point.

2.6 La dénivelée :

Lorsque deux piquets sont à une côte, la différence (entre ses deux côtes) représente la dénivelée. Elle est égale : Soit à la différence des altitudes de ces deux points Soit à la différence des côtes de ces deux points Soit à la différence des lectures effectuées sur les mires placées sur ces deux points

Le dessin topographique, architectural est un des moyens permettant d'informer ou de s'informer. Pour situer un point il faut repérer ses coordonnées sur 3 axes :

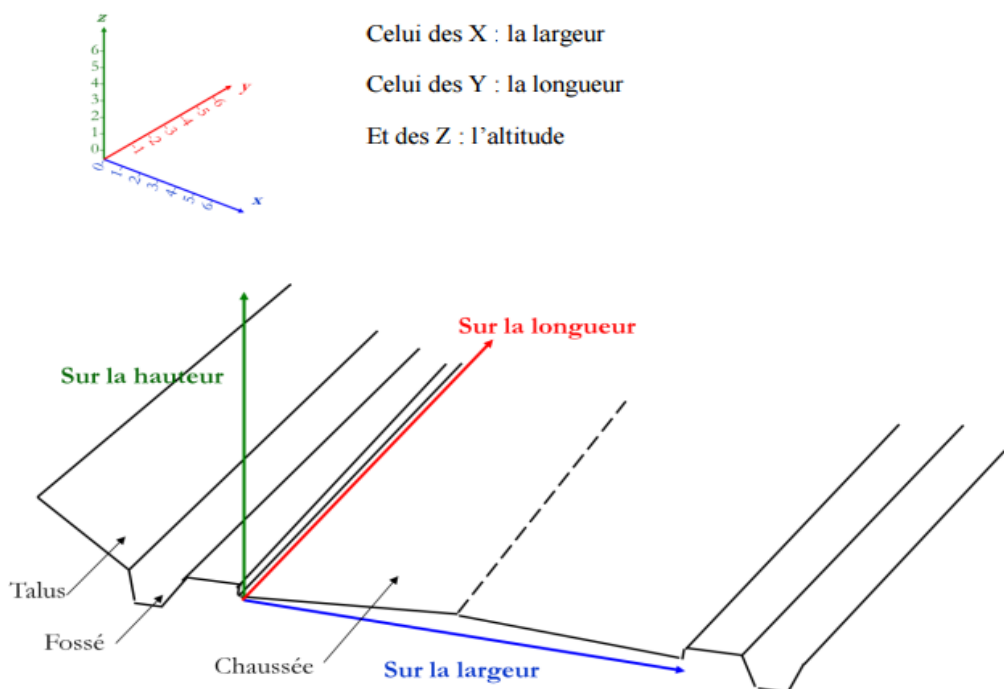


Fig. 1.6: La dénivelée d'une chaussée.

3-Les échelles:

L'échelle d'un plan ou d'une carte est le rapport exprimé dans la même unité entre une longueur mesurée sur la carte et la même longueur mesurée horizontalement sur le terrain. L'échelle est toujours indiquée avec 1 numérateur :

$$\frac{1}{E} = \frac{d_{plan}}{D_{terrain}}$$

Le rôle de l'échelle est de Réduire ou agrandir de façon constante et rationnelle les dimensions d'un objet, d'une pièce, d'une construction, d'un plan.

Plus l'échelle d'une carte ou d'un plan est petite, plus le nombre se trouvant au dénominateur est grand, et inversement, plus une échelle est grande, plus le nombre se trouvant au dénominateur est petit. Quatre types d'échelle en topographie :

- * Petite échelle : $100\ 000 \leq \text{Echelle}$
- * Moyenne échelle : $10\ 000 \leq \text{Echelle} \leq 100\ 000$
- * Grande échelle : Echelle $< 10\ 000$, en général 1/5000 1/2000 1/1000
- * « Très grande échelle » s'appliquant plutôt au 1/500 1/250 1/100 1/50

Lorsqu'un plan est dessiné à l'échelle, cela signifie que les distances réelles et les dimensions mesurées sur le plan, exprimées dans la même unité, sont proportionnelles.

Echelle= Dimension plan /Dimension réel

Dimension réel= Dimension du dessin x Echelle

Dimension dessin =Dessin réel / Echelle

L'échelle peut s'exprimer de trois façons : Fraction, Rapport et Décimale

Quelques exemples d'échelles :

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| - Fraction (ech : 1/200) | - Plan de situation: 1/200ème |
| - Rapport (ech : cm/m) | - Plan de masse : 1/200ème |
| - Décimale (ech : 0.01) | - Plan d'ensemble : 1/100ème |
| | - Plan d'exécution : 1/50ème |

On considère plusieurs sortes de plan ou de cartes :

PLANS CADASTRAUX :

Echelle 1 :250 , 1 :500 , 1 :1000 , 1 :5000

On représente sur ces plans les limites de propriétés les bâtiments, les murs importants, les ouvrages d'art, les ruisseaux. Ce sont les documents qui servent de base pour la conservation foncière et qui font foi.

PLANS D'ENSEMBLE :

Echelle 1 :5000 1 : 10000 Ils représentent la situation déjà schématisée avec les courbes de niveau donnant le relief du terrain. On y trouve la représentation d'arbres, de talus ou autres permettant une bonne orientation.

CARTES TOPOGRAPHIQUES :

Echelle 1 :25000 1 :50000 1 :100000

qui sont des représentation schématiques de la situation avec des courbes de niveau d'équidistance variable 10 m, 25 m.

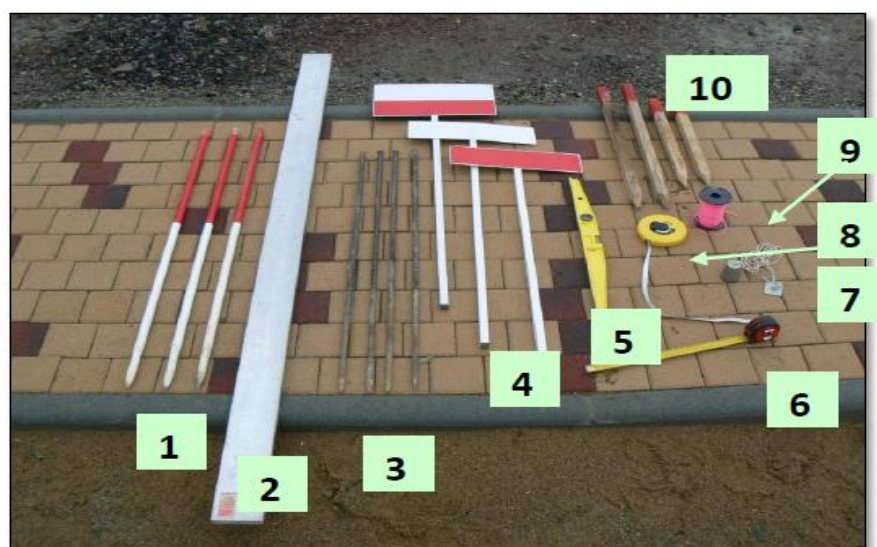
CARTES GEOGRAPHIQUES :

Echelle suivant l'étendue de la représentation, de 1 : 200000 à 1 :100'000'000. Les situations correspondent schématiquement à la réalité. Vu les dimensions des cartes géographiques, on y mentionne les noms de villes importantes, les limites des pays.

4- Les différents appareils de mesure topographique :

4-1 Matériel de Terrain

Le double mètre, la roulette, le fil à plomb, les fiches, le jalon, le trépied à jalon, le niveau d'eau ou la nivelle, la mire verticale à niveler et de topographie, le mètre à niveler, la nivelette, le socle de nivellement, la signalisation, le parasol.



- 1- Jalon 2- Règles aluminium 3- Fiches métalliques 4- Nivelettes 5- Niveau à bulle
6- Mètre à ruban 7- Fil à plomb 8- double décimètre 9- Cordeau 10- Piquets bois

Fig. 1.7: Matériel de Terrain.

Roulette :

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

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

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

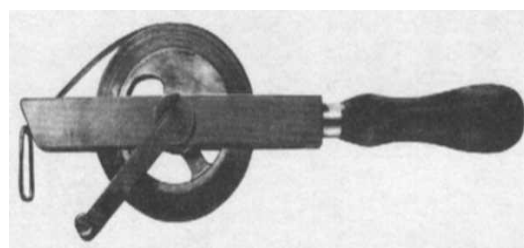
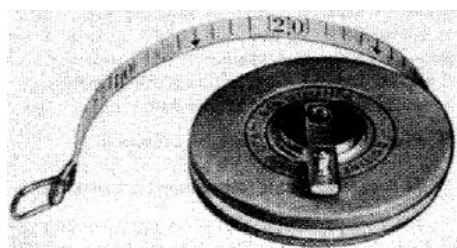


Fig. 1.8: Roulette à ruban et Roulette à manche

LE JALON – LE TREPIED DE JALON

Le jalon est une tige en bois ou métallique, rigoureusement droite et sans défauts, teinte d'habitude en rouge et blanc avec une graduation en décimètres ou en demi-mètres. La longueur des jalons de 2 m à 4 m.

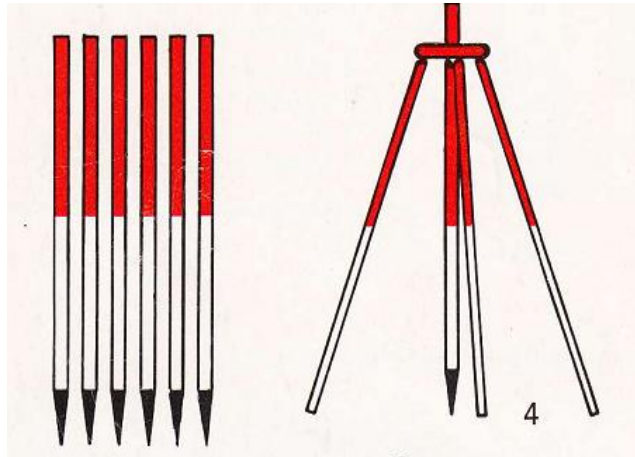


Fig. 1.9: Jalon, le trépied à jalon

LE NIVEAU D'EAU, LA NIVELLE

Le niveau d'eau est composé d'une fiole en verre possédant un certain rayon de courbure. Dans cette fiole se trouve de l'eau ou le plus souvent de l'alcool. Une bulle d'air est conservée dans la fiole et lorsque cette bulle est entre ses repères, la base du niveau est horizontale ou verticale suivant les niveaux.

La nivelle est constituée de la même façon et s'utilise pour la verticalité des mires ou l'horizontalité des instruments.



Fig. 1.10: La nivelle

MIRE VERTICALE A NIVELER ET DE TOPOGRAPHIE

C'est une mire verticale divisée normalement en centimètres, dont les chiffres des divisions sont soit à l'endroit, soit à l'envers suivant l'utilisation des instruments donnant une image droite ou inversée de l'objet. On la verticalise au moyen de nivelle. La longueur des mires verticales varie de 3 à 5 m.

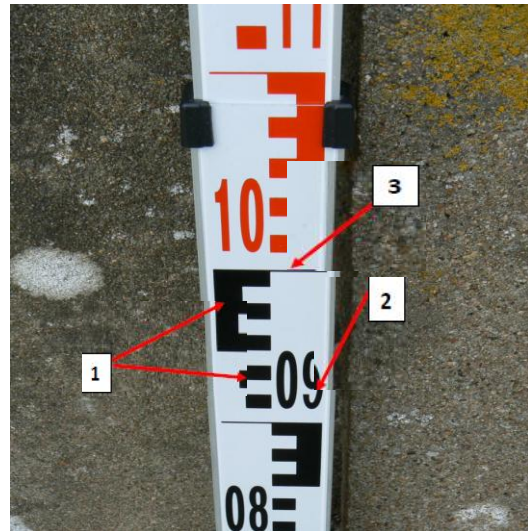


Fig. 1.11: La mire verticale.

Les graduations :

1 : Cm : noir et blanc ou rouge et blanc alternés. Changer de côté tous les 5cm

2 : Dm : traits horizontaux noirs ou rouges.

3 : M : les mètres sont indiqués par le chiffre des dizaines de décimètres.

4-2 Les Instrulments de Terrain :

4-2-1 La Boussole :

La boussole est un instrument donnant la direction du nord magnétique au moyen d'une aiguille aimantée.



Fig. 1.12: La Boussole.

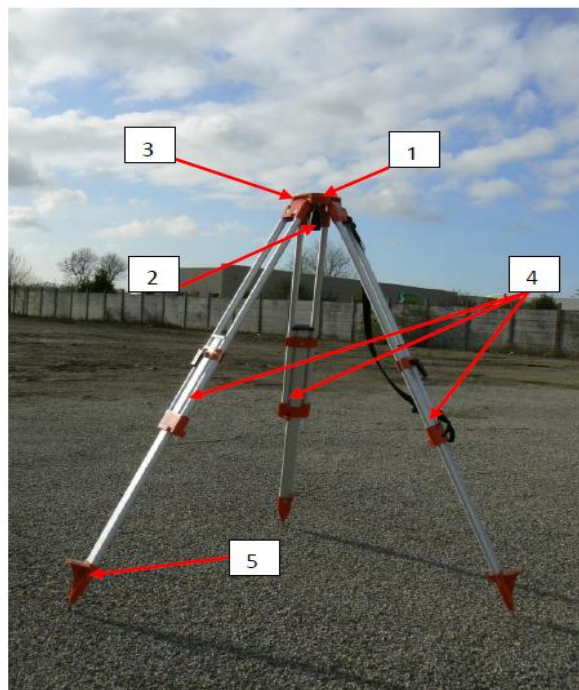
4-2-2 Les Equerres :

C'est un petit instrument qui donne l'angle droit. Il existe l'équerre à prisme simple et l'équerre à prisme double.



Fig. 1.13: L'équerre optique.

4-2-3 Le Trépied :

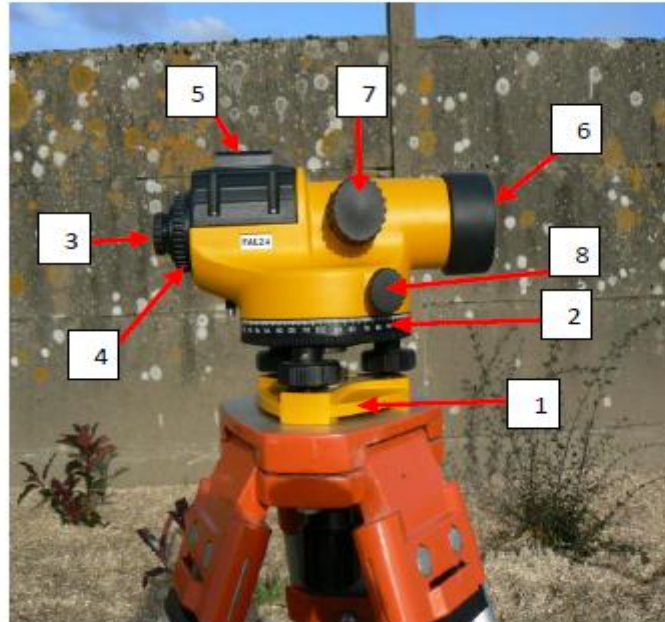


1- Plateau 2- Vis de fixation 3- Articulation 4- Pied coulissant 5- Sabot métallique

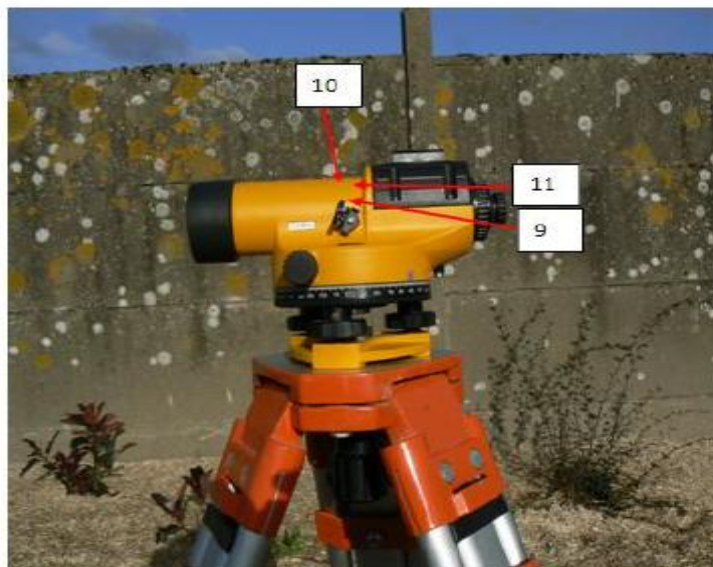
Fig. 1.14: Le trépied.

4-2-4 Le Niveau :

Le niveau est un instrument qui sert à la détermination des altitudes des points.



- 1- Embase 2- Cercle gradué 400 gr 3- Oculaire 4- Vis de réglage du réticule
5- Viseur 6- Objectif 7- Vis de mise au point de l'image 8- Vis de mouvement fin

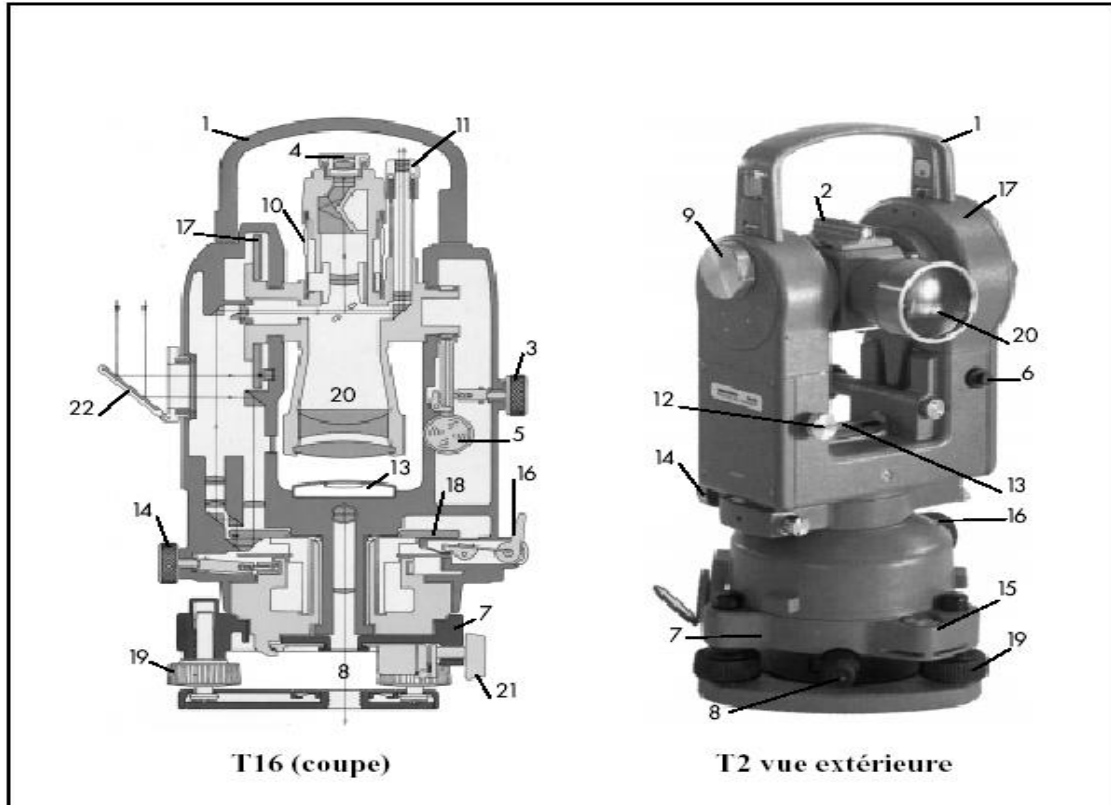


- 9- Cercle horizontal 10- Miroir pivotant 11- Nivelle sphérique

Fig. 1.15: Le Niveau (NAK 0).

