

Chapitre 1 : Notions préliminaires sur la cartographie

1. Notions sur la forme et les dimensions de la terre

La forme générale de la terre est donnée par la surface physique constituée par l'ensemble des mers, océans et montagnes (continents).

L'homme a cherché, il y a longtemps, la forme de la terre. En 1978, les USA et Canada ont convenu de définir un système de référence géodésique nord-américain basé sur un système de satellites (GPS), et en 1984 ont donné un système géodésique mondial qui est GWS 84 (Geodetic World System)

La terre tourne autour de son petit axe, appelé *axe de la terre (P-P')*.

L'**équateur** est le grand cercle imaginaire trace autour de la terre à égale distance des deux pôles.

Le **Meridien** est le demi grand cercle imaginaire de la surface terrestre limité aux pôles.

- Les *méridiens*, sont les lignes d'intersection de la surface de l'ellipsoïde par les plans passant par l'axe de rotation (PP').
- Les *parallèles*, sont les lignes d'intersection de la surface de l'ellipsoïde par des plans perpendiculaires à l'axe de rotation.
- Le *méridien de référence ou d'origine*, est un plan imaginaire constitué par une ellipse passant par *Greenwich* (Angleterre).
- Le parallèle dont le plan passe par le centre de l'ellipsoïde s'appelle : *l'équateur*.

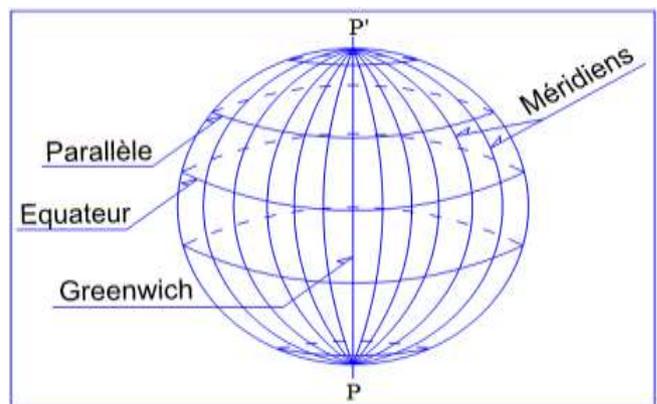


Figure 1. Les méridiens et parallèles

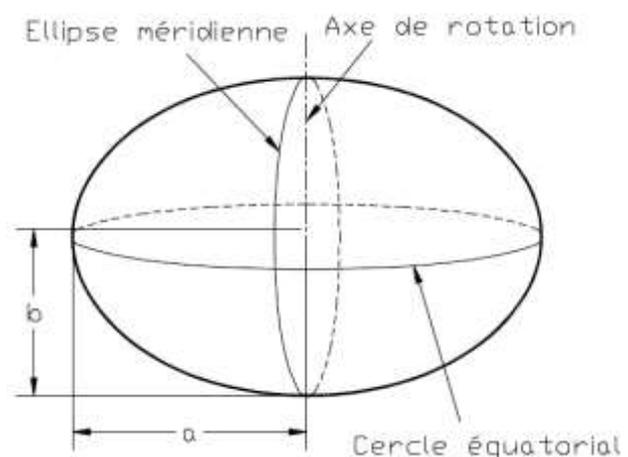
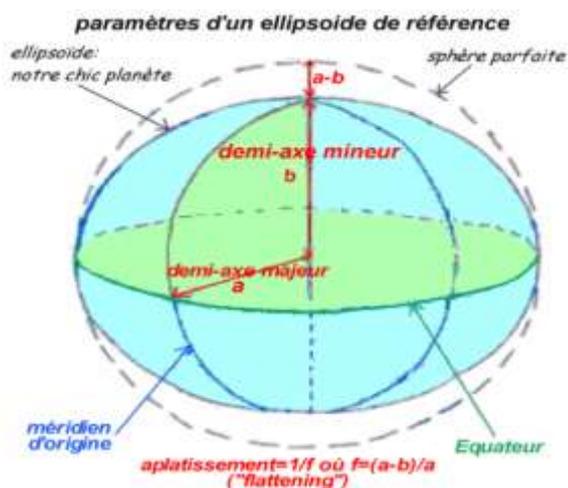


Figure 2. L'ellipsoïde de révolution engendré par la rotation autour d'un petit axe.

On appelle *Géοïde* ou *surface de niveau zéro (0)*, la surface physique de la terre qui coïncide avec le niveau moyen des mers, c'est une surface équipotentielle. Il est impossible de l'utiliser pour les calculs mathématiques, c'est pourquoi que nous sommes obligés de choisir une autre référence qui

doit être une surface géométrique qui se rapproche le plus possible de la surface de ce géoïde, c'est l'*ellipsoïde* de révolution terrestre.



Figure 3. Représentation de l'ensemble de L'ellipsoïde de révolution, du géoïde et de la surface de la terre (échelle amplifiée).

Il existe de nombreux modèles d'ellipsoïdes. A chaque référentiel géodésique est associé un ellipsoïde sur lequel on a fixé un méridien comme origine des longitudes et qui est parfaitement défini par le demi-grand axe **a** et le demi-petit axe **b** une des différentes valeurs :

Quelques valeurs concernant les modèles d'ellipsoïde en France, en considérant deux systèmes géodésiques (NTF et ED50).

Système Géodésique	Ellipsoïde associé	<i>a</i>	<i>b</i>	$\frac{1}{\alpha}$
NTF	Clarke 1880 I.G.N	6378249,2	6356515,0	293,466021
ED50	Hayford 1909	6378388,0	6356911,9461	297,000000

2. Systèmes de coordonnées :

2.1 Les coordonnées géographiques

Pour désigner un point par ses coordonnées géographiques, il faut connaître deux éléments : *la longitude* et *la latitude* de ce point.

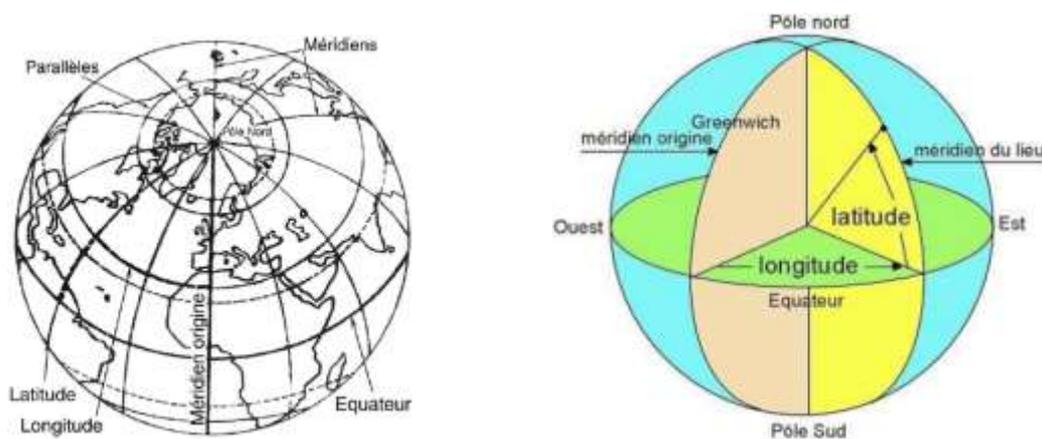


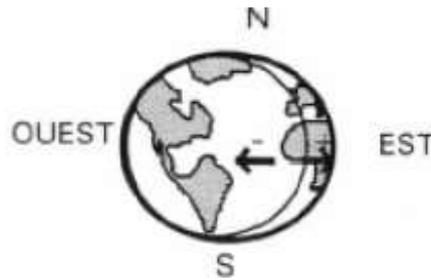
Figure I. 6. Coordonnées géographiques de la terre.

Méridien, c'est un cercle imaginaire qui fait le tour de la terre en passant par les deux pôles, le méridien d'origine c'est le méridien de Greenwich.

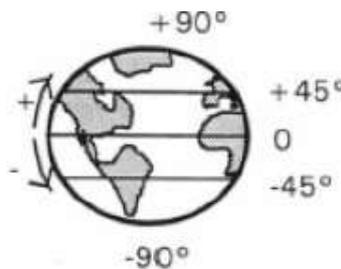
Equateur, c'est un cercle imaginaire dont le plan est perpendiculaire à l'axe des pôles et qui coupe la terre en deux hémisphères égaux.

Parallèle, cercle imaginaire dont le plan est parallèle à celui de l'équateur, et dont les points sont de ce fait situés à égale distance de l'équateur.

Longitude d'un point, c'est un écart angulaire existant entre le méridien d'origine (Greenwich) et le méridien passant par le point considéré. Elle est dite EST ou positive, si à l'Est du méridien d'origine, et dite OUEST ou négative, si elle est à l'Ouest du méridien d'origine.



Latitude d'un point, c'est l'écart angulaire entre le plan de l'équateur et le parallèle passant par le point considéré. Elle est dite NORD ou Positive si elle se situe au Nord de l'équateur, et SUD ou Négative si elle est au Sud.



6.2. Les coordonnées rectangulaires Lambert

La projection conique conforme de Lambert, ou plus simplement, la projection de Lambert est l'une des projections cartographiques présentées par le mathématicien mulhousien Johann Heinrich Lambert en 1772.

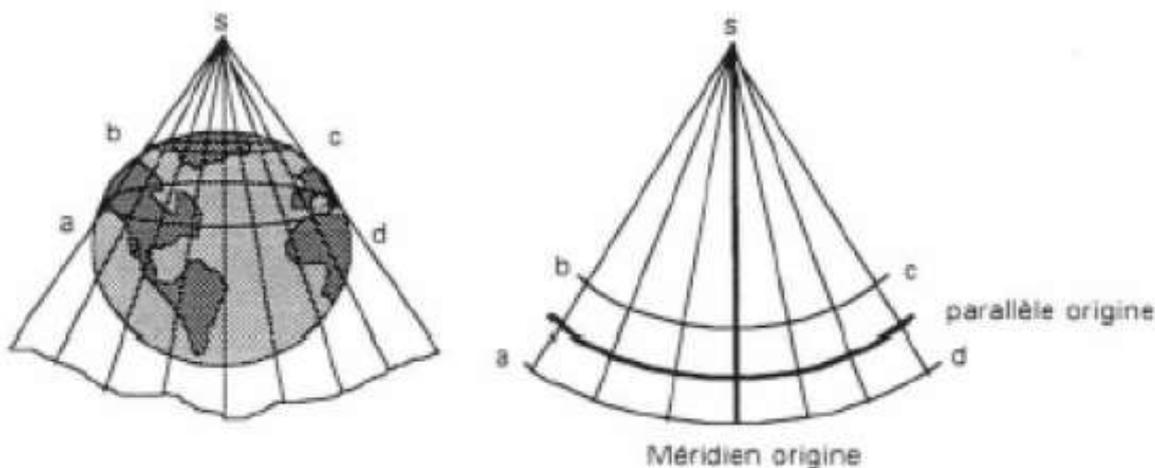


Figure I. 7. Système de projection Lambert (projection conique).

Le quadrillage employé est un quadrillage kilométrique formé par des parallèles à deux axes rectangulaires qui sont :

- Un méridien pris pour origine,
- La tangente au parallèle origine tracée à partir de l'intersection de ce parallèle et le méridien origine.

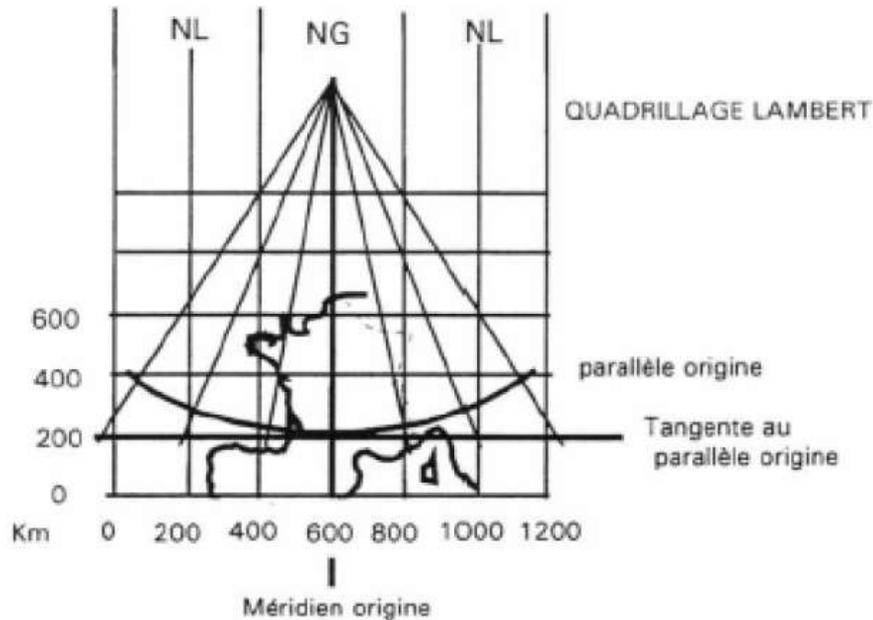


Figure I. 8. Quadrillage Lambert.

Remarque : en Algérie, il deux zones Lamberts : Lambert Nord et Lambert Sud.

Afin de définir les coordonnées rectangulaires Lambert d'un point, il faut déterminer une abscisse (valeur horizontale, sur l'axe des X) et une ordonnée (valeur verticale sur l'axe des Y).

6.3. Les coordonnées rectangulaires du système Mercator (Universal Transverse Mercator, UTM)

8.1 Le système de projection

C'est un système de projection cylindrique dans lequel est placée la terre et que l'on fait pivoter par bandes.

