République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique d'Oran Maurice Audin

Département de génie civil

Polycopié

Présenté par

M AYED KADA

Enseignant chercheur à ENPO

Cours de topographie

Pour les élèves Ingénieur 2em année Ingénieur

Bâtiment durable & Constructions Civiles et Industrielles

2020/2021

Sommaire

- 1er partie : Généralité sur la topographie.
- 2eme partie : présentations des projections de la terre.
- 3 ^{eme} partie : notions sur les fautes et erreurs.
- 4 ^{eme} partie : mesures directes et indirectes.
- 5 ^{eme} partie calcul des surfaces.

Avant-Propos

Le présent cours est destiné aux ingénieurs génie civil de l'école nationale polytechnique d'Oran. Ce cours donne à l'ingénieur concepteur des connaissances importantes dans le domaine de la topographie.

Ce cours présente dans un premier temps une première partie sur les différentes terminologies et définitions sur la topographie, en seconde partie, il traite la présentation de la surface terrestre. En troisième partie, notion sur les erreurs et fautes, quatrième partie, mesures directs et indirects en planimétrie et en altimétrie, en fin le calcul des surfaces. ce document présente des exercices d'applications résolus.

J'espère que ce document sera utile pour les ingénieurs en Génie Civil, ingénieur en travaux public.

1er partie

Généralités

Introduction

La Topographie fait partie des sciences de la terre, cette technique permet la mesure et la représentation graphique et numérique d'une surface terrestre la figure 1 nous donne l'étymologie du mot topographique.

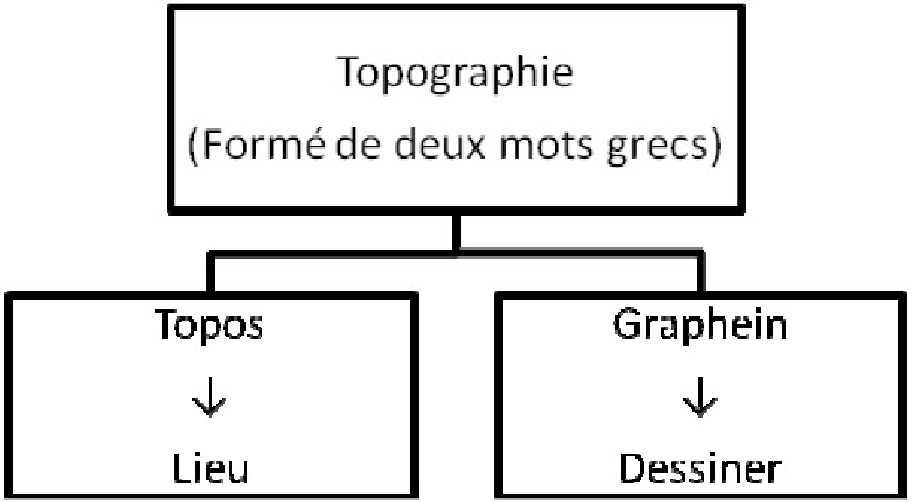


Figure 1, Etymologie du mot topographique.

Généralités

Elle a pour but, la représentation plane à une échelle donnée d'une certaine étendue de terrain comportant des détails sur un plan ou sur une carte comme indiqué sur la figure 2,

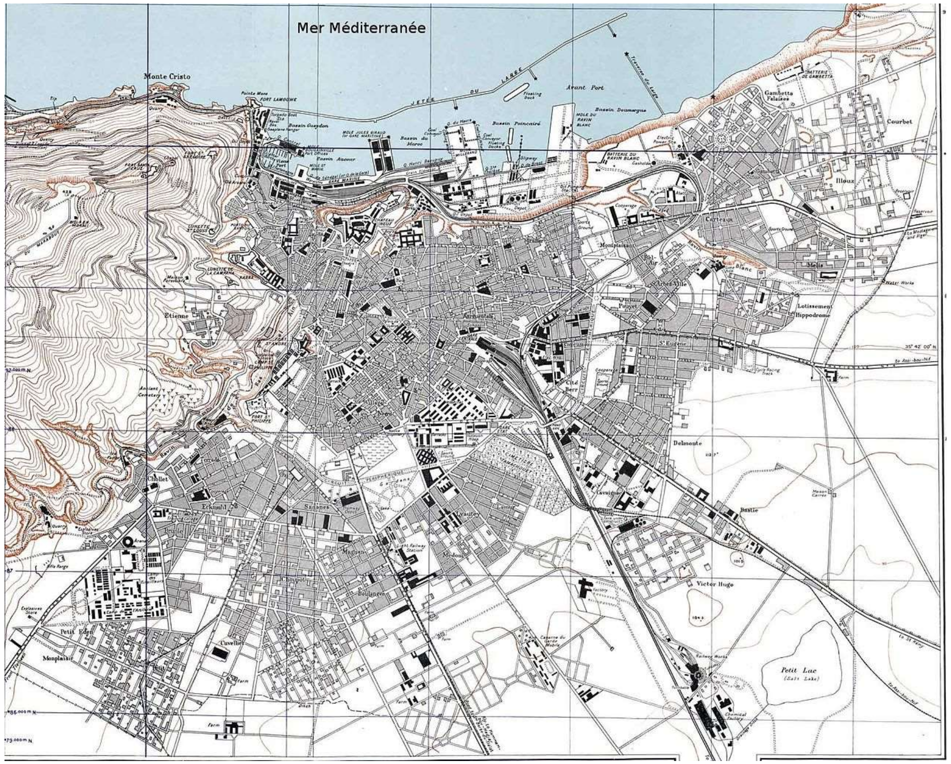


Figure 2, représentation d'un étendue de terrain sur une carte.

Généralités

Cette science détermine aussi la position et l'altitude de n'importe quel point situé dans une zone donnée, qu'elle soit de la taille d'un continent, d'un pays, d'un champ ou d'un corps de rue. Ces détails peuvent être :

- Naturels : Cours d'eau, roches, bois, rivières, montagnes, champs, etc.....
- Artificiels : Route, Voie ferrée, Bâtiment, Talus, canaux, ports, routes, etc.....
- Conventionnels : Limite de commune, de département, etc...

Les contours de ces détails (un bâtiment par exemple) sont projetés orthogonalement sur une surface de niveau prise comme ***plane de comparaison*** à l'altitude zéro. La vue de ce plan s'appelle la ***planimétrie.***

La définition des altitudes de chacun des points du contour s'appelle ***l'altimétrie.*** Les plans topographiques groupent la ***planimétrie*** et l'***altimétrie***.

Généralités

Le technicien chargé de l'opération définit l'***<u>échelle</u>*** en fonction de l'étendue du terrain à représenter, de la précision et du format souhaité pour le document à obtenir. Ce dernier peut être une carte qui sera dressée principalement à l'usage du public ou bien en vue d'une étude particulière.

Ce technicien peut être :

- Un géographe qui utilise des petites échelles du $\frac{1}{1000000}$ éme au $\frac{1}{50000}$ éme ;
- Un topographe qui utilise des moyennes échelles du $\frac{1}{20000}$ éme au $\frac{1}{5000}$ éme ;
- Un géomètre qui utilise des grandes échelles ($\frac{1}{25000}$ éme, $\frac{1}{2000}$ éme, $\frac{1}{1250}$ éme, $\frac{1}{500}$ éme, $\frac{1}{100}$ éme, $\frac{1}{50}$ éme).

Généralités

L'établissement d'un plan ou d'une carte englobe plusieurs sciences :

- **La géodésie** qui étudie les formes de la terre et permet de déterminer les coordonnés géographiques ou rectangulaires d'un certain nombre de points servant de canevas pour les levés topographiques.
- **La topographie** qui utilise les méthodes graphiques de lever ou de report des plans.
- **La topométrie** qui groupe l'ensemble des mesures et des calculs propres à l'établissement des plans. La topométrie est une partie de la topographie.
- **Les levés topographiques** qui permettent l'établissement de plans utilisés par la suite par les Ingénieurs des travaux publics de l'Etat. Ces plans se présenteront sous la forme d'avant projet, de plan de masse et de plan de détail.

DEFINITIONS

Un plan

Un plan est une représentation graphique d'une portion restreinte de la terre obtenue par projection orthogonale sur une surface plane. Les détails y sont représentés à l'échelle.

Une carte

Une carte est une représentation conventionnellement réduite d'une certaine portion de terrain à petite échelle. Tels que cartes géographique, cartes topographiques et cartes routières dont les échelles varient du $\frac{1}{1000000}$ éme au $\frac{1}{25000}$ éme (**Figure I. 3 (a)**). La carte permet également de montrer les variations et les développements des phénomènes dans le temps, ainsi que leurs facteurs de mouvement et de déplacement dans l'espace.

Définitions

Lire une carte

Le nord, par convention, est toujours en haut de la carte, comme indiqué sur la carte. Une carte topographique et qui représente une portion de la terre, c'est un dessin orienté, c'est-à-dire, conventionnellement, le nord est au dessus, le Sud est en dessous, Ouest à gauche est l'Est à droite.
La direction du nord est indiqué par les méridiens qui sont représentés par les lignes verticales parcourant la carte de haut en bas,

Remarque: le nord Magnétique est indiqué par l'aiguille aimanté d'une boussole,
Le nord Géographique, dite vrai nord, est le nord qui converge avec les méridiens.

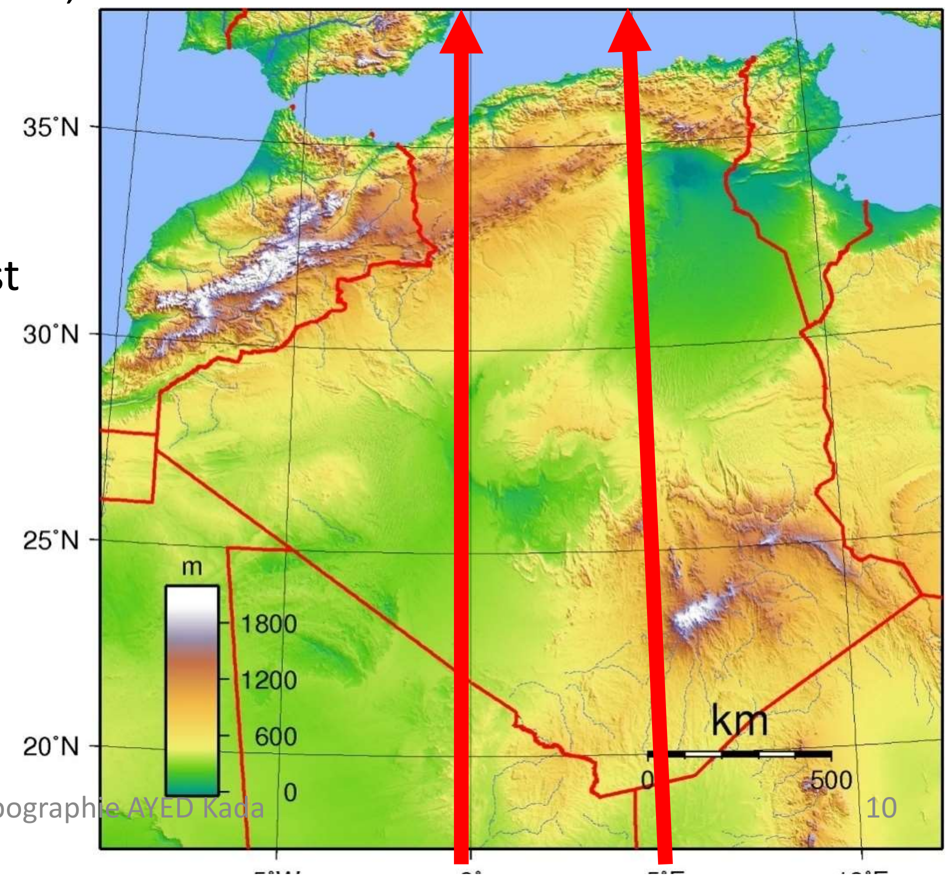
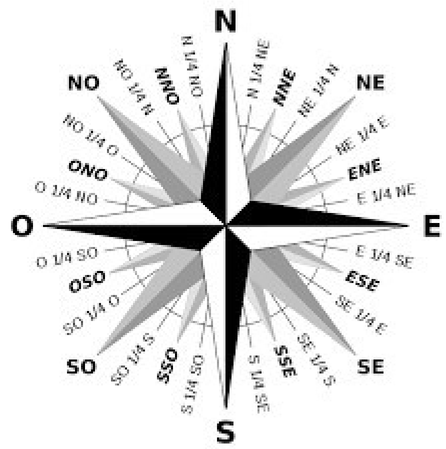


Figure 3, carte orientée.

Définitions

La différence d'angle entre les deux nord s'appelle la ***déclinaison magnétique***, qui varie avec le lieu et le temps. Une carte contient, le numéro et la série de la carte, l'échelle, la date de réalisation, la date de la dernière révision, la déclinaison magnétique, sa mise à jour et l'équidistance des courbes et la cartouche avec les symboles utilisés. Les cartes utilisent de nombreux codes de couleurs pour synthétiser le paysage. Les couleurs portées sur les cartes au $\frac{1}{25000}^{\text{éme}}$ relèvent d'un code précis utilisé dans le monde entier.

Figure3. Différents directions géographiques



Définitions

La couleur **bleu** représente tout ce qui a rapport avec l'eau, les cours d'eau, la mer, les étangs, les canaux, les glaciers (contours dessinés au trait bleu), les marais, les zones inondables, …. etc. Les noms des éléments d'hydrographie sont imprimés en bleu.

La couleur **verte** correspond à la végétation. Les différents traitements graphiques indiquent la nature de la couverture végétale : feuillus, conifères, vignes, broussailles, exceptées les zones cultivées qui restent en blanc. Les limites des forêts domaniales et des parcs naturels sont représentées par un trait vert épais.

La couleur **orange** représente le relief à travers les courbes de niveaux. Les falaises sont dessinées en noir.

La couleur **noir** est employé pour une grande partie des indications en lettres ou chiffres : nom de lieu, de village, hameaux, ruines, altitudes, chiffres de population, numéros de routes, etc. elle indique aussi les voies ferrées, les chemins et les sentiers.

La couleur **jaune** représente les routes non classées.

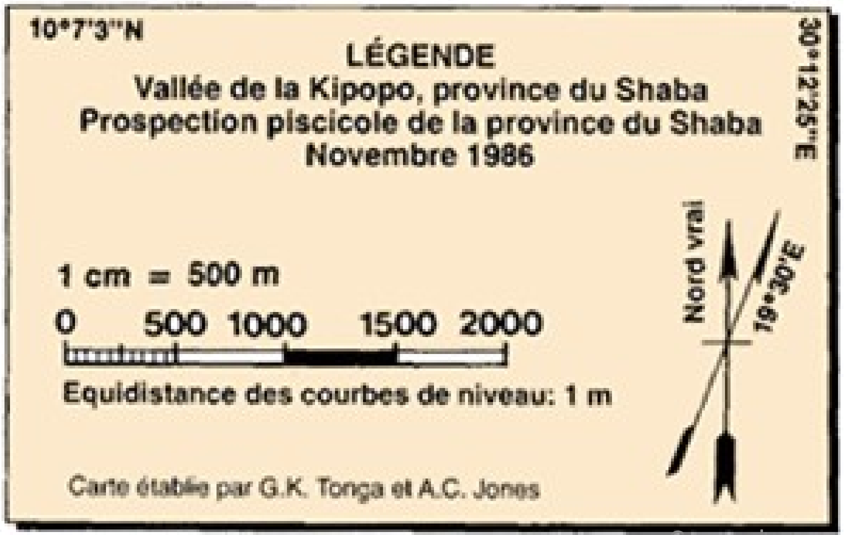
La couleur **rouge** représente les routes principales et secondaires.

Définitions

Echelle

L’échelle est définie par le rapport entre une distance graphique mesurée sur la carte et celle équivalente sur le terrain. Les deux distances étant exprimée dans la même unité. En topographie, elle s’exprime sous le forme de 1/Ech, voir la figure,

Figure 4, Echelle d’une carte topographique



Définitions

Une échelle exprimée sous forme de $\frac{1}{10000}$ ème signifie qu'une longueur mesurée sur terrain est réduite 10000 fois pour être reportée sur la carte.

Les principales échelles employées en topographie sont : $\frac{1}{100}, \frac{1}{200}, \frac{1}{500}, \frac{1}{1000}$, $\frac{1}{2000}, \frac{1}{5000}, \frac{1}{10000}, \frac{1}{25000}, \frac{1}{50000}, \frac{1}{100000}, \frac{1}{200000}$ ème.

Exemples

La mesure d'une distance de :

- 2,5 cm sur un plan vaut réellement une distance de 25 m sur le terrain, l'échelle sera : $\frac{2,5}{2500} = \frac{1}{1000}$ ème.

- 7,4 cm sur un plan à l'échelle $\frac{1}{500}$ ème donne une longueur réelle de :

7,4.500 = 3700 cm.

Définitions

Orientation d'une carte

Orienter la carte, c'est faire correspondre la position de la carte avec celle du terrain, et donc faciliter la traduction entre ce qui est vu réellement et ce qui est représenté sur la carte. Pour orienter la carte, il faudrait :

Figure 5, orientation de la carte,

Mettre le nord du cadran de la boussole devant le repère de celle-ci,
Poser la boussole sur la carte en alignant bord de la carte et bord de la boussole, comme sur le schéma de la figure,
Tourner l'ensemble (carte-boussole) jusqu'à ce que le nord de l'aiguille arrive sur le nord du cadrant, comme sur la figure,

Définitions

Courbes de niveau

Une **courbe de niveau** ou ***isoplèthe d'altitude*** est, en cartographie une ligne formée par les points du relief situés à la même altitude. Pour dessiner les courbes de niveau, il faut découper le terrain en **«** ***tranches*** **»** pour être projeter ensuite sur du papier. L'épaisseur des tranches est constante**,** appelée équidistance des courbes et est indiquée dans la cartouche de la carte. Toutes les cinq ou dix 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

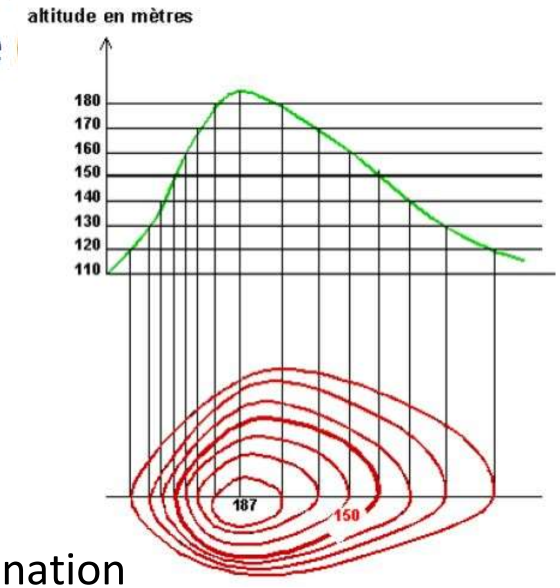


Figure 6. principe de détermination des courbes de niveau

Exemple 1

Soit deux points sur une carte. **A** est à 450 m d'altitude et **B** à 600 m. La distance entre **A** et **B** est de 4,5 Km, c'est-à-dire 4500 m. Le calcul de la dénivelée revient au calcul de la différence d'altitude entre les deux points **B** et **A.**

Dénivelée : **B** – **A** => 600 m – 450 m = 150 m.

Pente entre le point **A** et le point **B :** $Pente = \frac{150}{4500}.100 = 3{,}33\%$. Il ne faut pas donc exemple

- 1,5 cm à l'échelle du $\frac{1}{100}$ $^{\text{éme}}$; 3 cm à l'échelle du $\frac{}{200}$ $^{\text{éme}}$; 7,5 cm à l'échelle du $\frac{1}{500}$ $^{\text{éme}}$; 15 cm à l'échelle du $\frac{1}{1000}$ $^{\text{éme}}$ et 30 cm à l'échelle du $\frac{1}{2000}$ $^{\text{éme}}$.

- Elle permet de déduire la limite d'utilisation d'un instrument en fonction de différentes échelles.

Exemple

Quelles sont les limites d'utilisation d'un instrument de mesure d'angle donnant une précision de 1,5 cgr (**Figure I. 10**)? (échelle $\frac{1}{100}$).

Il suffit de calculer à quelle distance 1,5 cm est vu sous un angle de 1,5 cgr.

Ce qui donne $D = \dfrac{1{,}5}{tg0{,}015} = 6366{,}2cm$.