4-2-5 Le Théodolite:

Le théodolite est un instrument servant à la mesure d'angles horizontaux et verticaux.



- 1- Poigné amovible 2- Viseur d'approche 3- Vis de blocage de la lunette 4- Oculaire de la lunette 5- Vis de point pointé 6- Contrôle d'automatisme 7- Embase amovible
 8- Plomb optique 9- Micromètre optique 10- Bague de mise au point 11- Microscope de lecture
 12- Commutateur de lecture Hz-V 13- Nivelles d'alidade 14- Vis d'alidade de fin pointé 15- Nivelles sphériques 16- Débryage du limbe (T16) 17- Cercle vertical
 18- Cercle horizontal 19- Vis calantes 20- Objectif 21- Blocage de l'embase
 22- Eclairage des cercles

Fig. 1.16: Le théodolite (WILD T2).

Chapitre 2 : Calcul des coordonnées et des surfaces

1- Représentation plane de la surface terrestre

Un point sur la terre se situe exactement à l'aide ses coordonnées géographiques, Longitude (λ) et Latitude (ϕ).

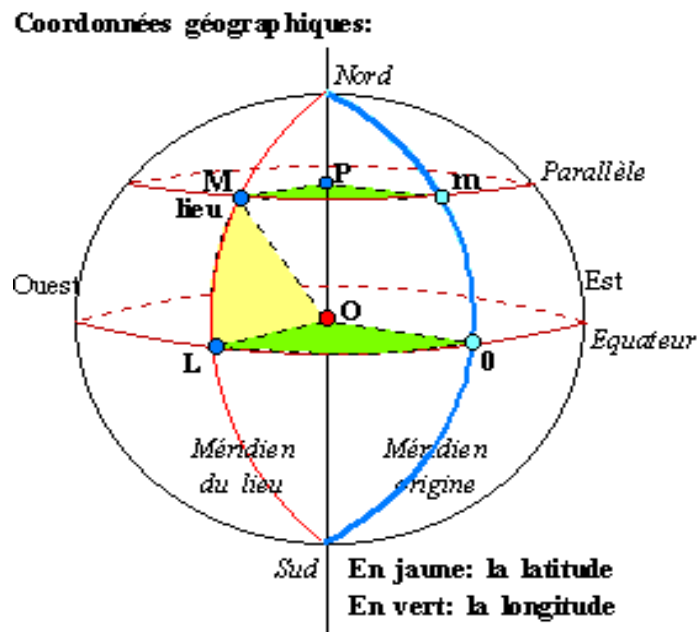


Fig. 2.1 : Représentation des coordonnées géographiques d'un point

1-1 Longitude (λ):

C'est l'angle formé par le plan méridien contenant ce point avec un plan méridien choisi arbitrairement comme origine (Paris, Greenwich). La longitude est comptée positive vers l'Ouest et négative vers l'Est (sens des aiguilles d'une montre).

1-2 Latitude (ϕ):

C'est l'angle formé par la verticale du point et le plan de l'équateur. La latitude est comptée vers le Nord ou vers le Sud à partir de l'équateur.

Le premier problème qui se pose est la représentation d'une portion d'ellipsoïde sur un plan. Pour cela on passe généralement par l'intermédiaire d'une

représentation mathématique de la surface terrestre sur une surface plane développée avec :

$$A : x, y = f(\lambda, \varphi)$$

En pratique, les travaux topographiques sont exécutés dans un système de coordonnées rectangulaires planes arbitraires XOY que l'on choisi le plus le plus près possible de la direction du nord (axe des Y). Un point est donc déterminé : en X (abscisse) et Y (ordonnée).

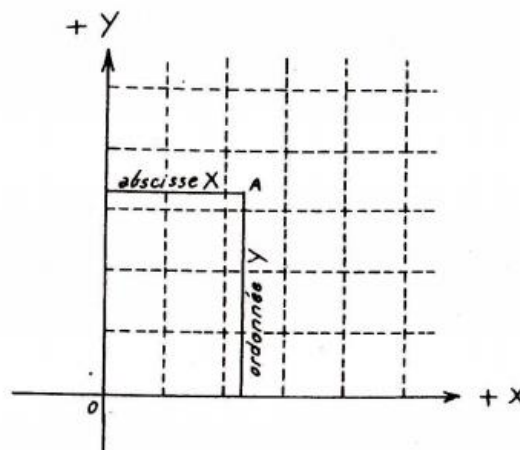


Fig. 2.2 : Représentation des coordonnées rectangulaires d'un point

2- Les axes

Il existe trois directions du Nord :

2-1 Nord Géographique (NG) :

Direction du point vers le pôle nord et se situe toujours dans le plan du méridien du lieu. En un point donné la direction du nord du quadrillage Lambert (ou axe des Y positifs) n'est confondu avec le nord géographique que le long de la méridienne origine.

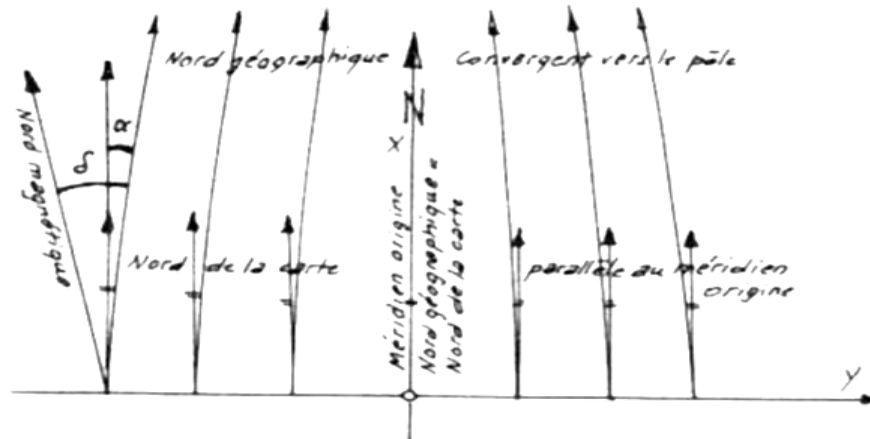
2-2 Le Nord de la carte ou Nord Lambert (NL ou Y):

Direction de la ligne Sud-Nord de nos cartes et dont l'axe des Y passant par l'origine, est identique au nord géographique uniquement pour les points situés sur ce

méridien en particulier. Pour tous les autres points, il y a un écart d'angle dû à l'altération de la projection, écart d'angle appelé «la convergence du méridien ».

2-3 Nord Magnétique (MN) :

Direction d'une aiguille aimantée d'une boussole. Elle varie dans le temps et est influencée par les corps magnétiques proche du lieu d'observation.



α = convergence du méridien, δ = déclinaison

Fig. 2.3 : Représentation des méridiens

3- Les orientations

3-1 Azimut (AZ) :

L'azimut d'une direction est l'angle compté de 0 à 400 gr. depuis une direction de référence dans le sens des aiguilles d'une montre. Il s'appelle aussi l'angle horizontal, noté par Hz.

Il existe trois angles azimutaux :

- Azimut géographique (A_ZG),
- Azimut magnétique (A_ZM),
- Gisement (G)

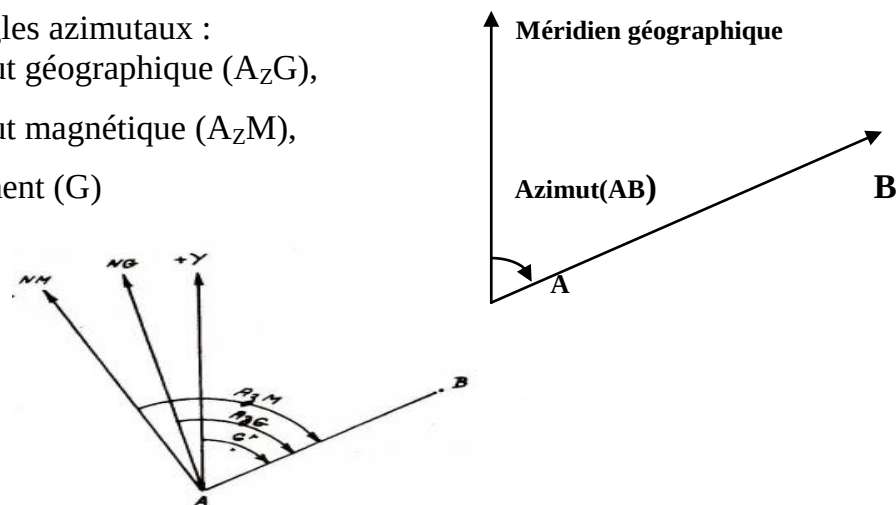


Fig. 2.4 : Représentation de l'Azimut géographique

3-2 Le Gisement (G):

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

Gisement AB (G_{AB}) = 65 gr

Gisement AC (G_{AC}) = 139 gr

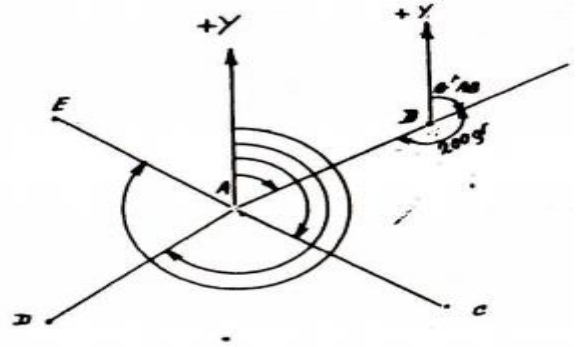


Fig. 2.5 : Représentation des gisements

3-3 Calcul du Gisement (G):

Considérons deux points A et B dont connaît les coordonnées X_A , Y_A , X_B , Y_B .

Ces deux points définissent la droite AB.

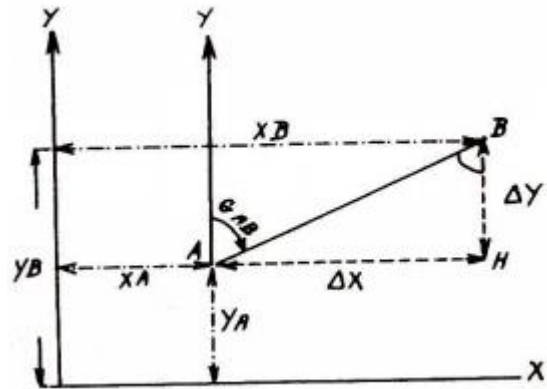
Principe :

$$AH = \Delta X = X_B - X_A$$

$$BH = \Delta Y = Y_B - Y_A$$

$$\frac{\Delta X}{\sin G} = \frac{\Delta Y}{\cos G} \text{ ou } \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{\sin G}{\cos G} = \tan G$$

Donc : $\tan G = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$



G_{AB} est l'angle entre le Nord (ordonnées) et la direction AB.

G_{BA} est l'angle entre le Nord et la direction BA.

La relation qui lie G_{AB} et G_{BA} est :

$$G_{BA} = G_{AB} + 200$$

Règle pratique

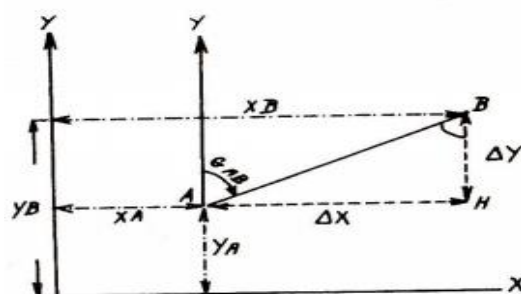
Quadrant 1 : B est à l'est et au nord de A ($\Delta X > 0$ et $\Delta Y > 0$). $G_{AB} = g$	
Quadrant 2 : B est à l'est et au sud de A ($\Delta X > 0$ et $\Delta Y < 0$). $G_{AB} = 200 + g$ (avec $g < 0$)	
Quadrant 3 : B est à l'ouest et au sud de A ($\Delta X < 0$ et $\Delta Y < 0$). $G_{AB} = 200 + g$ (avec $g > 0$)	
Quadrant 4 : B est à l'ouest et au nord de A ($\Delta X < 0$ et $\Delta Y > 0$). $G_{AB} = 400 + g$ (avec $g < 0$)	

3-4 Calcul des coordonnées à partir d'un gisement:

En topographie, il est très fréquent de connaître un point **A** (X_A , Y_A) et de chercher les coordonnées d'un point **B** visible depuis **A**. On dit que **B** est rayonné depuis **A** si l'on peut mesurer la distance horizontale D_{AB} et le gisement G_{AB} . Quel que soit le quadrant, on peut alors calculer les coordonnées du point **B** par les formules suivantes :

$$X_B = X_A + D_{AB} \cdot \sin G_{AB}$$

$$Y_B = Y_A + D_{AB} \cdot \cos G_{AB}$$

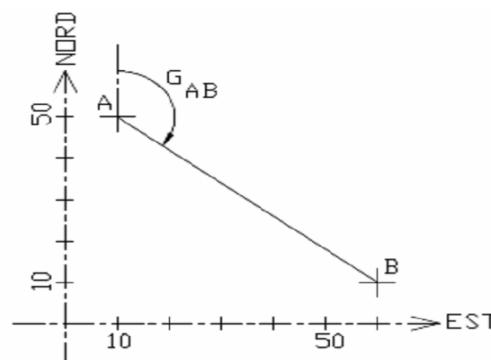


Applications :

Exercice n°1 :

Calculez à partir de la formule le gisement de la direction AB suivante avec :

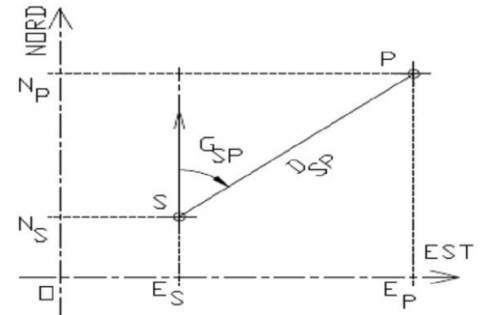
A (10 ; 50) et B (60 ; 10)



Exercice n°2 :

S (680 379,84 ; 210 257,06) est donné en coordonnées Lambert (m), calculez les coordonnées de P telles que :

DSP= 45,53 m et GSP= 172,622 gon.



4- Systèmes de levés topographiques :

4-1 Levé par alignement :

Cette technique permet de mesurer des distances entre un point connu en coordonnées ou déjà représenté au plan (origine de l'alignement) et un ou plusieurs objets à lever, tous situés dans une direction donnée, direction matérialisée par un point connu lui aussi (fermeture de l'alignement). L'exemple suivant indique une série d'alignements :

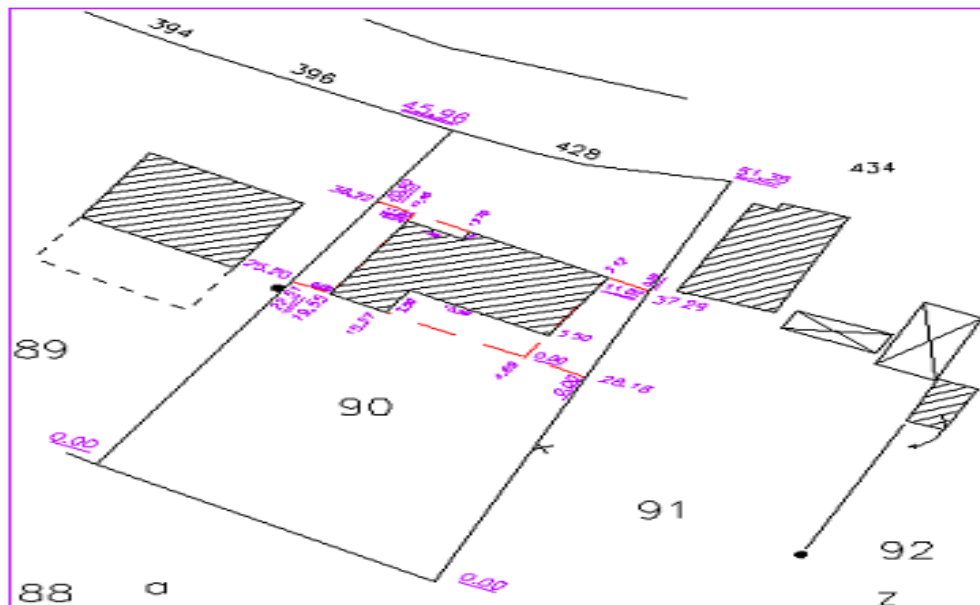


Fig. 2.6 : Technique de levé par alignement

4-2 Levés topographiques par rayonnement :

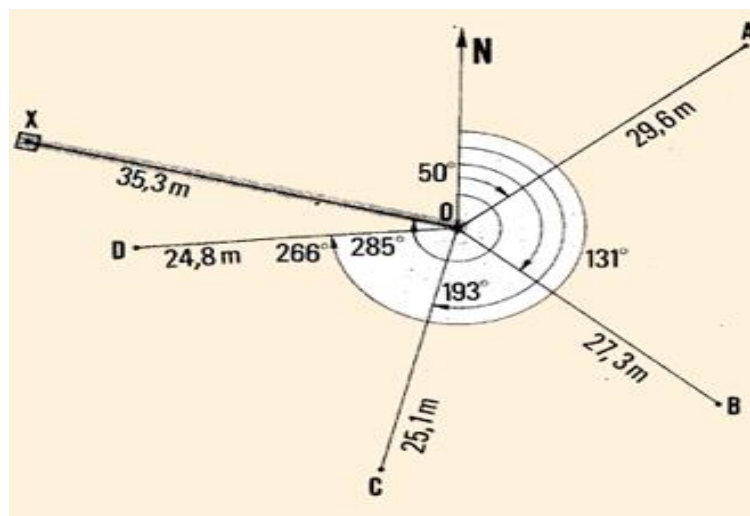
Pour effectuer un levé topographique par rayonnement (voir Schéma), il faut tout d'abord déterminer la hauteur Ht de l'instrument placé à la station de nivellement

0. Visez en direction d'un point X de hauteur connue $H(X)$ et relevez une mesure de visée arrière (VAr). Calculez alors:

$$HI = VAr + H(X)$$

Vous devez ensuite déterminé la hauteur de chacun des points A, B, C et D. Visez successivement chacun d'eux en effectuant une visée avant (VAv). Calculez ensuite leurs hauteurs respectives d'après la formule:

$$H(\text{point}) = HI - VAv$$



Utilisez X comme point de référence

Fig. 2.7 : Technique de levé par rayonnement

4-3 Levé par abscisses et ordonnées ou coordonnées rectangulaires:

Le procédé consiste à "abaisser" à vue un quasi - perpendiculaire CI sur une ligne d'opération MN. A l'aide d'une équerre optique on détermine les pieds de perpendiculaires abaissés, de chaque point de détail sur la ligne d'opération. Cette ligne est matérialisée par des jalons. On mesure les abscisses en cumulées, puis les ordonnées.