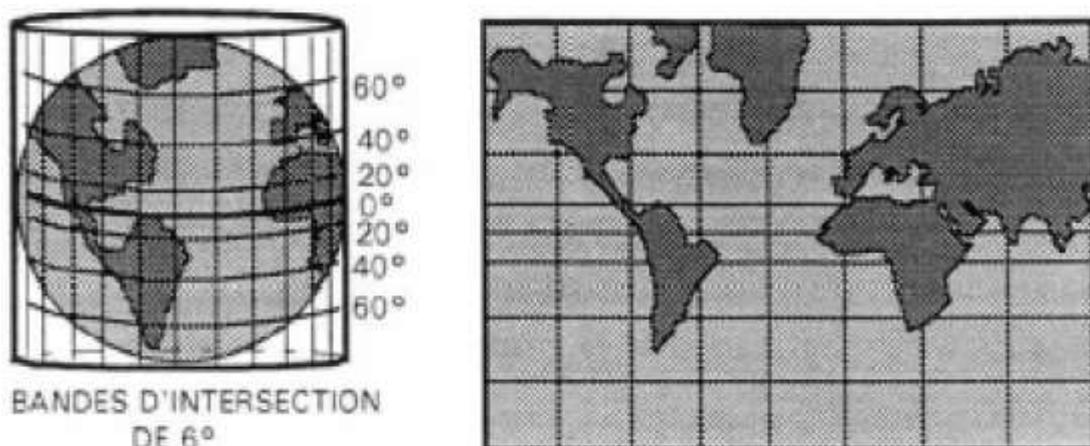


Figure I. 9. Système de projection UTM (projection cylindrique).

Pour la réalisation des cartes en projection UTM, le monde a été divisé en « zones », soit 120 zones (60 au Nord et 60 au Sud). en Algérie on compte quatre zones (29, 30, 31, et 32) d'Ouest en Est.

- Un quadrillage kilométrique (1 Km) pour les cartes au 1/25 000 et 1/50 000
- Un quadrillage myriamétrique (10 Km) pour les cartes au 1/100 000, 1/200 000 et 1/250 000

Les coordonnées complètes d'un point doivent comporter la désignation de la zone.

7. L'orientation

L'orientation est la détermination du Nord, puis à partir de là, celle des autres points cardinaux afin de se situer par rapport à un point caractéristiques.

Il existe 4 points cardinaux :

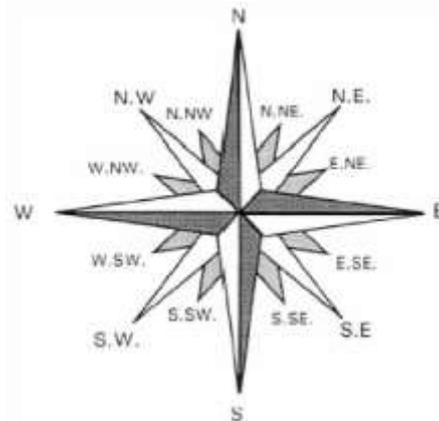
N, S, E et W

Et 4 points collatéraux :

N.E, N.W, S.E, et S.W

Et 8 points intermédiaires :

N.NE, N.NW, E.NE, E.SE,



3. Les unités de mesure

Les unités de mesure employées en topographie sont :

- Pour les longueurs, l'unité de mesure est le mètre et ses sous-multiples et multiples ;
- Pour les surfaces, l'unité employée est le mètre carré, Km², l'are, ou l'hectare ;
- Pour les angles, le grade est le plus utilisé, mais parfois le radian et le degré sont aussi utilisés :
200 grade = 180 degré = π radian

➤ Les sous-multiples les plus utilisés du grade sont :

Décigrade : dgon ou dgr = 10^{-1} grade

Centigrade : cgon ou cgr = 10^{-2} grade

Milligrade : mgon ou mgr = 10^{-3} grade

Décimilligrade: dmgon ou dmgr = 10^{-4} grade

On employé aussi le vocabulaire de : minute centésimale (pour centigrade) et seconde centésimale (pour décimilligrade).

➤ Les sous-unités du degré sont:

La minute (') qui correspond à 1/60 degré

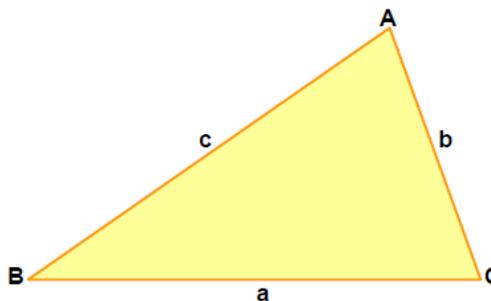
La seconde (") = 1/60 minute = 1/3600 degré.

Les valeurs peuvent être représentées soit en **degré décimal** soit sous format **degré-minute-seconde** ; exemple : $23.437146^\circ = 23^\circ 26' 13,726''$.

4. Rappels de trigonométrie

Relation des Sinus :

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

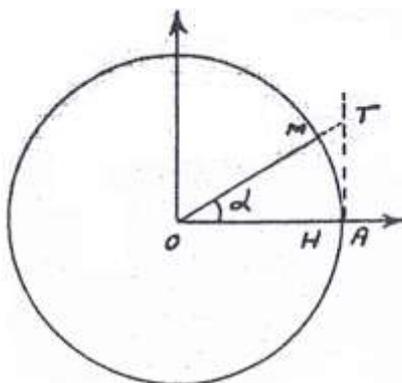


Relation des Cosinus :

$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$	$\cos B = \frac{c^2 + a^2 - b^2}{2ca}$	$\cos C = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$
--	--	--

Surface :

$$S_T = \frac{1}{2} b \cdot c \cdot \sin \hat{A} = \frac{1}{2} a \cdot c \cdot \sin \hat{B} = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin \hat{C}$$



$$S_T = \frac{1}{4} \sqrt{(a+b+c)(-a+b+c)(a-b+c)(a+b-c)}$$

Remarque :

En trigonométrie, si l'angle « α » est très petit (≤ 4 grades)

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

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

Chapitre 2 : Notions sur la topographie

1. Définition

La **topographie** fait partie des sciences de la terre (du grec : *topos* = lieu et *graphein* = dessiner). C'est la technique qui permet la *mesure* puis la *représentation* graphique ou numérique sur un *plan* ou une *carte* d'une surface terrestre (détails visibles sur le terrain), qu'ils soient naturels (relief de terrain naturel, réseau hydrographique,...) ou artificiels (bâtiments, routes, etc.).

2. L'objectif de la topographie

L'objectif de la topographie est de déterminer la position et l'altitude de n'importe quel point situé dans une zone donnée. Donc, les opérations topographiques se divisent en deux catégories de mesures : *les mesures planimétrique* et *les mesures altimétriques*.

Cela permet de rentrer dans des détails de plus en plus fins pour établir une carte ou un plan à une échelle appropriée aux objectifs souhaités.

Les mesures topographique sont projetés orthogonalement sur un plan ou une carte. La vue de ce plan s'appelle **la planimétrie**, elle consiste à reporter sur un plan ou une carte la position de tout détail d'une . La détermination des altitudes des points pour un lieu donné (toutes les opérations effectuées à l'aide de mesures verticales) s'appelle **l'altimétrie**.

La planimétrie, consiste à déterminer **la position** (X et Y) de tout détail d'une portion de la surface terrestre, supposée plane au moyen des mesures d'angles horizontaux et des distances horizontales.

L'altimétrie, consiste principalement à déterminer **la hauteur** (ou l'altitude) des points au dessus d'une surface de référence (à mesurer la différence d'altitude entre les points), et à représenter le relief au moyen de conventions appropriées.

Le technicien chargé de l'opération de levé topographique définit **l'échelle** en fonction de l'étendue du terrain à représenter, de la précision et du format souhaité pour le document à obtenir.

3. Quelques définitions

a. Un plan

Un plan est une représentation graphique d'une surface très restreinte, généralement à une échelle très grande. Les détails y sont représentés à l'échelle, et selon l'objectif souhaité.

b. Une carte

Une carte est une représentation d'une certaine portion de terrain (une surface très étendue) généralement à une petite échelle. Tels que cartes géographiques, cartes topographiques et cartes routières dont les échelles varient du 1/25 000 au 1/1000 000.

c. Echelle

L'échelle est définie par comme le rapport de similitude de la figure du plan à la figure de terrain, autrement dit c'est le rapport entre une distance graphique mesurée sur la carte (distance qui sépare deux points sur plan ou carte) et la distance horizontale équivalente sur le terrain. Les deux distances étant exprimées par la même unité. Ce rapport s'exprime par une fraction simple dont le numérateur est 1.

Les échelles utilisées en topographie de la plus grande à la plus petite sont : $1/10$, $1/25$, $1/50$, $1/100$, $1/250$, $1/500$, $1/1.000$, $1/1.250$, $1/2.000$, $1/2.500$, $1/5.000$, $1/10.000$, $1/25.000$, $1/50.000$, $1/100.000$, $1/200.000$, $1/500.000$

Dans une carte on préfère l'échelle graphique, et pour un plan on utilise l'échelle numérique.

d. Courbes de niveau, équidistance

Une courbe de niveau est une ligne formée par les points du relief situés à la même altitude.

Plus les courbes de niveau sont rapprochées, plus la pente est raide. Entre deux courbes de niveau successives, on admet que la pente est régulière. La distance verticale séparant deux courbes de niveau s'appelle l'équidistance. Toutes les cinq courbes, une courbe maîtresse est dessinée en gras, avec l'indication de son altitude. Les chiffres de cette courbe sont toujours écrits dans le sens de la montée.

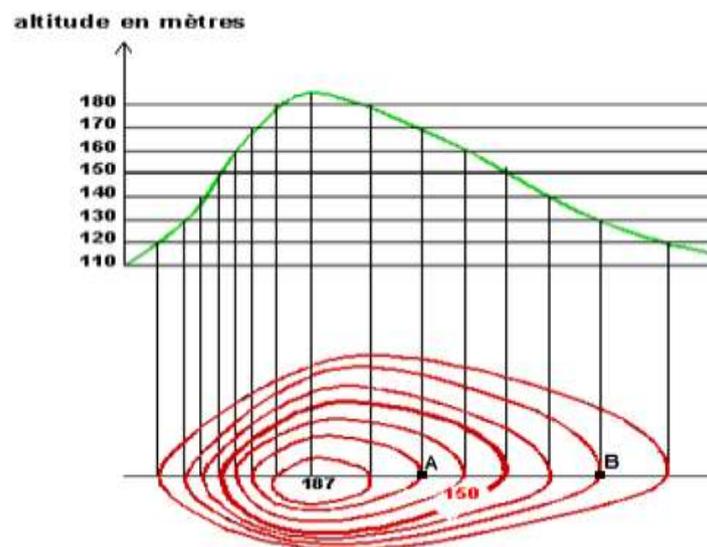


Figure I. 2. Principe de détermination des courbes de niveau.

e. Levé topographique

Un *relevé topographique* consiste à réaliser le plan d'un terrain sur lequel figurent les principales caractéristiques et ses cotes altimétriques. Il implique, la mesure d'un nombre important de points permettant la description des objets géographiques.

f. L'implantation topographique

l'implantation est l'art de passer du plan papier, au terrain. Donc, transpose sur le terrain les éléments fournis par le plan d'étude. *L'implantation* est l'un des plus importante opération avant chaque projet.

g. Le Suivi et contrôle des ouvrages

Certains ouvrages nécessitent une vérification, lors de la réalisation (contrôle des travaux de réalisation d'un canal ou d'un réseau d'égout), alors que que d'autres ouvrages nécessitent une auscultation à un intervalle de temps plus ou moins réguliers suivant leur destination : digues, ponts, affaissements,....etc.

h. La bathymétrie

La bathymétrie consiste en la mesure de la profondeur d'un plan d'eau, et par la suite déterminer la forme des fonds aquatiques.

Le géomètre-topographe utilise une sonde bathymétrique, et fait les mesures au niveau des coordonnées localisées par GPS.

i. Plan de situation :

Le plan de situation permet de connaître la situation du terrain (zone d'étude) à l'intérieur d'une ville, ou d'une commune, ou d'un pays. Tout en précisant la position du Nord géographique, les noms des lieux, et l'échelle du plan.



m. Plan de masse:

C'est un dessin simplifié à petite échelle. Il représente d'une manière schématique un terrain sur lequel on souhaite construire. Il fournit de nombreuses informations comme les dimensions du terrain de construction, les limites de la zone sur lequel on va construire. L'échelle utilisée est de : 1/200 à 1/1500



4. Les applications de la topographie

La topographie s'implique en plusieurs activités, dont les plus répondues sont :

- ✓ **Etude ou suivi topographiques**, consiste à faire des études et/ou de suivi travaux dans différents domaines : hydraulique, génie civil, géologie, hydrogéologie, géophysique,....
- ✓ **La topographie de construction**, consiste à l'implantation des blocs de batiments, et à la réalisation des réseaux divers...,
- ✓ **La topographie routière**, est liée aux routes, autoroutes, chemins de fer,
- ✓ **La topographie cadastrale**, qui consiste à la délimitation et le morcellement des propriétés foncières. Par exemple : Subdiviser ou piqueter des lots,
- ✓ **La topographie souterraine**, qui s'intéresse à la détermination de l'orientation des tunnels,...
- ✓ **La topographie minière**, qui s'oriente vers la détermination des volumes des gisements miniers.

La place de l'ingénieur non spécialisé en topographie consiste à :

- Comprendre tout document établis par un topographe ;
- Pouvoir communiquer avec un topographe ;
- Savoir-faire des opérations de la topographie ;
- Surveiller la bonne exécution d'un levé ;
- Réceptionner éventuellement les travaux réalisés par un topographe ;
- Manipuler des appareils topographiques.

5. Les Nords, et les axes

5.1 Nord géographique

C'est la direction du pôle Nord. Il est indiqué par l'étoile polaire. Il est représenté par l'abréviation « NG ».