Une visée avec un angle de 15cgr

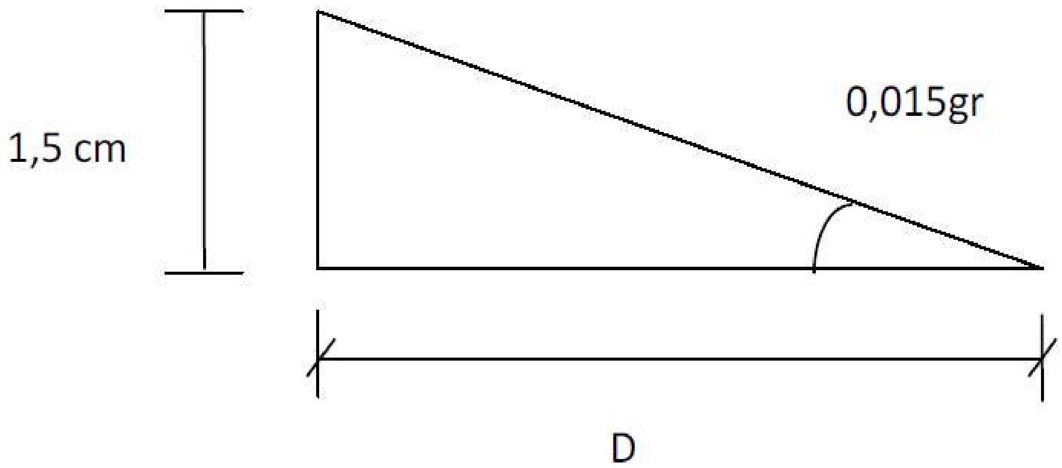


Figure I. 10. Mesure d'angle sur terrain.

Définitions

La Topométrie numérique

Equipement topographique (tachéomètre électronique ou station totale)

calculateur programmable et lecteur enregistreur lié à un micro ordinateur et imprimante ou traceur

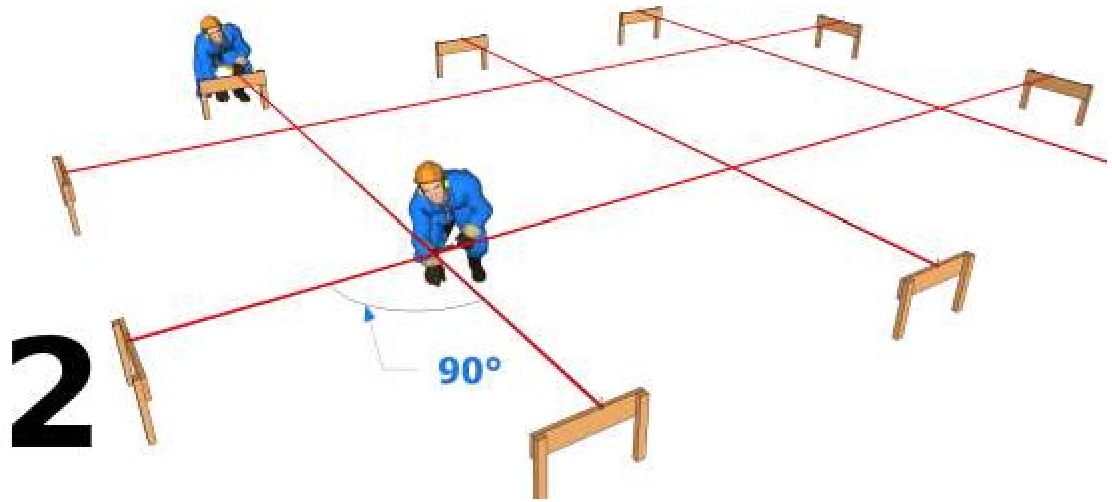
on aboutit a un document tous les éléments sont définis par leurs coordonnées rectangulaires et altitude ainsi que la superficie

les calcules tonométrique donnent aussi les mesures d'angles; les distances nivellement non mesurés afin de permettre notamment une implantation.

Définitions

Les implantations

Les projets d'aménagement établis généralement à partir de données topographiques, qui doivent être réalisés sur terrain. Pour ce faire, le topographe ***implante*** autrement dit ***met en place sur le terrain***, les éléments planimétriques et altimétriques nécessaires à cette réalisation.



Partie 2

Présentation et projection de la terre

AYED Kada
Enseignant chercheur ENPO MA
Maitre de conférences classe A

FORME DE LA TERRE

La terre est une ellipsoïde de révolution tournant autour de son petit axe, appelé axe de terre. L'équateur est le grand cercle imaginaire tracé autour de la terre à égale distance des deux pôles. Le méridien est le cercle imaginaire tracé autour de la terre à égale distance des deux pôles.
Il convient de distinguer l'ellipsoïde de révolution par une ellipse de demi axe a et b (environ de 6400 km). Son aplatissement α est égale à:

$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$

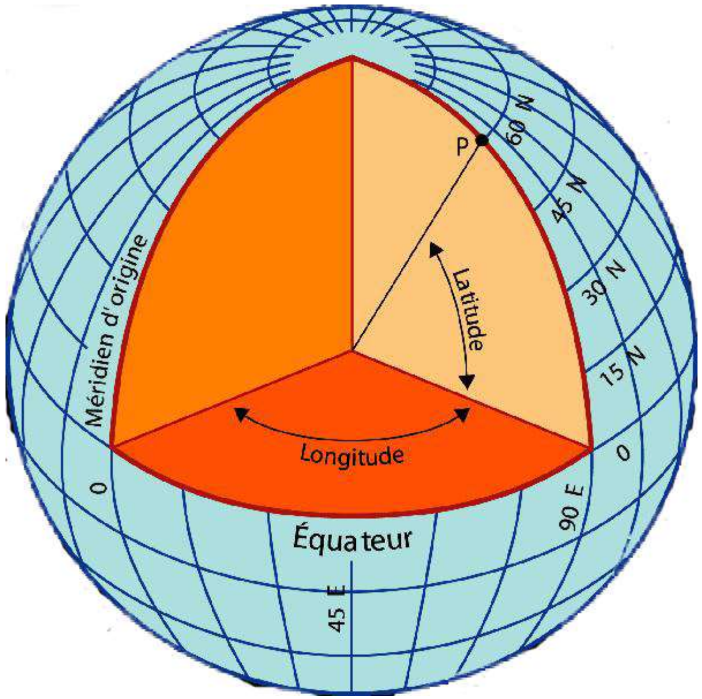


Figure 8, forme de la terre.

Géoïde

Les surfaces de la terre est appelée géoïde, cette surface est difficilement accessible vue sa forme accidentée, même sur les océans. La géoïde n’est définit que d’une façon indirecte,

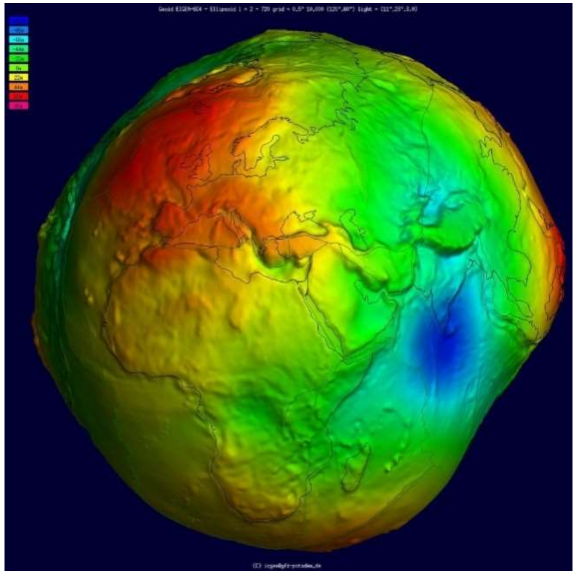


Figure 9. géoïde.

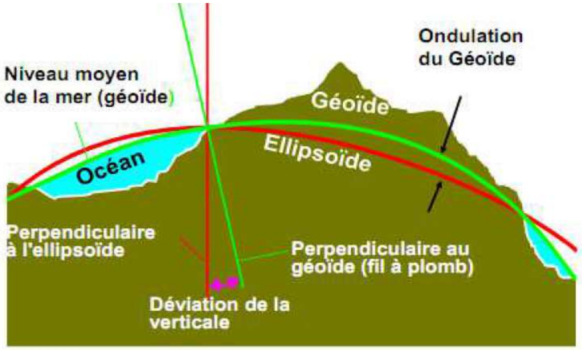
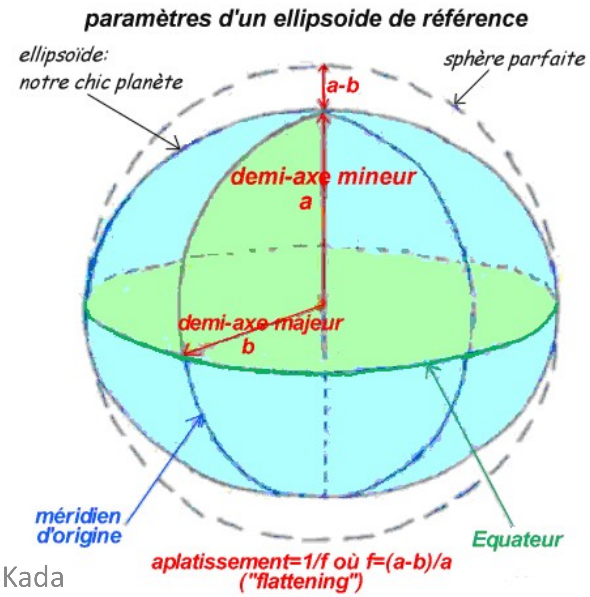


Figure I. 13. Le Géoïde.



Ellipsoïde de référence

L'ellipsoïde de révolution (sphère aplatie aux pôles) est un modèle mathématique utilisé pour le calcul, définit pour qu'il soit le plus prés possible du géoïde. 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 une des différentes valeurs :

- demi grand axe : ***a***
- demi petit axe ***: b***
- première excentricité : $e = \sqrt{\dfrac{a^2 - b^2}{a^2}}$
- carré de l'excentricité : $e^2 = \dfrac{a^2 - b^2}{a^2}$
- deuxième excentricité : $e' = \sqrt{\dfrac{a^2 - b^2}{b^2}}$
- inverse de l'aplatissement : $\dfrac{1}{\alpha} = \dfrac{a}{a-b}$

Dans le **tableau I. 3** sont données quelques valeurs concernant le calcul de modèles d'ellipsoïde en France en considérant deux systèmes géodésiques (NTF et ED50).

Système Géodésique	Ellipsoïde associé	*a*	*b*	$\frac{1}{\alpha}$	e
NTF	Clarke 1880 I.G.N	6378249,2	6356515,0	293,466021	0,08248325676
ED50	Hayford 1909	6378388,0	6356911,9461	297,000000	0,08199188998

Tableau I. 3. Calcul de modèles d'ellipsoïde en France.

Hauteur ellipsoïdal

Cette valeur est définie dans un système géodésique (**Tableau I. 3**) et peut différer de l'altitude de plusieurs dizaines de mètres. Elle correspond à une distance entre le point considéré et le pied de la normale à l'ellipsoïde. Tous les systèmes de positionnement par satellites fournissent une hauteur ellipsoïdale et non une altitude.

Systèmes de coordonnées

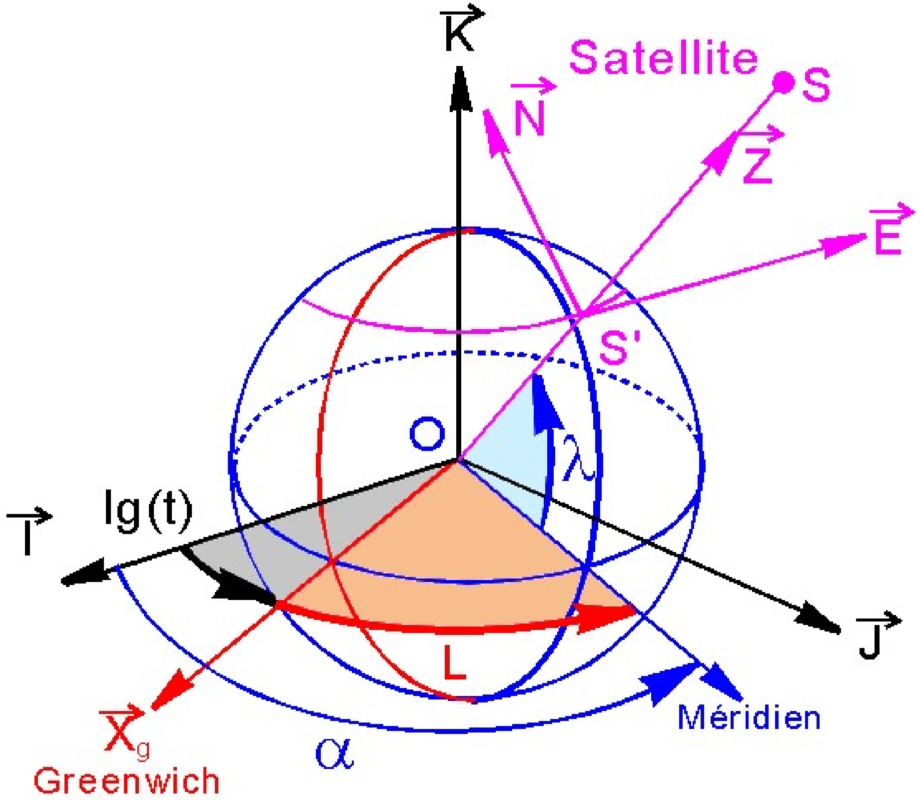
Les coordonnées peuvent être exprimées sous la forme de coordonnées :

- **Cartésiennes géocentriques (X, Y, Z)** relatives aux trois (3) axes d'un repère ayant son origine au centre des masses de la Terre (**Figure I. 14**). Ces coordonnées peuvent être utilisées, par exemple, comme intermédiaire lors de calculs de changements de systèmes géodésiques de références.

- **Géographique** (λ , ϕ , h), (**Figure I. 15**) ;
  - La lettre grecque λ (lambda) désignant la longitude ;
  - La lettre grecque ϕ (phi) la latitude ;
  - La lettre ***h*** correspond à la hauteur ellipsoïdale (à ne pas confondre avec l'**altitude**). Elle est définie dans un système de référence géodésique et peut différer de l'altitude de plusieurs dizaines de mètres.

En projection ou représentation plane

L'utilisation de coordonnées sur une surface de référence comme un ellipsoïde n'est pas aisée et ne permet pas de réaliser directement des mesures de distance ; d'angle ou de surface. Il est plus pratique d'avoir une image graphique du monde sur un plan.



Quelques notations des unités angulaires pour les latitudes et longitudes sont données dans le **tableau I. 5.**

Type de coordonnées	X,Y, Z	λ, ϕ, h	E, N
Unité angulaire		*	
Unité linéaire	*	*	*
Projection			*
Méridien origine		*	*
Ellipsoïde		*	*
Système géodésique	*	*	*

Tableau I. 4. Eléments nécessaires à la description d'un type de coordonnées.

degrés, minutes, secondes sexagésimaux	° ′ ″
degrés, minutes décimales	° ′
degrés décimaux	°
grades (ou gon)	gr
radians	rd

Tableau I. 5. Notations des unités angulaires pour les latitudes et longitudes.

Quelques approches numériques sont données par le **tableau I. 6.**

1°	= 60´	= 3 600"
180°	= 200 gr	= 3.141592654 rd =πrd (angle plat)
360° =	400 gr = 6.28 rd = 2 πrd	circonférence
48.61°	= 48° 36.6´	= 48° 36´ 36"
48.60°	= 54 gr	

Tableau I. 6. Approches numériques.

Exemple de transformation

$$57.30° = 63.66gr = 1rd. \quad 1° = 1.111\ gr. \quad 0.9° = 1\ gr = 0.0157\ rd.$$

Un degré de longitude équivaut à environ 111 km sur l'équateur mais ne vaut plus que 74 km à une latitude de 48 degrés et devient 0 km au pôle Nord.

En considérant une terre sphérique de rayon 6360 km, il est à conclure que :

1° de longitude = cosinus (latitude) * 111 km, 1° de latitude = 111 km.

Correspondance entre différentes unités de mesure de quelques angles

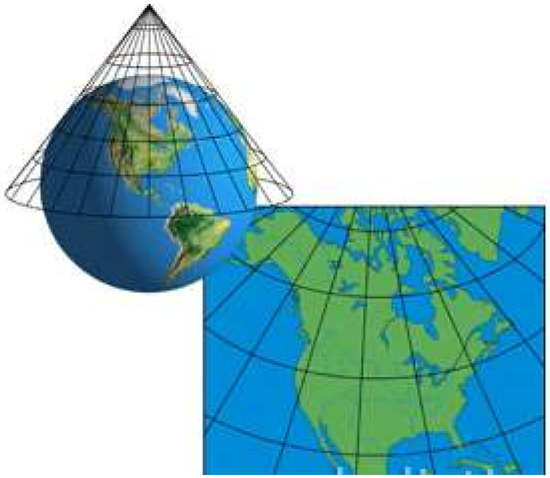
400gr	360°	6,28rad	2 л rad	Circonférenc
200gr	180°	3,14rad	л rad	Angle plat
100gr	90°	1,57rad	(л/2) rad	Angle droit
63,66	57°,30	1rad		
1,111gr	1°			
1gr	0,9°	0,0157rad		

Représentation plan de la surface terrestre

Les projections planes

L'objectif des projections cartographiques est d'obtenir une représentation plane du modèle ellipsoïdal de la surface de la Terre. L'intérêt majeur réside alors dans les valeurs métriques, beaucoup plus facilement exploitables, en particulier pour les mesures de distance.

Projections coniques



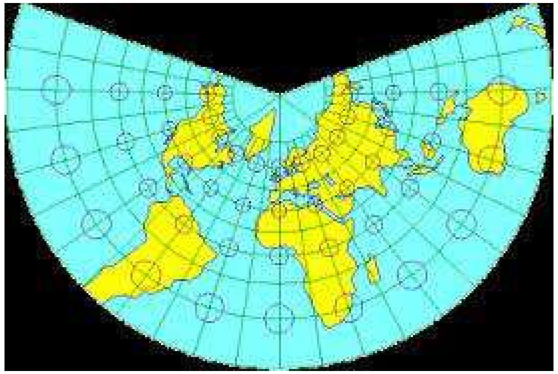
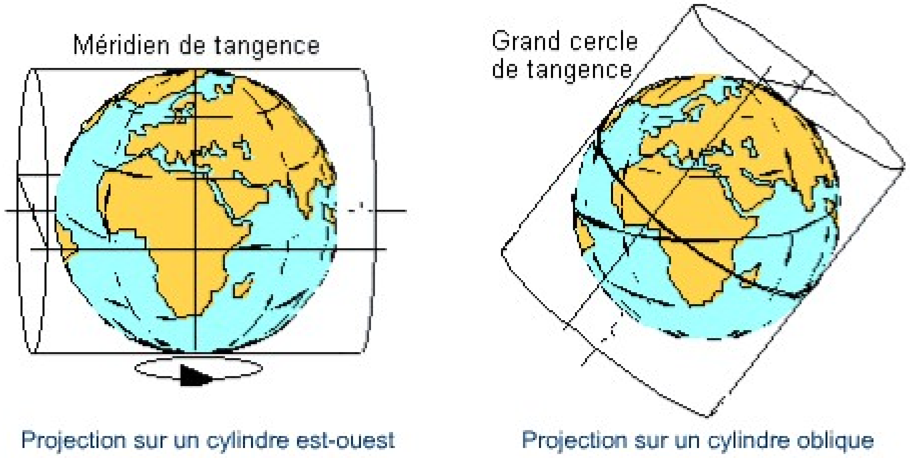


Figure 9, projection conique de la terre

Projections cylindriques

Dans ce type de représentation, l'image des méridiens est un faisceau de droites parallèles, et l'image des parallèles, un faisceau de droite parallèles, orthogonales à l'image des méridiens. Elles peuvent réalisées de trois façons :