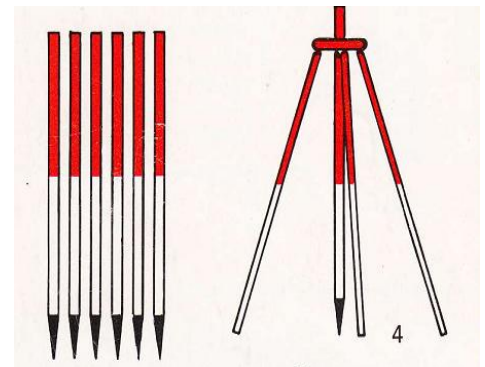
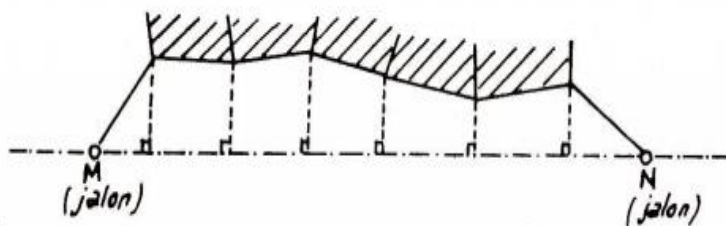
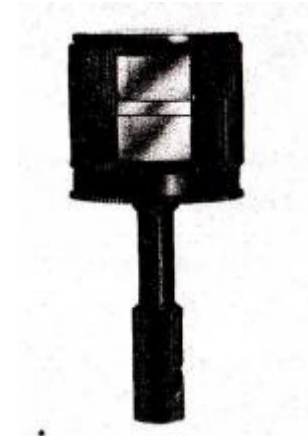
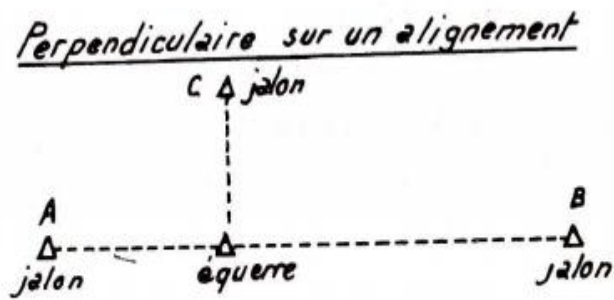
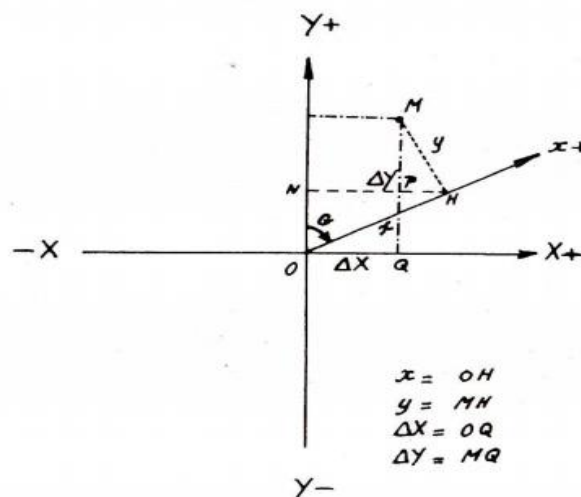


Fig. 2.8 : Technique de levé par abscisses

Le report des points par cette méthode est rapide et précis. Des mesures de contrôle (diagonales) son conseillés.



Par convention c'est l'angle compris entre la ligne d'opération considérée et l'axe des Y du système général qui est pris comme angle de rotation.

5- Calcul de surface

Les travaux de travaux publics se faisant dans la plupart des cas à même le sol, il est indispensable de connaître de façon précise la surface du terrain sur lequel l'ouvrage va reposer. On aura besoin de calculer par exemple la surface d'un terrain en vue d'un terrassement afin d'en déduire un volume, de calculer les parcelles de terrains constituant un lotissement....

Avant de faire les calculs, il faudra prendre sur le terrain tous les renseignements nécessaires et en particulier tous les points délimitant le terrain. Comme nous l'avons vu précédemment, les points dans le plan sont définis par 2 composantes bonnes à rappeler :

Nous allons voir par conséquent les 2 méthodes utilisant soit les coordonnées polaires soit les coordonnées rectangulaires.

Coordonnées polaires	Coordonnées rectangulaires
Angle : α	Abscisse : X
Distance : D	Ordonnée : Y

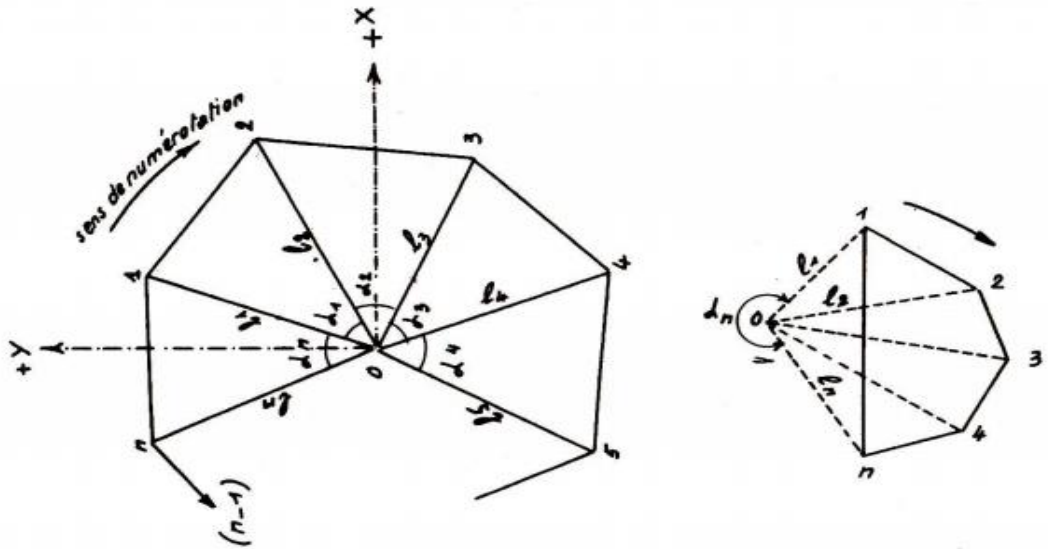
5-1 Calcul de surface par les coordonnées polaires

On considère le polygone défini par le schéma ci-dessous :

- Choisir un sens de rotation
- Chaque sommet (n) est rattaché à un point (O) par la longueur (l_n) et le gisement (G_n).
- Désignons par (α) les angles au centre tels que :

$$\alpha_{n-1} = G_n - G_{(n-1)}$$

$$\alpha_n = G_{(n+1)} - G_n$$



La surface du polygone est la somme algébrique de 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 ($l_n l_1 \sin \alpha_n$) à un signe négatif.

5-2 Calcul de surface par les coordonnées rectangulaires

On considère le même polygone défini par les coordonnées rectangulaires. Après généralisation et transformation la formule précédente devient :

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

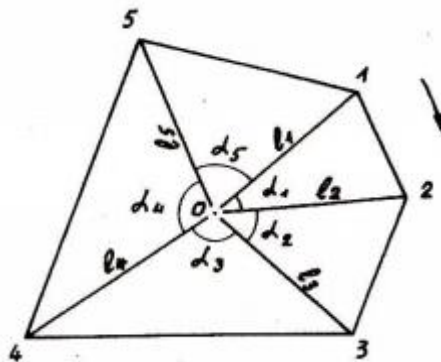
$$2S' = \sum [Y_n (X_{n-1} - X_{n+1})] = -2S$$

6- Applications

Exercice 1 : Polygone défini par coordonnées polaires

Données :

$l_1 = 48,12 \text{ m}$	Gisement O1 = 53,12 gr
$l_2 = 51,33 \text{ m}$	Gisement O2 = 100,03 gr
$l_3 = 48,71 \text{ m}$	Gisement O3 = 147,41 gr
$l_4 = 57,48 \text{ m}$	Gisement O4 = 261,53 gr
$l_5 = 47,93 \text{ m}$	Gisement O5 = 380,37 gr



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

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \text{GO2} - \text{GO1} = 46^{\text{gr}} 91^{\text{cgr}} & 48,12 \times 51,33 \times \sin 46,91 &= 1\,659,76 \\ \alpha_2 &= \text{GO3} - \text{GO2} = 47^{\text{gr}} 38^{\text{cgr}} & 57,33 \times 48,71 \times \sin 47,38 &= 1\,693,73 \\ \alpha_3 &= \text{GO4} - \text{GO3} = 114^{\text{gr}} 12^{\text{cgr}} & 48,71 \times 57,48 \times \sin 114,12 &= 2\,731,27 \\ \alpha_4 &= \text{GO5} - \text{GO4} = 118^{\text{gr}} 84^{\text{cgr}} & 57,48 \times 47,93 \times \sin 118,84 &= 2\,635,25 \\ \alpha_5 &= \text{GO1} - \text{GO5} = 72^{\text{gr}} 75^{\text{cgr}} & 47,93 \times 48,12 \times \sin 72,75 &= 2\,098,31 \end{aligned}$$

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

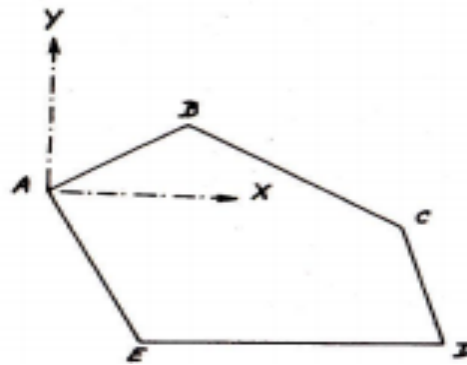
$$2S = 10\,818,32 \text{ m}^2$$

$$2S = 5409,16 \text{ m}^2$$

Exercice 2 : Polygone défini par coordonnées rectangulaires

Données :

XA = 120,41	YA = 667,46
XB = 341,16	YB = 819,74
XC = 718,59	YC = 665,49
XD = 821,74	YD = 401,60
XE = 297,61	YE = 384,13



N°	X _n	X _{n-1} - X _{n+1}		Y _n	Y _{n-1} - Y _{n+1}		-2S =	2S =
		+	-		+	-	Y _n (X _{n-1} - X _{n+1})	X _n (Y _{n-1} - Y _{n+1})
A	120,41			667,46				
B	341,16		598,18	819,74	1,97		-490352,073	+672,085
C	718,59		480,58	665,49	418,14		-319821,184	+300471,229
D	821,74	420,98		401,60	281,36		+169065,568	+231204,766
E	297,61	701,33		384,13		265,86	+269401,893	-79122,595
A	120,41		43,55	667,46		435,61	-29067,883	-52451,800
B	341,16			819,74				
Contrôle		1122,31	1122,31		701,47	701,47	-400773,679	-400773,679
							-2S	2S

$$S = 200386,84m^2$$

$$= 20ha,0387$$

Chapitre 3 : Mesure des distances et des angles

1- Introduction :

Les procédés de mesures des distances peuvent être classés en deux catégories: mesure directe et mesure indirecte.

Une mesure est appelée directe lorsqu'on parcourt la ligne à mesurer en appliquant bout à bout un certain nombre de fois un étalon de mesure. L'étalon peut être rigide comme une règle ou souple comme un ruban.

Une mesure est indirecte lorsqu'on l'obtient sans avoir à parcourir la longueur à mesurer en comptant le nombre de fois qu'elle contient la longueur étalon. On utilise le procédé stadimétriques parallaxiques.

2- Mesures directes des distances:

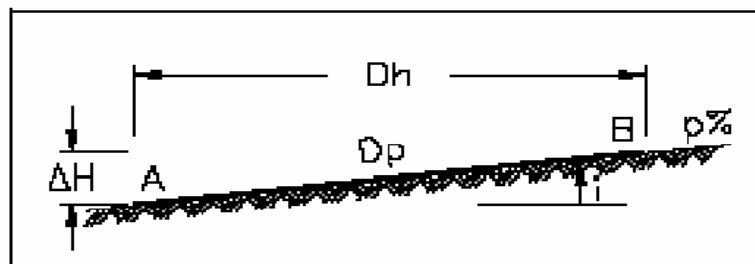
2-1 Mesure d'une distance par chaînage :

Chaînage :

Mesure directe des distances au moyen d'un ruban. Le chaînage peut être fait à plat : ruban posé sur le sol ou par ressauts horizontaux.

2-1-1 Chaînage suivant la pente régulière (terrain incliné).

C'est un procédé qui consiste à placer sur cet alignement un certain nombre d'objet qui facilitent la mesure des distances partielles. On peut utiliser soit des trépieds soit des jalons. C'est un procédé simple. Mais peu pratique en terrain accidenté ou présentant des obstacles (roches, herbe,...) il permet de déterminer la distance selon la pente.



$$D_h = \sqrt{D_p^2 - \Delta H^2}$$

Fig. 3.1 : Chainage d'un terrain irrégulier

$$\text{Ou bien : } Dh = Dp \cdot \cos i = Dp \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 i}} = \frac{Dp}{\sqrt{1 + p^2}}$$

Puisque $p = \tan i$

Application

Vous mesurez une distance suivant la pente de 37,25 m et vous mesurez, au clisimètre, une pente de 2,3 %. Quelles sont les valeurs de Dh et de ΔH ?

Réponse

$$Dh = \frac{37.25}{\sqrt{1 + (0.23)^2}} = 37.24m \quad \text{et} \quad \Delta H = \sqrt{(37.25)^2 - (37.24)^2} = 0.86m$$

Si le terrain est régulier et en pente faible (moins de 2 %), il est possible de se contenter de poser le ruban sur le sol et de considérer que la distance horizontale est lue directement (fig.). La précision qu'il est possible d'obtenir sur une mesure est au mieux de l'ordre de ± 5 mm à 50 m pour un ruban de classe I.

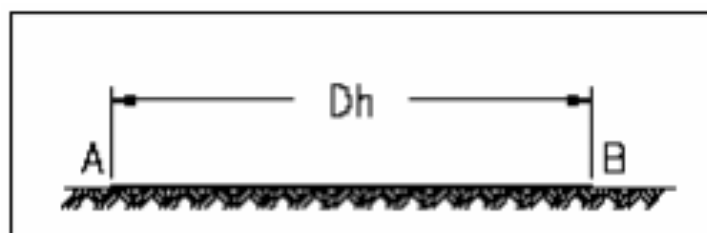


Fig. 3.2 : Chainage suivant un terrain régulier

Application

Montrez qu'à partir de 2% de pente, une erreur de 1cm apparaît sur une mesure de 50 m.

Réponse

$Dp = 50$ m, $DH = 0,02 \times 50 = 1$ m donc $Dh = 49,99$ m.

2-1-2- Chaînage par ressauts horizontaux (cultellation) :

Procédé de chaînage (qui permet de mesurer directement la distance horizontale) en terrain en pente, consistant à porter des longueurs de ruban tendu horizontalement par ressauts successifs à l'aide d'un fil à plomb ou On dit aussi chaînage par ressauts

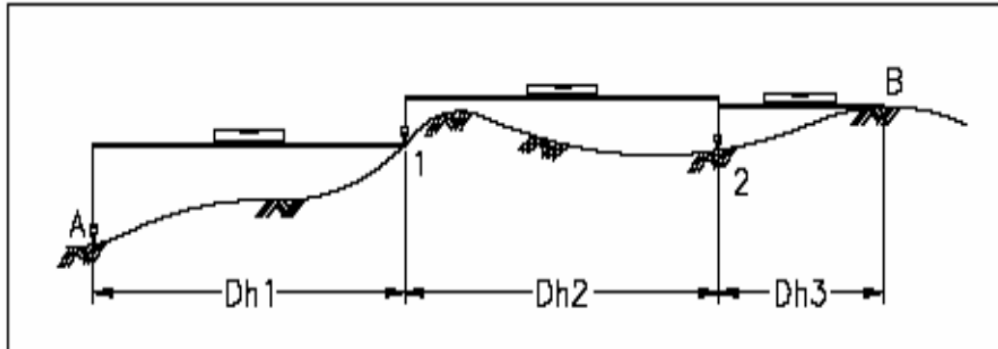


Fig. 3.3 : Chaînage par ressauts horizontaux

On peut marquer que : $D_h = D_{h1} + D_{h2} + D_{h3}$

La mesure directe des distances s'effectue au moyen de chaînes, rubans, fils plus ou moins précis suivant la qualité des matériaux qui les composent. Suivant la précision recherchée il faudra tenir compte de diverses corrections.

2.2. Les instruments de mesures

2.2.1:Le ruban

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

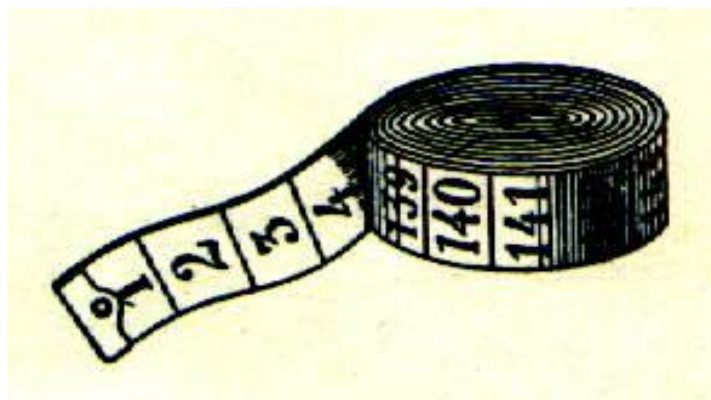


Fig. 3.4 : Ruban en toile (de précision courante de 5 mm pour 10 m)



Fig. 3.4 : Ruban en acier (précision est de 1,5 mm pour 10 m).