5.2 Nord magnétique

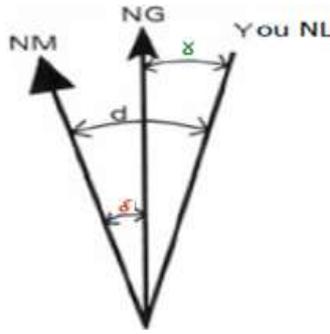
Il est indiqué par l'aiguille aimantée de la boussole. Il est représenté par l'abréviation « NM ».

5.3 Nord du quadrillage

C'est la direction donnée par l'axe des coordonnées positives du quadrillage.

Il est représenté sur les cartes établies en système Lambert par « NL ou Y », et sur les cartes établies en système UTM par « N_{UTM} ou Y ».

5.4 Liaisons entre les directions



a. **Déclinaison magnétique** « δ », c'est l'angle formé par les directions du Nord magnétique « NM » et du Nord géographique « NG » ;

b. **Convergence du méridien** « γ », c'est l'angle formé par les directions du Nord géographique « NG » et du Nord de quadrillage « You NL » ;

c. **Déclinaison du quadrillage** « d », c'est l'angle formé par les directions du Nord magnétique « NM » et du Nord de quadrillage « You NL » ;

Remarque :

Par convention, « γ » est positive si l'axe des « Y » se trouve à droite du Nord géographique « NG », et « γ » est négative si l'axe des « Y » se trouve à gauche du Nord géographique « NG ».

Par convention, « δ » est positive si le Nord magnétique « NM » se trouve à droite du Nord géographique « NG » et « δ » est négative si le Nord du quadrillage « Y » se trouve à gauche du Nord géographique « NG ».

6. Azimuts :

6.1 Azimut géographique et convergence du méridien :

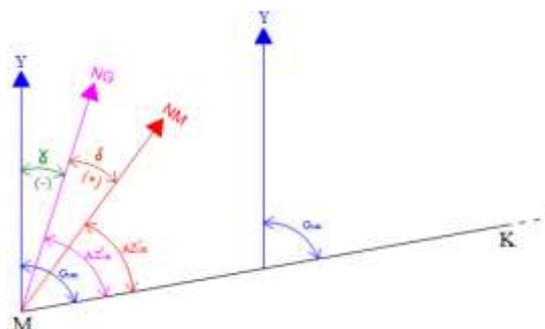
On appelle *azimut géographique* d'une droite MK l'angle horizontal que fait l'image du méridien géographique de M avec la droite MK.

L'angle « γ » que fait le Nord géographique de M avec l'axe des « Y » s'appelle la convergence du méridien. L'azimut géographique change en fonction de « γ ».

6.2 Azimut magnétique et déclinaison magnétique :

On appelle *azimut magnétique* d'une droite MK l'angle horizontal que fait l'image du méridien magnétique « NM » de M avec la droite MK.

L'angle « δ » que fait l'image du Nord magnétique « NM » avec l'image du Nord géographique « NG » s'appelle la déclinaison magnétique.



7. Le Gisement et le Rhumb d'une droite :

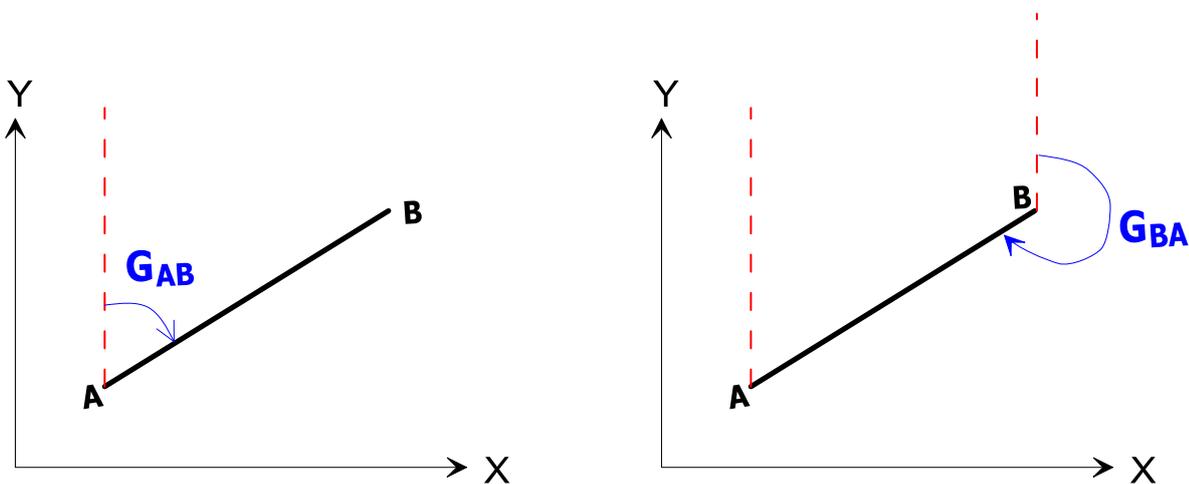
7.1 Le Gisement :

Sur un plan ou une carte, la direction AB est définie par son *gisement* c'est-à-dire : l'angle horizontale que fait la droite AB avec l'axe des Y. Le gisement est mesuré de 0° à 360° (0^{grd} à 400^{grd}) dans le sens de l'aiguille d'une montre.

Lorsque le gisement dépasse 360° (400^{grd}) il faut retrancher cette valeur.

(Exemple : $G_{AB} = 447^{\text{grd}} \rightarrow G_{AB} = 47^{\text{grd}}$).

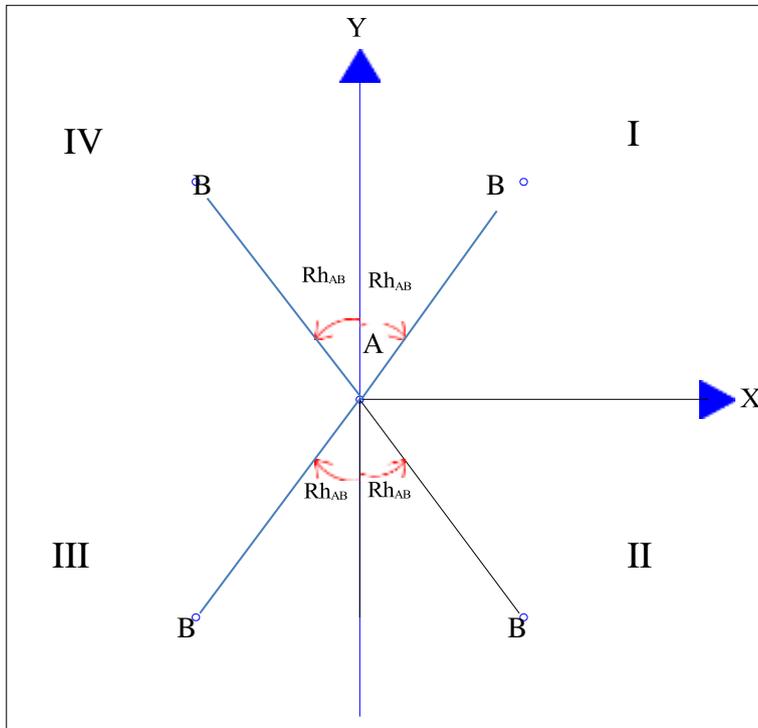
Remarque : $G_{BA} = G_{AB} \pm 180^\circ$ (200^{grd}).



7.2 Le Rhumb :

Le Rhumb est l'angle horizontal que fait :

- Dans le premier et le quatrième cadran la direction nord de l'axe des Y avec la droite AB.
- Dans le deuxième et le troisième cadran la direction sud de l'axe des Y avec la droite AB.

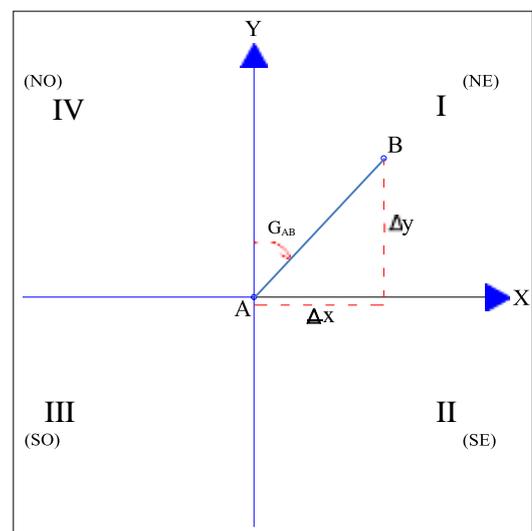


7.3 Détermination des gisements et des Rhumbs :

A partir d'un plan ou d'une carte topographique, on peut à l'aide d'un rapporteur mesurer grossièrement le gisement d'une droite. Cependant, si on connaît les coordonnées x et y des deux points A et B, on peut calculer le gisement avec précision.

1^{er} cas : l'extrémité de la droite AB se trouve dans le premier cadran :

- ✓ $G_{AB} = Rh_{AB} = \text{Arctg} \frac{\Delta x}{\Delta y}$
- ✓ Le signe : $\Delta x > 0 ; \Delta y > 0$
- ✓ Le gisement est compris entre 0^{grd} et 100^{grd} .

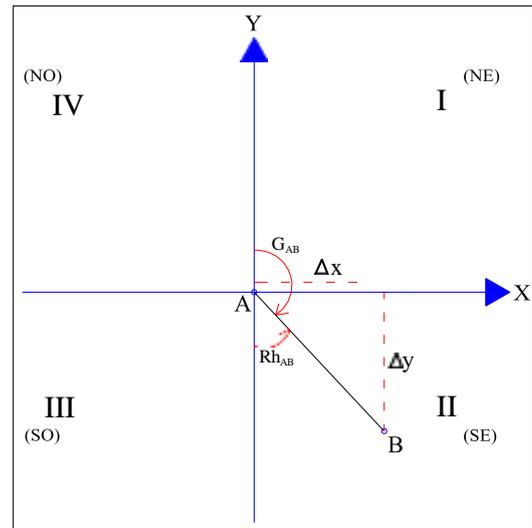


2^{ème} cas : l'extrémité de la droite AB se trouve dans le deuxième cadran :

$$\checkmark \quad \alpha_{AB} = \text{Arctg} \frac{\Delta x}{\Delta y} = 200^\circ - \text{grad} \quad Rh_{AB}$$

✓ Le signe : $\Delta x > 0$; $\Delta y < 0$

✓ Le gisement est compris entre 100^{grad} et 200^{grad} .

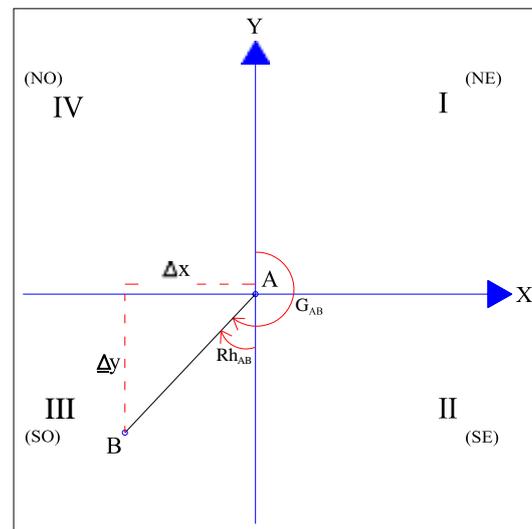


3^{ème} cas : l'extrémité de la droite AB se trouve dans le troisième cadran :

$$\checkmark \quad \alpha_{AB} = \text{Arctg} \frac{\Delta x}{\Delta y} = 200^\circ + \text{grad} \quad Rh_{AB}$$

✓ Le signe : $\Delta x < 0$; $\Delta y < 0$

✓ Le gisement est compris entre 200^{grad} et 300^{grad} .

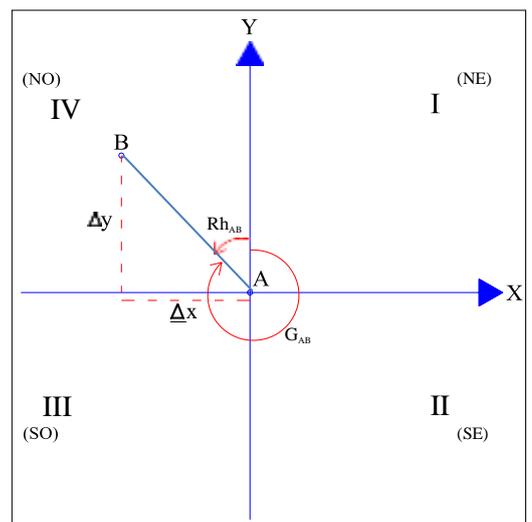


4^{ème} cas : l'extrémité de la droite AB se trouve dans le quatrième cadran :

$$\checkmark \quad \alpha_{AB} = \text{Arctg} \frac{\Delta x}{\Delta y} = 400^\circ - \text{grad} \quad Rh_{AB}$$

✓ Le signe : $\Delta x < 0$; $\Delta y > 0$

✓ Le gisement est compris entre 300^{grad} et 400^{grad} .



⇒ En résumé : « Relation qui existe entre le gisement et le rhumb » :

Si l'extrémité AB se trouve dans le premier cadran :

$$G_{AB} = Rh_{AB}$$

Si l'extrémité AB se trouve dans le deuxième cadran :

$$G_{AB} = 200 - Rh_{AB}$$

Si l'extrémité AB se trouve dans le troisième cadran :

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

Si l'extrémité AB se trouve dans le quatrième cadran :

$$G_{AB} = 400 - Rh_{AB}$$

⇒ Règle :

« Le rhumb d'une droite doit toujours être accompagné par des lettres des points cardinaux indiquant le cadran correspondant ». (Exemple : **NO** : 35,12 ; **SE** : 23,67)

Exercice :

- Compléter le tableau suivant :

Cadran	Rhumb	Gisement
	NE : 76,34	
	NE : 30,59	165 ^{grd} ,14
	SO : 42,13	344 ^{grd} ,86

Chapitre 3 : Mesure des distances

Les procédés de mesures des distances peuvent être classés en deux catégories : *Mesure Directe*, et *Mesure Indirecte*.