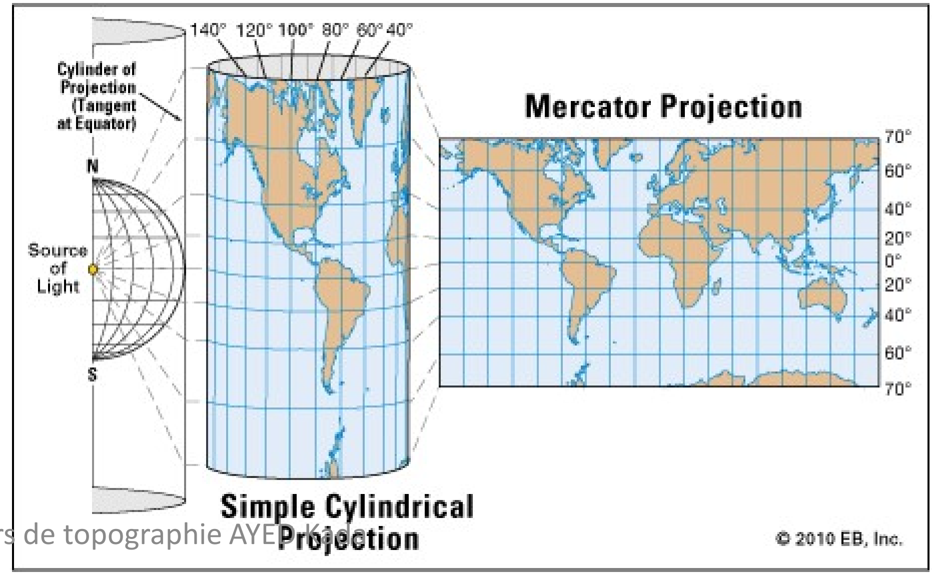
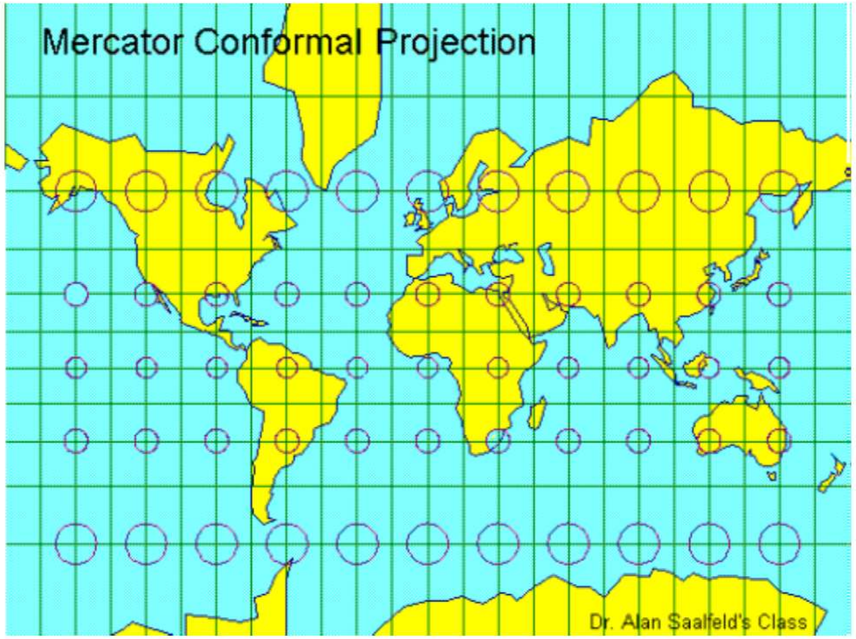
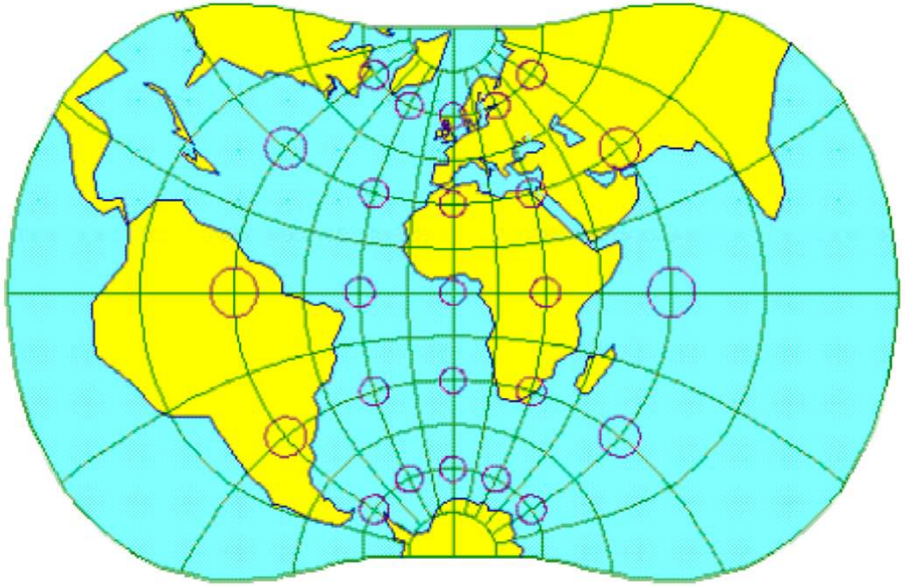


Figure 10, projection cylindrique

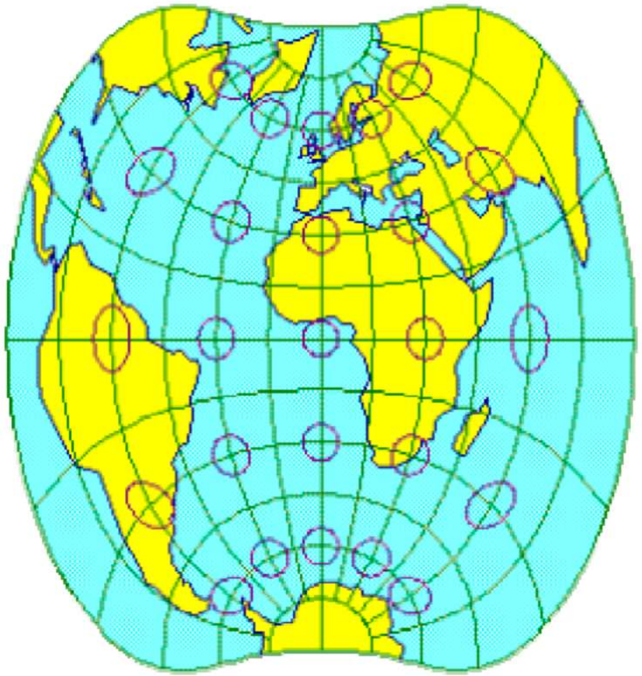


Projection conforme cylindrique directe de Mercator



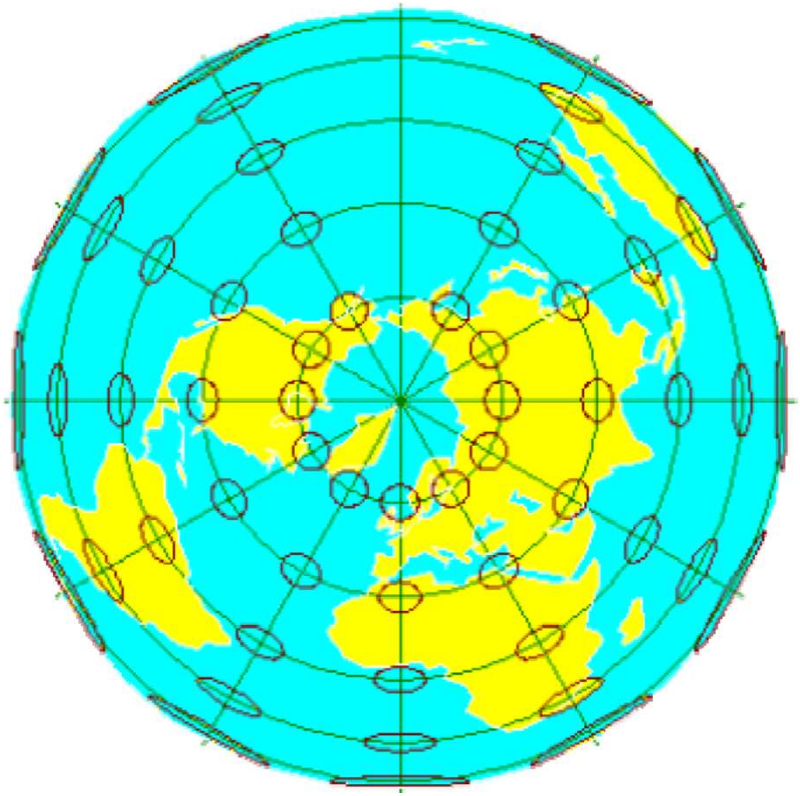
1569

Projection conforme cylindrique transverse de Mercator (UTM)

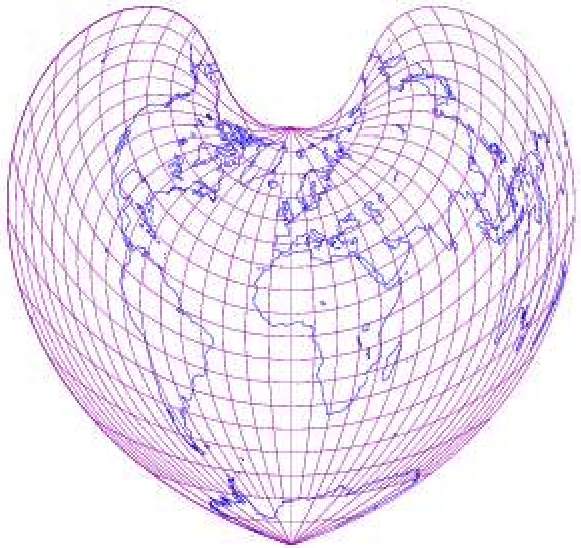


Projection cylindrique transverse équidistante

Projections azimutales



Projection azimutale équivalente de Lambert



Représentation de la terre par GAUSS 1780

Dans les systèmes de projection, on utilise :

soit on conserve les surfaces (projection équivalente).
soit on conserve les angles localement (projection conforme).
soit on conserve les distances (projection équidistantes).

La plupart des projections utilisées en géodésie et en topographie sont la projection conforme, la cartographie à petite échelle utilise souvent des projections équivalemment.

Partie 3

Notion sur les fautes et erreurs

LES FAUTES ET LES ERREURS

Mesurer c'est l'action de comparer une grandeur (quantité) par rapport à une grandeur de même espèce prise comme référence: étalon ou gabarit.
L'inexactitude d'une mesure quelconque est due à deux causes différentes:
ERREURE Ou FAUTE

La valeur des travaux topographiques repose sur l'étude des erreurs possibles, leurs contrôle et leur neutralisation ou atténuation est réalisée par des méthodes appropriées

Les fautes

Un opérateur commet une faute involontairement c'est la différence entre la valeur lue et la valeur vraie. Ces fautes sont dues soient à la maladresse, à la négligence, l'oubli, l'incompétence ou à la mauvaise foi.la distinction entre ces causes est assez subtile.
Elles sont généralement toujours découverte au cours des mesures de contrôle

Les erreurs

Les erreurs sont définies comme étant des petites inexactitudes dues aux **imperfections des instruments.** Elles sont inévitables, mais elles peuvent être diminuées par le choix des instruments et des méthodes.

L'erreur (e) = valeur mesurée (x) – valeur exacte (X)

$$e = x - X$$

Généralement, la valeur X est une inconnue, et les erreurs sont impossible à connaitre exactement. Il est donc nécessaire de chercher seulement **dans quelles limites elles sont comprises.**

Erreurs systématiques

Elles proviennent en général de **<u>défauts de construction ou de réglage des instruments (tolérance).</u>**
Lorsqu' on effectue des mesures dans les mêmes conditions, ces erreurs restent constantes en grandeur et en signe (c'est la même erreur qui se répète pendant toutes les mesures), elles s'ajoutent systématiquement les unes aux autres. Il est possible de diminuer les importances par le calcul(soit par étalonnage de l'instrument, soit par le mode opératoire par symétrie par exemple)

Erreurs vraies et erreurs apparentes

Quelle que soit la source d'erreur, **elle s'estime théoriquement par la différence d'une mesure effectuée avec celle de la valeur parfaite** que l'on a trouvé (**<u>erreurs vraies</u>**). Ces dernières ne sont pratiquement jamais connues, puisque la connaissance de la valeur parfaite échappe à l'observateur.

On porte donc intérêt seulement aux erreurs apparentes ou résidus qui peuvent être estimé par l'écart de chacune mesure avec la moyenne d'un certain nombre de mesures semblables du même objet

Exemple: la mesure de vingt fois la largeur d'une table avec un mètre étalonné au maximum de la précision que l'œil permet.

Il est raisonnable d'admettre que la valeur la plus probable de cette mesure est la moyenne arithmétique des vingt mesures effectuées.

A partir de cette valeur, **vingt écarts peuvent être tirés celles-ci** et chacune des vingt mesures qui sont intervenues ce **sont des résidus ou erreurs apparentes**.

Erreurs accidentelles

Toutes les erreurs accidentelles qui ne peuvent être calculées d'avance, ni éliminées par un mode opératoire, dont les causes sont imprévues, et dont le signe n'est pas constant, sont des erreurs accidentelles . Ces erreurs sont dues au hasard.

Quelques hypothèses pour ces erreurs:
Les mesures sont répétées un très grand nombre de fois, dans les mêmes conditions,
Les fautes et les erreurs systématiques sont éliminées,

Le **but d'étudier accidentelles pour faire connaitre :**

- La valeur la plus probable à adopter pour une quantité mesurée directement ou indirectement,
- L'incertitude sur les mesures effectuées au départ,
- L'incertitude sur le résultat adopté.

CONSTATATIONS STATISTIQUES SUR DES MESURES DIRECTES

Quand la valeur exacte X est inconnue (cas le plus fréquent), nous adoptons comme valeur approchée la plus probable la moyenne arithmétique des mesures.

Moyenne arithmétique et erreur moyenne arithmétique

Soit un ensemble de mesures (appelé 'population') : x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 ,..., x_n .

La moyenne arithmétique notée x est donnée par la formule (I. 5).

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots\dots\dots \;..+ x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Les écarts (e) à la moyenne arithmétique sont appelés, écarts, erreurs apparentes ou résidus qui sont données par les relations

$$e_1 = x_1 - x \;,\; e_2 = x_2 - x \;,\quad e_3 = x_1 - x \;,\quad e_n = x_n - x \;.$$

Leur somme algébrique est nulle. Elle est donnée par la relation

$$e_1 + e_2 + e_3 + \dots\dots + e_n = 0 .$$

Aussi, la somme des carrés des écarts est minimum, exprimée par la relation

$$\boxed{\sum_{i=1}^{n} e_i^2 = \min \ imum}$$

Ecarts types σ

Appelés aussi erreurs moyennes quadratiques, notée 'emq', ou 'σ' d'une mesure isolée. L'écart type est égal à la racine carrée de la moyenne arithmétique des carrés des écarts à la moyenne. On a pour un grand nombre de mesure

$$\boxed{\sigma = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \ldots\ldots + e_n^2}{n}}}$$

Pour un nombre limité de mesure, la meilleure estimation est donnée par l'erreur moyenne quadratique relation

$$\boxed{\sigma = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \ldots\ldots + e_n^2}{n-1}}}$$

Cette dernière relation définit la précision d'opération de mesures avec plus d'exactitude.

Erreurs probable

Appelée aussi écart équiprobable d'une mesure isolée notée '$\mathcal{E}_p$ '. C'est l'écart dont la probabilité d'être dépassée en valeur absolue est : ½. Le calcul des probabilités donne :

$$\boxed{\mathcal{E}_p = 0.6745\,\sigma = \mathbf{2/3}\,\sigma}$$

Erreur maximum ε_M , ou Tolérance

$$\boxed{\text{Définit par } \mathcal{E}_M = 4\,\mathcal{E}_p}$$

$$\boxed{\text{Ou comme } \mathcal{E}_p = 2/3.\sigma \textbf{ par } \mathcal{E}_M = 2{,}7.\sigma = \mathbf{2{,}7}\,emq}$$

Cette valeur conventionnelle définit la limite à partir de laquelle présomption de faute (indice de faute).

Composition des écarts types

Lorsqu'une mesure est entachée de plusieurs erreurs accidentelles, l'erreur moyenne

quadratique **résultante** est donnée par la relation

$$Emq=\sqrt{emq_1^2+emq_2^2+emq_3^2+\dots\dots\dots+emq_n^2}$$

Lorsque toutes les erreurs de toutes les mesures sont égales.

$$Emq=emq\sqrt{n}$$

Erreur moyenne quadratique d'une moyenne

L'erreur de la moyenne arithmétique de *n* mesures de la même quantité effectuées

avec la même précision emq est donnée par la relation

$$Emq_n^{moyenne}=+\frac{emq}{\sqrt{n}}$$

Partie 4

Mesure directes et indirects

Mesure des distances

Histoire

Au XVIIIème siècle l'unité de longueur était le **pied (0,31m)** et la **toise (6 pieds =1,9m).**

A la fi du XVIIIème siècle, l'académie des sciences proposait un étalon basé sur la longueur de la circonférence terrestre, le mètre est définit comme étant la dix millionième partie du quart du Meridian terrestre.

En 1875 17 pays ont adopté le système métrique.

Actuellement la définition du mètre est basé sur la vitesse de la lumière dans le vide. Au laboratoire CERN BUREAU DES POIDS ET DES MESURES, l'étalon est fourni par un interféromètre à laser.

MESURE DES DISTANCES

Mesure direct: mesurer directement une longueur c'est la comparer à une mesure étalon donc il s'agit de connaitre combien de fois cette longueur contient d'étalon de mesure. Étalon de mesure peut être le mètre, décamètre, double décamètre…etc. L'étalon peut être rigide ou souple

Mesure indirect: une mesure est effectuer indirectement lorsqu'elle est obtenue sans avoir à parcourir la longueur à mesurer en comptant le nombre de fois d'étalon que contient la longueur étalon. On utilise le procédé stadimètrique parallactiques.

La mesure graphique est fait lorsqu'il s'agit d'une longueur comprise entre deux points préalablement et parfaitement déterminé (exemple: par calcule des coordonnées rectangulaires des extrémités)

Mesures directes

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

Compteur kilométrique : c'est un moyen permettant d'avoir rapidement et approximativement la distance entre deux points, mais cette distance est suivant le chemin parcouru et non horizontale. Il est utilisé surtout pour les travaux de reconnaissance.

Mesure au pas : c'est une méthode approximative pour évaluer des distances courtes et pour vérifier grossièrement le chaînage en cas de fautes. Ce procédé est valable sur un terrain relativement plat et dégagé.

Mesure à la roue de reconnaissance : connaissant le rayon R de la roue et marquant un point de départ, la mesure d'une distance entre deux points quelconques sera possible en comptant le nombre de tours de la roue.

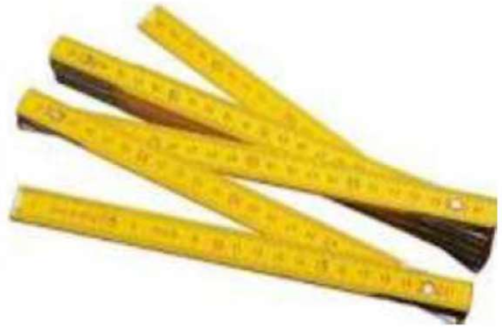
Distance = n **(nombre de tours) x** $2R$ **(circonférence de la roue).**

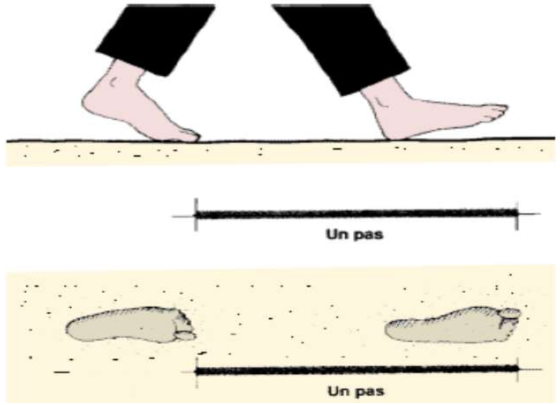
Ce procédé donne d'assez bons résultats en terrain plat dégagé. Cependant, le procédé le plus utilisé et le plus courant pour mesurer directement une distance est le **chaînage** qui est une opération importante (elle donne la distance sur le terrain) et délicate (introduction de fautes et d'erreurs dans les mesures).

Les instruments de mesures

Les instruments ou procédés utilisés pour la mesure directe des distances sont :

Figure II. 1. Double mètre.





Mesure par comptage de pas.

Le pas ou double pas est une méthode qui permet de mesurer rapidement les

Constitué de plusieurs éléments coulissants, il est télescopique et rigide. Il permet de mesurer avec précision des détails jusqu'à 5m au millimètre près. Utilisé pour les travaux de levés d'intérieur,

La chaîne d’arpenteur

actuellement abandonnée

Le ruban (étalon à bouts)

En acier, de longueur de 10, 20,30,50m

Il est bien adapté pour tous les travaux topométriques.

La roulette (étalon à traits)

Moins fragile a la pluie, et le passage des voitures, par contre elle n’est pas trop précise, utilisé pour le métré et les petite implantations. Elle est soit en plastique soit en acier, longueur de 10,20,30,50m, L’anneau n’est pas compris dans la longueur,

Roulette étalon à traits.

Le fil à plomb

Est employer pour projeter au sol les points mesurés la pointe doit être tenue a quelques mm du sol. Il faut éviter qu'il balance.
Il existe plusieurs model à différentes formes, le model le plus pratique est le model conique pour les mesurages.

Roues enregistreuses ou topomètres

Leurs précision est faible mais suffisante pour certains métrés,
Leurs précision est faible mais suffisante pour certains métrés

Roues enregistreuses ou topomètres.

Le jalonnement

Jalons d'alignement

Un jalon est un tube métallique de 200x3 cm environ, constitué de un ou plusieurs élément peint en rouge et blanc.
Assure l'alignement de certains points, facilite la mesure de distance partielle.