2.2.2 La roulette :

Montée dans un boîtier avec ou sans manche, elle est d'un emploi plus aisé. Elle est, soit d'un ruban plastifié soit d'un ruban d'acier de 10, 20, 30 ou 50 m.

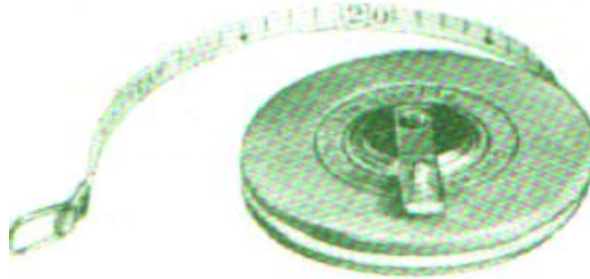


Fig. 3.5: Roulette à boîtier.

3. Mesures indirectes des distances:

3.1. Mesure stadimétrique :

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

3.1.1 Les stadimètres à angle constant :

Cet angle est matérialisé par deux traits gravés sur le tableau focal (réticule). Ils peuvent aussi être horizontaux et valent en général un angle $\alpha = 1/100$ radian et on parle alors d'angle stadimétrique « constant ».

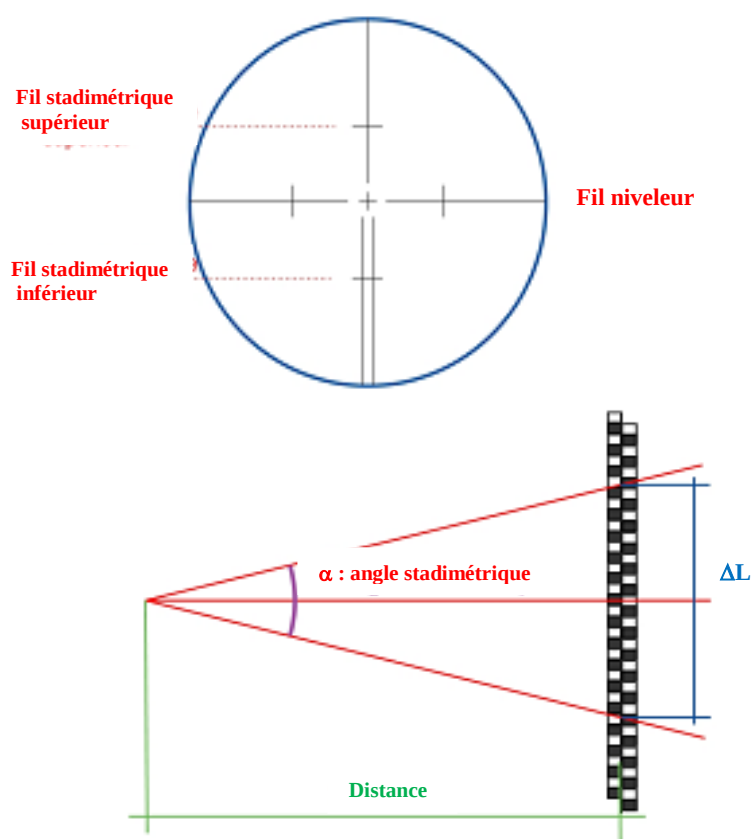


Fig. 3.6: Mesure stadimétrique à angle constant.

On effectue les lectures "stadimétriques" sur des mires « parlantes ». La mire est généralement verticale.

L'opérateur stationne en **S** à fin de mesurer la distance horizontal **D_h** et la mire se trouve en **M** perpendiculaire à **TH**

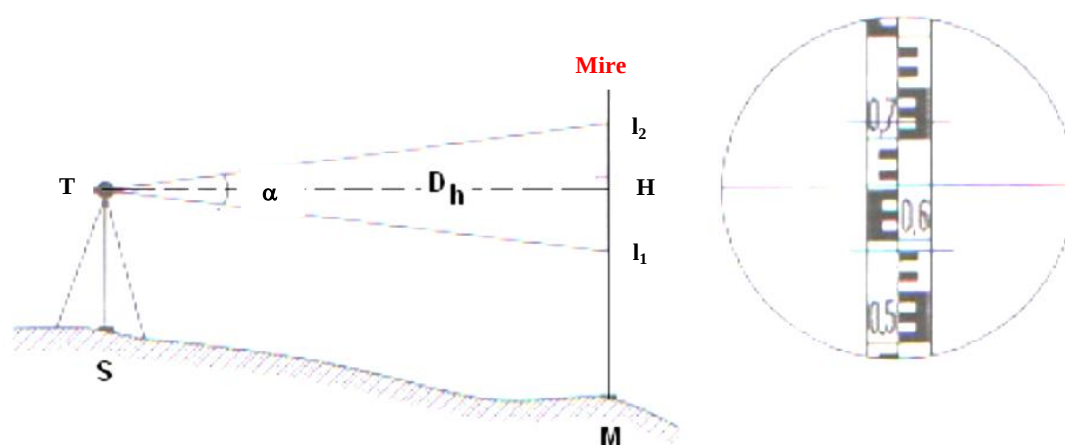


Fig. 3.7: Exemple de lectures stadimétrique à angle constant.

Dans le triangle THl_2 $tg(\frac{\alpha}{2}) = \frac{l_2 - l_1}{2.Dh}$ donc $Dh = \frac{l_2 - l_1}{2} \cdot \cot g(\frac{\alpha}{2})$

Or $\cot g(\frac{\alpha}{2}) = 100$ pour la plupart des instruments (s'appelle constant de l'instrument).

D'où on :

$$Dh = 100(l_2 - l_1)$$

Exemple :

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

$$l_1 = 0.590$$

$$l_2 = 0.718$$

$$Dh = 100 (0.718 - 0.590) = 12.8 \text{ m}$$

3.1.2 Les stadimètres à angle variable (par variation de pente):

Tout appareil de mesure d'angles verticaux, ou de pente (théodolite ou tachéomètre), constitue un dispositif autoréducteur à variation de pente.

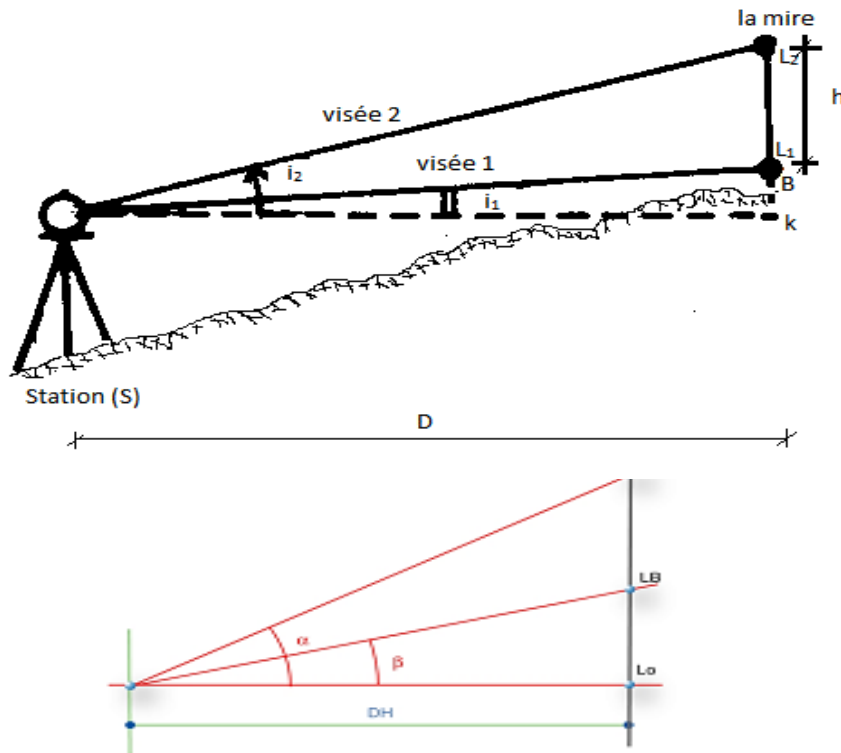


Fig. 3.8: Mesure stadimétrique angle variable.

On utilise des mesures de «site i » effectuées sur mires parlantes verticales

$$\tan \alpha = \frac{L_A}{DH} \quad \tan \beta = \frac{L_B}{DH} \quad \text{et } L_0 \text{ lecture fictive horizontale (non mesurée).}$$

$$\begin{cases} L_A - L_0 = \tan \alpha \cdot Dh \\ L_B - L_0 = \tan \beta \cdot Dh \end{cases} \quad \text{et finalement } \frac{L_A - L_B}{\tan \alpha - \tan \beta} = Dh$$

Exemple :

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

$$\begin{aligned} l_A &= 2.617 & l_B &= 0.128 \\ \text{tg } \alpha &= 0.1 & \text{tg } \beta &= 0.06 \end{aligned}$$

$$Dh = \frac{L_A - L_B}{\text{tg} \alpha - \text{tg} \beta} = \frac{2.617 - 0.128}{0.10 - 0.06} = \frac{2.489}{0.04} = 62.22\text{m}$$

4- Mesure des angles:

La réalisation d'un levé topographie consiste à relever la position de l'ensemble des points du terrain et de les reporter sur un plan. On procède dans premier temps à la détermination de chaque point du terrain en coordonnées polaires (**D** : distance ; **θ** : angle orienter) en effectue ensuite le report sur un plan des différents points du terrain par une méthode graphique (angle et distance) ou par une méthode numérique (coordonnées rectangulaires(X, Y) des différents points).

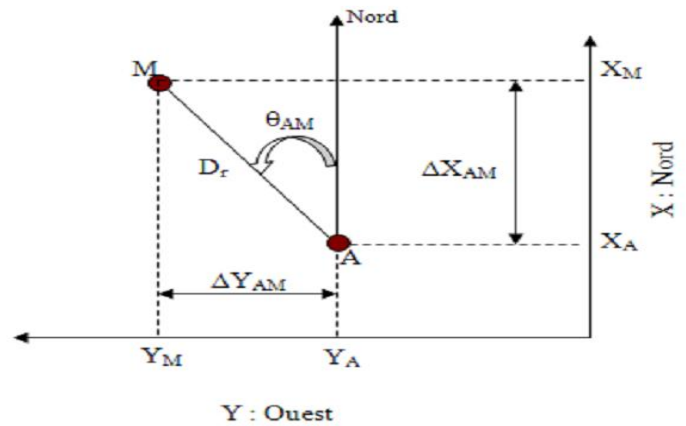
Les coordonnées rectangulaire (X, Y) de chaque point sont calculées à partir de ses coordonnées polaires (D, **θ**) de la manière suivante :

A : point connue (X_A, Y_A) données

M : point a déterminer (X_M, Y_M)

D : distance réduite AM mesurée

θ_{AM} : orientation de la direction AM



$$\Delta X_{AM} = X_M - X_A \quad \Delta Y_{AM} = Y_M - Y_A \quad D_r^2 = \Delta X_{AM}^2 + \Delta Y_{AM}^2$$

$$\Delta X_{AM} = D_r \cos \theta_{AM} \quad \Delta Y_{AM} = D_r \sin \theta_{AM}$$

La réalisation d'un levé topographique nécessite donc le développement des techniques de mesure d'angles et de distances.

4-1- Classification des instruments :

4-1-1 Niveau :

Instrument définissent une ligne horizontale.



Niveau NAK 0



Niveau NAK 1

Fig. 3.9: Le niveau.

4-1-2 Théodolite :

Instrument permettant la mesure des angles horizontaux et verticaux.

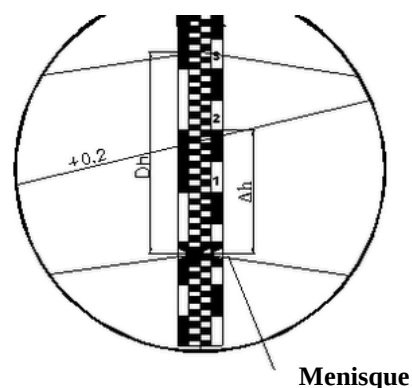


Fig. 3.10: Le théodolite Wild T2

4-1-3 Tachéomètre:

Instrument possédant les fonctions du théodolite, plus un procédé de mesure de distances et de dénivelées.

Tachéomètre autoréducteur
du type RDS



$$Dh = 32.7 \text{ m}$$

$$\Delta h = 0.185 \cdot 100 \cdot 0.2 = +3.7 \text{ m}$$

Fig. 3.11: Le tachéomètre RDS.

4-2- Principe de fonctionnement d'un théodolite :

La figure ci-dessous montre le schéma de principe du fonctionnement d'un théodolite.

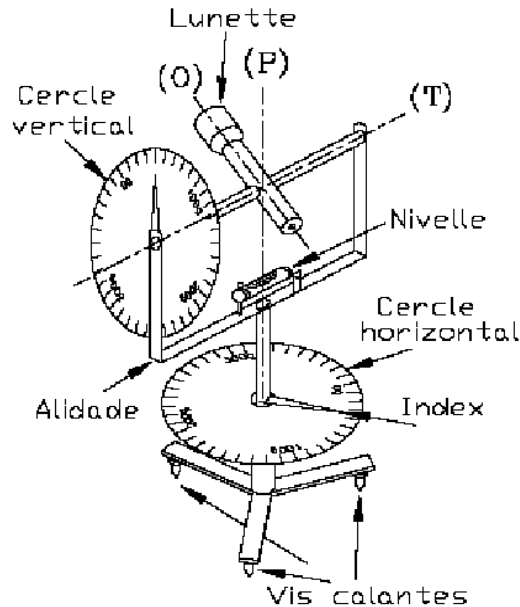


Fig. 3.12: Le principe de fonctionnement d'un théodolite

4-2-1 Les axes :

a- Axe principal (AP) :

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). La rotation autour de cet axe permet de diriger la lunette dans une direction quelconque.

b- Axe secondaire ou axe des tourillons (AT) :

Il est perpendiculaire à (P) et doit passer au centre de la graduation verticale. La rotation autour de cet axe permet de pivoter la lunette afin de pouvoir la diriger à une hauteur quelconque.

c- Axe optique ou axe de visée (AO) :

Droite définie par le centre de l'objectif, il doit toujours être perpendiculaire à (T).

4-2-2 Les cercles:

Le théodolite possède deux cercles :

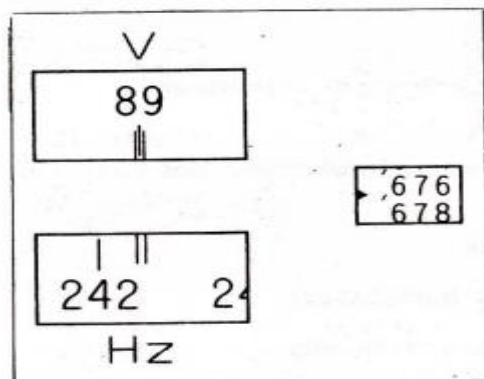
- Cercle horizontal (mesure des angles azimutaux ou horizontaux).
- Cercle vertical (mesure des angles verticaux).

Les cercles pour les mesures d'angle comprennent deux plateaux concentriques superposés. L'un fixe, lié au corps de l'appareil (alidade), l'autre mobile lié au viseur.

Le **limbe** est le cercle qui porte la graduation des angles. L'autre cercle comprend un ou plusieurs index.

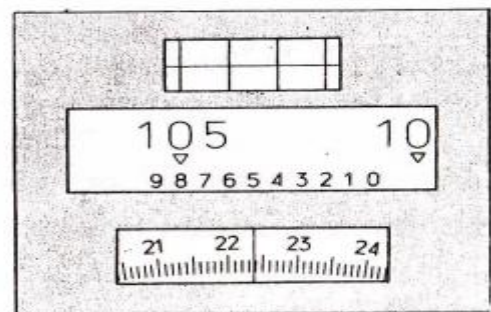
Le **limbe horizontal** est indiqué par **H**, **HZ** ou **AZ**.

Le **limbe vertical** porte toujours l'indication **V**.



$$V = 89^{\text{gr}} 677^{\text{cgr}}$$

Exemple de limbe pour Wild T1



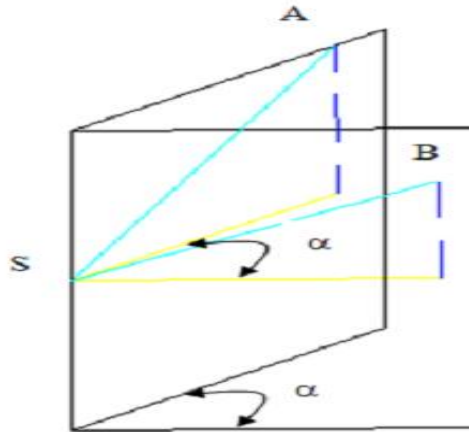
$$V = 105^{\text{gr}} 8224^{\text{cgr}}$$

Exemple de limbe pour Wild T2

Fig. 3.13 : Le limbe de théodolite sur microscope de lecture.

4-3- Angle Horizontal :

L'angle horizontal (α) entre deux directions SA et SB est par définition l'angle compris entre les deux plans verticaux passant par ces directions. C'est encore l'angle formé par les projections des deux directions sur un plan horizontal.



4-3-1 Principe de mesure :

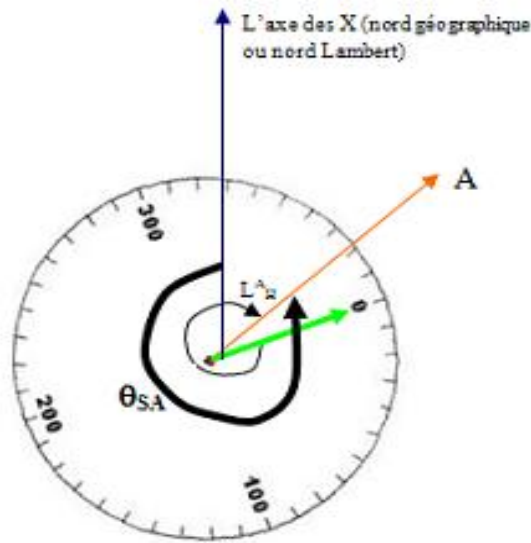
Les angles horizontaux peuvent être enregistrés de deux manières différentes :

- Observés et dessinés directement sur une feuille de papier placée sur une planchette horizontale. L'instrument utilisé est un goniographe composé d'un trépied, d'une planchette, d'un organe de visée et d'une règle.
- Mesurés à l'aide théodolites dont les lectures se font à l'aide de microscopes.