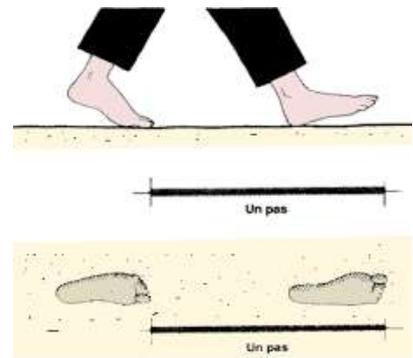
3.1. Mesures directes des distances

Pour exécuter la mesure directe d'une distance, il existe plusieurs méthodes rapides et précises, et d'autres approximatives.

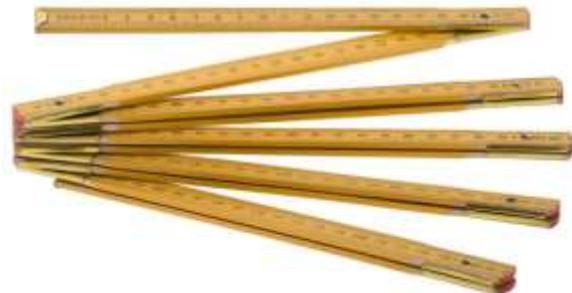
- **Compteur kilométrique** : c'est un moyen permettant d'avoir rapidement et approximativement la distance entre deux points suivant le chemin parcouru. Il est utilisé surtout pour les travaux de reconnaissance. Ce procédé est effectué par : un véhicule, un vélo, moto,

- **Mesure au pied, pas ou double pas** : c'est une méthode approximative pour évaluer des distances courtes. Ce procédé est valable sur un terrain relativement plat et dégagé. C'est la plus ancienne méthode pour la mesure des distances :

Un pied = 29.64 cm , un pas = 0.74 m , double pas = 1.48 m



- **Le mètre ou le mètre pliant** : le mètre est un ruban métallique enroulé dans un boîtier. Le mètre pliant est un instrument de mesure de précision moyenne. Ils sont utilisés dans la construction, la menuiserie et pour le bricolage.



- **Le téléscomètre ou canne télescopique** : il est constitué de plusieurs éléments coulissants, il est télescopique et rigide et permet de mesurer avec précision des détails jusqu'à 5 m au millimètre près, par une seule personne.

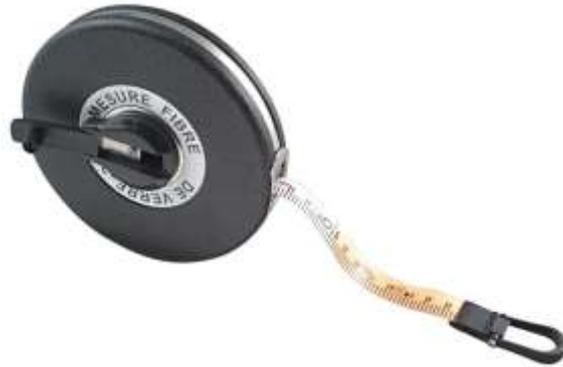


Telefix



Telefix-
Géodésie

- **Le ruban (mètre-ruban ou décamètre)** : il est en acier (ou en inox, plastique, fibre de verre...), de longueur 10, 20, 30, 50, ou 100 m. Il est bien adapté pour tous les travaux topométriques. Les graduation des mètres sont souvent indiqués sur les deux faces.



- **La roulette ou Roues enregistreuses** : Connaissant le rayon R de la roue et le nombre de tours, la mesure d'une distance entre deux points quelconques sera possible avec la roulette.

$$\text{Distance} = n (\text{nombre de tours}) \times 2\pi R (\text{circonférence de la roue})$$

Ce procédé donne d'assez bons résultats en terrain plat dégagé.



- **Distancemètre, lasermètre, télémètre** : Les mesures des distances horizontales, verticales et inclinées sont très faciles à mesurer sans aucun effort avec ces instruments.



3.2. Mesures indirectes des distances en topographie

Parmi les instruments les plus utilisés en topographie pour la mesure des distances de grande portée, on peut citer :

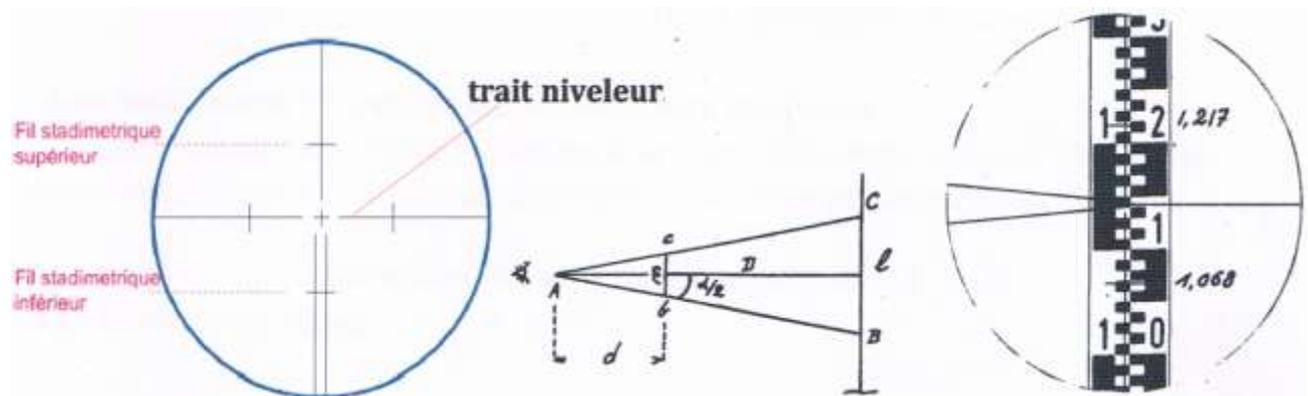
- Le Niveau de chantier** : il mesure surtout les dénivelés avec précision, les distances, et les angles horizontaux ;
- Le théodolite** : il mesure les angles (horizontaux et verticaux), dénivelé, distances au moyen d'un mire ;
- Le tachéomètre** : il sert à mesurer les angles (horizontaux et verticaux) et les distances au moyen d'un prisme ;
- Station Totale** : elle mesure indirectement les angles, les distances et les dénivelées, elle est dotée d'une carte mémoire qui enregistre les données relevées sur le terrain.
- Station GPS** : instrument moderne constitué par deux stations, une de base et l'autre mobile. Cette station permet l'acquisition rapide et avec précision les données X, Y et Z.

Les accessoires: Trépieds; Mire, Prisme, canne télescopique,

a. Mesures stadimétriques

La stadimétrie consiste à mesurer une distance indirectement au moyen d'un procédé optique, à l'aide d'un appareil (théodolite ou tachéomètre par exemple), en lisant la longueur sur une mire (la stadia) par les fils stadimétriques du reticule de visée. La stadimétrie est basée sur le principe des triangles semblables.

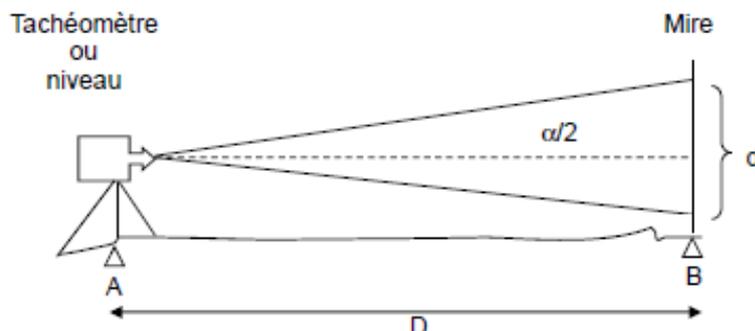
Une lunette stadimétrique est une lunette dont le reticule porte deux traits symétriques (un supérieur et un autre inférieur) par rapport au **trait niveleur**.



Les mesures indirectes des longueurs peuvent être aussi mesurer au moyen d'un appareil électronique (un tachéomètre par exemple).

a.1 Cas d'un terrain horizontal :

La distance qui sépare l'appareil et la mire est déterminée en faisant la différence de lectures sur la mire multipliée par 100.



$$D = d / 2 \times \cotg (\alpha/2)$$

Les constructeurs, pour faciliter les calculs, évaluent $\frac{1}{2} \times \cotg (\alpha/2) = 100$

D'où la distance entre A et B sera directement : $D = d \times 100$

Exemple sur la figure, on a : Lecture supérieure : 1,217 et lecture inférieure : 1,068

Cela donne une distance $D = (1,217 - 1,068) \times 100 = 14,09$ m

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

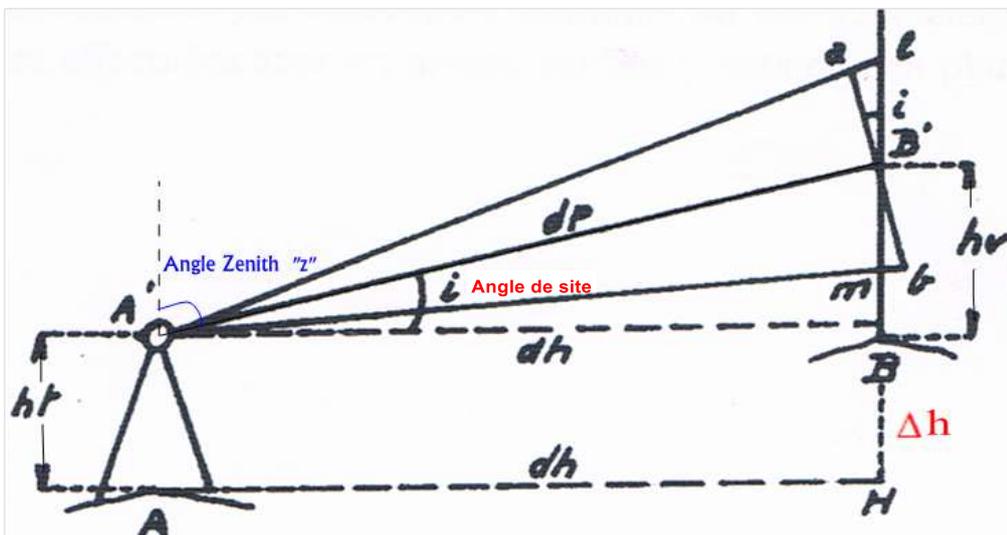
a.2. Cas d'un terrain incliné

Dans la plupart des cas, la visée principale est inclinée, son angle avec la mire principale n'est alors plus un angle droit. Par contre, le réticule reste toujours perpendiculaire à cette visée.

z : angle zénithal entre la verticale ascendante et la visée

i : angle de site entre la direction de la visée et le plan horizontal

$A'B'$: direction observée = ligne de visée



Les triangles $B'al$ et $B'mb$ sont sensiblement des triangles avec des angles droits en a et b, et l'angle vertical de lecture en A' est (i). en effet l'angle de site en A' est égale à l'angle « i », car leurs côtés sont respectivement perpendiculaires.

Donc $aB' = lB' \cos (i)$, $bB' = mB' \cos (i)$ d'où $ab = lm \cos (i)$

Ce qui entraîne $dp = A'B' = 100 \times ab = lm \times 100 \times \cos (i)$, $dp = lm \times 100 \times \cos (i)$

La distance horizontale : $dh = lm \times 100 \times (\cos (i))^2 = lm \times 100 \times (\sin (z))^2$

La dénivellée entre les points B et A : $\Delta h = 50 \times lm \times \sin (2z) = 50 \times lm \times \sin (2i)$

La détermination de l'altitude :

$Z_A = Z_B \pm \Delta h$ (si on utilise l'angle de site ou zénithal)

$Z_A = Z_B + (h_i - h_r)$, h_i : hauteur de l'instrument et h_r : hauteur de trait niveleur (si on utilise trait niveleur)

Exemple :

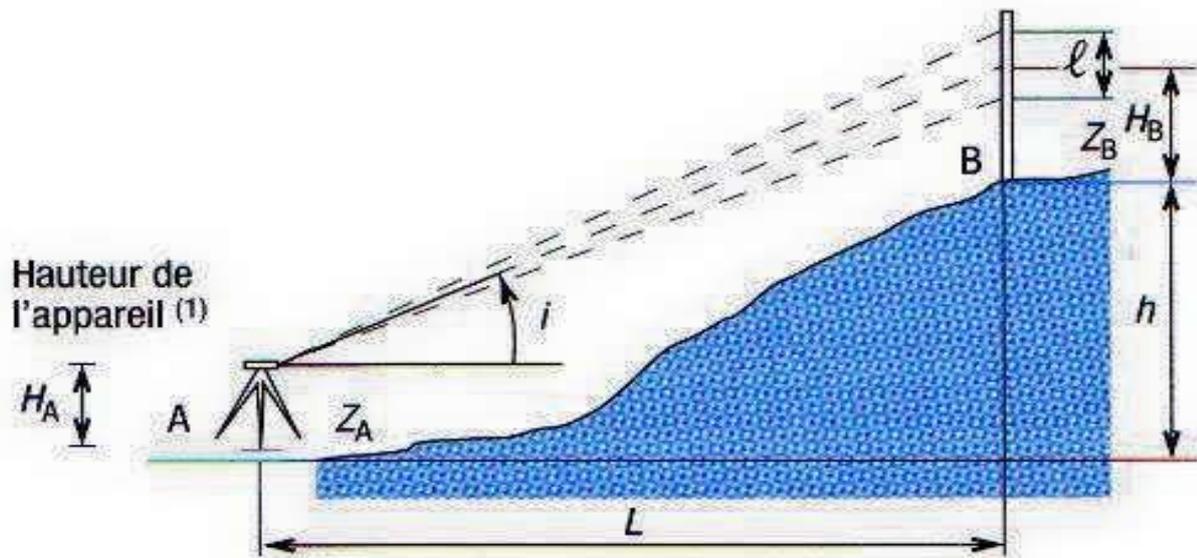
Lecture trait stadimétrique supérieur $l = 1.676$ m