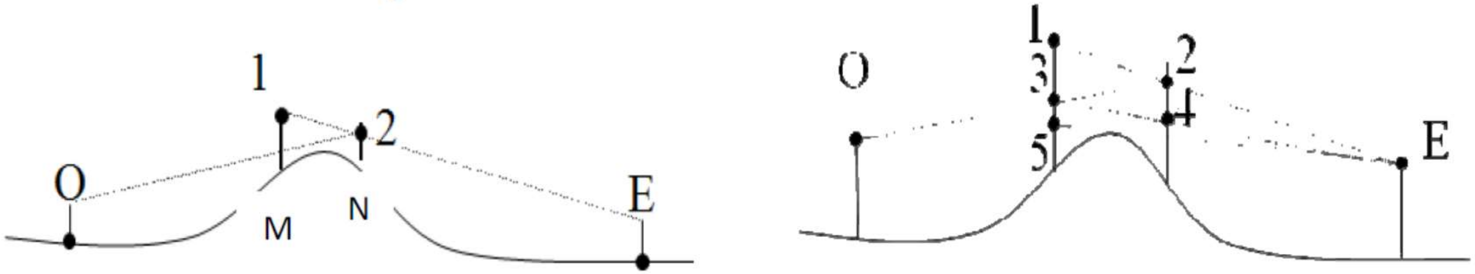
porte jalon

Droite sans obstacle

Pour des distances courtes. La matérialisation des extrémités suffit. On peut faire l'alignement de plusieurs points entre ces deux

L'opérateur au point **M** se place aussi prés que possible de l'alignement **OE**, de tel sorte qu'il puisse voir E, par exemple en **1**. L'aide **N** aligné par l'opérateur sur **2E** se place en **2** d'où il aligne à son tour l'opérateur en **3** sur **2O**. L'opérateur **3** aligne ensuite l'aide en **4** sur **3E**. Et ainsi de suite jusqu'à ce que les alignements successifs aboutissent aux points corrects **M** et **N**, où les rectifications de position ne sont plus nécessaires **(Figure II. 13)**.

D.



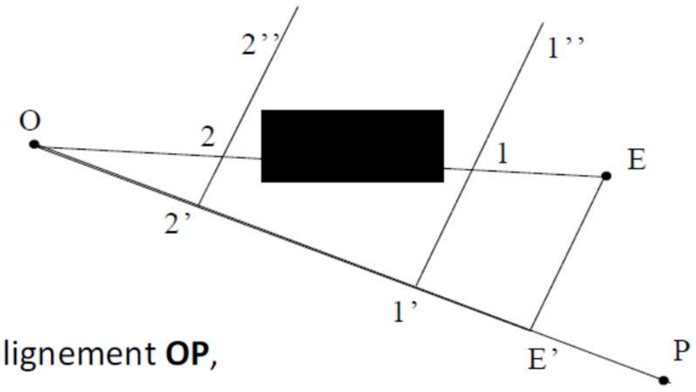
L'opérateur au point M se place aussi que possible en alignement OE, de tel sorte qu'il puisse voir E, par exemple en 1. l'aide N aligné par l'opérateur sur 2^E se place 2 d'où il aligne à son tour l'opérateur en 3 sur 2O, l'opérateur 3 aligne ensuite l'aide en 4 sur 3E. Ainsi de suite jusqu'à ce que les alignements successifs aboutissent aux points correcte Met N.

Droite avec obstacle infranchissable et sans visibilité

Obstacle planimétrique (ex. : une construction)

objectif

l’alignement et mesurer la distance **OE**



1) On choisi un point **P** intermédiaire,

2) On matérialise l’alignement **OP**,

3) On abaisse alors la perpendiculaire **EE’** sur **OP** (utiliser un équerre à double prisme),

4) On choisit deux points **1’** et **2’** sur **OP** / les perpendiculaires **1’1‘’** et **2’2’’** à **OP** soient situées de part et d’autre de l’obstacle.

5) On mesure **O2’**, **O1’**, **OE’**, **EE’**. Dans les triangles **O22’**, **O11’** et **OEE’** :

$$\frac{22'}{EE'} = \frac{O2'}{OE'} \Rightarrow 22' = O2'.\frac{EE'}{OE'} \qquad \frac{11'}{EE'} = \frac{O1'}{OE'} \Rightarrow 11' = O1'.\frac{EE'}{OE'}$$

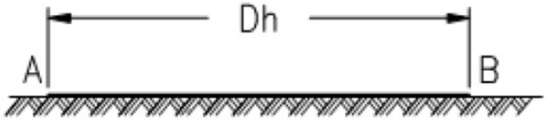
6) On porte alors ces deux longueurs **11’** et **22’** sur les deux perpendiculaires **1’1’’** et **2’2’’** ce qui donne les points **1** et **2** sur l’alignement **OE**.

7) Pour avoir **OE** : $OE^2=OE'^2+EE'^2$ (l’angle E’ est droit).

Mesures en terrain régulier

Terrain régulier et horizontal

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. Et il faut respecter l'alignement entre les points intermédiaires



Mesure au ruban en terrain horizontal.

Exemple

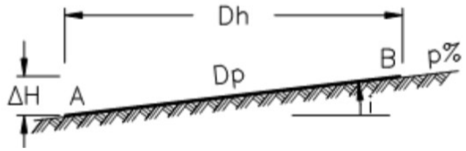
Montrons qu'à partir de 2% de pente, une erreur de 1 cm apparaît sur une mesure de 50 m**.** Nous avons *:* *D*p = 50 m, ΔH = 0,02.50 = 1 m donc *D*h = 49,99 m.

Terrain incliné en pente régulière

Si le terrain n'est pas parfaitement horizontal, il faut considérer que l'on mesure la distance suivant la pente. Pour connaître la distance horizontale avec précision, il faut donc mesurer la dénivelée ΔH entre A et B ou bien la pente P de AB

$$Dh = \sqrt{Dp^2 - \Delta H^2}$$

ou bien : $Dh = Dp \cdot \cos i = Dp \sqrt{\frac{1}{1 + tg^2 i}} = \frac{Dp}{\sqrt{1 + p^2}}$ puisque $p = tgi$



Mesure au ruban en terrain en pente régulière.

Exemple

En mesurant une distance suivant la pente de 37.25 m et en mesurant au clisimètre une pente de 2.3%. Quelles sont les valeurs de *Dh* et de ΔH ? .

La valeur de *Dh* sera donné par :

$$Dh = 37,25 \Big/ \sqrt{1 + 0,023^{2}} = 37,25\ m$$

Et celle de ΔH par :

$$\Delta h = \sqrt{37,25^{2} - 37,24^{2}} = 0,86\ m$$

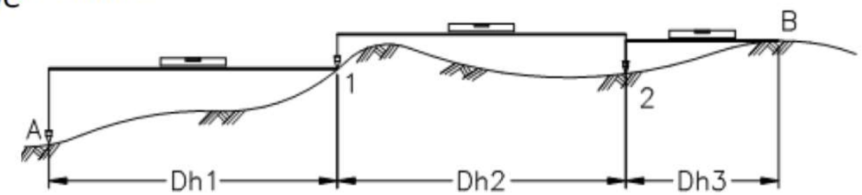
Mesure en terrain irrégulier ou en forte pente

A cause des ondulations, il est impossible de tendre le ruban sur le sol. La pente ou la distance à chaîner ne sera pas facile à déterminer directement.

Mesure par ressauts horizontaux

Appelée aussi mesure par cultellation. Elle nécessite l'emploi d'un niveau à bulle et de deux fils à plomb en plus de la chaîne et des fiches d'arpentage (ou jalons). Sa mise en œuvre et longue et le procédé peu précis.

$$\boxed{\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3}$$



Mesure au ruban par ressauts horizontaux.

Mesurage de précision : étalonnage d'un ruban

Correction d'étalonnage

$$L_{exacte} = L_{mesurée}.(1 + k_E)$$

$$L_{exacte} = L_{mesurée} + C_E \Longrightarrow C_E = k_E \cdot L_{mesurée}$$

Par exemple un double décamètre indique 19,987 m en mesurant une base de 20,000

Il est donc trop long de 0,013 m et donne des valeurs très petites. Il faut le corriger de 0,013 m tous les 20 m

Correction due à la température

$$L_{exacte} = L_{mesurée}.[1 + 1,08.10^{-5}.(t - t_e)]$$

$k = 1,08.10^{-5} {}^{\circ}C^{-1}$

t_e est la température d'étalonnage (20°C en général).

Exemple

La mesure d'une longueur de 35,035 m avec un ruban en acier à t = 40°C, il faut corriger la valeur lue d'une valeur positive :

$(40 - 20).1{,}08.10^{-5} = 0{,}216$ mm/m. Et $L_{exacte} = 35{,}035.(1+ 0{,}216.10^{-3}) = 35{,}04256$ m.

Correction de tension (ou d'élasticité du ruban)

L'allongement ΔL en mètre d'un ruban d'acier soumis à la tension T est:

$$\Delta L = \frac{L.T}{E.S}$$

L : longueur du ruban exprimée en m.

S : section constante du ruban en mm^2.

E : module d'élasticité de l'acier E = 21000 daN/mm^2.

T : effort de tension exprimée en daN (1kgf = 9,81 N).

La longueur exacte est :

$$L_{exacte} = L_{mesurée}.(1 + k_T)$$

avec $$k_T = \frac{(T - T_0)}{E.S}$$

k_T est appelé le coefficient de tension et T_0 est la tension d'étalonnage (~ 5 daN).

Exemple

Un ruban de 50 m, de section (0,2 x 13) mm^2 étalonné sous une tension de 5 daN s'allonge de 10 mm sous une tension de 16 daN.

Mesures indirectes

Une distance est indirecte lorsqu'elle est déterminée sans avoir à la parcourir avec un étalon. Elle résout le problème de mesurage sans déplacement de l'opérateur. C'est un procédé beaucoup plus rapide pour les grandes distances et il a surtout l'avantage de permettre des mesures en terrains accidentés ou impossible.

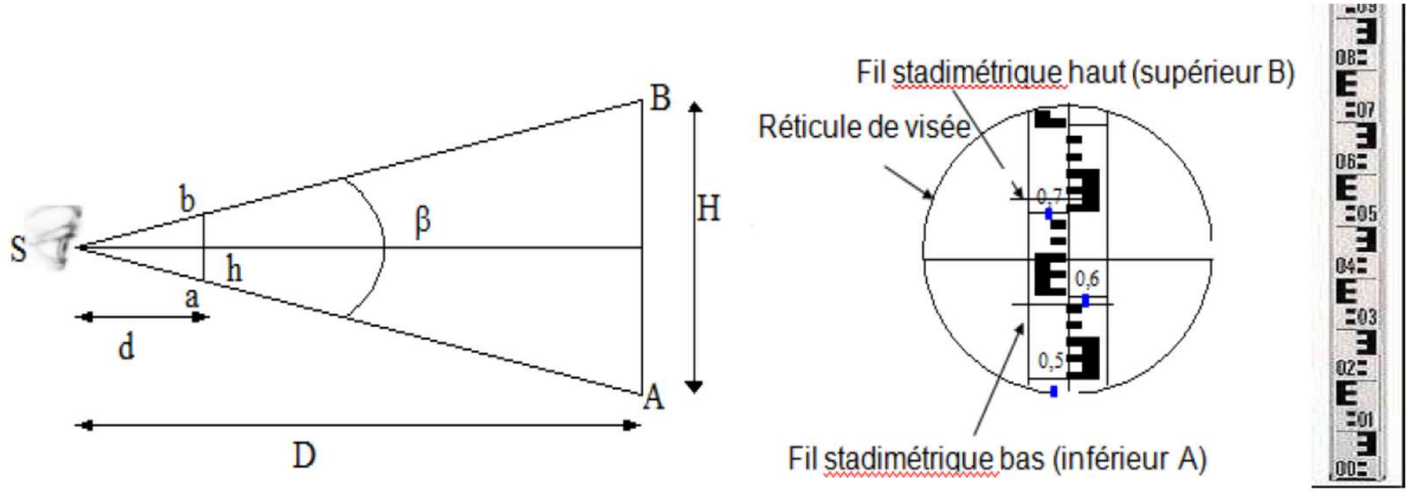
Les mesures s'effectuent soit avec des **mesures stadimétriques**, **parallactiques** ou **électroniques.**

Mesures stadimétriques

Elle permet la mesure indirecte d'une distance horizontale en lisant la longueur interceptée sur une mire par les fils stadimétriques du réticule de visée.

A angle constant

A une extrémité de la longueur horizontale à mesurer D, un opérateur se palce à la station S (exemple un théodolite)



Principe de mesure par stadimétrie.

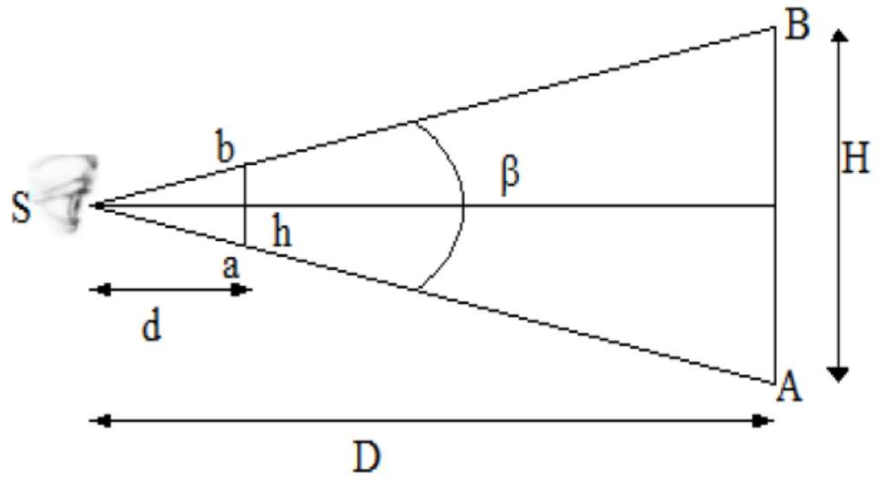
A l’autre extrémité A est placée une mire AB, perpendiculaire à D et de longueur H. Soit un segment de droite ab, de longueur h, parallèle à AB, interposé entre les rayons SA et SB, à une distance d de S.

Appelons β l’angle ASB. Les triangles ASB et aSb sont semblables, d’où avec la valeur de d constante pour tous les stadimétres :

$$\frac{D}{d} = \frac{H}{h}$$

d'où $D = \frac{d}{h} H$

avec $\frac{d}{h} = \frac{1}{2tg\frac{\beta}{2}}$



La valeur de l'angle $\boldsymbol{\beta}$ **(rad)** étant petite, d'où :

$$\frac{1}{2tg\frac{\beta}{2}} = \frac{1}{tg\beta} = K$$

K peut prendre les valeurs de 50, 100 ou 200.

$K = 100$ est le rapport le plus utilisé : à 1cm sur la mire correspond une distance de 1m. La mire peut être divisée en cm ou en double centimètre, elle est dite " parlante ".

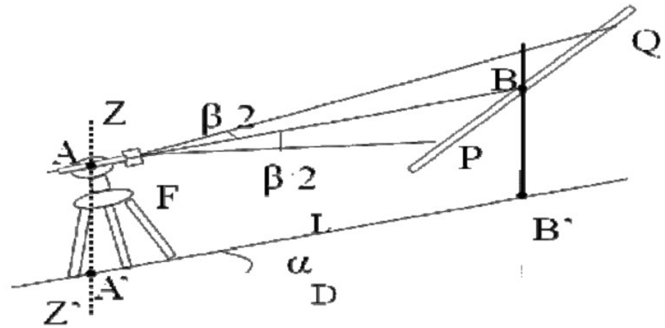
Conclusion:
L'écartement des traits stadimétriques est H=AB,
La mesure de la distances est égale à D=K. AB= K.H

En 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. Le faisceau stadimétrique intercepte sur la mire un segment trop long et la lecture faite est trop forte. Plusieurs positions de mire sont à exposer dans ce qui suit.

Mire horizontale

La mire peut être placée horizontalement sur un support à a même hauteur que l'axe de tourillons de l'appareil perpendiculairement à la visée. La distance lue dans l'appararreil est la distance suivant la pente P,
Donc D est égale à

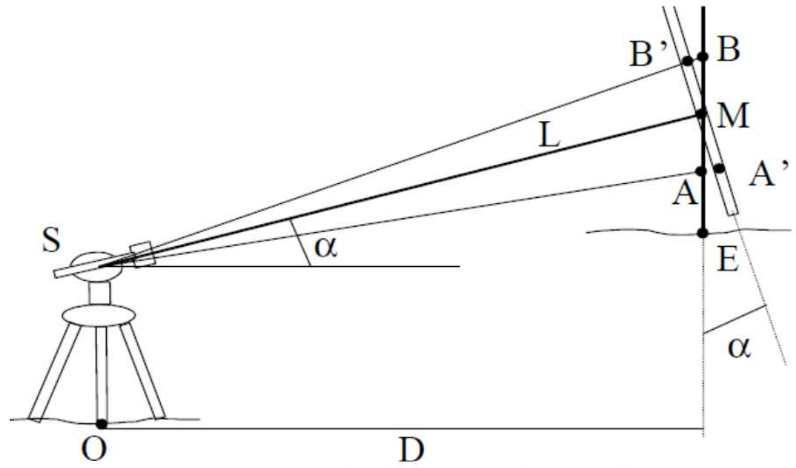


Mesures stadimétriques en terrain incliné avec utilisation d'une mire horizontale.

$$D = L.Cos\alpha$$

Mire verticale

Les rayons SA et SB interceptent sur la mire un segment H trop long. La longueur interceptée est correcte si la mire est bien perpendiculaire en M à la visée médiane.



Mesures stadimétriques en terrain incliné avec utilisation d'une mire verticale.

Réductions à opérer : SA et SB sont pratiquement parallèles (β leur angle est couramment de 0,01 rad soit 0,64 gr). Il vient que l'angle **AMA'** est égal à l'angle **BMB'** et vaut α D'où :

$$A'M = AM.Cos\alpha\ ,\ MB' = MB.Cos\alpha$$

$$A'B' = AB.Cos\alpha \quad \text{ou} \quad H' = H.Cos\alpha$$

Avec : $H' = A'B'$ et $H = AB$

En appliquant le principe de la stadimétrie :

$$L = KH' = KH.Cos\alpha$$

la distance horizontale sera :

$$D = L.Cos\alpha = KH.Cos^2\alpha$$

Exemple

Les lectures interceptées sur la mire sont : $L_A = 1{,}855m$, $L_B = 1{,}405m$

α = 10 gr, $L_A = 1{,}855m$ $K = 100$

D'où la valeur de la distance D qui vaut :

$$D = 100.(1{,}855 - 1{,}405).Cos^2 10 = 43{,}90m.$$

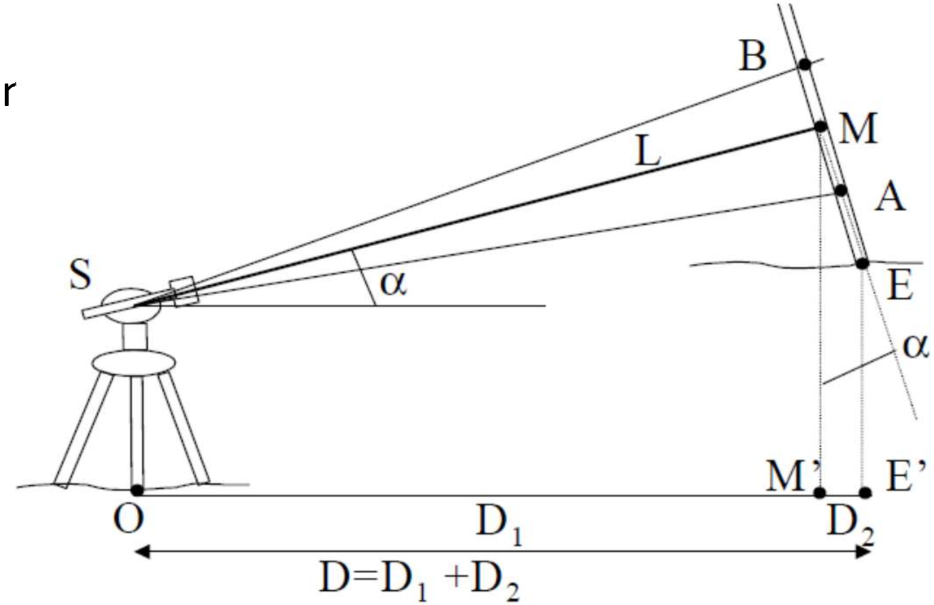
Mire perpendiculaire à la visée principale

Le principe de la stadimétrie s'applique parfaitement. On mesure le site de la visée : α, la hauteur de mire EM et on lit $AB = H$ sur la mire.