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

4-3-2 Orientation d'une direction (θ) :

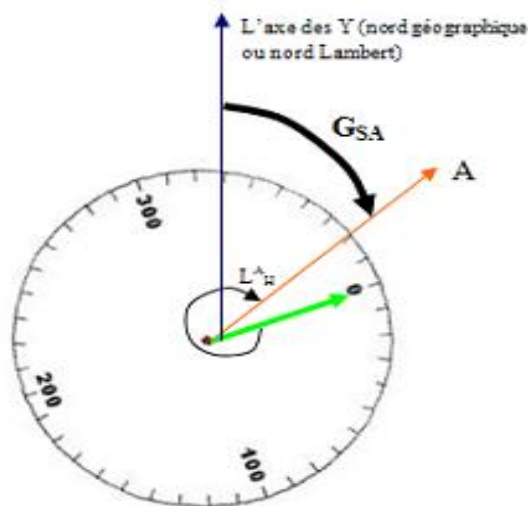
L'orientation (θ_{SA}) de la direction SA est par définition l'angle horizontal compris entre l'axe des Y (Nord géographique ou nord Lambert) et la direction SA. Cet angle est mesuré dans le sens de rotation opposé des aiguilles d'une montre (sortant du nord vers la direction).



La valeur de l'orientation comprise en 0 et 400 grades

4-3-3 Le Gisement d'une direction (G) :

Le Gisement G_{SA} de la direction SA est par définition l'angle horizontal compris entre l'axe des Y (nord géographique ou nord Lambert) et la direction SA. Cet angle est mesuré dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre. (Sortant du nord vers la direction).

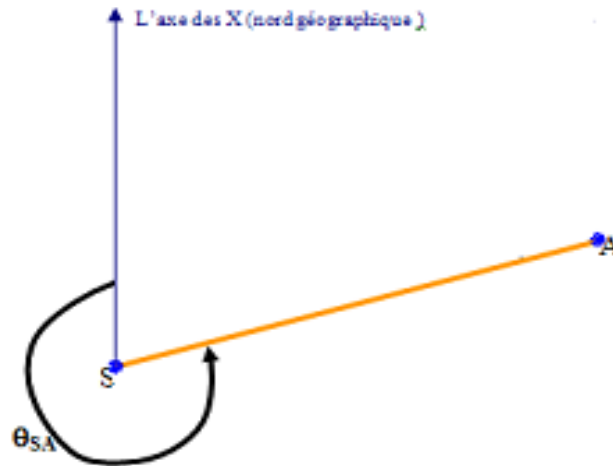


La valeur du Gisement comprise en 0 et 400 grades

Remarque : Dans la suite du cours on va utilisés l'orientation. (On trouve le Gisement avec la relation : $G_{SA} = 400 - \theta_{SA}$)

4-3-4 L'orientation inverse ou arrière :

L'orientation inverse ou arrière de la direction SA est l'orientation de la direction AS. (θ_{AS})

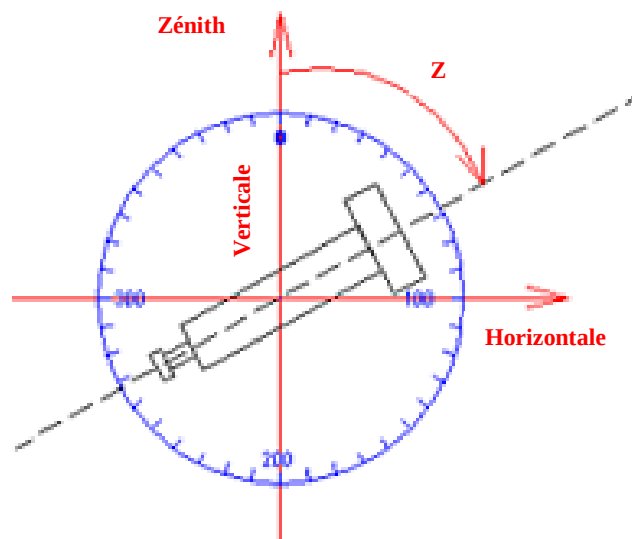


D'où la formule générale : $\theta_{ij} = \theta_{ji} \pm 200 \text{ gr}$

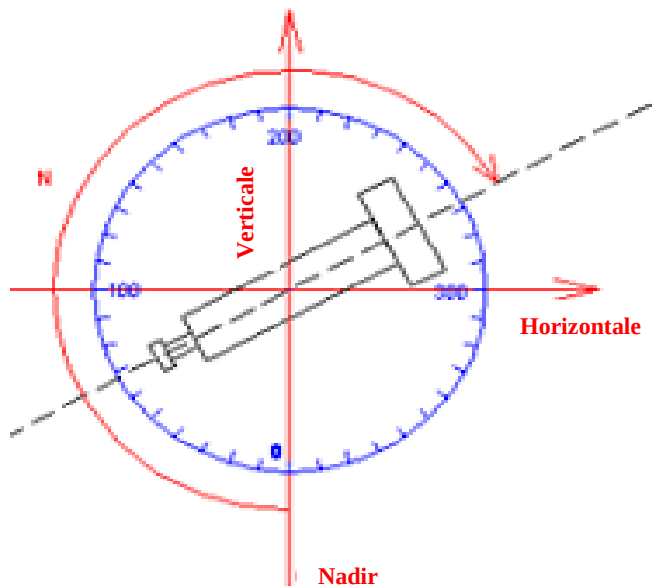
4-4 Angle Vertical :

Les théodolites ou tachéomètres ont en plus de leur fonction "goniomètre" une fonction "éclimètre", c'est à dire qu'ils permettent la mesure des angles verticaux. Cependant, on définit 3 angles :

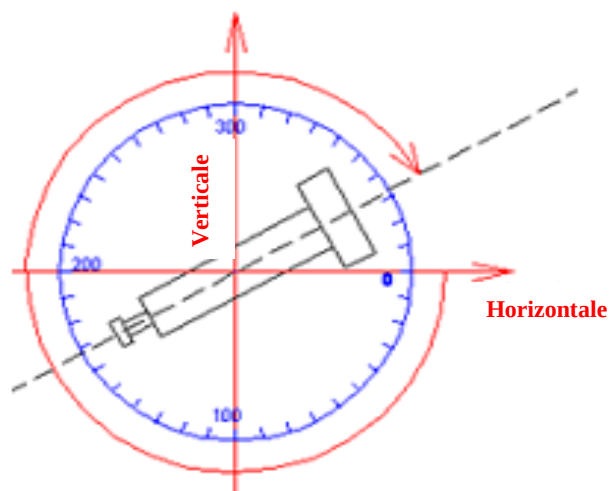
- **L'angle zénithal (z) :** C'est l'angle de la visée avec la verticale ascendante.



- **L'angle nadiral (n):** C'est l'angle de la visée avec la verticale descendante.



- **Le site (i) :** appelée également angle de hauteur, c'est l'angle de la visée avec l'horizontale.



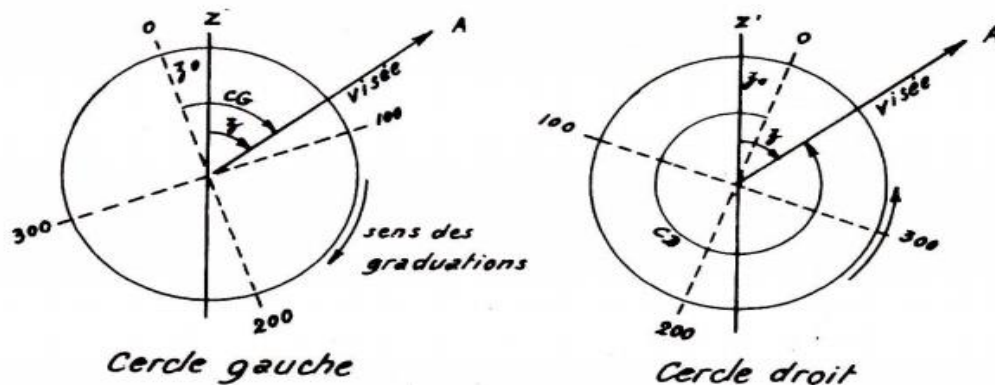
Les théodolites ou tachéomètres modernes sont le plus souvent gradués en angle Zénithal.

4-4-1 Détermination de site (i) :

Les théodolites ou tachéomètres ne calent pas en général le zéro au zénith.

La ligne 0-200^{gr} du limbe fait avec la verticale un petit angle (Z_0) appelé défaut de collimation verticale.

On élimine ce défaut soit par double retournement, soit par visées directe et inverse.



La ligne 0 – 200^{gr} prend deux positions symétriques par rapport à la verticale.

Dans la position CG on a : $Z = \text{lecture CG} - Z_0$

Dans la position CD on a : $Z = 400^{\text{gr}} - \text{lecture CD} + Z_0$

D'où :

$$Z = \frac{400 + \text{CG} - \text{CD}}{2}$$

La quantité Z_0 et par la suite la somme $\text{CG} + \text{CD}$ est une constante de l'appareil.

En pratique on ne calcule pas Z de cette manière mais la quantité :

$$-400^{\text{gr}} + \text{CG} + \text{CD} = 2Z_0$$

Exemple :

$$CG = 98^{\text{gr}} 34^{\text{cgr}}$$

$$CD = 301^{\text{gr}} 70^{\text{cgr}}$$

$$CG + CD = 400^{\text{gr}} 04^{\text{cgr}}$$

$$2Z0 = + 4^{\text{cgr}}$$

$$Z0 = + 2^{\text{cgr}}$$

Chaque lecture est trop forte de 2^{cgr} .

On obtient :

$$CG = 98^{\text{gr}} 32^{\text{cgr}}$$

$$CD = 301^{\text{gr}} 68^{\text{cgr}}$$

$$CG + CD = 400^{\text{gr}}$$

$$Z = 98^{\text{gr}} 32^{\text{cgr}}$$

$$i = + 1^{\text{gr}} 68^{\text{cgr}}$$

Vérification :

$$Z = \frac{400 + 98,34 - 301,70}{2}$$

$$Z = 98^{\text{gr}} 32^{\text{cgr}}$$

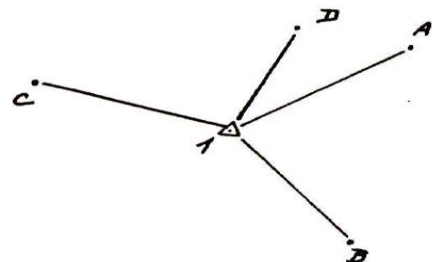
Applications :

1- Mesures des angles horizontaux

1-1 Observations par paires de séquence (sans réitération ni fermeture)

Observations effectuées

au Wild T16



Station	Points visés	Lecture CG	Lecture CD	Moyenne
1	A	114,75	314,71	114,73
	B	207,23	7,18	207,205
	C	373,64	173,60	373,62
	D	86,19	286,14	86,165

Vérifie que : $CG + 200^{\text{gr}} - CD$ est constant en grandeur et en signe (à environ $\pm 1^{\text{cgr}}$).

$$\text{Angle A1B} = 207^{\text{gr}} 205^{\text{cgr}} - 114^{\text{gr}} 73^{\text{cgr}} = 92^{\text{gr}} 475^{\text{cgr}}$$

$$\text{Angle C1D} = 86^{\text{gr}} 165^{\text{cgr}} - 373^{\text{gr}} 62^{\text{cgr}} = 112^{\text{gr}} 545^{\text{cgr}} \text{ (ajouter } 400^{\text{gr}} \text{ à la lecture moyenne sur D)}$$

Prendre comme moyenne la valeur des grades obtenue en CG.

1-2 Observations par paires de séquence (avec fermeture)

Observations Wild T1

Station	Points visés	Lectures CG	Lecture CG ramenées à 0	Lectures CD	Lecture CD ramenées à 0	Moyennes ramenées à 0
1	Référence A	0,173	0,000	100,417	0,000	0,000
	B	92,650	92,476	192,891	92,472	92,474
	C	259,064	258,890	359,305	258,886	258,888
	D	371,613	371,439	71,860	371,441	371,440
	A Fermeture	0,175	0,000	100,421	0,000	0,000
		+ 2 ^{mgr} Moyenne 0 ^{gr} 174 ^{cgr}		+ 4 ^{mgr} Moyenne 100 ^{gr} 419 ^{cgr}		

La tolérance sur l'écart de fermeture est variable selon la précision des instruments utilisés :

$$\text{Wild T2,} = 10^{\text{dmgr}}$$

$$\text{Wild T1,} = 3 \text{ à } 5^{\text{mgr}}$$

$$\text{Wild T16,} = 1 \text{ à } 2^{\text{cgr}}$$

2- Mesures des angles verticaux (appareil gradué en angle zénithal)

Station	Points visés	Lecture CG	Lecture CD	Angle zénithal	Site
		CG + CD			
1	A	98,242	301,770	98,236	+ 1,764
		400,012			
	B	105,188	294,822	105,183	- 5,183
		400,010			
	C	98,790	301,220	98,785	+ 1,215
		400,010			

$$\text{En A angle zénithal} = \frac{400^{gr} + 98,242 - 301,770}{2} = 98^{gr}236^{cgr}$$

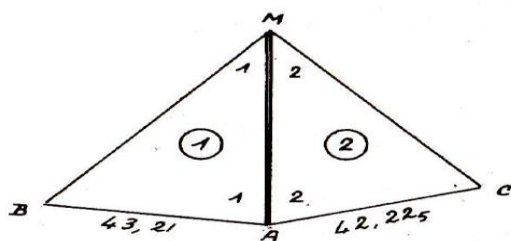
$$\text{En B } z_0 = \frac{400^{gr} - (98,242 + 301,770)}{2} = 6^{mgr}$$

La quantité z_0 est constante en A + 6^{mgr}

$$B + 5^{mgr}$$

$$C + 5^{mgr}$$

3- Calcul d'une distance à partir d'éléments de triangles



Distance à calculer : AM

Distances réduites à l'horizontale :

$$AB = 43,21 \text{ m}$$

$$AC = 42,225 \text{ m}$$

Observations Wild T16 (lectures moyenn1 séquence)

Station A :

Lecture sur B = $112^{\text{gr}} 44^{\text{cgr}}$

Lecture sur M = $204^{\text{gr}} 84^{\text{cgr}}$

Lecture sur C = $289^{\text{gr}} 34^{\text{cgr}}$

Station B :

Lecture sur A = $0^{\text{gr}} 12^{\text{cgr}}$

Lecture sur M = $337^{\text{gr}} 72^{\text{cgr}}$

Station C :

Lecture sur A = $73^{\text{gr}} 27^{\text{cgr}}$

Lecture sur M = $141^{\text{gr}} 67^{\text{cgr}}$

Chapitre 4: Le Nivellement direct et indirect ou l'Altimétrie

1- Généralités

Le nivellement est l'ensemble des opérations qui permettent de déterminer des altitudes (Alt) et des dénivelées (ΔH) des points à partir d'un point de référence (Point dont on connaît l'altitude). L'altitude d'un point est la distance en mètres entre ce point et une surface de niveau zéro. Le nivellement d'une région ; par exemple ; a pour objet de déterminer les altitudes des points caractéristiques du sol ; au dessus d'une surface de niveau horizontal zéro.

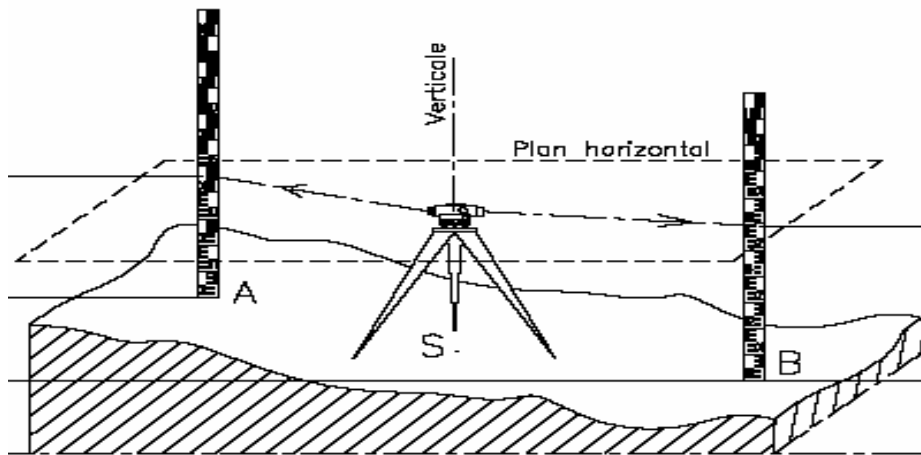


Fig. 4.1: Le principe de nivellement.

Remarque: il existe deux types de points de référence:

- local: point défini sur le chantier comme étant la référence
- NGA: (nivellement général Algérie) points établis à vie et représentés par des bornes métalliques encastrées dans des constructions particulières et immuables (château d'eau, ponts...)



Fig. 4.2: Les points de référence

Le nivellement est nécessité pour :

- La représentation du relief du terrain.
- Connaissance des pentes pour l'évacuation des eaux.
- Calculs de déblais et remblais.
- Représentation des profils de terrains.
- Métrologie industrielle (contrôle de planéité...) - Contrôle de tassement
- Etc...

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

- Nivellement direct ou géométrique
- Nivellement indirect ou trigonométrique

2- Nivellement direct ou géométrique

Le nivellement direct s'appuie exclusivement sur des visées horizontales. Il est en général effectué avec un appareil permettant de matérialiser un plan de visé horizontal (au moyen du niveau).

Le nivellement direct consiste à déterminer la dénivelée ΔH_{AB} entre deux points A et B à l'aide d'un appareil : le niveau et d'une échelle verticale appelée mire. La station St est installée à la même distance de A et du B.

Le niveau est constitué d'une optique de visée tournant autour d'un axe vertical : il définit donc un plan de visée horizontal.

La mire est placée successivement sur les deux points A et B. L'opérateur lit la valeur arrière L_{AR} sur la mire posée en A et la valeur avant L_{AV} sur la mire posée en B.

La différence des lectures sur mire est égale à la dénivelée entre A et B. Cette dénivelée est une valeur algébrique dont le signe indique si B est plus haut ou plus bas que A (si ΔH_{AB} est négative alors B est plus bas que A).