Lecture trait stadimétrique inférieur $m = 1.364$ m

On a $i = 4.28$ gr

On aura une distance $= (1.676 - 1.364)(100)(\cos 4.28)^2 = 31.06$ m

Et une dénivellée $= 50 (1.676 - 1.364) \sin (2 \times 4.28) = 2.09$ m



$$L = 100 \ell \cos^2 i$$

$$Z_B = Z_A + H_A + L \tan i - H_B$$

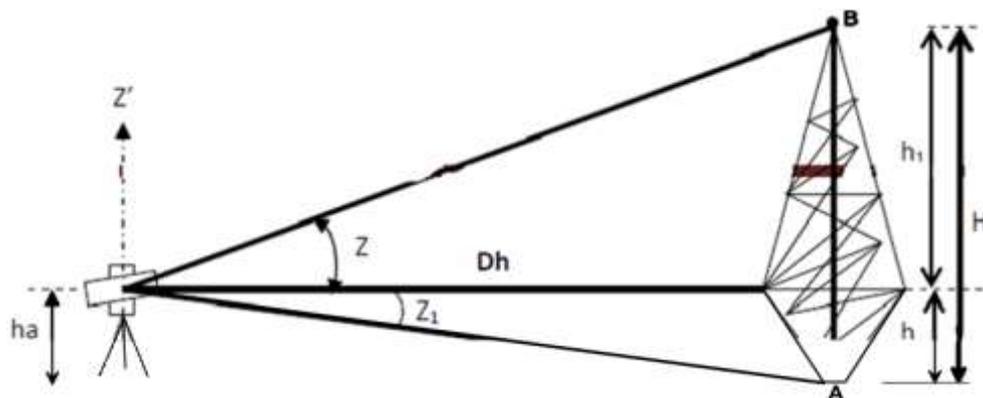
$$h = Z_B - Z_A$$

ℓ : lue entre fils stadimétriques
100 : constante stadimétrique

(1) Hauteur de l'appareil (hauteur de l'instrument) : distance verticale entre l'axe horizontal de l'appareil ou d'une lunette astronomique et la station, au-dessus de laquelle l'instrument est centré.

Remarque : pour la mesure d'une hauteur « H » d'un point inaccessible, nous suivent l'opération suivante :
Exemple, pour mesurer la hauteur d'un pylône par exemple, dont la base est accessible on suit les étapes suivantes :

- On installe l'instrument de mesure théodolite en un point P telle que son plan horizontal soit plus haut que la base B de la tour ;
- On mesure la distance horizontale Dh avec la méthode stadimétrique ;
- On mesure l'angle vertical Z entre le plan horizontal de l'instrument et le sommet de la tour ;
- On mesure l'angle vertical Z₁ entre le plan horizontal de l'instrument et le pied de la tour.



$$H = h + h_1 \quad H = Dh \operatorname{tg}(Z_1) + Dh \operatorname{tg}(Z) \quad H = Dh (\operatorname{tg} Z_1 + \operatorname{tg} Z)$$

3.3 Mesures électroniques

Le dispositif de mesure électronique des longueurs est appelé distancemètre. L'émetteur produit un train d'ondes électromagnétiques et le récepteur analyse l'écho renvoyé par un réflecteur.

L'onde émise est appelée **onde porteuse**, et fait l'objet d'une modulation. Le procédé de mesure consiste à comparer la phase de modulation de l'onde reçue à celle de l'onde émise après le trajet aller-retour.

Plus concrètement, la mesure est réalisée par une émission successive de plusieurs fréquences distinctes, permettant ainsi de lever l'ambiguïté sur le nombre de cycles entre l'émetteur et le réflecteur.

Les réflecteurs les plus souvent utilisés sont des coins de cubes, ou prismes rhomboédriques.

Pour mesurer une distance entre deux points A et B avec une station totale on doit respecter l'ordre suivant :

- Mise en station de la station totale au point A ;
- Mise en station du réflecteur au point B ;
- Mise sous tension l'appareil ;
- Faire entrer les hauteurs de l'instrument (h_i) et de réflecteur (h_f)
- Viser au réflecteur, et choisir le mode distance

3.4 Mesures parallaxiques

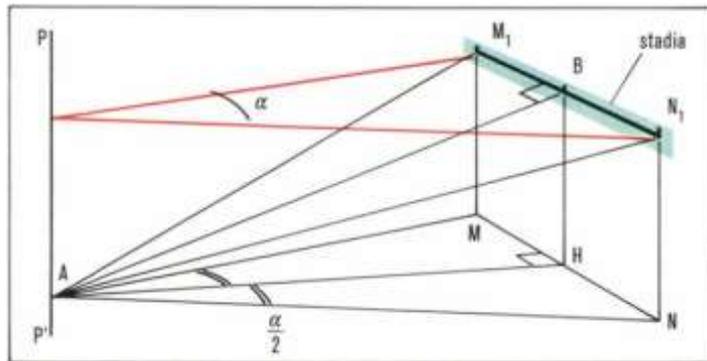
Ce type de mesure parallaxique nécessite l'emploi d'un théodolite et d'une stadia.

Une stadia est une règle comportant deux voyants dont l'écartement est connu (généralement 2 m).

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

Le calcul donne la distance horizontale

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



Chapitre 4 : Mesure des angles

Les opérations de mesures topographiques se subdivisent en deux catégories :

a) Les mesures planimétriques :

Elles consistent à déterminer la position (X et Y) d'un ou de plusieurs points. Ces mesures planimétriques apportent généralement un détail spécifique pour chaque point (TN, coin de maison, limite d'un grillage, poteau électrique, borne d'irrigation, vanne de gaz, regard d'assainissement,...), et sont déterminées au moyen des mesures d'angles horizontaux et des distances horizontales.

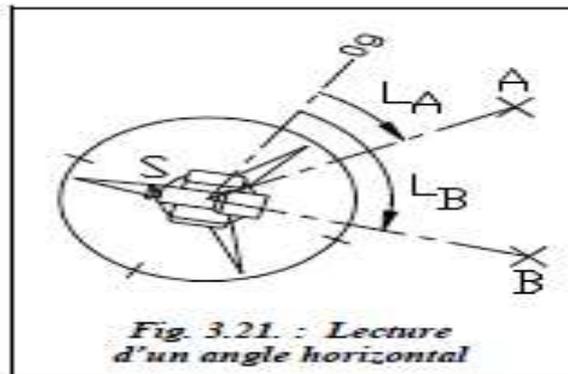
b) Les mesures altimétriques :

Elles consistent à déterminer les altitudes (ou le dénivelé entre les points) des points par rapport d'un repère topographique de niveau arbitraire, ou par rapport un nivellement géographique (NGA). Elles sont déterminées au moyen des mesures d'angles verticaux et des distances horizontales.

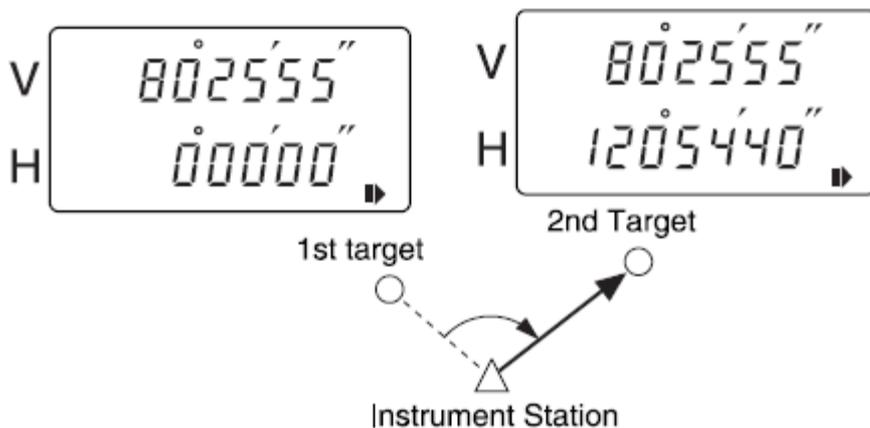
1. Mesure des angles horizontaux

Les angles horizontaux (*azimutaux*) peuvent être mesurés à l'aide d'un théodolite, est un angle plan, compté positivement dans le sens horaire. Il est formé entre deux plan verticaux, passant par le vertical du point A (point station de l'instrument), quelque soient les positions altimétriques de A et B, l'angle observé est identique " AH ".

$$\text{Angle horizontal } (AH_{AB}) = \text{lecture finale de l'angle } (l_B) - \text{lecture finale de l'angle } (l_A)$$



En pratique cet angle est calculé par différence de lectures effectuées sur un cercle horizontal gradué de 0 à 400^{gr} dans le sens des aiguilles d'une montre appelé « limbe ».



$$Hz_{CD} \approx Hz_{CG} + 200$$

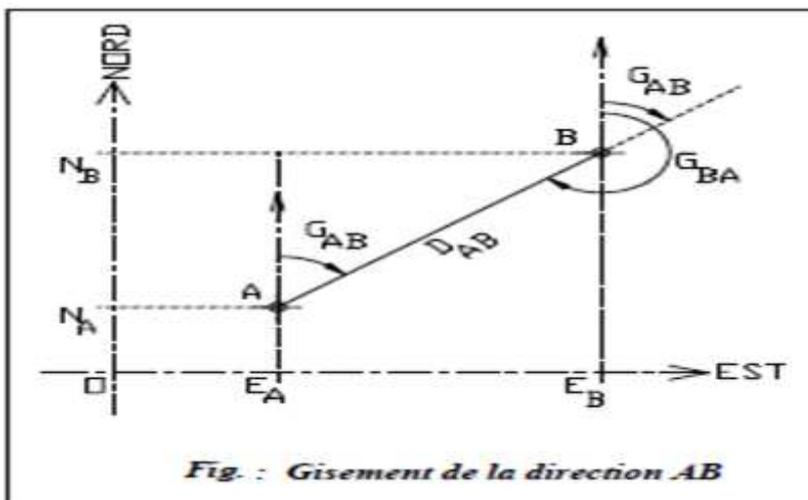
Si l'on appelle HzCG la valeur lue en cercle gauche, et HzCD celle lue en cercle droit, on doit observer :
 En effet, le double retournement décale le zéro de la graduation de 200 gon; ceci permet un contrôle simple et immédiat des lectures sur le terrain.

Exemple :

Horizontal Angle		
At A	To B	To C
FL	00° 00' 00"	33° 55' 40"
FR	180° 00' 20"	213° 55' 20"
meanFL	00° 00' 10"	33° 55' 30"
Angle	33° 55' 20"	

a. Calcul de Gisement

Le gisement est un angle horizontal très utilisé par les topographes puisque il est très pratique dans les calculs.



b. Le gisement d'une direction AB est l'angle horizontal mesuré positivement dans le sens horaire entre l'axe des ordonnées du système de projection utilisé et cette direction AB.

On le note G_{AB} . G est compris entre 0 et 400 gon.

G_{BA} est l'angle entre le Nord et la direction BA. La relation qui lie G_{AB} et G_{BA} est :

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

c. Calcul d'un gisement à partir des coordonnées cartésiennes

Considérons les coordonnées de deux points $A(E_A, N_A)$ et $B(E_B, N_B)$. La relation suivante permet de calculer G_{AB}

$$\tan G_{AB} = \frac{E_B - E_A}{N_B - N_A}$$

d. Application

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

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

$$DE_{BA} = E_B - E_A = + 50$$

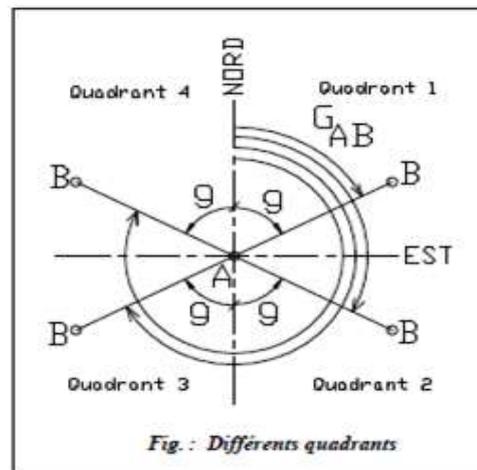
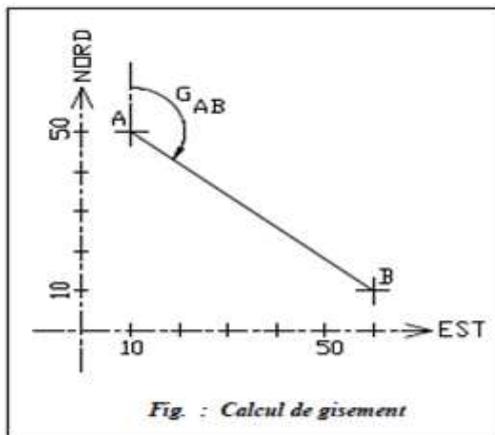
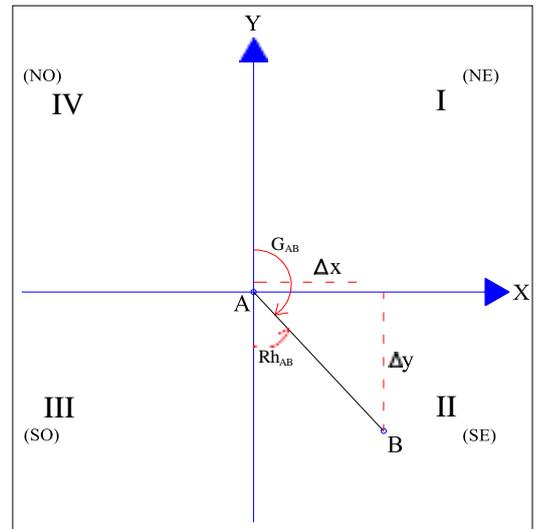
$$DN_{BA} = N_B - N_A = - 40$$

$$\Delta x > 0 \text{ et } \Delta y < 0$$

$$Rh_{AB} = 50/40 = 1.25 = 57.04466\text{gr}$$

Donc :

$$G_{AB} = 200\text{gr} - Rh_{AB} = 200 - 57.04466 = 142.95534\text{gr}$$



Pour obtenir G_{AB} , il faut donc tenir compte de la position du point B par rapport au point A ; on parle de quadrants :