Visée ascendante: la distance OE horizor
D, voir fig. suivante, est égale à
D= D1+D2

$$D_1 = L.Cos\alpha \text{ et } D_2 = EM.Sin\alpha$$

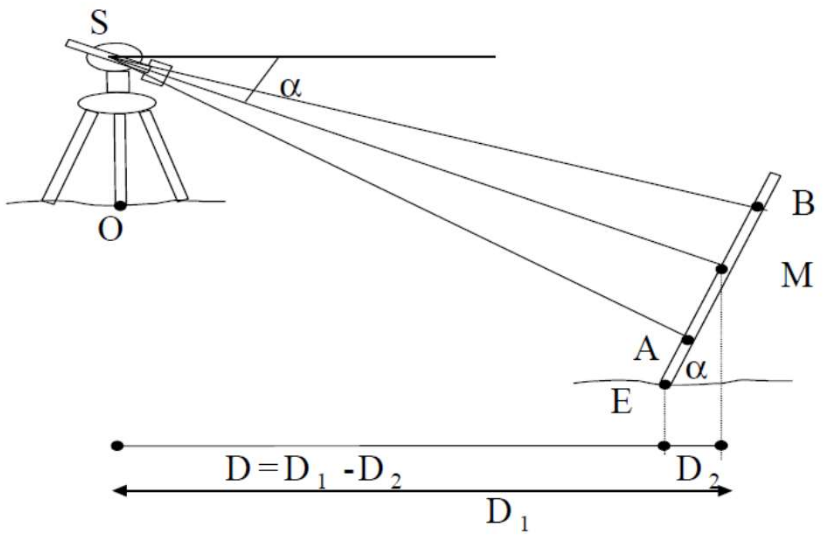
$$D = L.Cos\alpha + EM.Sin\alpha$$



Mire perpendiculaire à la visée principale **(Visée ascendante).**

Visée descendante: la distance OE horizontale D suivante la figure ci-dessous, D= D1-D2

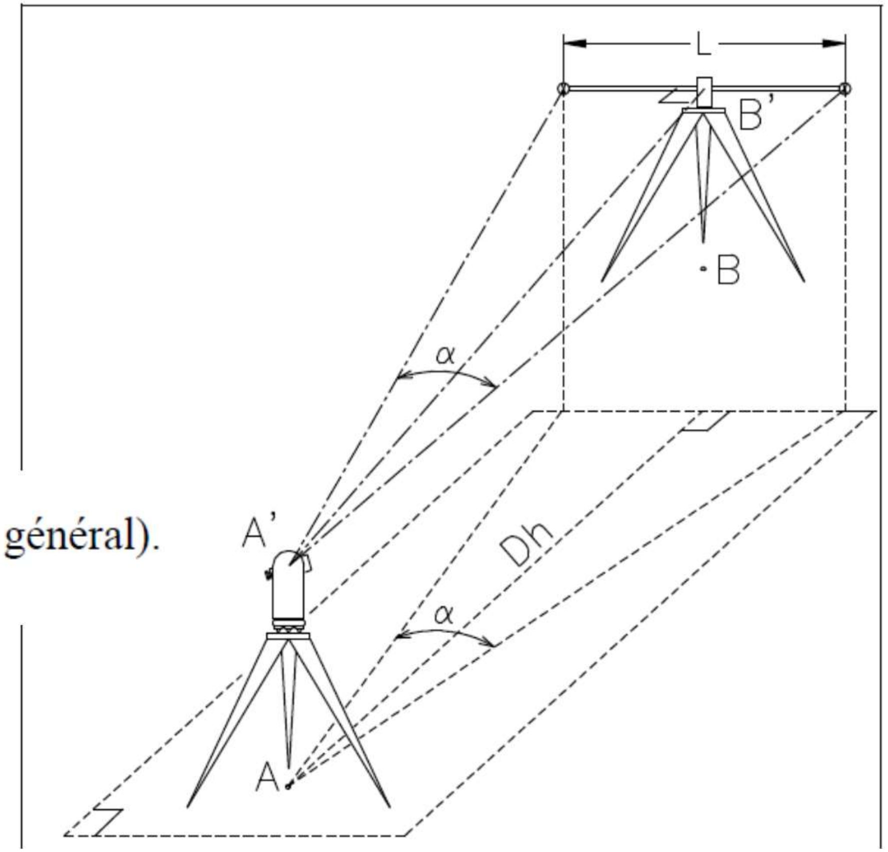
$$D = L.Cos\alpha - EM.Sin\alpha$$



Mire perpendiculaire à la visée principale **(Visée descendante)..**

Mesure avec une stadia

L'opérateur dispose en A un théodolite (ou un cercle d'alignement) et en B une stadia horizontale perpendiculaire à la distance à mesurer AB.



$$\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{L}{2Dh} \Rightarrow \boxed{Dh = \cot\frac{\alpha}{2}}$$ avec $L = 2$ m (cas général).

Le théodolite optique

Un **théodolite** est un appareil permettant de mesurer des **angles horizontaux** (angles projetés dans un plan horizontal) **et des angles verticaux** (angles projetés dans un plan vertical).

Terminologie

Un **goniomètre** permet de mesurer des angles horizontaux (appelés aussi angles azimutaux) ou verticaux.

Un **cercle** permet la mesure d'angles horizontaux uniquement.

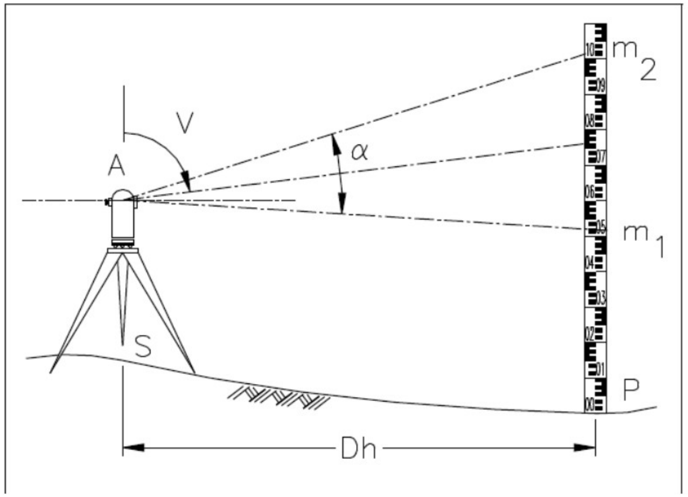
L'**éclimètre** mesure des angles verticaux uniquement.

Le **clisimètre** permet la mesure directe de pentes avec une précision de 0,5 %.

Le **tachéomètre** est un théodolite couplé à un système de mesure de distances (du grec *tachéo*, qui signifie rapide). On distingue :

Mesure stadimétrique

La stadimétrie est une méthode moins précise que les précédentes. Elle permet la mesure indirecte d'une distance horizontale en lisant la longueur interceptée sur une mire par les fils stadimétriques du réticule de visée.



Le point A, centre optique d'un théodolite, est situé à la verticale du point stationné en S ; l'opérateur vise une mire posée en P et effectue la lecture interceptée par chaque fil sur la mire soit m_1 et m_2.

La distance horizontale Dh égale à: $\boxed{Dh = \frac{m_2 - m_1}{2\tan\frac{\alpha}{2}} \sin^2 V}$

Si la visée est horizontale (V=100gr), Dh égale à: $\boxed{Dh = \frac{m_2 - m_1}{2\tan\frac{\alpha}{2}}}$

Si l'angle α est constant dans l'appareil utilisé, on a : $Dh = K(m_2 - m_1)\ \sin^2 V$.

La constante $K = \frac{1}{2\tan(\alpha/2)}$ est appelée **constante stadimétrique**.

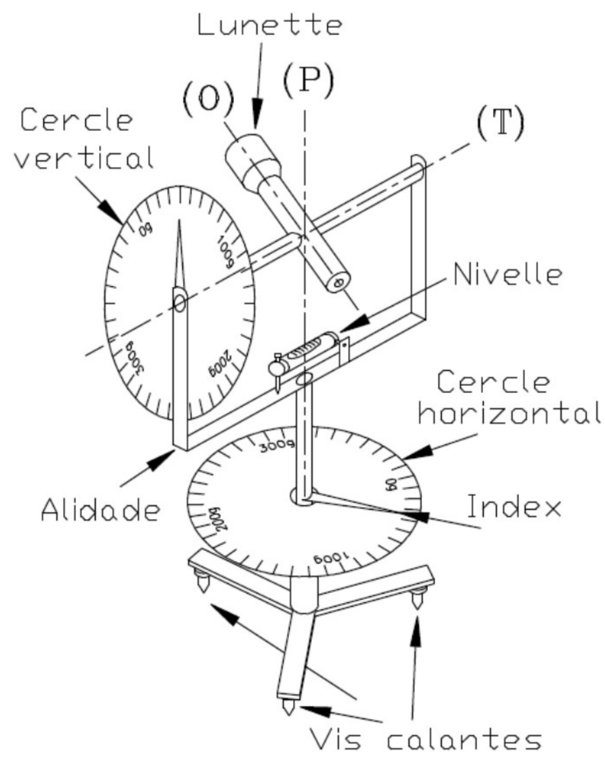
Elle vaux 100 ⇒ $\boxed{Dh = 100(m_2 - m_1)\sin^2 \mathrm{V}}$.

Pour V=100gr ⇒ $\boxed{Dh = 100(m_2 - m_1)}$.

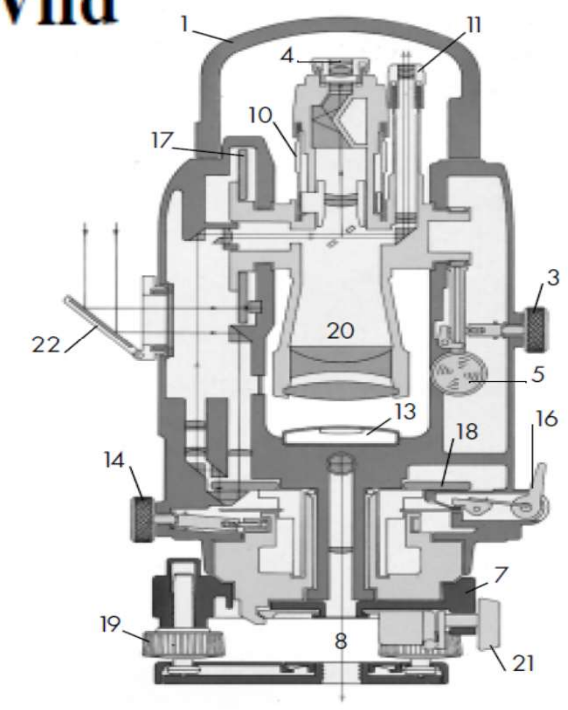
Principe de fonctionnement

le schéma de principe du fonctionnement d'un théodolite.

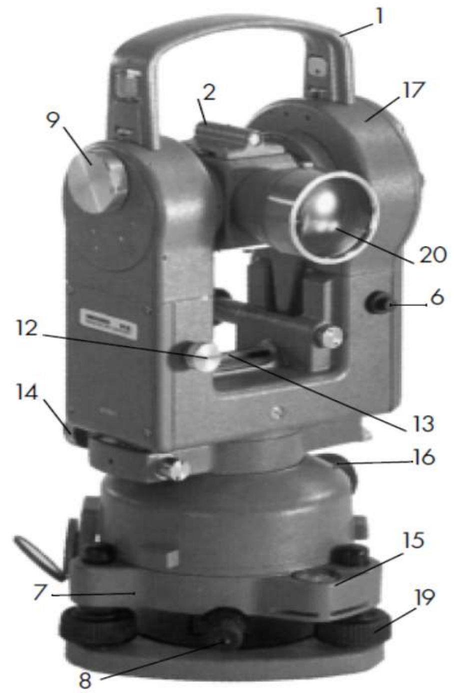
- (P) : **axe principal**, il doit être vertical après la mise en station du théodolite et doit passer par le centre de la graduation horizontale (et le point stationné).
- (T) : **axe secondaire** (ou **axe des tourillons**), il est perpendiculaire à (P) et doit passer au centre de la graduation verticale.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



théodolites Wild



T16 (coupe)



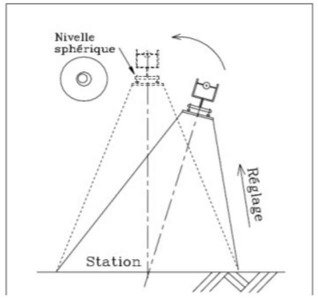
T2 vue extérieure

Légende

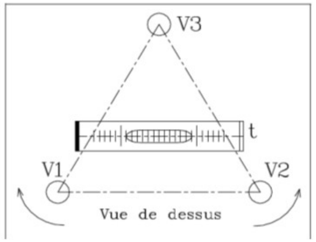
1. Poignée amovible	12. Commutateur de lecture Hz-V
2. Viseur d'approche	13. Nivelle d'alidade
3. Vis de blocage de la lunette	14. Vis d'alidade de fin pointé
4. Oculaire de la lunette	15. Nivelle sphérique
5. Vis de fin pointé	16. Débrayage du limbe (T16)
6. Contrôle d'automatisme	17. Cercle vertical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

Mise en station d’un théodolite et la lecture

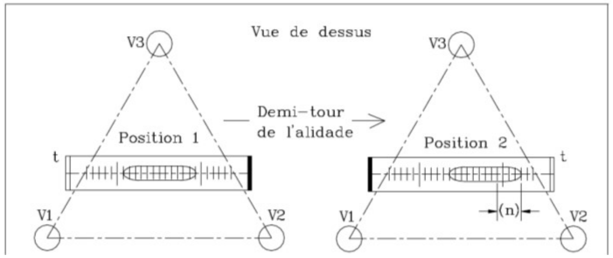
1^{er} calage par rapport à la bulle circulaire (plateau horizontal)



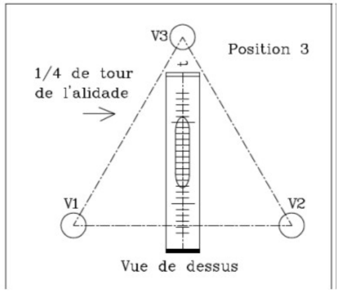
2em réglage par rapport à une ligne qui passe par V1 et V2 selon la direction de la bulle torique (ligne horizontal), toujours on réglé avec les deux vises au même temps.



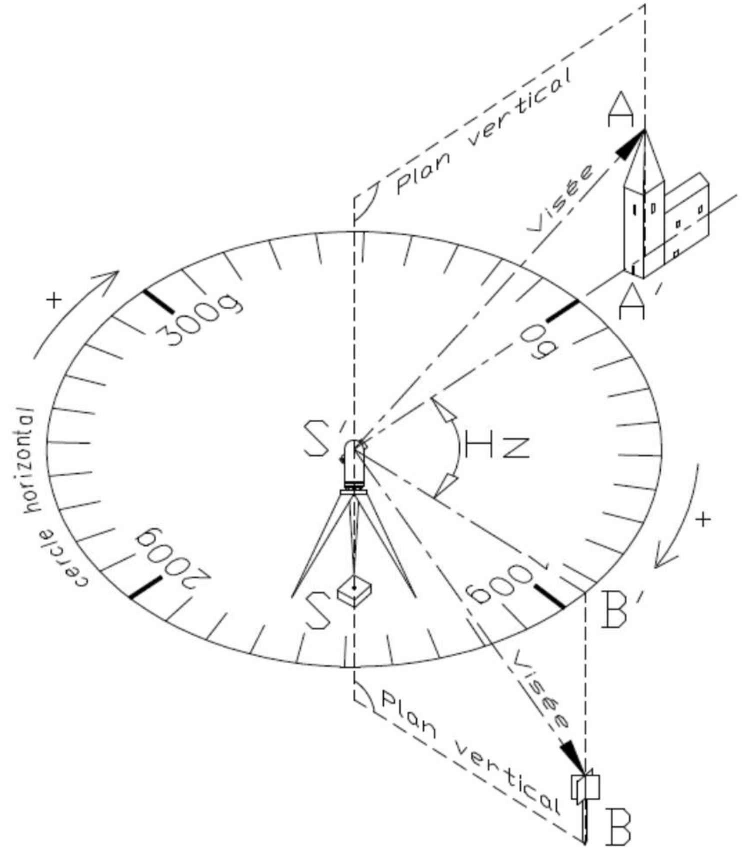
3em réglage (**demi tour de l'alidade , 200gr**) par rapport à une ligne qui passe par V1 et V2 (ligne horizontal) en position 1 bien réglée en position 2 inclinée vers V2.



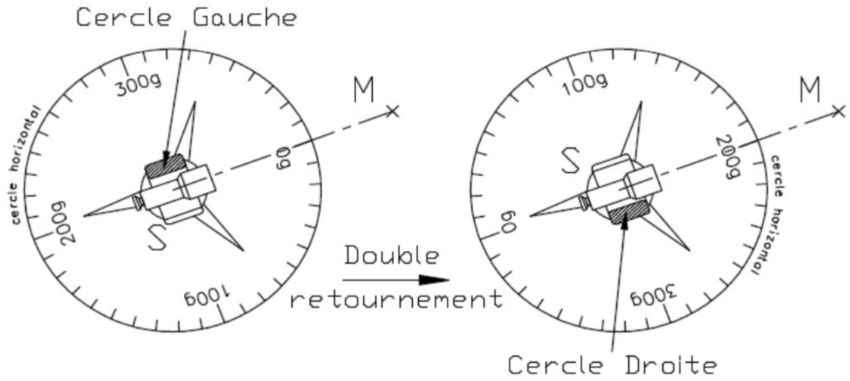
4em réglage par la vise 3 par rapport à un plan qui passe par V1, V2 et V3 (plan horizontal) ¼ de tour, 100gr.



Angles horizontaux
Cercle horizontal



Le double retournement



Pratiquement, on effectue :

- une lecture en **cercle gauche** (cercle vertical de l'appareil à gauche de l'opérateur, plus généralement en **position de référence**) ;
- un double retournement ;
- une nouvelle lecture du même angle en cercle droite (cercle vertical à droite).

Si l'on appelle Hz_{CG} la valeur lue en cercle gauche, et Hz_{CD} celle lue en cercle droit, on doit observer :

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

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.

L'angle horizontal Hz mesuré vaut alors :

$$Hz = \frac{Hz_{CG} + (Hz_{CD} - 200)}{2} \qquad \text{si } Hz_{CD} > 200 \text{ gon}$$

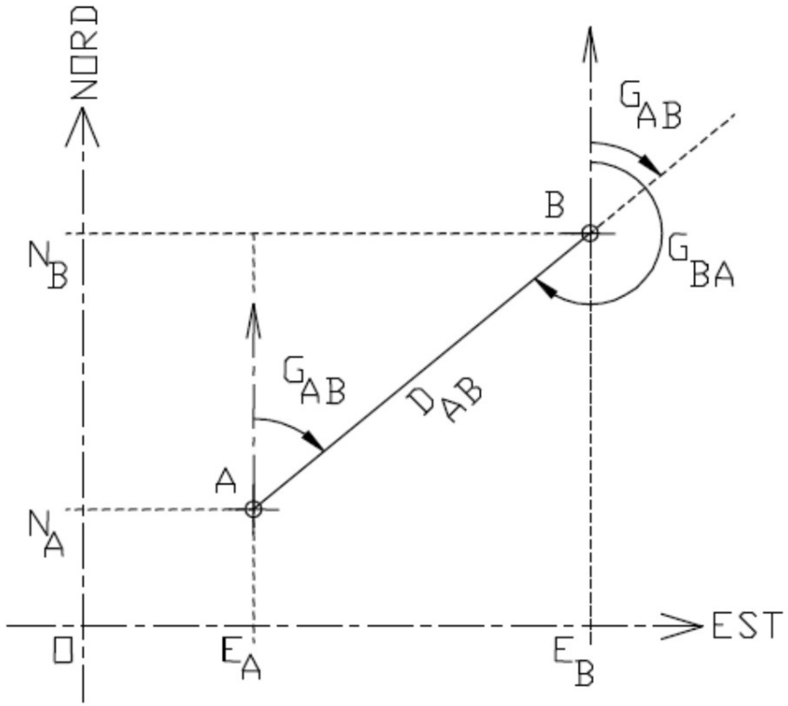
$$Hz = \frac{Hz_{CG} + (Hz_{CD} - 200 + 400)}{2} = \frac{Hz_{CG} + (Hz_{CD} + 200)}{2} \qquad \text{si } Hz_{CD} < 200 \text{ gon}$$

CALCUL DE GISEMENT

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} (ou aussi V_{AB}).