2-1 Principe

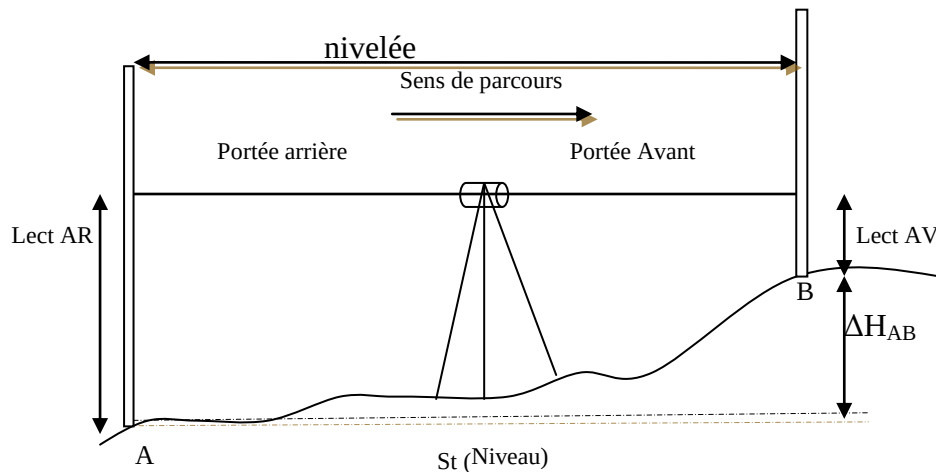


Fig. 4.3: Le principe de nivellement direct.

Si l'altitude du point A est connue, on peut en déduire celle du point B :

$$\Delta H_{AB} = \text{Lect AR} - \text{Lect AV} :$$

Dénivelée (ou différence d'altitudes)

$$\text{Alt}_B = \text{Alt}_A + \Delta H_{AB} \text{ m} :$$

Altitude du point B

2 – 2 Lectures sur la mire

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

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

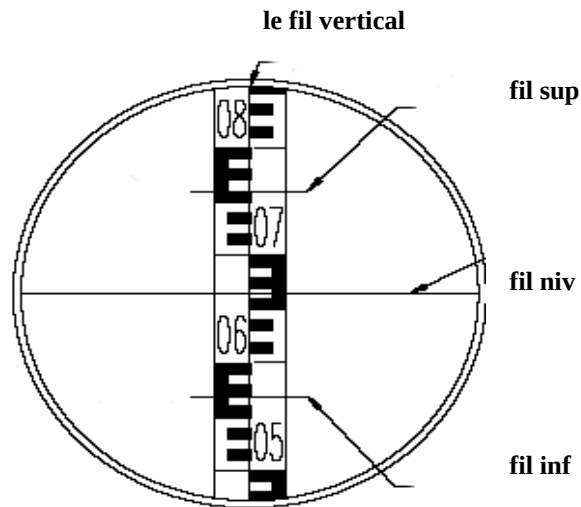
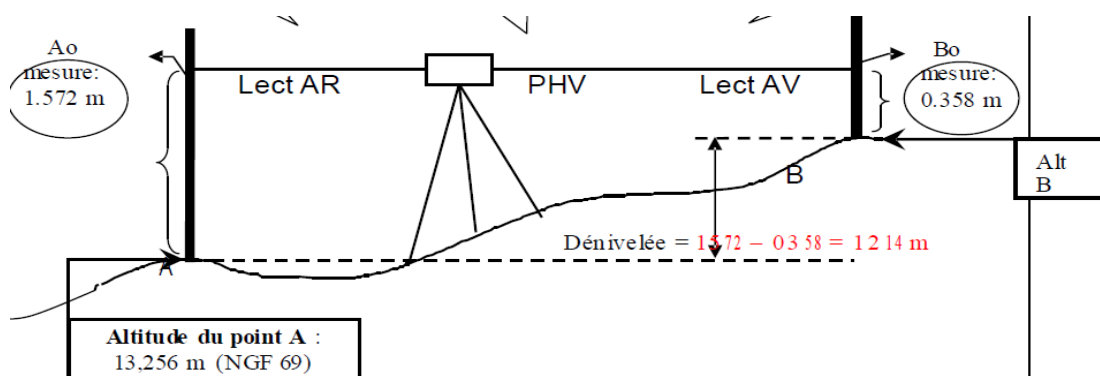


Fig. 4.4: Les lectures stadémétriques.

- le fil **stadimétrique supérieur (fil sup)**;
- le fil **stadimétrique inférieur (fil inf)**;
- le fil **niveleur (fil niv)**;
- le fil **vertical**

Avec : $2 (\text{fil niv}) = \text{fil sup} + \text{fil inf}$

Application numérique :



Calcul de la dénivelée (= différence d'altitudes) pour l'exemple ci dessus

$$\text{Dénivelée} = 1.572 - 0.358 = 1.214 \text{ m}$$

Calcul de l'altitude du point B

$$\text{Alt B} = 13.256 + 1.214 = 14.470 \text{ m}$$

2 – 3 Différents méthodes de nivellement :

2-3-1 Cheminement simple

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

La distance maximale de visée vaut : $30\text{ m} \approx 30\text{ pas}$.

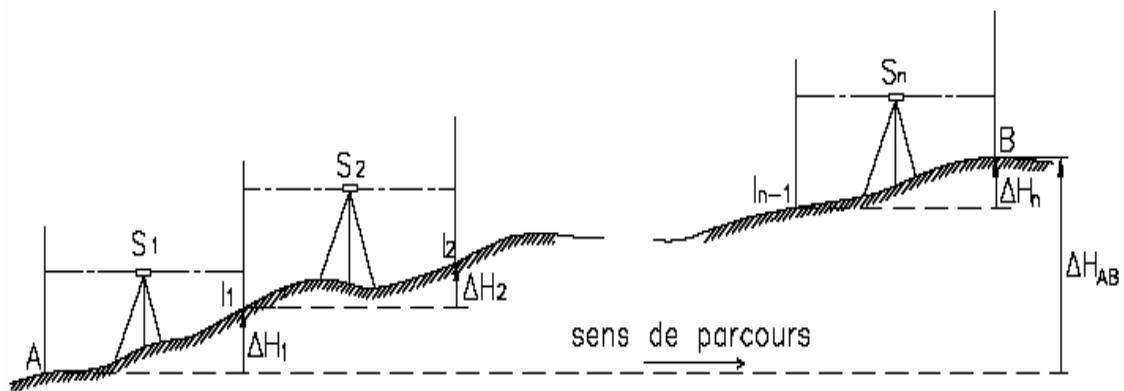


Fig. 4.5: Le principe de nivellement par cheminement simple.

2-3-2 Cheminement par rayonnement

Le nivellement par rayonnement se fait à partir d'une seule station.

On détermine les altitudes des points environnant (ici A, B, C et D) par rapport à un point de référence (ici Réf).

Tous les points rayonnés sont des lectures avant, seul le point de référence est une lecture arrière.

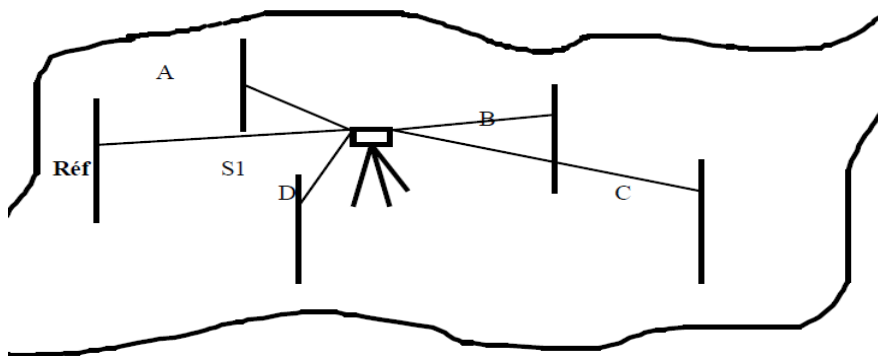


Fig. 4.6: Le principe de nivellement par rayonnement.

2-3-3 Cheminement encadré

Un **cheminement encadré** part d'un « point origine » connu en altitude, passe par un certain nombre de points intermédiaires et se referme sur un « point extrémité » différent du point d'origine et également connu en altitude.

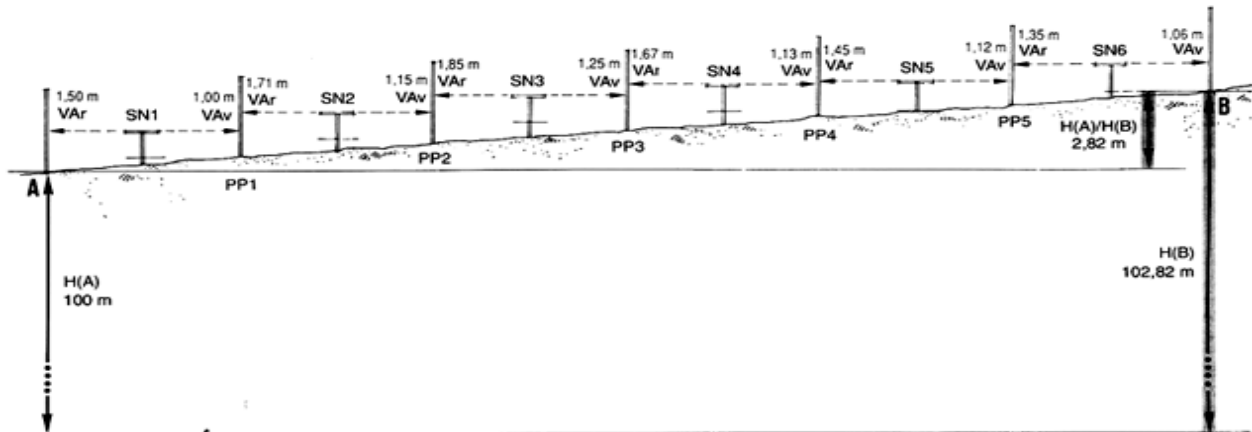


Fig. 4.7: Le principe de nivellement par cheminement encadré.

2-3-4 Cheminement fermé

Lorsqu'un cheminement constitue une boucle retournant à son point de départ A, on l'appelle **cheminement fermé**.

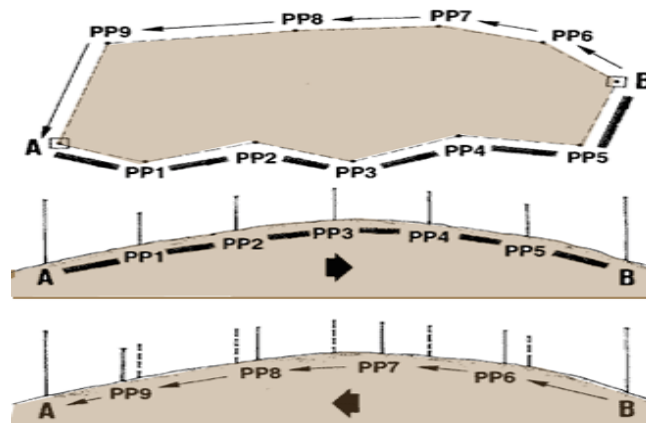


Fig. 4.8: Le principe de nivellement par cheminement fermé.

2-3-5 Cheminement aller - retour

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

2-3-6 Cheminement mixte

Depuis une station quelconque du niveau dans un cheminement, et après avoir enregistré la lecture arrière sur le point de cheminement précédent, l'opérateur vise plusieurs points de détail et effectue sur chacun d'eux une lecture unique qui est donc une lecture avant. Ensuite, il termine la station par la lecture avant sur le point de cheminement suivant. Par exemple, sur la figure ci-dessous., les points 1, 2 et 3 sont rayonnés depuis la station S1 dont le point arrière est la référence (R) et le point avant A. L'opération en S1 est appelée **rayonnement** qui consiste à niveler les points utiles d'un chantier à partir d'un repère origine de côte connue ou conventionnellement établie.

Lorsqu'un cheminement comprend des points rayonnés et des points cheminés, on dit que c'est un **cheminement mixte**.

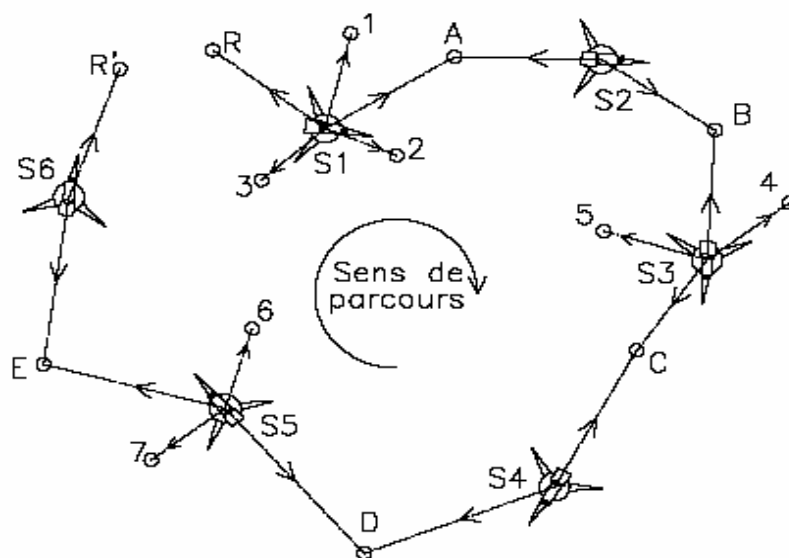


Fig. 4.9: Le principe de nivellement par cheminement mixte.

3- Observations et Calculs :

Soit à déterminer l'altitude d'un certain nombre de points situés entre un point A d'altitude connue ; et un point B. Un certain nombre de stations sont nécessaires pour déterminer l'altitude des points 1 ; 2 ; 3 ; ; n-1. L'ensemble de ces mesures constitue un cheminement.

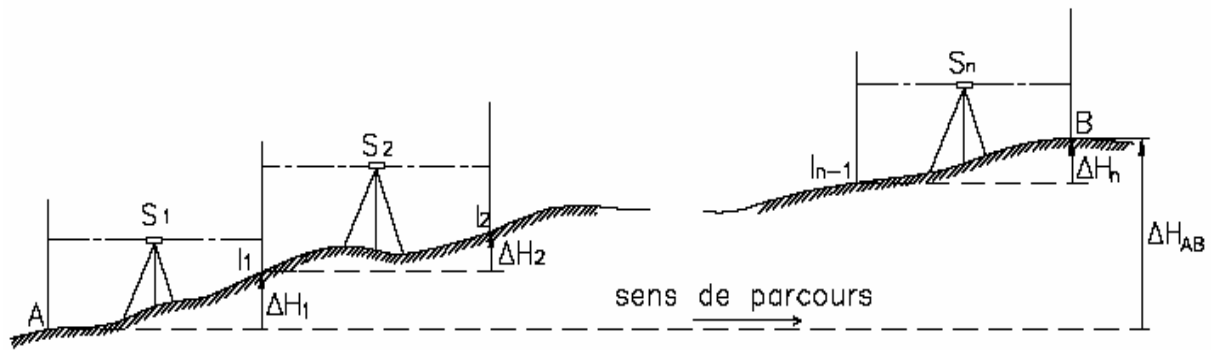


Fig. 4.10: Exemples d'un cheminement simple.

La dénivelée entre le point 1 et le point A sera :

$$dn_1 = \text{lect}_{AR}(A) - \text{lect}_{AV}(1) \text{ de la station } S_1$$

Les différences des lectures se font en diagonale pour chaque station (S).

Station	Points visée	Lecteur sur mire		Dénivelée
		AR	AV	dn
S1	Repère A	lect _{AR}	-	
	1	lect _{AR}	lect _{AV}	dn ₁
S2	2	lect _{AR}	lect _{AV}	dn ₂
S3	3		lect _{AV}	dn ₃

La dénivèle entre A et B sera égale à la somme algébrique des dénivelées :

$$\Delta H_{AB} = dn_1 + dn_2 + dn_3 + \dots$$

Et l'altitude du point B est :

$$\text{Alt}_B = \text{Alt}_A + \Delta H_{AB} = \text{Alt}_A + (dn_1 + dn_2 + dn_3 + \dots)$$

La différence entre l'altitude du point B obtenue par cheminement et l'altitude vraie de B est l'écart de fermeture (e).

4- Règles de compensation de l'écart de fermeture:

En règle générale sur un cheminement fermé et encadré, l'altitude du point de référence vraie est différente de l'altitude du point calculée, on a un écart de fermeture qu'il faut compenser.

Cet écart est calculé en faisant la somme des lectures arrières – la somme des lectures avants.

L'écart de fermeture peut provenir :

- □ d'une ou plusieurs lectures fausses,
- □ d'une mauvaise horizontalité de l'appareil,
- □ d'un dérèglement de l'appareil.

Ne sachant pas la vraie origine de l'écart de fermeture, on a établi la règle suivante :

1. L'écart de fermeture est faible, c'est à dire que l'écart est inférieur à l'écart type, dans ce cas la compensation est proportionnelle au nombre de dénivelées.

$$C = \frac{-e}{S_N} \quad \text{Avec (e) pour l'écart, } S_N \text{ le nombre de stations.}$$

2. L'écart de fermeture est important, c'est à dire compris entre l'écart type et la tolérance, dans ce cas la compensation est proportionnelle à la hauteur des nivelées

$$C = -\frac{e \times |\Delta_{HI}|}{\sum |\Delta_{HI}|} \quad \text{Avec (e) pour l'écart, } \Delta_{HI} \text{ différence de hauteur entre 2 points.}$$

5- Application:

Exercice 1 : Calcul par la hauteur du plan horizontal:

Points	Lecture Arrière	Lecture intermédiaire	Lecture avant	Horizon	Altitudes
100	0.652				419.020
1		0.429			
2		0.266			
3		0.937			
4	1.413		1.244		
5		0.163			
6	1.299		0.118		
7		1.794			
8		1.501			
9		1.090			
200			1.455		419.573

Somme des visées arrières = 3.364

Somme des visées avant = 2.817

Différence = 0.547

Doit = 0.553

Erreur de fermeture = 0.006

Il est à compenser selon la méthode A) 6 mm sur 3 changements de station, c'est à dire sur les visées arrières 3 fois + 1 mm et sur les visées avant 3 fois -1 mm. Les visées intermédiaires restent inchangées. Cette compensation agit sur les hauteurs d'horizon et sur les altitudes des points de changement de stations.