Le Quadrant 1 : $DE > 0$ et $DN > 0$, $G_{AB} = g$

$$0 < G_{AB} < 100\text{gr}$$

Le Quadrant 2 : $DE > 0$ et $DN < 0$, $G_{AB} = 200 - g$

$$100 < G_{AB} < 200\text{gr}$$

Le Quadrant 3 : $DE < 0$ et $DN < 0$, $G_{AB} = 200 + g$

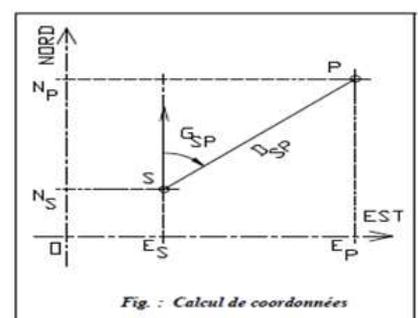
$$200 < G_{AB} < 300\text{gr}$$

Le Quadrant 4 : $DE < 0$ et $DN > 0$, $G_{AB} = 400 - g$

$$300 < G_{AB} < 400\text{gr}$$

e. Utilisation du gisement pour le calcul des coordonnées

En topographie, il est très fréquent de connaître un point S (E_S , N_S) et de chercher les coordonnées d'un point P visible depuis S. On dit que P est rayonné depuis S si l'on peut mesurer la distance horizontale D_{SP} et le gisement G_{SP} .



Quel que soit le quadrant, on peut alors calculer les coordonnées du point P par les formules suivantes :

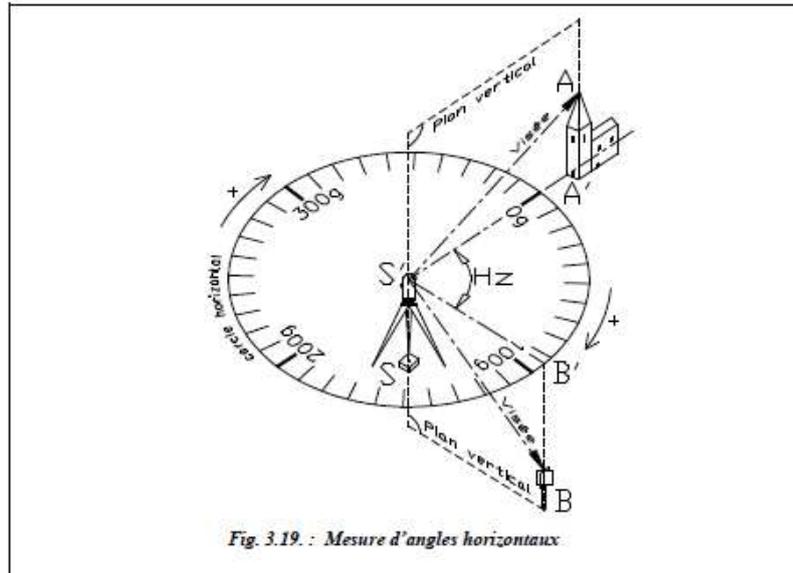
$$\begin{aligned} E_p &= E_S + D_{SP} \cdot \sin G_{SP} \\ N_p &= N_S + D_{SP} \cdot \cos G_{SP} \end{aligned}$$

Application

S (680 379,84 ; 210 257,06) est donné en coordonnées Lambert (m), calculez les coordonnées de P tel que : $D_{SP} = 45,53$ m et $G_{SP} = 172,622$ gon.

Réponse

P (680 398,82 ; 210 215,68)



2. Mesure des angles verticaux

Les théodolites ou tachéomètres permettent aussi la mesure des angles verticaux.

La lecture d'un angle vertical z , noté aussi V , z est appelé « angle zénithal » : c'est un angle projeté dans le plan vertical du point de la station.

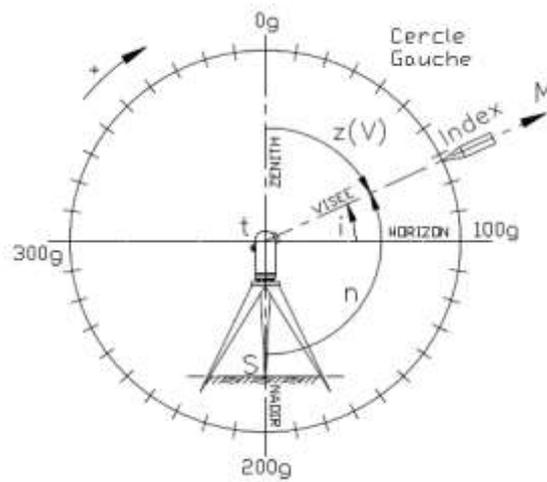
Pour simplifier le schéma de lecture d'un angle zénithal, on considère que le **zéro de la graduation est au zénith** lorsque l'appareil est en station.

On considère alors que tout se passe comme si le cercle vertical était fixe et que l'index de lecture se déplaçait avec la visée. Ceci permet de faire apparaître plus clairement :

- l'angle de site i entre l'horizon et la visée ;
- l'angle zénithal z entre le zénith (la verticale ascendante) et la visée ;
- l'angle nadiral n entre le nadir (la verticale descendante) et la visée ;

La relations entre ces angles sont :

$$\boxed{n = 200 - V} \quad \boxed{i = 100 - V} \quad \boxed{100 = n - i}$$



Angles verticaux z , i et n

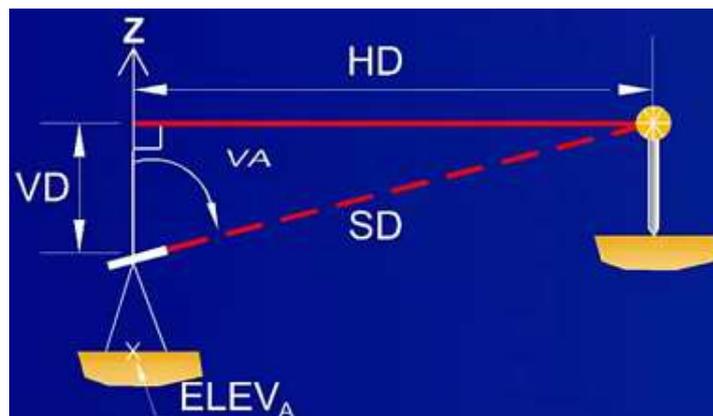
Les relations entre ces angles sont :

- L'angle i est compté **positif dans le sens inverse horaire** de manière à obtenir un angle de site positif pour une visée au-dessus de l'horizon et un angle de site négatif pour une visée en dessous de l'horizon.
- L'angle n est compté **positif en sens inverse horaire**; il vaut 0 gon au nadir et 200 gon au zénith.

Exemple 1:

Déterminez l'altitude du point « B », si l'altitude du point « A » est 196.12m , et distance horizontale $HD = 20\text{m}$ dans les deux cas suivants :

- 1) $V_A = 80^\circ$ et $V_A = 130^\circ$ (angle zénithal)



Chapitre 5 : Nivellement topographique direct et indirect

Le nivellement est l'ensemble des opérations qui permettent de déterminer des altitudes et des dénivelées. L'altitude d'un point est la distance en mètre par rapport à une surface de niveau zéro (niveau de la mer) ou par rapport un repère aléatoire.

Les techniques de détermination des altitudes diffèrent par le type d'instrument utilisé et la méthodologie, mais aussi par la précision que l'on peut en attendre (souhaiter).

Le nivellement peut s'effectuer généralement selon deux procédés :

- le nivellement direct ou géométrique ;
- le nivellement indirect ou trigonométrique ;

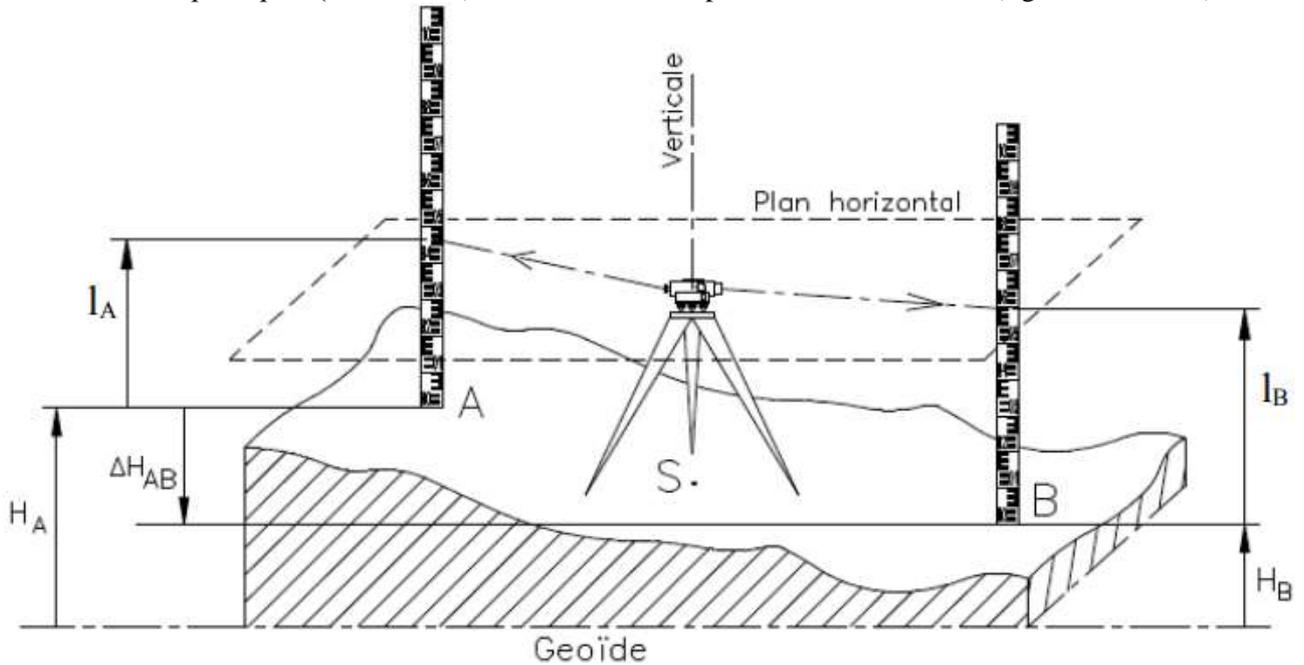
5.1 Le nivellement direct

Le nivellement direct s'appuie exclusivement sur des visées horizontales. En général, il est exécuté avec un niveau (figure ci-dessous). La précision de détermination dépend du matériel employé mais aussi et surtout, de la méthode utilisée. Les niveaux sont classés en trois catégories

- Niveau de précision pour le nivellement direct de haute précision ;
- Niveau d'ingénieur pour nivellement direct de précision ;
- Niveau de chantier pour le nivellement direct ordinaire.



Le nivellement direct consiste à déterminer la "dénivelée ΔH_{AB} " entre deux points **A** et **B** à l'aide d'un "niveau", et par une échelle verticale appelée "mire". Le niveau est constitué d'une optique de visée tournant autour d'un axe principale (axe vertical) : il définit donc un plan de visée horizontal (figure ci-dessous).



$$\Delta H_{AB} = l_A - l_B$$

l_A et l_B : les lectures sur la mire en A et en B.

On emploie aussi l'expression de nivellement géométrique qui traduit le fait que les mesures obtenues sont des longueurs de mire : $H_A + l_A = H_B + l_B \Leftrightarrow H_B = H_A + \Delta H_{AB}$

L'altitude de « **B** » est égale à l'altitude « **A** » plus la dénivelée prise algébriquement avec son signe.