Mathématiquement, c'est l'angle positif en sens horaire entre l'axe des ordonnée du repère et le vecteur AB, il est compris entre 0 et 400gr,

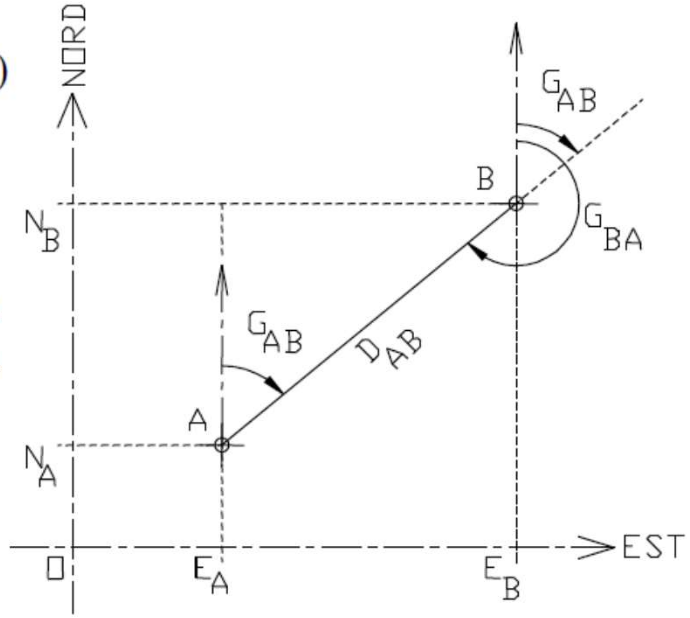


G_{BA} est l'angle entre le Nord et la direction BA.

La relation qui lie G_{AB} et G_{BA} est : $\boxed{G_{BA} = G_{AB} + 200}$

Calcule du gisement a 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} : $\tan G_{AB} = \dfrac{E_B - E_A}{N_B - N_A}$

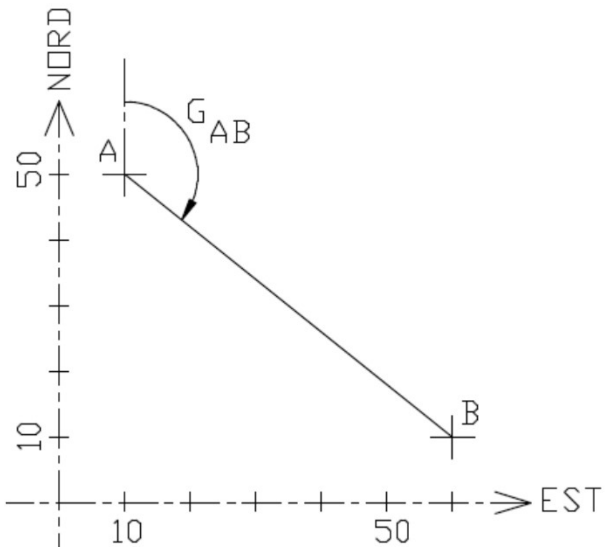
Application: calculer a partir de la formule ci-dessus le gisement dans la direction AB.

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

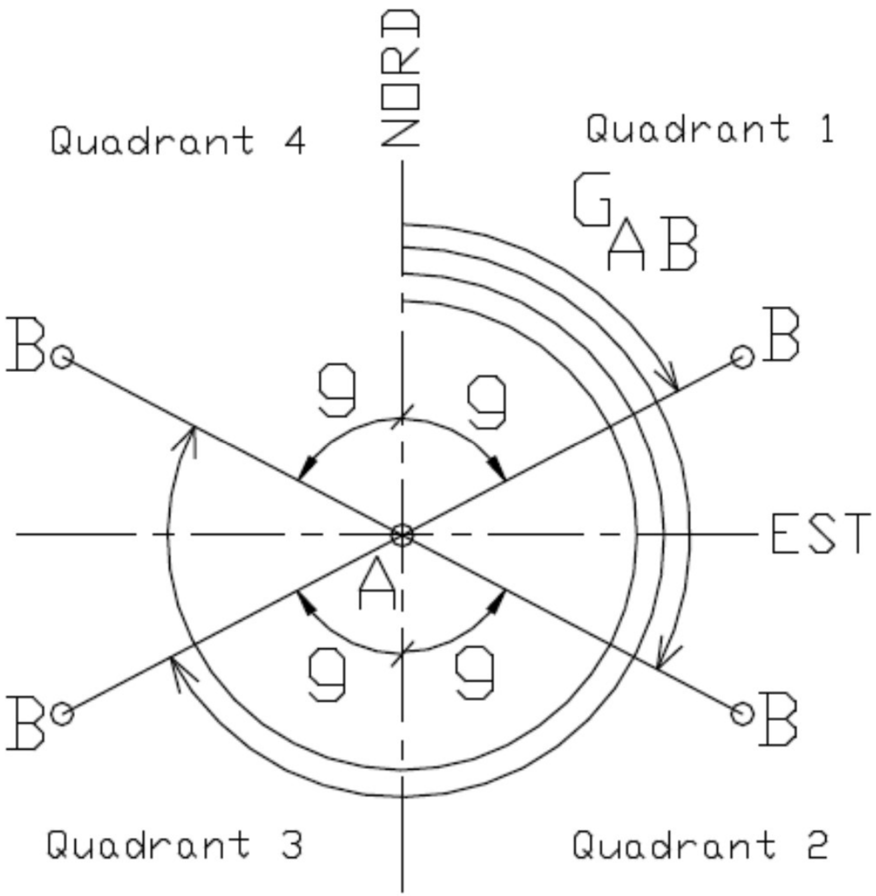
$\Delta E = E_B - E_A = +50$

$\Delta N = N_B - N_A = -40$

$G_{AB} = \tan^{-1}(50/-40) = -57{,}045$ gon



On observe que dans ce schéma il y a une incohérence de ce résultat.
L'angle donnée est visiblement pas égal à -57,045gr mais c'est -57,045+400= 342,955gr.
En fait, il y a l'angle auxiliaire, pour obtenir GAB il faut donc tenir compte de la position B par rapport au point A. donc on parle de quadrants.



- Quadrant 1 : B est à l'est et au nord de A ($\Delta E > 0$ et $\Delta N > 0$).

$$\boldsymbol{G_{AB} = g}$$

- Quadrant 2 : B est à l'est et au sud de A ($\Delta E > 0$ et $\Delta N < 0$).

$$\boldsymbol{G_{AB} = 200 + g} \text{ (avec } g < 0\text{)}$$

- Quadrant 3 : B est à l'ouest et au sud de A ($\Delta E < 0$ et $\Delta N < 0$).

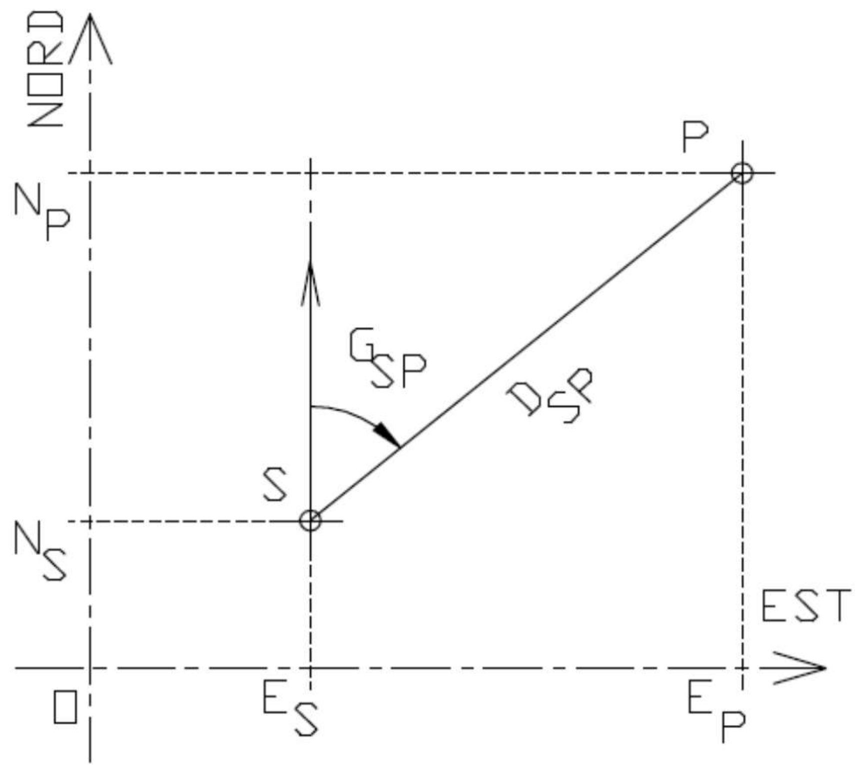
$$\boldsymbol{G_{AB} = 200 + g} \text{ (avec } g > 0\text{)}$$

- Quadrant 4 : B à l'ouest et au nord de A ($\Delta E < 0$ et $\Delta N > 0$).

$$\boldsymbol{G_{AB} = 400 + g} \text{ (avec } g < 0\text{)}$$

Utilisation du gisement pour calculer les coordonnées

$$\boxed{\begin{aligned} E_P &= E_S + D_{SP} \cdot \sin G_{SP} \\ N_P &= N_S + D_{SP} \cdot \cos G_{SP} \end{aligned}}$$



Exemple

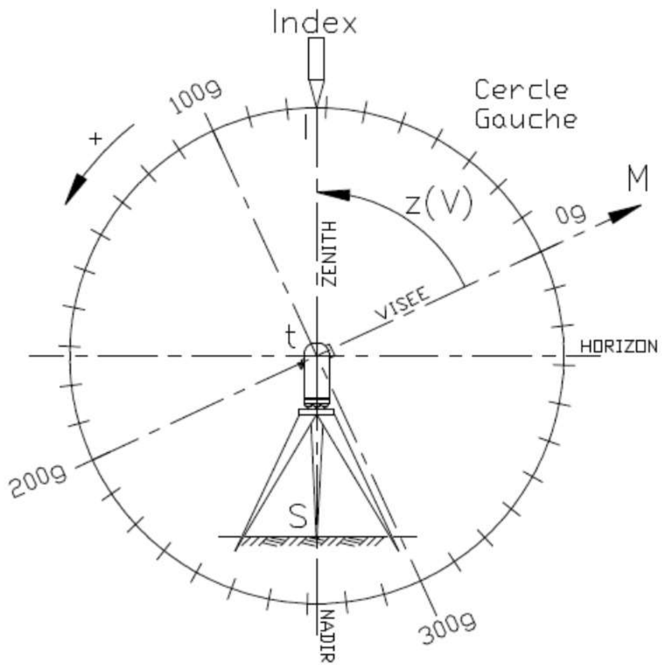
S (680 379,84 ; 210 257,06) est donné en coordonnées Lambert (m), calculez les coordonnées de P tel que : D_{SP} = 45,53 m et G_{SP} = 172,622 gon.

Réponse

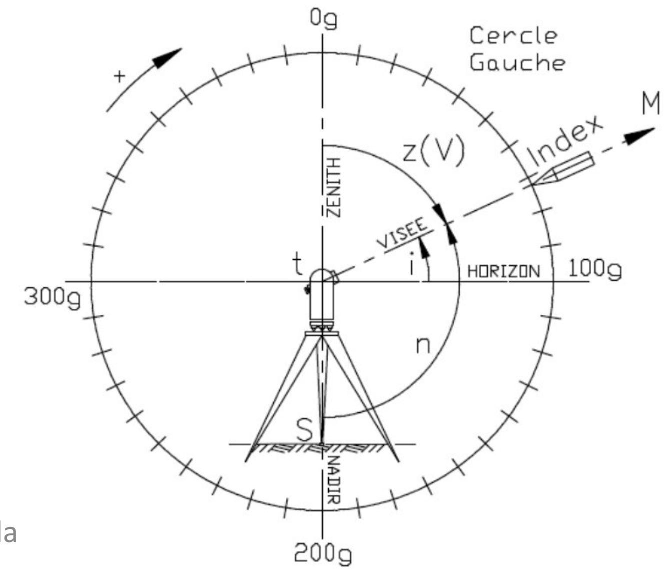
P (680 398,82 ; 210 215,68)

ANGLES VERTICAUX

L’angle vertical z noté V est indiqué par le cercle vertical du théodolite en position de référence **cercle gauche**, ce cercle est solidaire avec la lunette.
z est appelé l’angle zénithal, c’est un angle projeté dans l’axe vertical de l’appareil,



Lecture de l’angle zénithal z



Ceci permet de faire apparaître plus clairement :

- **l’angle de site *i*** entre l’horizon et la visée ;
- **l’angle nadiral *n*** entre le nadir et la visée.

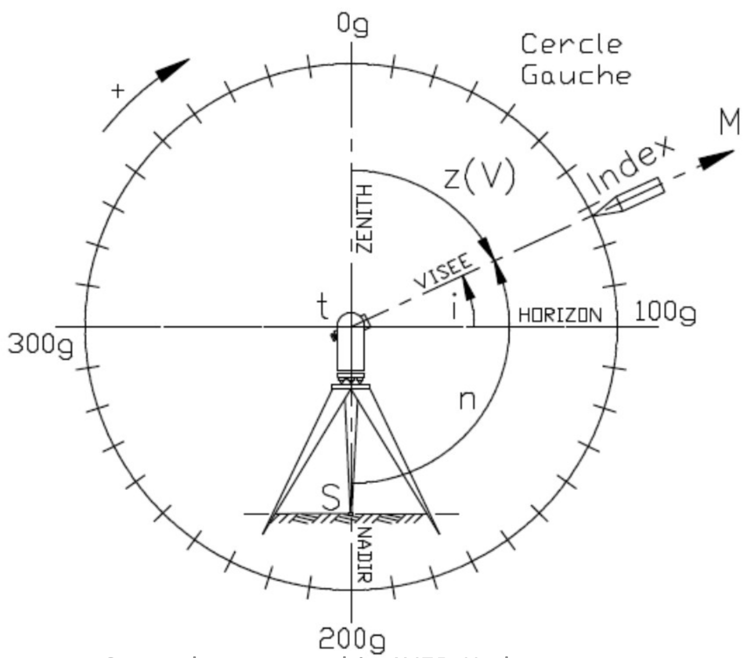
résumé

- *V* tout angle mesuré dans un plan vertical ;
- ***z* angle zénithal** ;
- ***i* angle de site** (par rapport à l’horizon) ;
- ***n* angle nadiral** (par rapport au nadir).

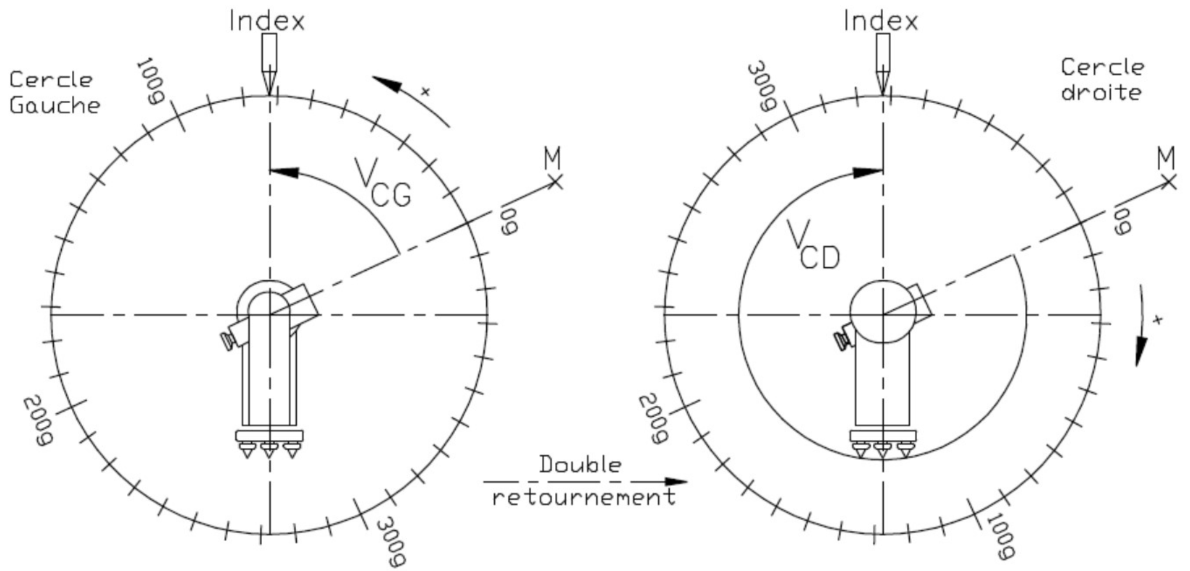
Pour la suite, nous avons préféré la notation ***V* pour les angles zénithaux** car l'angle V mesuré par les appareils modernes est toujours l'angle zénithal z. De plus, cela permet d'éviter la confusion avec les coordonnées notées Z.

Les relations entre ces angles sont : $\boxed{n = 200 - V}$ $\boxed{i = 100 - V}$ $\boxed{100 = n - i}$

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.



Double retournement



La relation entre les deux lectures est : $V_{CG} = 400 - V_{CD}$

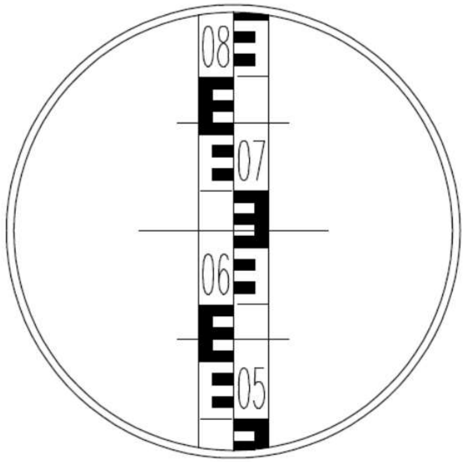
L'angle final moyen déduit des deux lectures est : $V = \dfrac{V_{CG} + (400 - V_{CD})}{2}$

Remarque

- Si la précision des mesures ne nécessite qu'une lecture, elle sera faite en position de référence de manière à lire directement l'angle V. Dans ce cas, $V = V_{CG}$.
- Sur le terrain, on vérifie en permanence la cohérence de V_{CD} et V_{CG} pour limiter les fautes de lecture.
- On peut augmenter la précision de lecture en effectuant les lectures de l'angle V **sur les trois fils** (stadimétriques S′ et S, niveleur N) : ceci minimise les erreurs de pointés et les risques de faute de lecture.

Exemple de lectures multiples

Fils CG / CD	CG (gon)	CD (gon)	Angle V moyen : [CG + (400–CD)]/2
S′/S	92,1628	306,7532	*92,7048*
N/N	92,4800	307,0711	*92,7045*
S/S′	92,7973	307,3903	*92,7035*
Moyenne : (S′+S)/2	*92,4801*	*307,0718*	
S – S′	*0,6345*	*0,6371*	*92,7043*



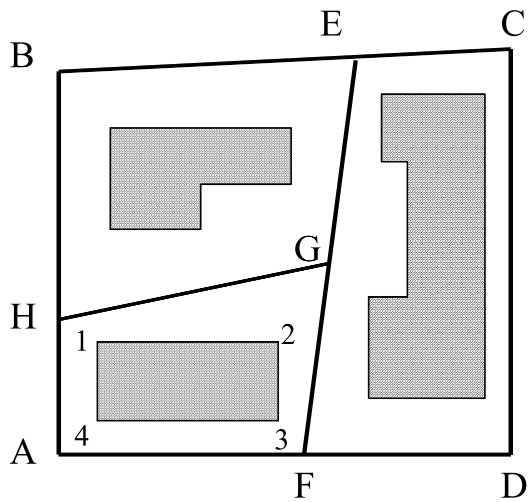
PLANIMETRIE

1. GENERALITES

Un “ levé topographique ” est une opération qui se déroule généralement en deux phases distinctes et complémentaires :L’établissement d’un canevas, Le levé des détails

1.1 *Le canevas*

constitué de points bien répartis sur la surface à lever, la position desquels doit être établie avec une précision au moins égale à celle que l’on attend du levé. Par des mesures d’angles et de distances, on détermine les coordonnées X et Y de chacun de ces points encore appelés “ sommets ” ou “ stations ”. Le canevas doit être homogène (côtés de longueur sensiblement égale), proche des détails à lever et doit comporter un nombre réduit de côtés (n=10 à 12 maximum). Les stations du canevas serviront d’appui au levé des points de détail et ne figureront pas sur le plan définitif.



ABCD : Canevas principal
EFGH : Canevas secondaire
A, B, C, D : Stations principales
E, F, G, H : Stations secondaires
1, 2, 3… : Points de détail

1.2 *Le levé des points de détail*

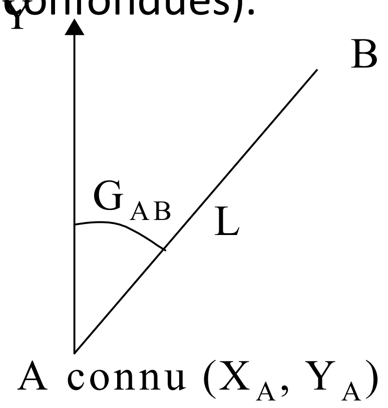
Ils sont déterminés avec le maximum de précision, en vue de figurer sur le plan définitif. Chacun d’eux devra être contrôlé par des mesures surabondantes (minimum 3 éléments).