Points	Lecture Arrière	Lecture intermédiaire	Lecture avant	Horizon	Altitudes
100	0.653			419.673	419.020
1		0.429			419.244
2		0.266			419.407
3		0.937			418.736
4	1.413		1.243	419.844	418.430
5		0.163			419.681
6	1.300		0.117	421.027	419.727
7		1.794			419.233
8		1.501			419.526
9		1.090			419.937
200			1.454		419.573

Exercice 2 : Calcul par la hauteur du plan horizontal:

Points	Lecture Arrière	Lecture intermédiaire	Lecture avant	Horizon	Altitudes
R.19	1.622				22.012
a	1.313		0.990		
b	1.160		1.244		
c	1.559		1.424		
d	1.327		1.723		
e	1.211		1.605		
f	1.477		1.508		
R.20			1.314		21.868

Somme des visées arrières = 9.669

Somme des visées avant = 9.808

Différence = 0.139

Doit = 0.144

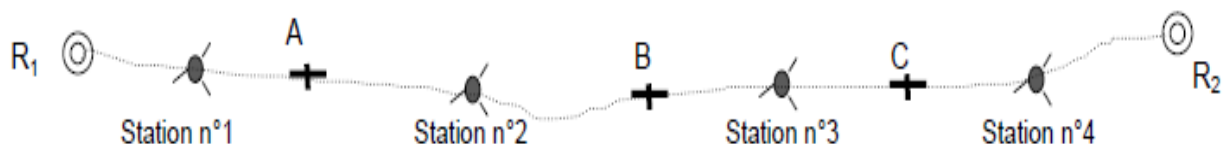
Erreur de fermeture = 0.005

Il est à compenser selon la méthode A) 5 mm sur visées arrières sur les visées avant.

Dans cet exemple on a compensé 1 mm sur 5 visées arrières.

Points	Lecture Arrière	Lecture avant	Différences		Horizon	Altitudes
			+	-		
R.19	1.621					22.012
a	1.312	0.990	0.631			22.643
b	1.160	1.244	0.068			22.711
c	1.558	1.424		0.264		22.447
d	1.326	1.723		0.165		22.282
e	1.211	1.605		0.279		22.003
f	1.476	1.508		0.297		21.706
R.20		1.314	0.162			21.868

Exercice 3 :



De la station n°1 on fait les lectures suivantes : LAR sur R1 = 1,208m ; LAV sur A = 1,312m

De la station n°2 on fait les lectures suivantes : LAR sur A = 1,735m ; LAV sur B = 1,643m

De la station n°3 on fait les lectures suivantes : LAR sur B = 1,810m ; LAV sur C = 0,763m

De la station n°4 on fait les lectures suivantes : LAR sur C = 1,739m ; LAV sur R2 = 1,934m

Point R1 d'altitude connue 35,000 NGF Point R2 d'altitude connue 35,840 NGF

Déterminez l'altitude des points A, B et C?

Stations	Points Visés	L _{AR}	L _{AV}	Δ		Altitude (m)
				+	-	

6- Le Nivellement Indirect ou Planimétrie

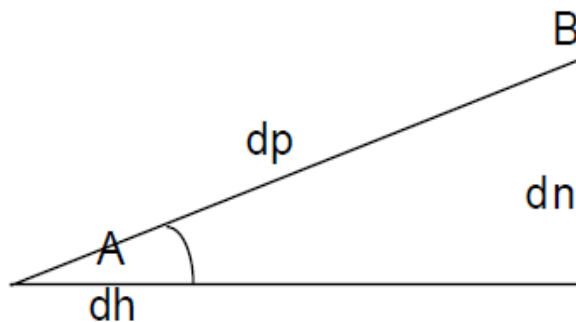
Le nivellement indirect est la technique qui consiste à déterminer la dénivelée ΔH entre la station St d'un théodolite et un point P visé ; en passant par l'intermédiaire des formules trigonométriques. Il est généralement à courte distance inférieure à 400 m.

On utilise dans ce cas un appareil servant à mesurer les angles verticaux. Ces angles sont des angles de pente ou d'inclinaison et l'appareil utilisé porte le nom (théodolite).

Soit à déterminer l'altitude de B connaissant celle de A. En appellent (ht) la hauteur des tourillons (axe passe par la lunette) de l'instrument en A.

h_v : la hauteur du point visé en B (lecture niveleur sur la mire)

ΔH : la dénivelée entre A et B :



- Si AB a été mesurée selon la pente :

$$\text{Dénivelée } dn = dp \times \sin i$$

- Si AB a été mesuré ou réduite à l'horizontale :

-

$$\text{Dénivelée } dn = dh \times \tan i$$

$$AltB = AltA + \Delta H$$

$$\Delta H = Dh \tan i + ht - hv$$

$$i = 100 - V$$

$$Dh \tan i = hv$$

i : le site

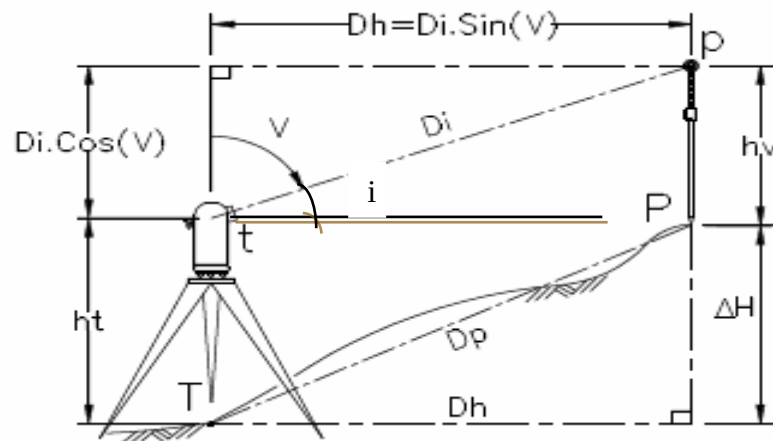


Fig. 4.11: Le principe de nivellement indirect.

Dans la pratique ; on a observé en B une mire à la même hauteur que l'appareil en A :

$$hv = ht$$

$$Dh = 100(m_2 - m_1)$$

$$hv = Lm$$

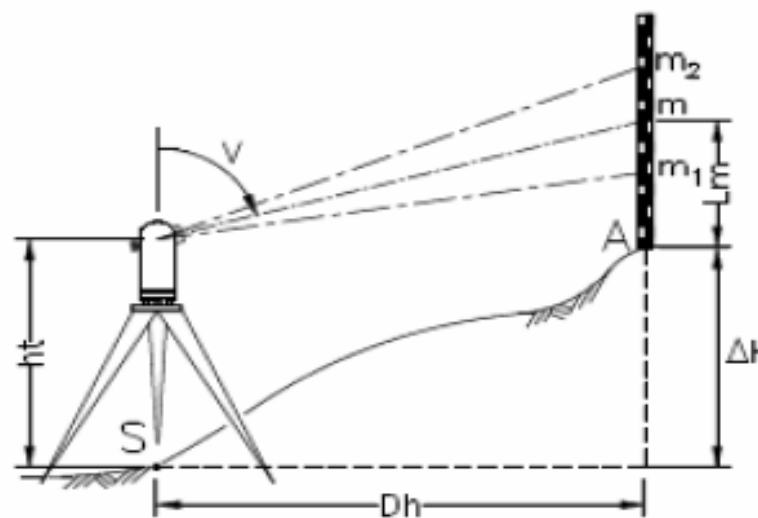


Fig. 4.12: Exemple de nivellement indirect.

6-1 Cas ou le point est inaccessible :

On cherche à connaître l'altitude d'un point inaccessible C connaissant seulement l'altitude d'un point proche A qui servira de référence. Si l'on peut mesurer la distance horizontale AC, on peut calculer la dénivelée de A vers C en mesurant l'angle V lu de A sur C et la hauteur de l'axe des tourillons ht.

L'altitude est donnée par :

$$\Delta H = Dh \cdot \cos V$$

Une solution pour obtenir la distance horizontale Dh est de créer une base AB par adjonction d'un deuxième point B, de mesurer cette base et de mesurer les angles horizontaux CBA et CAB. Ceci permet de résoudre le triangle ABC et donc de calculer les distances horizontales AC et BC.

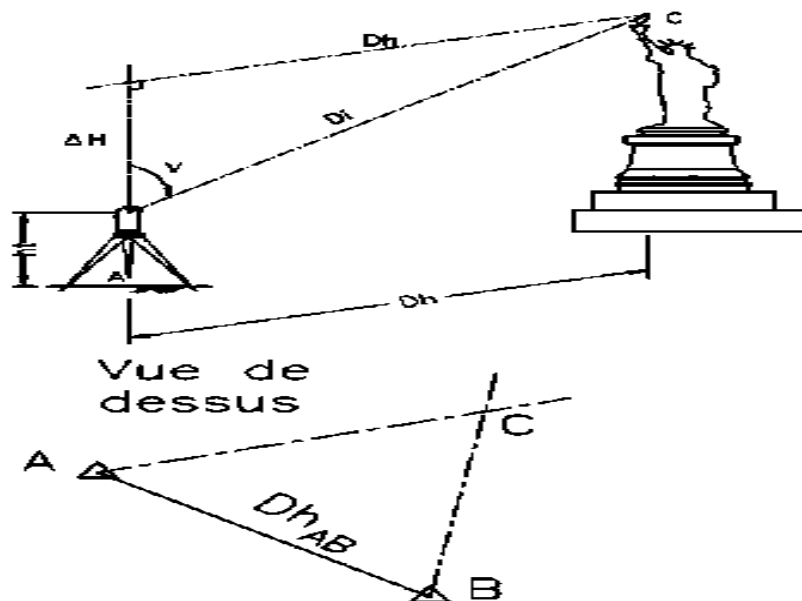
L'altitude de C est alors :

$$H_c = H_A + ht + \frac{Dh}{\tan V}$$

On peut aussi calculer l'altitude de C deux fois :

- Une première fois depuis A
- Et une seconde depuis B et ainsi contrôler les résultats.

Pour cela, il faut déterminer l'altitude de B et ne pas oublier de mesurer la hauteur des tourillons ht à chaque station.



7- Tachéomètre Autoréducteur

7-1 Définition:

Instrument permettant d'obtenir la distance horizontale et les dénivelés entre deux points directement ou par un calcul simple.

7-2 Stadimétrie autoréducteur par variation de pentes :

Tout appareil de mesure d'angles verticaux ; ou de pentes ; constitue un dispositif autoréducteur à variation de pente.

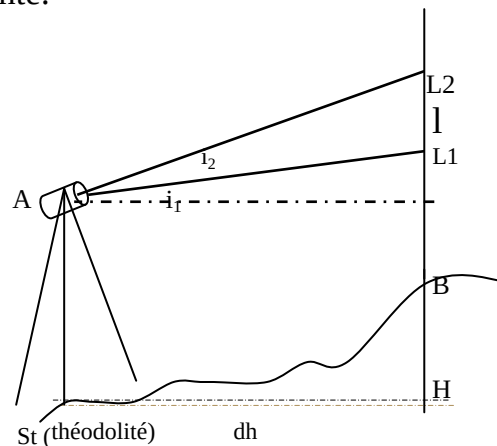


Fig. 4.13: Le nivellement indirect par stadimétrie autoréducteur.

Soit un appareil installé en A et une mire en B. On effectue deux visées de site i_1 et i_2 correspondant respectivement à des lectures L_1 et L_2 sur la mire.

H étant la projection de B sur l'horizontale.

AH est la distance horizontale égale à dh.

On peut écrire :

$$\begin{aligned} \frac{L_1 H}{\sin i_1} &= \frac{dh}{\cos i_1} \Rightarrow \frac{L_1 H}{dh} = \frac{\sin i_1}{\cos i_1} = \operatorname{tg} i_1 \\ \frac{L_2 H}{\sin i_2} &= \frac{dh}{\cos i_2} \Rightarrow \frac{L_2 H}{dh} = \frac{\sin i_2}{\cos i_2} = \operatorname{tg} i_2 \\ \operatorname{tg} i_1 - \operatorname{tg} i_2 &= \frac{L_2 H - L_1 H}{dh} \end{aligned}$$

Mais

$$L_2 H - L_1 H = l = \text{Différence de lectures}$$

$$D'où : tgi_1 - tgi_2 = \frac{l}{dh} \Rightarrow dh = \frac{l}{tgi_1 - tgi_2}$$

En appelant tgi_1 et tgi_2 les pentes ou les tangentes.

7-3 Dispositif autoréducteur par traits courbes:

C'est le cas d'un tachéomètre RDS. L'angle stadimétrique α matérialisé derrière le trait vertical du tableau focal ; par deux traits courbes ; varie automatiquement et de façon continue en fonction du site de façon à interpréter toujours la même longueur sur une mire verticale (l) en général :

$$dh = 100 \cdot l$$

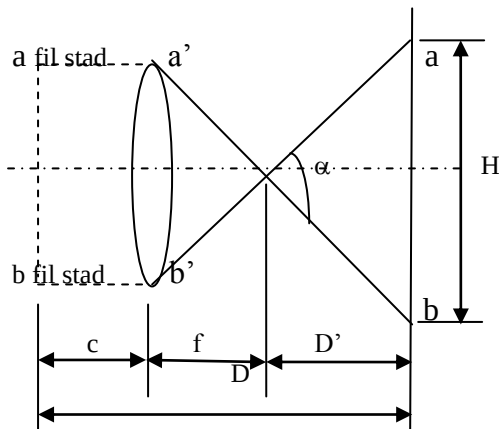


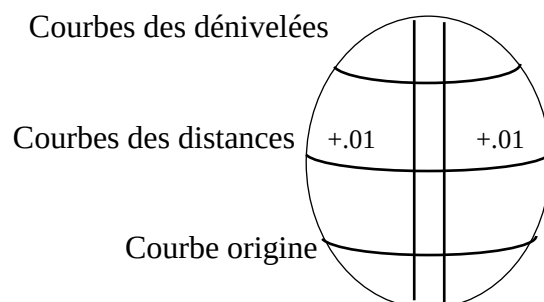
Fig. 4.14: Dispositif autoréducteur par traits courbes.

f: la distance focale de l'objectif

H : la position de mire interceptée par les fils stadimétriques a ; b

D' : la distance de mire au foyer de l'objectif

$\frac{h}{l}$ est constante ; généralement est égale à $\frac{1}{100}$



7-4 Réalisation pratique :

- Utiliser la position CG (cercle gauche)
- Interpréter la graduation 1.000 avec le trait origine (celui du bas)
- Le trait vertical étant exactement dans l'axe de la mire ; effectuer sur la mire la lecture (en mm) avec le trait des distances (celui du haut)

Soit sur le croquis :

$$dh = (1.354 - 1.000) \cdot 100 = 35.40 \text{ m}$$

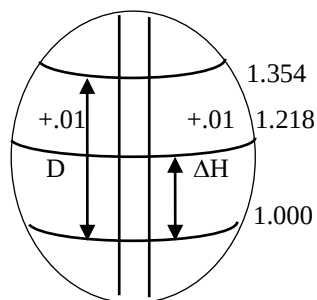
$$dh = (L_3 - L_1) \cdot 100$$

Le trait des dénivelés intercepte la graduation 1.218 avec un coefficient de + 0.1 ; on

a :

$$\Delta H = (L_2 - L_1) \cdot 100 \cdot \text{coef}$$

$$\Delta H = (1.218 - 1.000) \cdot 100 \cdot (+0.1) = +2.18 \text{ m}$$



Applications :

Exercice 1 : altitude du point M

On peut mesurer la distance suivant la pente (d_{Am}).

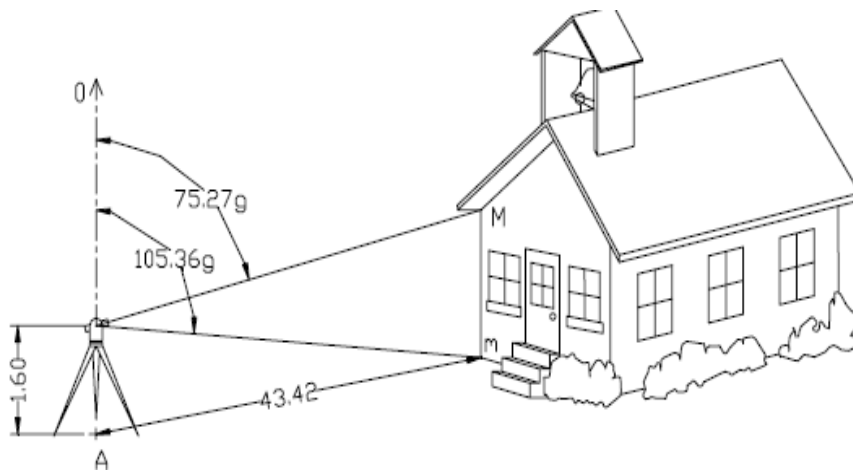
On l'obtient en mesurant la distance suivant la pente d_{Am} , m étant au sol à l'aplomb de M .

La mesure donne : $d_{Am} = 43,42$ m

Au moyen d'un théodolite mis en station en A , vous lisez les angles verticaux des visées sur M et m .

L'altitude du point de station est : 125,63 m

Calculer la dénivelée entre A et m , déduisez en la distance horizontale D_h puis calculez la hauteur Mm ainsi que l'altitude du point M .



Exercice 2 :

Soit le point A connu par leur altitude : **Alt A = + 164.000 m.**

En utilisant un théodolite et un mire, un topographe a mis sa station sur le point A puis il a visé la mire sur le point B . Les résultats sont les suivants :

- Lecture sur le fil niveleur : $h_v = 1.425$ m
- Hauteur de l'appareil : $h_t = 1.60$ m
- Angles verticaux : $V_{CG} = 98^{\text{gr}} 34^{\text{cgr}}$, $V_{CD} = 301^{\text{gr}} 70^{\text{cgr}}$
- distance chaînée : $d_p = 61.75$ m

Travail demandé :

- 1- le site i
- 2- distance développée d_h
- 3- la dénivelée d_n entre A et B
- 4- L'altitude du point B : **Alt B**

Exercice 2 : altitude du point N

On ne peut pas mesurer la distance suivant la pente (A_n), n étant l'aplomb de N.

Une méthode permettant de lever cette difficulté est de choisir une base AB depuis laquelle le point N est visible, de mesurer la distance horizontale AB ainsi que les angles NAB et NBA.

A partir de ces mesures on peut résoudre le triangle ANB et en déduire la distance horizontale AN que l'on ne peut mesurer.