Exemples :

Exemple 1 :

$$L_A = 3.706 \text{ m}$$

$$L_B = 1.804 \text{ m}$$

$$H_A = 35.611 \text{ m}$$

$$H_B = ?$$

$$H_B = 3.706 - 1.804 + 35.611 = 37.513 \text{ m}$$

Exemple 2 :

$$L_A = 0.804 \text{ m}$$

$$L_B = 1.604 \text{ m}$$

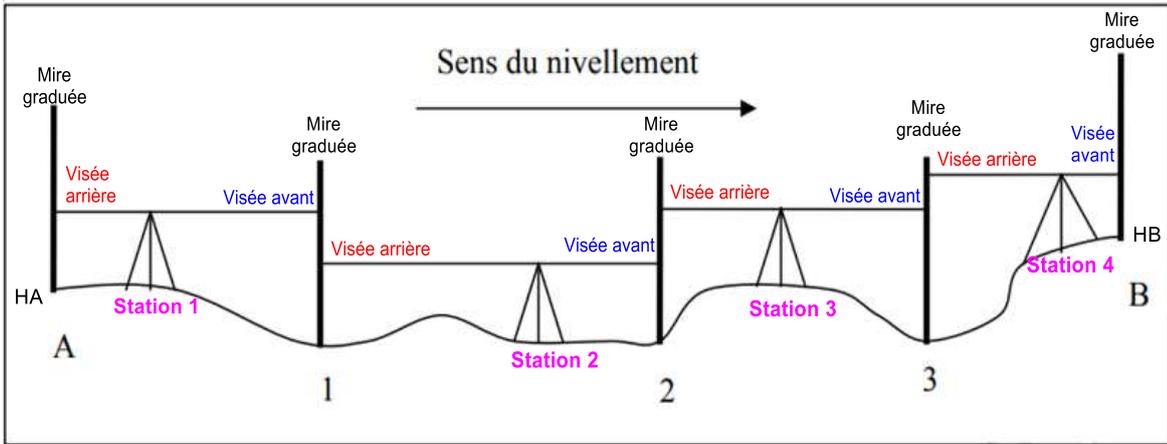
$$H_A = 11.10 \text{ m}$$

$$H_B = ?$$

$$H_B = 0.804 - 1.604 + 11.10 = 10.3 \text{ m}$$

a./ Nivellement par cheminement

Lorsque les points A et B sont trop éloignés ou lorsque la dénivelée est supérieure à la longueur de la mire, on est obligé de faire plusieurs stations ; déterminants ainsi plusieurs points intermédiaires.



$$H_B = H_A + [(l_A - l_{1av}) + (l_{1ar} - l_{2av}) + (l_{2ar} - l_{3av}) + (l_{3ar} - l_B)]$$

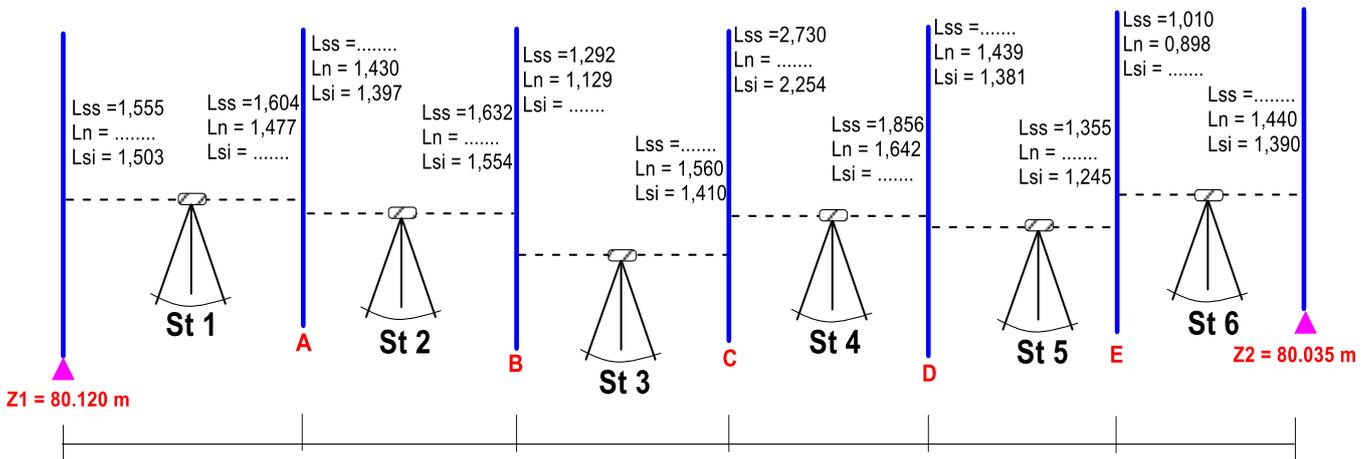
$$H_B = H_A + \sum \Delta H$$

Avec:

$l_{i ar}$: lecture arrière du point i selon le sens du nivellement ;

$l_{i av}$: lecture avant du point i selon le sens du nivellement ;

Exemple



Solution

Station	Points	Distances		Lectures		Dénivelée		Altitudes calculées	Compensation	Altit. Comp.	Points
		Partielles	Cumulées	Arrière	Avant	+	-				
ST1	Z1	5.2	0	1.529				80.12		80.12	Z1
	A	25.4	5.2	1.43	1.477	0.052		80.172	0.001	80.173	A
6.6		30.6									
ST2	B	7.8	37.2	1.129	1.593		0.163	80.009	0.002	80.011	B
		32.6	45								
ST3	C	30	77.6	2.492	1.56		0.431	79.578	0.004	79.582	C
		47.6	107.6								
ST4	D	42.8	155.2	1.439	1.642	0.85		80.428	0.008	80.436	D
		11.6	198								
ST5	E	11	209.6	0.898	1.3	0.139		80.567	0.009	80.576	E
		22.4	220.6								
ST6	Z2	10	243		1.44		0.542	80.025	0.010	80.035	Z2
			253								
Sommes				8.917	9.012	1.041	1.136				

Différence somme Lectures = 8.917 - 9.012 = -0.095

Différence somme Dénivelées = 1.041 - 1.136 = -0.095

Différence Altitudes = 80.025 - 80.035 = -0.01

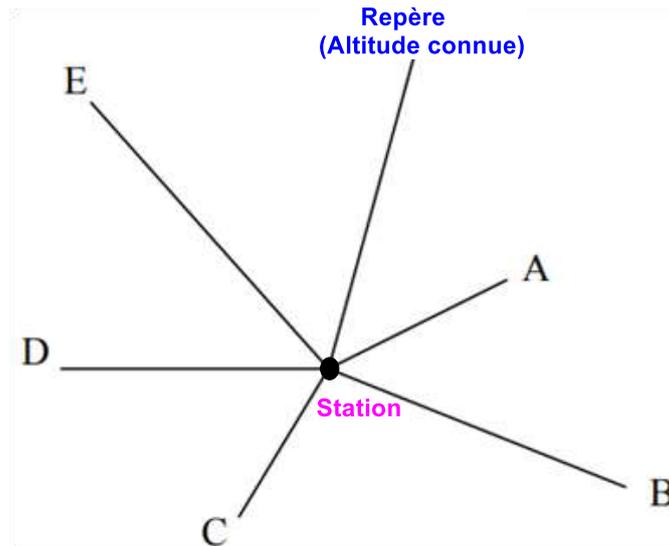
La correction des altitudes se fait par un signe contraire, soit +0.01

b./ Nivellement par rayonnement

Lorsqu'un nombre important de points à déterminer (A, B, C, D, E) sont à la portée d'un appareil de niveau installé au point « Station », il est préférable d'utiliser la méthode du rayonnement. Cette méthode consiste à faire une visée sur un repère d'altitude connue « R » et de noter la lecture en lecture arrière et ensuite à viser tous les autres points (A, B, C, D, E) à niveler en lecture avant. Ce procédé permet d'obtenir rapidement les côtes d'un grand nombre de points sur le terrain.

Les observations et les calculs sont présentés sous forme de tableau avec vérification obligatoire de calculs des altitudes.

$$\text{Altitude d'un point} = \text{Altitude de point « R »} + (L_{\text{Arrière (point R)}} - L_{\text{Avant}})$$

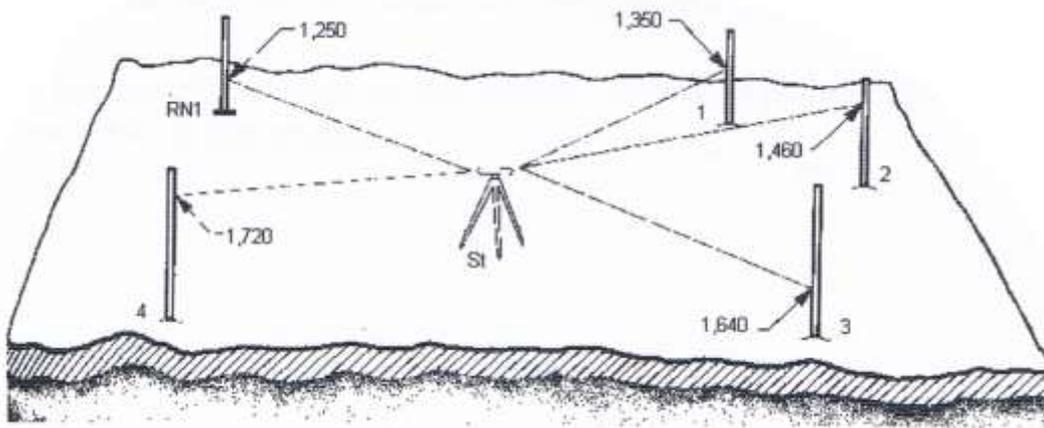


- ✓ Ces points à déterminer doivent être visibles depuis la station, donc on doit bien positionner la station ;
- ✓ Les dénivelées se calculent entre la lecture arrière sur la référence et chacun des points ;
- ✓ Le calcul de l'altitude de chaque point se fait également depuis l'altitude de la référence ;

Points	LAR	LAV	DH		H
			+	-	
R	1,517				11,315
1		0,312	1,205		12,520
2		2,414		0,897	11,623
3		1,003	0,514		12,137

Exemple 1:

Tracer un tableau correspond à la figure ci-après

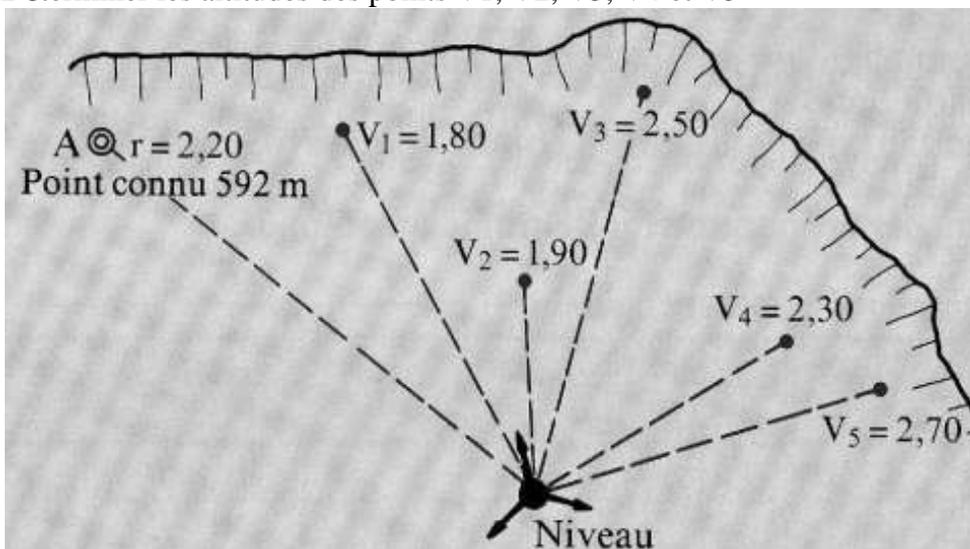


NIVELLEMENT : Rayonnement

Repères N° des Points	DISTANCES	LECTURES		DIFFERENCES		COTES FINALES
		ARRIÈRES	AVANT	Montant	Descend	
		côtes lues	côtes lues	+	-	
RN1		1.250				100,00
1			1.350		0,100	99,90
2			1.460		0,210	99,79
3			1.640		0,390	99,61
4			1.720		0,470	99,53

Exemple 2 :

Déterminer les altitudes des points V1, V2, V3, V4 et V5



6.1. Levé topographique

Un **levé** a pour objectif de récolter des données existantes sur le terrain (route, bâtiment, talus, grillage, regards, vannes, poteau,...), et de connaître leurs positions planimétriques (x , y) et altimétriques (z), dans un système de coordonnées. Cela va permettre par la suite, la création d'un plan ou d'une carte à partir de ces informations obtenues sur le terrain.

Les mesures effectuées sur le terrain sont : *les mesures des distances horizontales, les angles horizontaux et angles verticaux.*

Les principales méthodes utilisées pour les mesures planimétriques sont :

- Méthode de cheminement fermé ou ouvert, elle nécessite deux points de coordonnées connues. Elle consiste à mesurer les distances horizontales, angles horizontaux (azimuts) ;
- Méthode de rayonnement, méthode consistant à mesurer des distances horizontales et des azimuts, ou encore des angles horizontaux à partir d'un seul point de coordonnées connues.

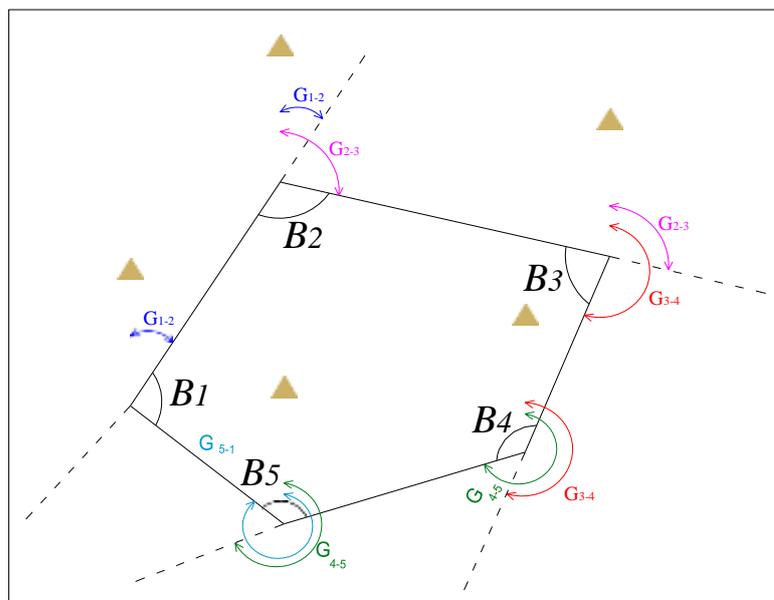
6.2 Cheminement fermé

Le cheminement fermé, appelé aussi boucle, part d'un repère connu en altitude, passe par un certain nombre de points dont les altitudes sont à déterminer, se ferme sur le repère de départ. Utiliser dans le cas de délimitation de terrain, mesure de surfaces,....