PRINCIPAUX PROCEDES DE LEVE

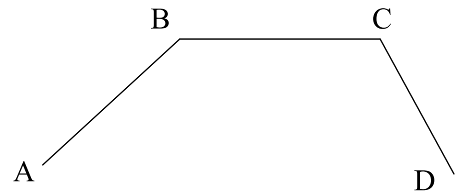
2.1 *Le cheminement ou polygonation*

<u>Définition :</u>

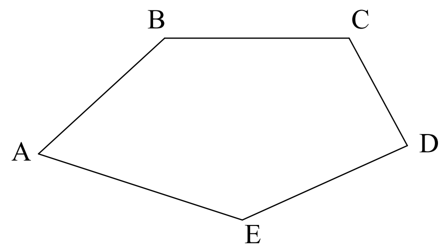
Le cheminement est une série de rayonnements consécutifs allant d'un point connu A à un autre point connu D. Le rayonnement est rappelons le l'opération qui consiste à fixer à partir d'un point donné A, la position d'un autre point (B par ex), connaissant sa direction et sa distance (L)). Le cheminement peut être ouvert (origine et extrémité différentes) ou fermé (origine et extrémité confondues).



Rayonnement



Cheminement ouvert

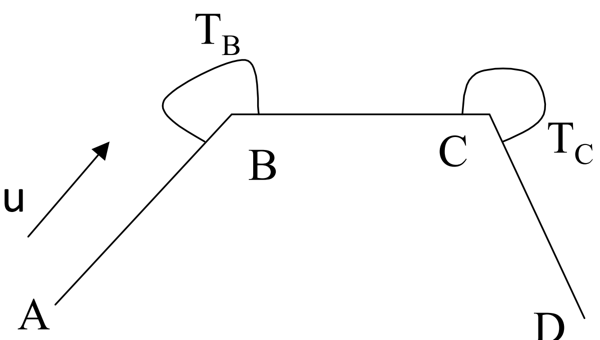


Cheminement fermé

<u>Exécution d'un cheminement :</u>

•*<u>Mode décliné</u>* : Chaque côté est lié à une direction de référence qui est ici le Nord magnétique.

•*<u>Mode goniométrique</u>* : La direction d'un côté est liée à celle du côté précédent par l'angle observé qu'ils font entre eux (angle topographique, désigné par la lettre T, angle à gauche par rapport au sens du cheminement).

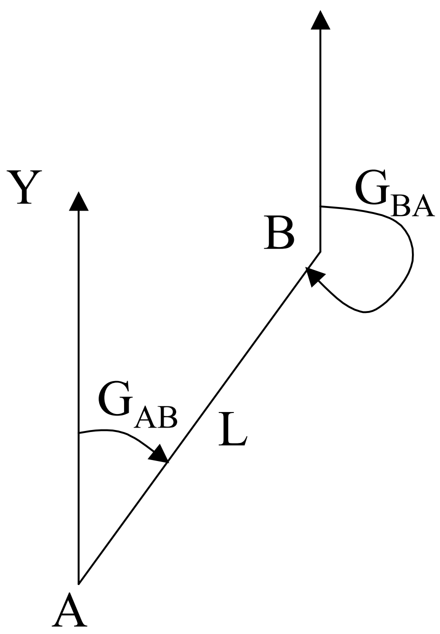


PRINCIPAUX PROCEDES DE LEVE

Transmission de gisements :

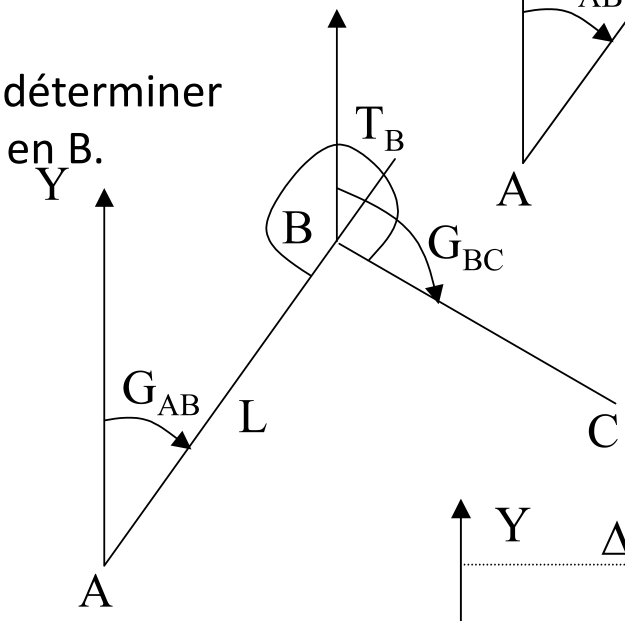
Rappelons que le gisement d'un côté AB est l'angle formé par ce côté avec l'axe OY (compté dans le sens direct, sens indiqué par les aiguilles d'une montre). Si l'on connaît G_{AB}, on pourra écrire :

$$G_{BA} = G_{AB} + 200 \text{ gr}$$



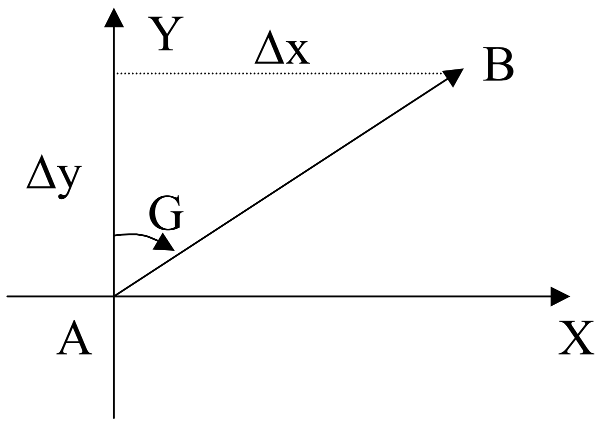
Le gisement étant défini à $2k\pi$ près, on pourra déterminer G_{BC} à partir de G_{AB} et de l'angle topographique en B.

$$G_{BC} = G_{AB} + 200 \text{ gr} + T_B$$



Gisement de départ et de fermeture d 'un cheminement :

La formule précédente permet de calculer le gisement d'un côté si on a mesuré l'angle topographique et si on connaît le gisement du côté précédent. Dans un cheminement il faut donc connaître le gisement du premier côté. Pour cela il faut connaître les coordonnées des deux points constituant les extrémités du premier côté (ce sont les points géodésiques, généralement représenté par le symbole Δ sur les figures).



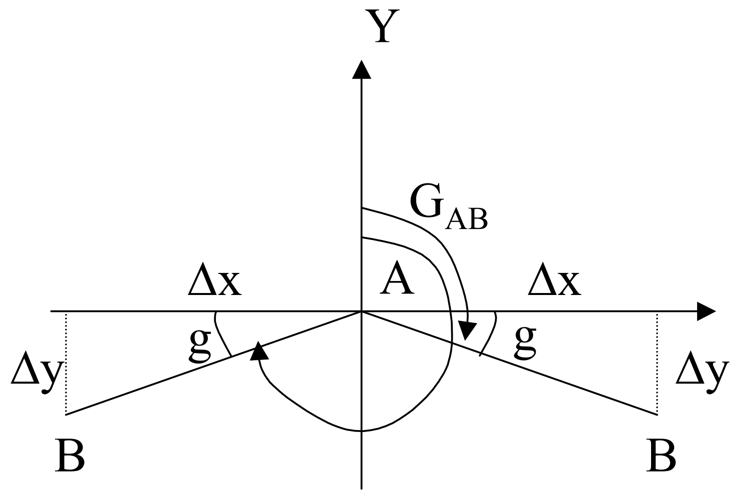
$\Delta x = X_B - X_A$

$\Delta y = Y_B - Y_A$

$\text{tg } G = \Delta x / \Delta y$,

d'où G (en grades)

PRINCIPAUX PROCEDES DE LEVE



Remarque : Notion de “ g ”

En fait pour faciliter les calculs, on détermine l’angle “g ” tel que tg g = (Δ le + petit/ Δ le plus grand).
Suivant le signe de Δx et de Δy et selon que Δx > Δy ou inversement, on a une relation simple entre “ g ” et G :

$$\mathbf{G_{AB} = 100\ gr + g \qquad G_{AB} = 300\ gr - g}$$

De la même manière, si l’on connaît les coordonnées des deux points constituant les extrémités du dernier côté du cheminement, on pourra déterminer le gisement de ce dernier côté, appelé **fermeture.**

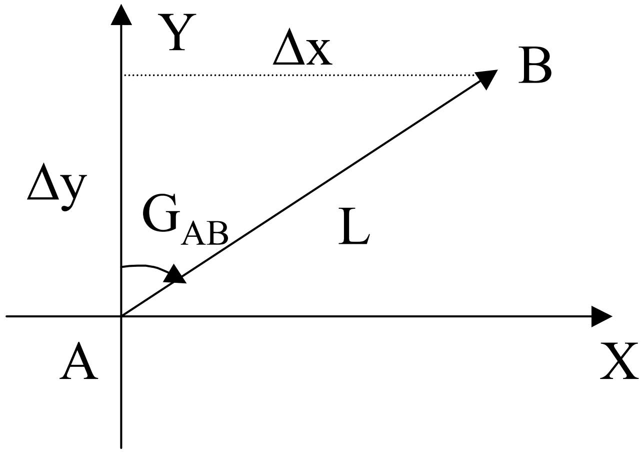
On s’assurera alors que le gisement de fermeture déterminé par transmission est bien égal au gisement de fermeture calculé indépendamment du cheminement.
Sinon on calcule : $\Delta G = G_{FEXP} - G_{FTHEO}$ (G_{FEXP} = gisement de fermeture expérimental, GF_{THEO} = gisement de fermeture théorique). Si ΔG (écart de fermeture angulaire) est inférieur à la tolérance fixée, on le répartit sur les angles topographique sachant que :

-La compensation est toujours de signe opposé par rapport à l’écart.

-Les angles dont les côtés sont les plus courts sont compensés prioritairement.

Les gisements sont modifiés en conséquence.

PRINCIPAUX PROCEDES DE LEVE



Calcul des coordonnées des sommets du cheminement :

A partir du point connu A, les coordonnées de B seront :

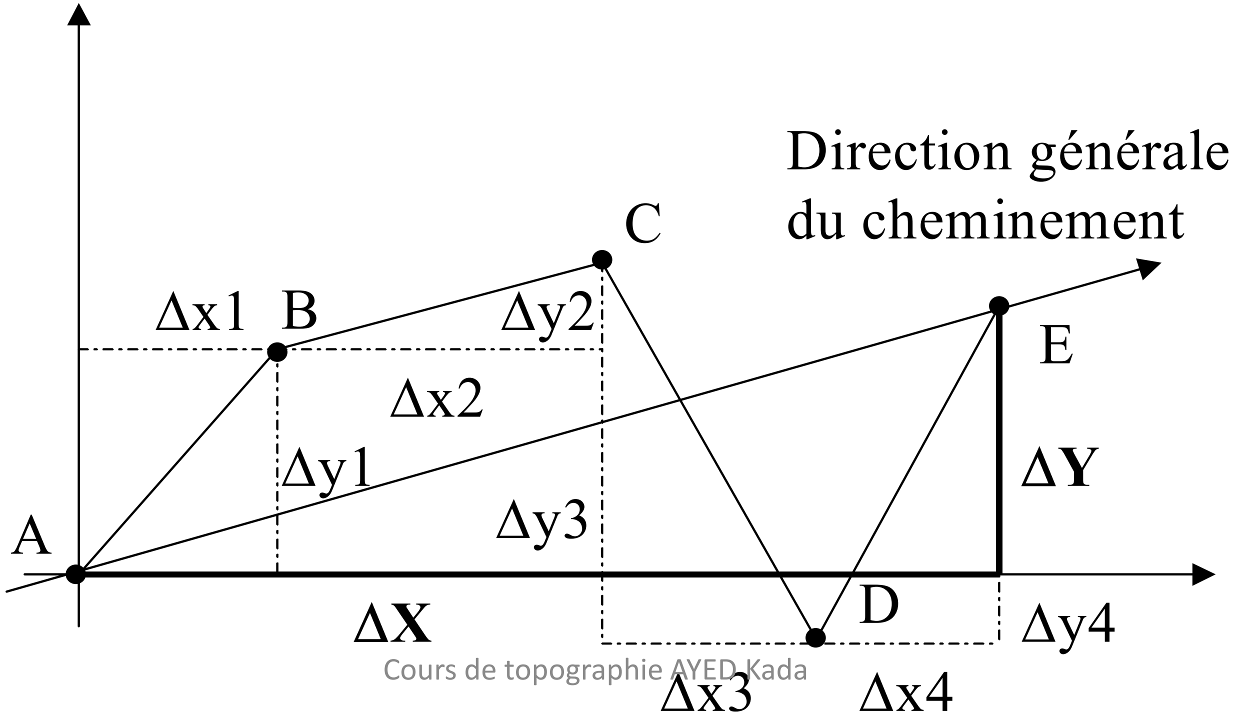
$X_B = X_A + \Delta x$ et $Y_B = Y_A + \Delta y$

Il faut donc déterminer les coordonnées relatives Δx et Δy :

$\Delta x = L \sin G_{AB}$

$\Delta y = L \cos G_{AB}$

Ainsi pour le cheminement AE représenté par la figure suivante, on déterminera de proche en proche, les différentes abscisses et ordonnées relatives $\Delta x1$, $\Delta x2$, $\Delta x3$… $\Delta y1$, $\Delta y2$, $\Delta y3$…



PRINCIPAUX PROCEDES DE LEVE

Écart de fermeture, compensation :

•On détermine la différence d'abscisses ΔX et d'ordonnées ΔY entre les points origine et extrémité du cheminement.

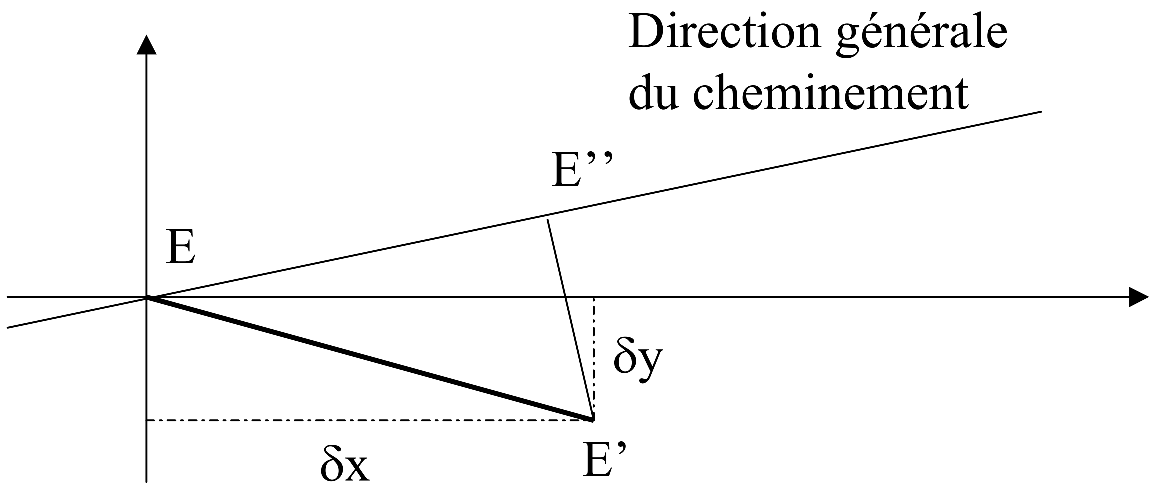
•On compare : ΔX à $\Sigma\Delta x$ ($\Delta x1 + \Delta x2 + \Delta x3$…)

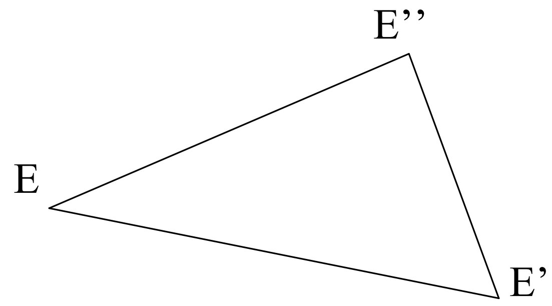
ΔY à $\Sigma\Delta y$ ($\Delta y1 + \Delta y2 + \Delta y3$…)

le travail est parfait alors $\Delta X = \Sigma\Delta x$ et $\Delta Y = \Sigma\Delta y$, sinon on calcule $\delta x = \Sigma\Delta x - \Delta X$ et $\delta y = \Sigma\Delta y - \Delta Y$

•On trace sur un graphe la direction générale du cheminement (droite qui joint l'origine à l'extrémité, A et E sur la figure).

•L'intersection des axes rectangulaires représentant l'extrémité théorique E du cheminement, on porte les écarts δx et δy pour situer le point d'arrivée expérimental E' (fig ci-dessous). L'écart EE' est appelé écart planimétrique de fermeture. On peut le décomposer en deux composantes orthogonales EE'' et E'E'' (en abaissant la perpendiculaire de E' sur la direction générale du cheminement). Après mesure de ces deux écarts et comparaison avec les tolérances fixées, on compense les coordonnées relatives (s'il y a lieu), proportionnellement à la longueur des côtés. Ce n'est qu'après cette ultime correction que l'on déterminera les coordonnées définitives des sommets du cheminement.



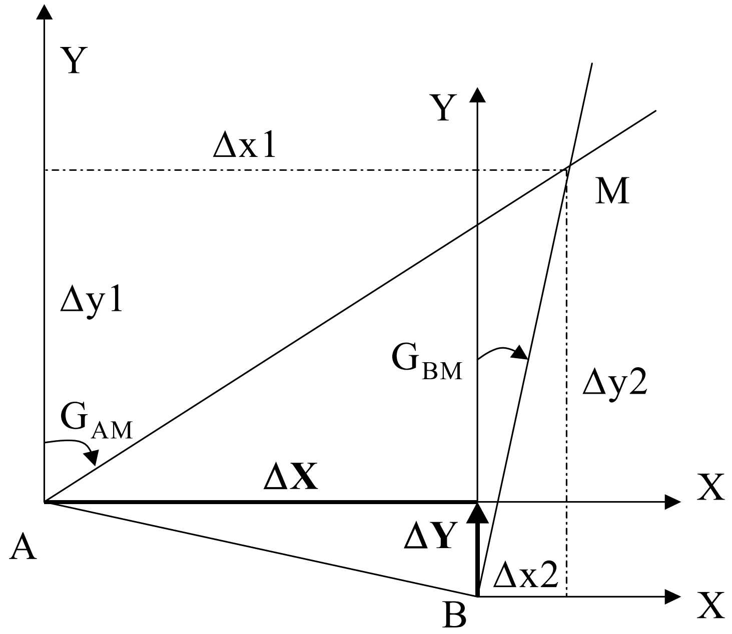


EE’’ : Ecart de fermeture en longueur

EE’ : Ecart de fermeture planimétrique

E’E’’ : Ecart de fermeture en direction

PRINCIPAUX PROCEDES DE LEVE



2.2 *L 'intersection*

Le principe consiste à déterminer les coordonnées d'un point M à partir de deux points connus A et B que l'on stationne tour à tour, soit avec une planchette (méthode graphique) soit avec un goniomètre (méthode calculée) et des directions AM et BM (gisements).

Cette méthode s'applique aussi bien aux points du canevas qu'aux points de détail. Elle ne nécessite aucune mesure de distance.

<u>Calcul des coordonnées d 'un point :</u>

(1) $\text{tg } G_{AM} = \Delta x1 / \Delta y1 \rightarrow \Delta x1 = \Delta y1.\text{tg } G_{AM}$

(2) $\text{tg } G_{BM} = \Delta x2 / \Delta y2 \rightarrow \Delta x2 = \Delta y2.\text{tg } G_{BM}$

(1) $X_M - X_A = (Y_M - Y_A) \text{ tg } G_{AM}$

(2) $X_M - X_B = (Y_M - Y_B) \text{ tg } G_{BM}$

Si l'on fait la différence (ΔX) :

$X_B - X_A = (Y_M - Y_A) \text{ tg } G_{AM} - (Y_M - Y_B) \text{ tg } G_{BM}$

$X_B - X_A = (Y_M - Y_A) \text{ tg } G_{AM} - [(Y_M - Y_A)+(Y_B - Y_A)] \text{ tg } G_{BM}$

$X_B - X_A = (Y_M - Y_A) \text{ tg } G_{AM} - (Y_M - Y_A) \text{ tg } G_{BM} + (Y_B - Y_A) \text{ tg } G_{BM}$

$X_B - X_A = (Y_M - Y_A) (\text{tg } G_{AM} - \text{tg } G_{BM}) + (Y_B - Y_A) \text{ tg } G_{BM}$

$$Y_M - Y_A = \frac{(X_B - X_A) - (Y_B - Y_A)\text{tg}G_{BM}}{\text{tg}G_{AM} - \text{tg}G_{BM}}$$

En multipliant par (-1) le second membre :

$$Y_M - Y_A = \frac{(X_A - X_B) - (Y_A - Y_B)\text{tg}G_{BM}}{\text{tg}G_{BM} - \text{tg}G_{AM}}$$

Enfin ; $Y_M = Y_A + \Delta y1$

Si l'on reporte $(Y_M - Y_A)$ dans (1) :

$X_M - X_A = (Y_M - Y_A) \text{ tg } G_{AM}$ on peut en déduire X_M.