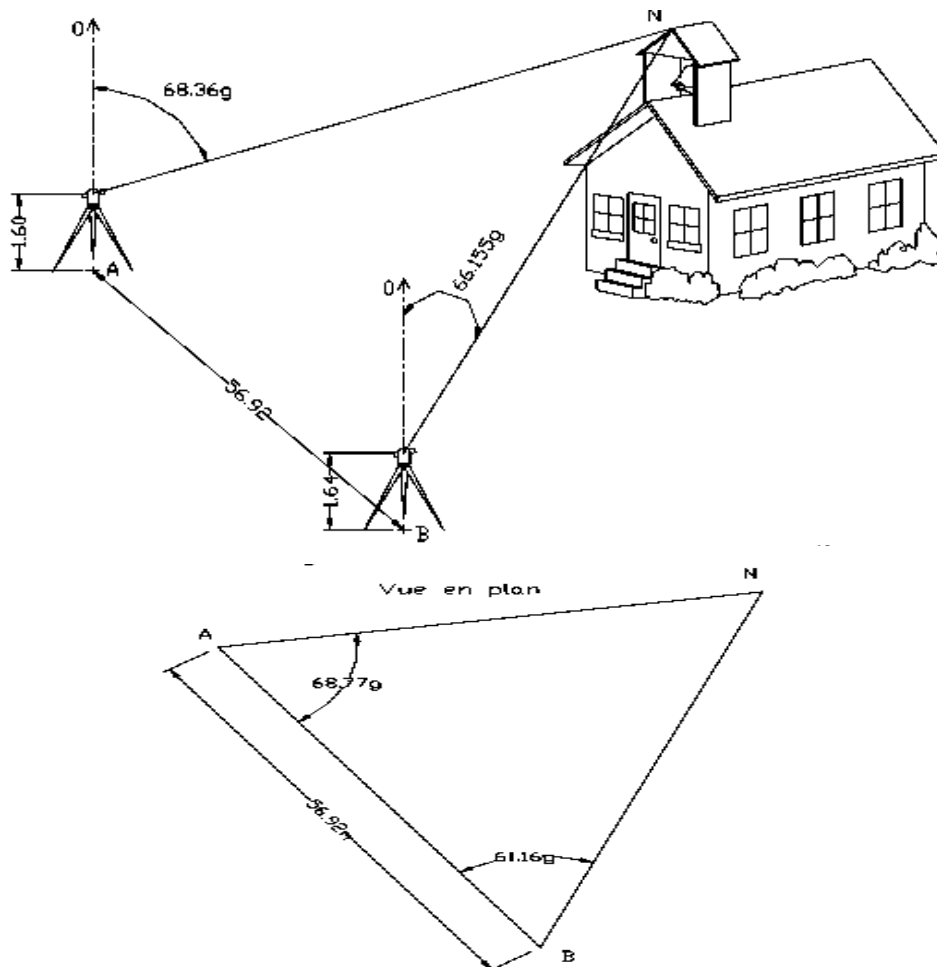
Vous effectuer donc une deuxième station en un point B choisi tel que le triangle ANB soit à peu près équilatéral.

Depuis la station en A, on lit l'angle vertical de la visée sur N ainsi que l'angle horizontal NAB.

Depuis la station en B, on lit l'angle horizontal NBA

Distance horizontale AB : 56.92 m

Calculer l'altitude du point N avec contrôle.



Chapitre 5 : Canevas et lever de détail

1- Définition du canevas :

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

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

2- Réseau polygonal

2-1 Principe

Le réseau polygonal est constitué de cheminements appuyés en général sur les points du canevas de base et du canevas complémentaire. Un cheminement est une succession de rayonnements entre deux points de coordonnées connues.

2-2 Forme des cheminements

2-2-1 Cheminement encadré

C'est une ligne polygonale qui relie deux points connus en coordonnées. C'est la meilleure forme de cheminement.

2-2-2 Cheminement fermé

C'est une ligne polygonale qui se boucle sur elle-même. Souvent employé bien qu'il présente des défauts. Il doit être utilisé de préférence lorsque la surface à lever est peu étendue.

2-2-3 Antenne

C'est une ligne polygonale qui ne se referme pas un point connu. Procédé à éviter, ou à observer aller et retour.

2-2-4 Point nodal

C'est le point de convergence de plusieurs antennes, ou encore le nœud de plusieurs cheminements encadrés. C'est une solution à rechercher, qui donne des résultats très homogènes.

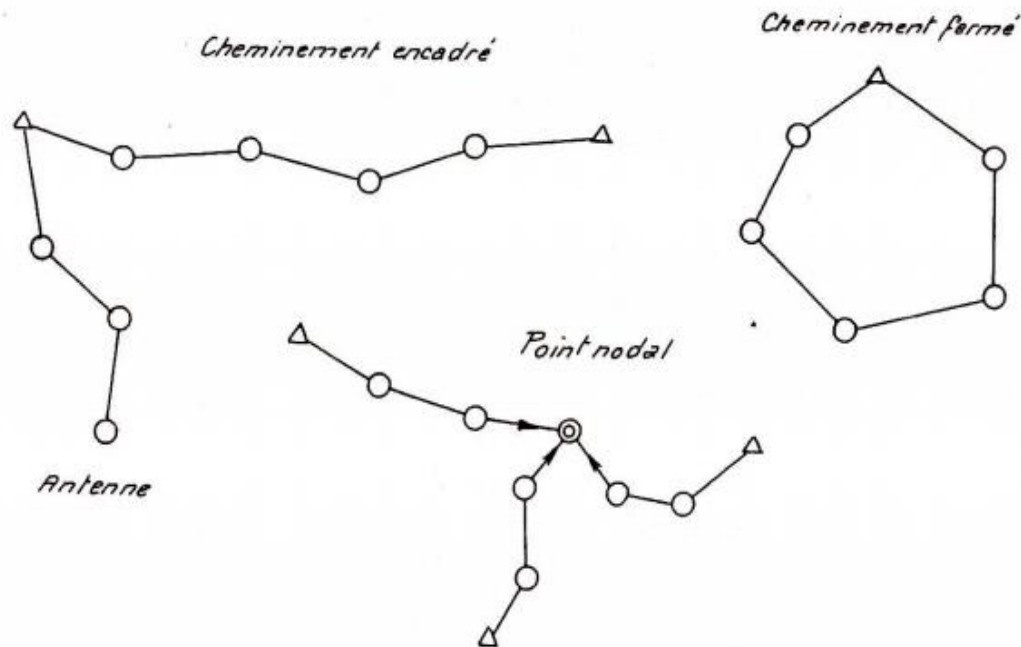


Fig. 5.1 : Formes des cheminements.

2-3 Classifications et caractéristiques des cheminements

On distingue :

- Les cheminements principaux qui relient deux points du canevas,
- Les cheminements secondaires qui s'appuient sur les cheminements principaux,
- Les points nodaux qui peuvent être principaux ou secondaires.

Cette distinction est uniquement faite pour indiquer l'ordre dans lequel les calculs seront exécutés (observations, tolérances, précision seront identiques).

Les caractéristiques des cheminements sont :

- Proches des détails à lever,
- Homogènes (côtés sensiblement de même longueur, éviter les côtés courts),
- Les cheminements encadrés seront aussi tendus que possible,
- Le nombre de côtés seront limités à 10 ou 12.

2-4 Exécution pratique d'un cheminement

L'exécution pratique d'un cheminement suit les étapes suivantes :

2-4-1 Reconnaissance, matérialisation et repèvements des sommets

Après avoir reconnu le cheminement l'opérateur matérialise de façon durable chaque sommet (bornes, piquets, cornières, etc).

Chaque sommet sera repéré par ses distances à des points fixes, ou par des alignements, de façon à pouvoir rétablir éventuellement sa position exacte.

2-4-2 Observations

a) Choix de l'instrument

En général on utilise un instrument donnant le centigrade ou le milligrade pour les levés courants (échelle du 1/500 ou plus petite).

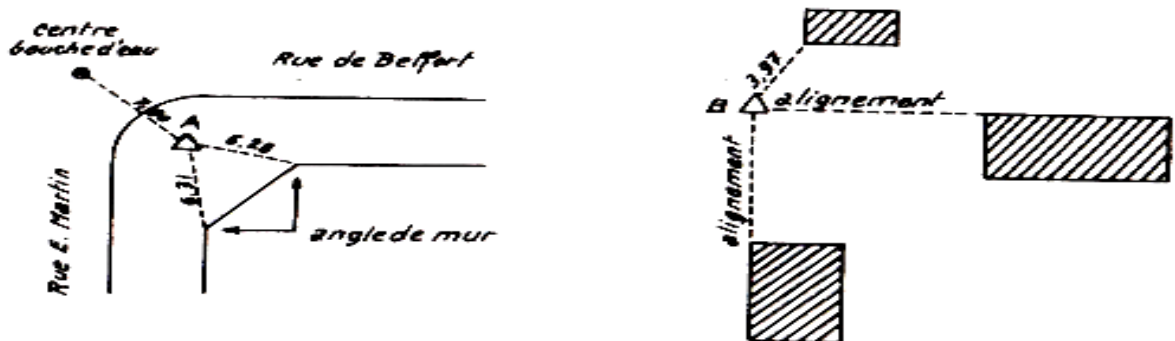


Fig. 5.2 : Repèvements des sommets.

b) Mesure des angles

Les angles sont déterminés par une paire de séquence (CG et CD).

c) Mesure des distances

Les distances peuvent être mesurées à l'aide d'un ruban étalonné, d'un tachéomètre, d'un instrument de mesure électronique de longueurs, ou par des mesures parallaxiques.

Les distances entre sommets sont mesurées aller et retour et réduites à l'horizontale le cas échéant.

2-5 Calcul d'un cheminement encadré

2-5-1 Transmission des gisements

La transmission des gisements consiste à calculer le gisement de chaque côté, à partir du gisement de départ.

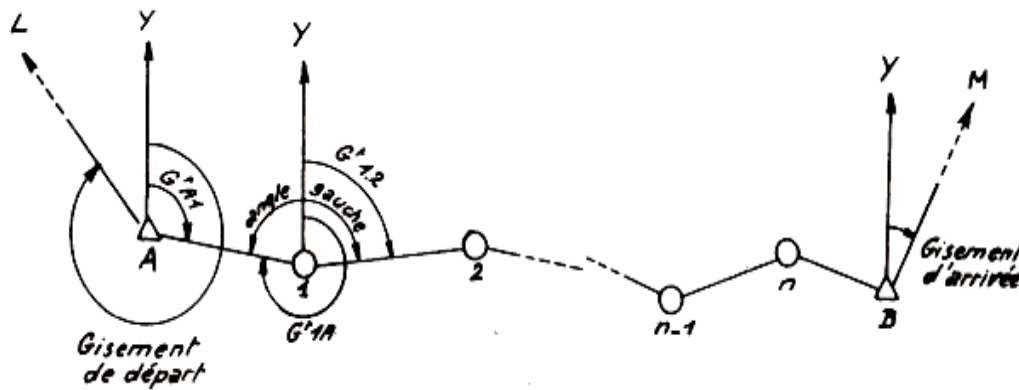


Fig. 5.3: La transmission des gisements dans un cheminement.

Soit le cheminement encadré AB. Le gisement de départ : G_{AL} . Le gisement d'arrivée G_{BM} . On procède de la façon suivante :

$$\text{Gisement d'un côté} = \text{Gisement du côté précédent} \pm 200 \text{ gr} + \text{angle de gauche}$$

Calculer successivement le gisement de chaque côté à partir du gisement de départ jusqu'au gisement d'arrivée. L'imprécision du gisement de départ et des angles observés, font que le gisement d'arrivée, calculé, diffère du gisement connu (G_{BM}). Cette quantité s'appelle l'écart de fermeture angulaire (f_a).

- La première lecture est toujours effectuée sur la visée (arrière) en inscrivant de préférence zéro au limbe,
- L'angle est déduit en calculant (lecture avant-lecture arrière) on obtient ainsi, systématiquement l'angle situé à gauche dans le sens de la marche du

cheminement quelle que soit son orientation (cheminement encadré). Dans le cas des cheminements fermés ce sont les angles extérieurs qui sont obtenus, en numérotant les sommets dans le sens des gisements.

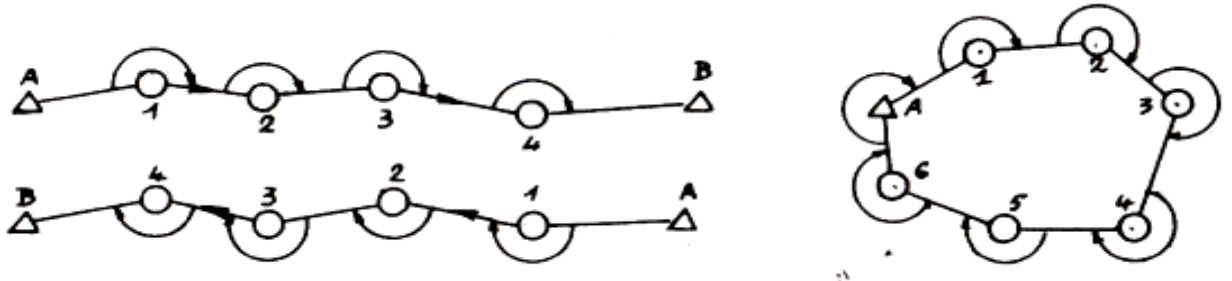


Fig. 5.5: Calcul des angles gauches dans un cheminement.

2-5-2 Compensation de l'écart de fermeture angulaire

Il serait normal en toute rigueur de compenser cet écart en fonction de la longueur des côtés. Solution assez complexe et dans la plupart des cas sans intérêt, l'opérateur s'attachant à obtenir des côtés sensiblement de même longueur.

Nous adopterons la solution simple suivante :

L'écart de fermeture (f_a) est réparti uniformément sur tous les gisements à l'exception des deux gisements connus (départ et arrivée).

Soit (f_a) la fermeture angulaire, (n) le nombre de côtés, ($n+1$) le nombre de sommets.

La correction a pour valeur :

$$\text{Pour le 1}^{\text{er}} \text{ gisement : } \frac{-f_a}{n+1}$$

$$\text{Pour le 2}^{\text{e}} \text{ gisement : } \frac{-2f_a}{n+1}$$

$$\text{Pour le 3}^{\text{e}} \text{ gisement, etc... : } \frac{-3f_a}{n+1}$$

Le cheminement ainsi compensé est réversible c'est-à-dire que les gisements ont la même valeur à 200 gr près qu'ils soient calculés dans un sens ou des l'autre.

2-5-3 Calcul des coordonnées

On connaît :

- Les coordonnées de départ et d'arrivée du cheminement,
- Les gisements compensés,
- Les distances horizontales des côtés.

On peut donc calculer les ΔX , ΔY des sommets successifs (transformation de coordonnées polaires, en rectangulaires).

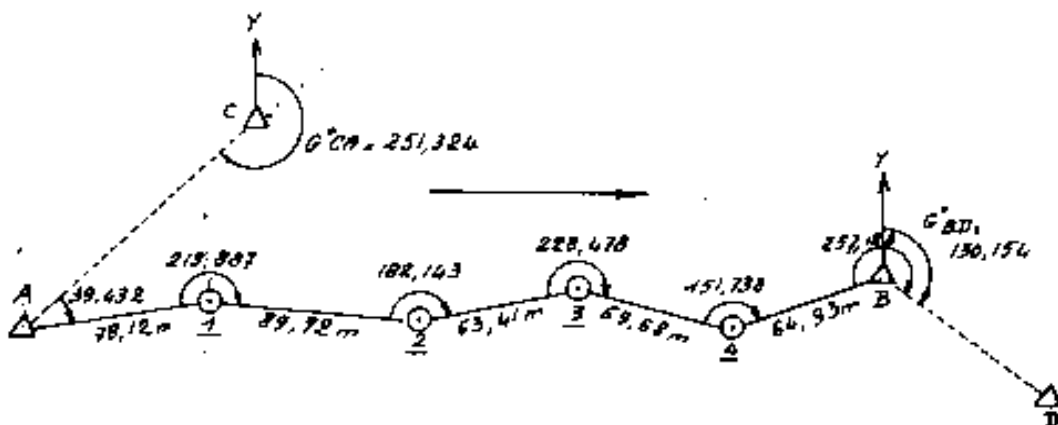
Soit : X_0 Y_0 les coordonnées du point de départ , X_e Y_e les coordonnées du point d'arrivée.

On aura :

$$X_0 + \text{somme des } \Delta X = X_e \pm \text{écart de fermeture } f_x$$

$$Y_0 + \text{somme des } \Delta Y = Y_e \pm \text{écart de fermeture } f_y$$

3- Application



Données :

$$X_A = 782\,875,12 \quad Y_A = 215\,320,46$$

$$X_B = 783\,228,94 \quad Y_B = 215\,327,80$$

- Les angles ont été obtenus à partir des lectures des tours d'horizon (lect AV – lect AR).

- Les distances ont été réduites à l'horizontale.

- Les gisements GCA et GBD ont été calculés à partir des coordonnées de A, B, C, D.

- Calculer des Δ :

$$\Delta X = D \sin G$$

$$\Delta Y = D \cos G$$

- Nombre de côtés (n) = 5

- Nombre de sommets (n+1) = 6

Points	Angles (gr)	Gisement s calculés (gr)	Gisements compensés (gr)	Distances D (m)	ΔX	X	ΔY	Y
C		251,324						
A	39,432	90,756	90,760	78,12	+ 77,298	782875,12	+ 11,299	215320,46
1	219,887	110,643	110,651	89,72	+ 88,487	782952,43	- 14,940	215331,76
2	182,143	92,786	92,798	63,41	+ 63,005	783040,90	+ 7,158	215316,81
3	228,478	121,264	121,280	69,68	+ 65,823	783103,92	-22,860	215323,97
4	151,738	73,002	73,022	64,73	+ 59,187	783169,75	+ 26,699	215301,10
B	257,128	130,130	130,154			783228,94		215327,80
D		130,154						
		f = - 24		365,86	+ 353,781	783228,901	+ 7,356	215327,816
						f _x = -39mm		f _y = +16mm

Compensation des gisements :

Pour le 1^{er} gisement : $\frac{-f_a}{n+1} = \frac{24}{6} = 4^{mgr}$

Pour le 2^e gisement : $\frac{-2f_a}{n+1} = \frac{48}{6} = 8^{mgr}$ etc

Références Bibliographiques

- Benoit. Cours Complet de Topographie et de Géodésie. Forgotten Books 2013. 200 pages.
- Brabant Michel. Maitriser la topographie, des observations au plan, AFT, 542 pages, Groupes Ryrolles, Paris, 2003.
- Didier Bouteloup. Topométrie : Mesure des distances.
- Hollander R.D. Topographie générale tome 1, Généralités, mesures des angles et des distances. Collection scientifique de l'IGN. 363 pages
- Jean-Bapiste Henry. Cours de Topographie et Topométrie Générale. 65 pages.
- Pierre Goix. Topographie – la topographie par la pratique. La collection Focus. CRDP de l'académie de Grenoble, 2005. 339 pages.