La transmission des gisements dans le cheminement fermé se fait comme suit :

a) Angles de droite :

Soit un polygone fermé "1, 2, 3, 4, 5, 1". On observe sur le terrain les angles de ce polygone à l'aide d'un instrument de mesure (Théodolite), de plus, nous connaissons le gisement de départ G_{1-2} . Le problème consiste à transmettre le gisement à tous les autres cotés du polygone.



$$G_{2-3} = G_{1-2} + 200 - \beta_2 \quad G_{3-4} = G_{2-3} + 200 - \beta_3 \quad G_{4-5} =$$

$$G_{3-4} + 200 - \beta_4 \quad G_{5-1} = G_{4-5} + 200 - \beta_5$$

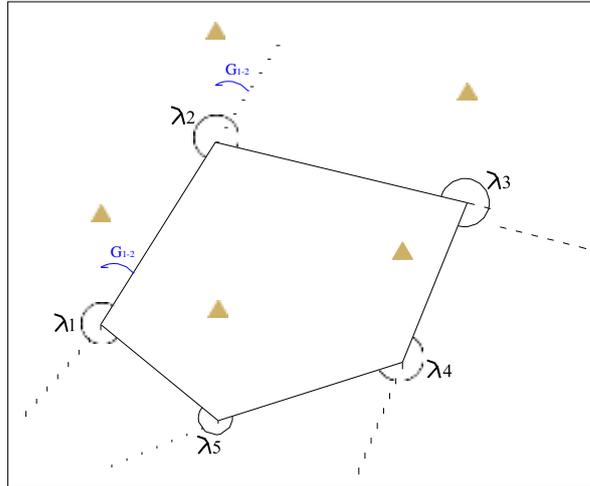
$$G_n = G_{n-1} + 200^{\text{grd}} - \beta_n$$

Exemple : $G_{A-B} = 59^{\text{grd}} 15^{\text{cg}}$; $\beta_2 = 124^{\text{grd}} 70^{\text{cg}}$. Calculer le gisement G_{B-C} ?

Donc : angle de droite : $G_{B-C} = G_{A-B} + 200 - \beta_2 = 134^{\text{grd}} 45^{\text{cg}}$

b) Angles de gauche :

Cette fois, en mesure les angles de gauche au lieu des angles de droite. Connaissant le gisement de départ G_{1-2} et les angles de gauche, pour cela :



$$G_{2-3} = G_{1-2} + \lambda_2 - 200 \quad G_{3-4} = G_{2-3} + \lambda_3 - 200 \quad G_{4-5} = G_{3-4} + \lambda_4 - 200$$

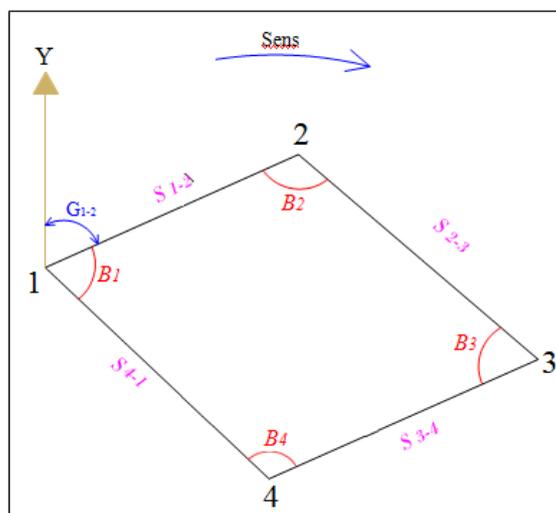
$$G_{5-1} = G_{4-5} + \lambda_5 - 200$$

$$G_{n-1} = G_{n-1} + \lambda_n - 200^{\text{grd}}$$

c) Méthode de correction des coordonnées dans un polygone fermé (cheminement fermé) :

Soit un polygone fermé : « 1, 2, 3, 4, 1 ». Les coordonnées du point 1 (x, y), le gisement de départ G_{1-2} , les distances 1-2, 2-3, 3-4 et 4-1 et les angles de droite $\beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ et β_1 sont connus.

Le problème consiste à trouver les coordonnées des autres points, c'est-à-dire, les coordonnées des points : 2, 3 et 4.



Pour cela :

1. On calcule la somme des β pratiques : $\sum \beta_p = \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_1$
2. On calcule la somme des $\beta_{thé}$: $\beta_{thé} = 200^{grd} (n - 2)$. Avec n : nombre d'angle.
3. On calcule l'écart angulaire : $\beta_p - \sum \beta_{thé} = : f_\beta$
4. On calcule f admissible : $f_{ad} = \pm 2 \sqrt{\frac{1}{n}}$ (n : nombre des angles).
5. Si c'est admissible, on distribue l'erreur (écart angulaire) en fonction des distances horizontales (à partir de la distance la plus grande) et avec un signe contraire.
6. On calcule les gisements et les rhumbs de tous les autres cotés avec utilisation des formules des transmissions des gisements.
7. Connaissant les rhumbs et les distances horizontales, on calcul les accroissements des coordonnées
 Δx et Δy , ($\Delta x = S \cdot \sin G$, $\Delta y = S \cdot \cos G$).
 $f(x) = \sum \Delta x_p$; $f(y) = \sum \Delta y_p$
8. On calcule l'écart de la fermeture :
9. On calcule l'écart absolu : $f_{abs} = \sqrt{f(x)^2 + f(y)^2}$
10. On calcule l'écart réel : $f_{réel} = \frac{f_{abs}}{\sqrt{S}}$ (Erreur est de 1/1500).

Exemple 1:

Soit un cheminement fermé A-1-2-3-4-A.

Calculer les coordonnées des points : 1, 2,3 et 4 si :

L'angle $\hat{1}AB = 80^{grd}$ et les coordonnées des points A et B sont :

A : (X = 14 000.51 , Y = 12

(X = 16 324.12 , Y = 14 324.15)

191.30) ; B :

Les distances sont :

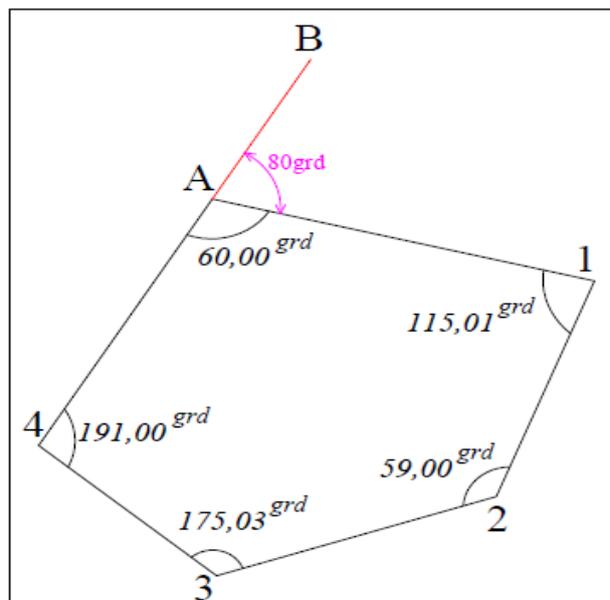
A-1 : 554.00 m

1-2 : 542.12 m

2-3 : 362.00 m

3-4 : 397.00 m

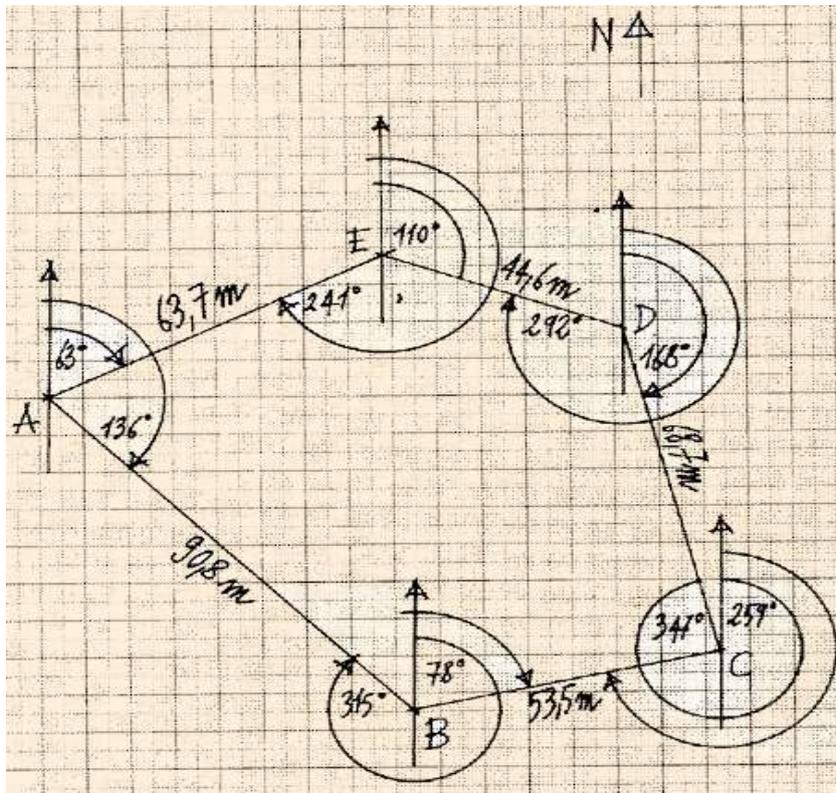
4-A : 122.00 m



Exemple 2:

Déterminer les coordonnées des points B, C, D et E si les coordonnées du point A sont :

A : (X = 400.50 m, Y = 200.30m)

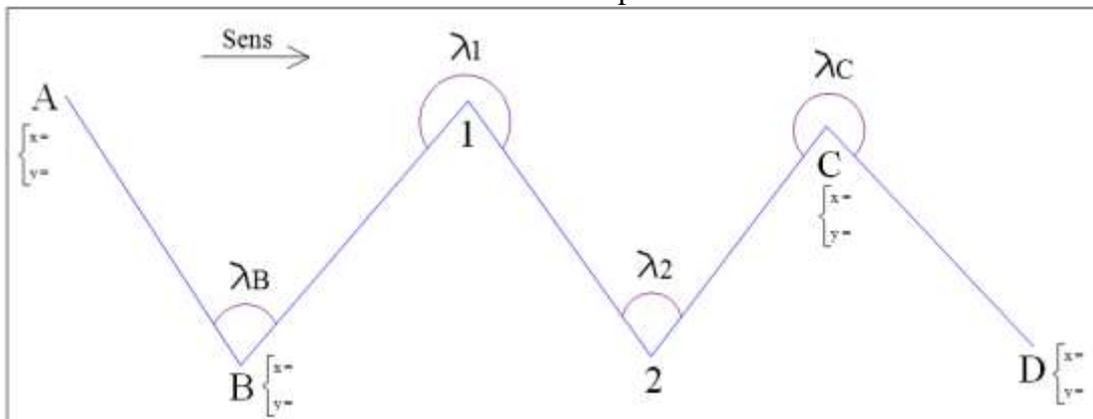


6.3 Cheminement ouvert ou encadré

Un cheminement encadré part d'un repère origine connu en altitude et se ferme sur un autre repère extrémité également connu en altitude en passant par un certain nombre de points intermédiaires à déterminer.

Soit un cheminement ouvert : « A, B, 1, 2, C, D ». Les coordonnées des points A, B, C et D sont connus.

- Les angles de gauches (ou droites) sont mesurés sur le terrain ainsi que les distances horizontales.
- Le problème consiste à trouver les coordonnées des points : 1 et 2.



Pour cela :

1. On calcule le gisement de départ (initial) et d'arrivé (final) avec nos coordonnées (G_{AB} : gisement de départ, G_{CD} : gisement d'arrivé).

2. On calcule la somme des λ ou β pratiques :

$$\sum \lambda_p = \lambda_B + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_C \quad (\text{Angles de gauche})$$

$$\sum \beta_p = \beta_B + \beta_1 + \beta_2 + \beta_C \quad (\text{Angles de droite})$$

3. On calcule la somme des angles théoriques $\lambda_{thé}$ ou $\beta_{thé}$:

$$\sum \lambda_{thé} = G^F + 200 \cdot n - G^I$$

$$\sum \beta_{thé} = G^I + 200 \cdot n - G^F \quad (n: \text{nombre des angles})$$

4. On calcule l'écart angulaire :

$$\sum \lambda_p - \sum \lambda_{thé} = \pm :f_\lambda$$

$$\sum \beta_p - \beta_{thé} = \pm :f_\beta$$

5. On calcule f admissible : $f_{ad} = \pm 3^{cg} \sqrt{n}$

6. Si admissible, on distribue l'écart angulaire (l'erreur) en fonction des distances (A partir de la grande distance) et avec un signe contraire.

7. On calcule les gisements et les rhumbs de tous les autres cotés avec utilisation des formules des transmissions des gisements.

8. Connaissant les Rhumbs et les distances, on calcule les accroissements des coordonnées

$$(\Delta x \text{ et } \Delta y, \Delta x = S \cdot \sin G, \Delta y = S \cdot \cos G).$$

9. On Calcule :

$$\rangle \Delta x_{thé} = X^F - X^I$$

$$\rangle \Delta y_{thé} = Y^F - Y^I$$

$$f_{(x)} = \rangle \Delta x_p - \rangle \Delta x_{thé}$$

$$f_{(y)} = \rangle \Delta y_p - \rangle \Delta y_{thé}$$

$$f_{abs} = \sqrt{f_{(x)}^2 + f_{(y)}^2}$$

10. On calcule l'écart absolu :

11. On calcule l'écart réel : $f_{réel} = \frac{f_{abs}}{\sqrt{S}}$