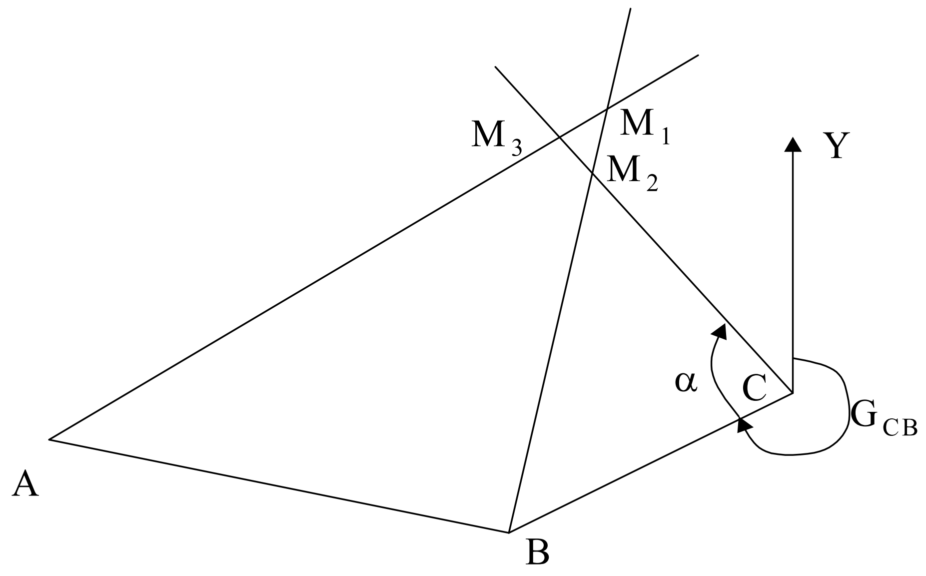
Le point M ainsi déterminé (susceptible d'être le point M) est appelé M_1 (point approché).

PRINCIPAUX PROCEDES DE LEVE

Contrôle :

Pour vérifier l'intersection on stationne un troisième point connu C et l'on calcule les coordonnées du point M_2 obtenu par l'intersection des visées CM et BM et du point M_3 obtenu par l'intersection des visées AM et CM.

Si les coordonnées des points M_1, M_2 et M_3 sont voisines, on peut prendre pour coordonnées du point M cherché celles du barycentre relatif au triangle M_1, M_2, M_3, solution lourde au point de vue du calcul.



On lui préfère celle qui consiste à prendre les coordonnées du point approché M_1 et à déterminer G_{CM1}. **$tg\ G_{CM1} = X_{M1} – X_C / Y_{M1} - Y_C$**

Le gisement calculé G_{CM1} est comparé au G_{CM2} observé et obtenu par :

$G_{CM2} = G_{CB} + \alpha\ (\alpha = L_{CM2} – L_{CB})$

Si G_{CM1} et G_{CM2} diffèrent d'une quantité compatible avec les erreurs d'observation, l'intersection est vérifiée.

Application : exo 5 : Détail 8, 9, 12

A partir du cheminement fermé indépendant (G.C.), déterminer les coordonnées des points 8, 9 et 12, par intersection à partir des stations C et B. Contrôler ensuite les coordonnées des points : 8 par intersection à partir des stations A et C. 9 et 12 par rayonnement depuis B.

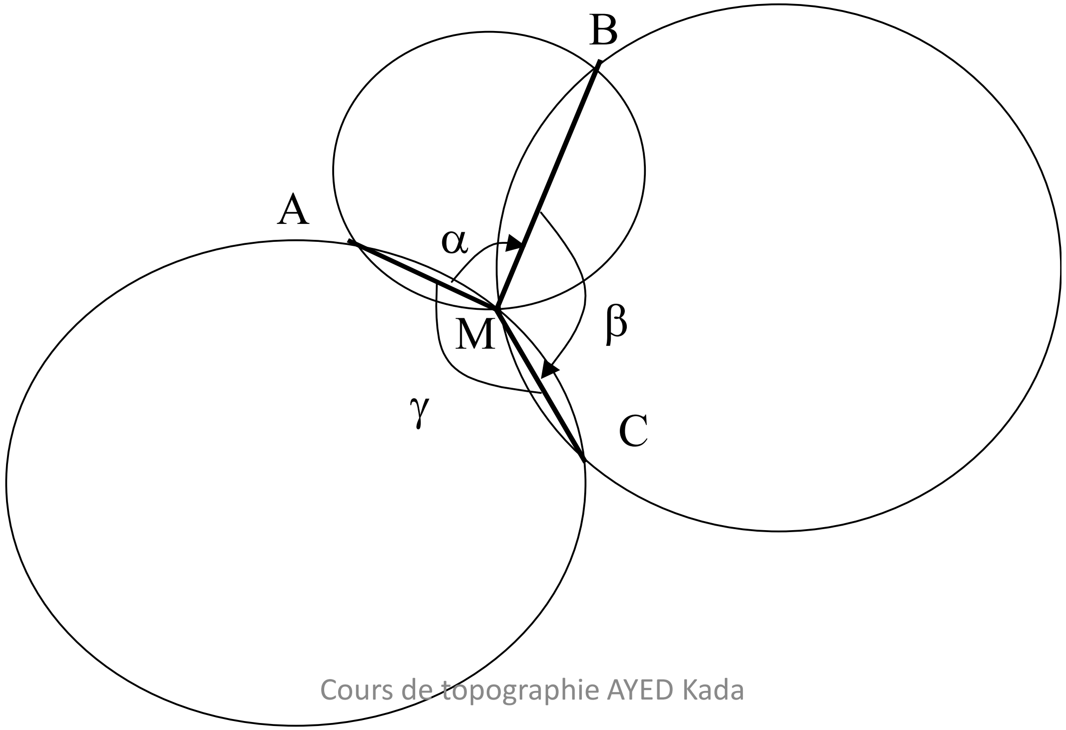
2.3 ***Le relèvement***

Principe :

Déterminer les coordonnées d'un point M inconnu en stationnant ce point et en visant des points connus non stationnables. Soit M le point à déterminer et A, B, C trois points connus visibles de M. On stationne M et l'on mesure, en visant successivement les points A, B et C, les angles :

AMB = α, BMC = β, CMA = γ, $\alpha + \beta + \gamma$ = 400 gr

M se trouve à la fois sur l'arc capable de l'angle α relatif au segment AB, sur l'arc capable de l 'angle β relatif au segment BC et sur l'arc capable de l'angle γ relatif au segment AC.



PRINCIPAUX PROCEDES DE LEVE

Calcul des coordonnées d 'un point, méthode italienne :

1 – On détermine les coordonnées du point N (intersection du segment MC avec le cercle circonscrit à AMB). Pour cela : on détermine G_{AB} (à partir des coordonnées de A et B) : d'où

$\mathbf{G_{AN} = G_{AB} - \beta}$ **et** $\mathbf{G_{BN} = G_{BA} + \alpha}$

Les coordonnées de N sont obtenues par intersection connaissant A, B, G_{AN} et G_{BN}

2 – On détermine G_{NC} (à partir des coordonnées de N et C) Comme M, N et C sont alignés :

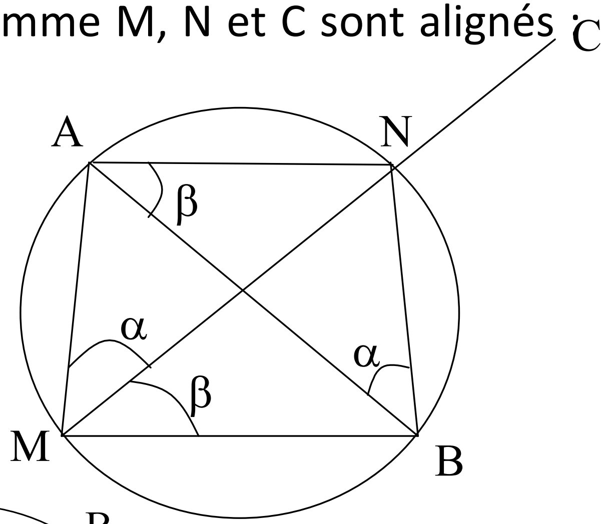
$\mathbf{G_{MC} = G_{NC}}$

$G_{MA} = G_{MC} - \alpha$

$G_{MB} = G_{MC} + \beta$

D'où G_{AM} et G_{BM}

On obtient ainsi M par intersection à partir de A, B, G_{AM}, G_{BM}



Remarque : Si M est interne à A, B, C

1 – $G_{AN} = G_{AB}$ – NAB, $G_{BN} = G_{BA}$ + NBA d'où :

NAB = NMB = 200 gr – β et NBA = NMA = 200 gr -γ

Les coordonnées de N sont obtenues par intersection

2 – Avec N et C connus on obtient G_{NC}

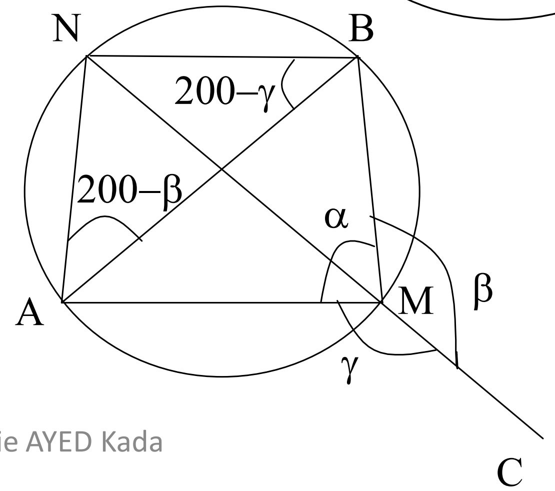
Comme N, M et C sont alignés alors $G_{MC} = G_{NC}$

$G_{MA} = G_{MC} + \gamma$ et

$G_{MB} = G_{MC} - \beta$

D'où l'on obtient G_{AM} et G_{BM}

Les coordonnées de M sont obtenues par intersection



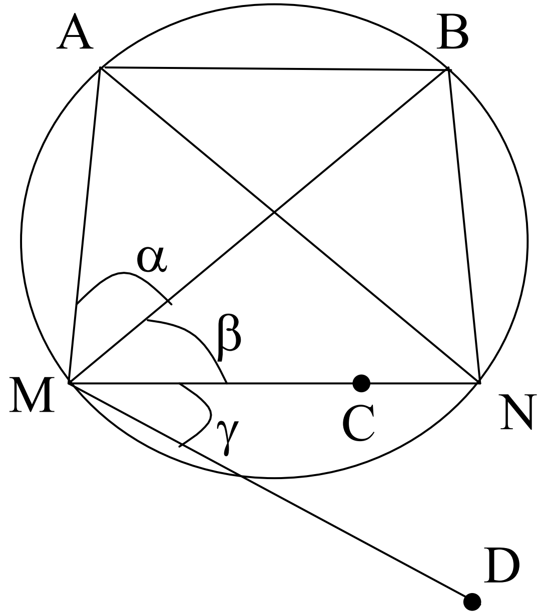
<u>Contrôle :</u>

La vérification du relèvement est réalisée en utilisant d'autres points D, E … connus. Soit un point D (X_D, Y_D) connu, on peut déterminer G_{MD} calculé (à partir des coordonnées des points M et D). Par ailleurs l'opérateur mesure sur le terrain l'angle CMD = γ (1) ou BMD = $\beta + \gamma$ (2)

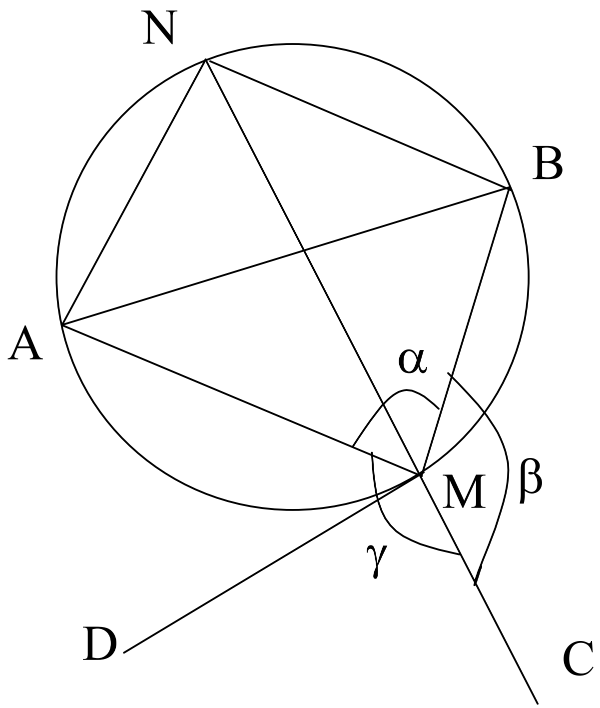
G_{MD} observé = $G_{MD} + \beta + \gamma$ (2)

G_{MD} observé = $G_{MB} + \gamma$ (1)

On compare G_{MD} calculé avec G_{MD} observé



M externe à A, B, C, D

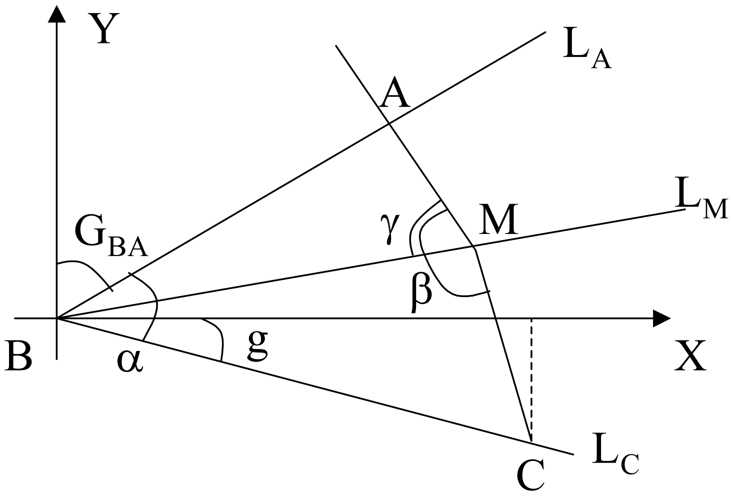


M interne à A, B, C, D

PRINCIPAUX PROCEDES DE LEVE

2.4 ***Le recoupement***

Déterminer les coordonnées d'un point M à partir de 3 points connus A, B et C dont au moins 1 est stationnable.



Calcul des coordonnées du point M :

On stationne le point B (en supposant que A et C ne soient pas stationnables), d'où G_{BA} calculé.

$$tgG_{BA} = \frac{X_A - X_B}{Y_A - Y_B}$$

On mesure l'angle α **= L_C - L_A**, on détermine ainsi **$G_{0'}$ = G_{BA} – L_A**

Par ailleurs on détermine de la même manière G_{BC} après avoir calculé g par :

$$tgg = \frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B}$$

d'où **G_{BC} = 100 gr + g**

On détermine ainsi **$G_{0''}$ = G_{BC} – L_C**, on prend pour G_0 la valeur moyenne **G_0 = ($G_{0'}$ + $G_{0''}$)/2**

On pointe alors M. Soit L_M la lecture. On obtient : **G_{BM} = G_0 + L_M**, d'où **G_{MB} = G_{BM} + 200 gr**

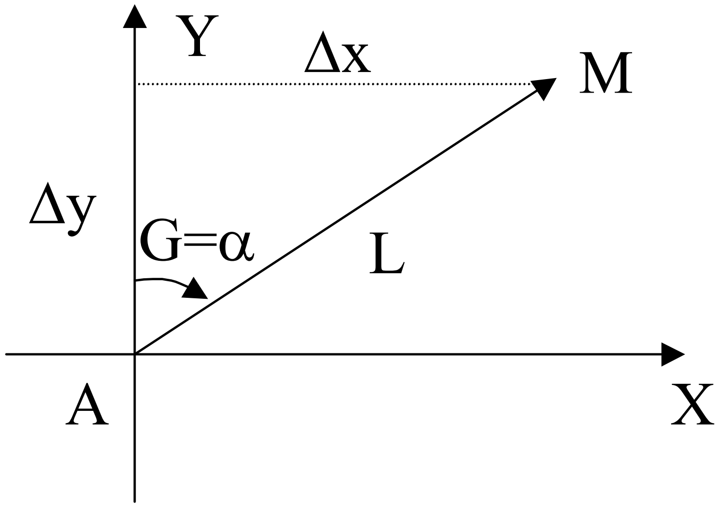
On stationne ensuite le point M d'où l'on mesure l'angle AMB = γ

On peut écrire **G_{MA} = G_{MB} + γ** et on a ainsi : **G_{AM} = G_{MA} + 200 gr**

Ainsi le calcul des coordonnées de M par recoupement se réduit à un calcul d'intersection, à partir de 2 visées issues de A et de B et de deux gisements connus G_{AM} et G_{BM}. Le point obtenu M_0 est sensé représenter le point M.

PROCEDES DE LEVE SECONDAIRES

3.1 ***Le rayonnement***



Principe :

Il s'agit de déterminer les coordonnées rectangulaires d'un point M à viser à partir d'une station A, connaissant la direction AM (déterminée à partir d'un axe de référence) et la distance AM.

Calcul :

La direction AM étant définie par son gisement, le calcul des coordonnées est simple. ($G_{AM} = \alpha$)

$\Delta x = L \sin \alpha$,

$\Delta y = L \cos \alpha$

D'où : $X_M = X_A + \Delta x$,

$Y_M = Y_A + \Delta y$

Contrôle :

On peut contrôler les coordonnées de M :

-Par rayonnement à partir d'un autre point connu B (Si l'on connaît BM et G_{BM})

-Par intersection à partir de A et B connues (connaissant G_{AM} et G_{BM})

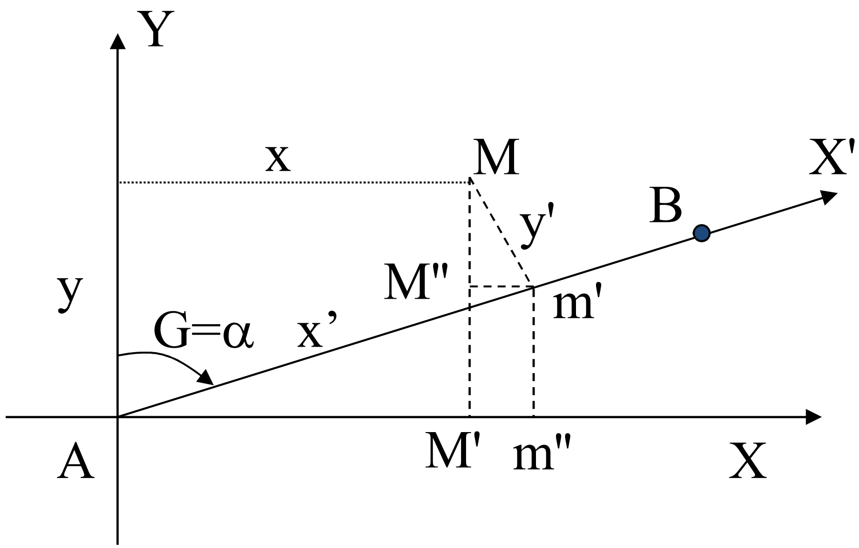
Application :

Déterminer les coordonnées des points 1 et 2 visés depuis la station O. On contrôlera ces deux points, par rayonnement à partir de la station C (le point 2 peut également être visé depuis la station A, le point 1 par intersection à partir des stations B et C).

PROCEDES DE LEVE SECONDAIRES

3.2 ***Abscisses et ordonnées***

Lorsque les points à lever sont très proches d'un alignement connu, il est souvent plus commode de les définir par leurs abscisses et ordonnées par rapport à cet alignement (ou ligne d'opération). Si la ligne d'opération est un côté du cheminement, les coordonnées des points sont obtenues à partir de celles des sommets ainsi que des abscisses et ordonnées (mesurées au ruban), par un calcul de changement de base classique.



<u>Calcul :</u>

Le point M proche de l'alignement AB est défini par son abscisse Am' = x' et son ordonnées Mm' = y'. La direction AB (ou AX') est connue : $\mathbf{G_{AB} = \alpha}$.

Déterminer les coordonnées rectangulaires de M (dans le système d'axes choisi AX, AY).

$\mathbf{X_M = X_A + x,\ Y_M = Y_A + y}$

On détermine d'abord les coordonnées relatives x et y : **x = Am'' – M'm'', y = m''m' + MM''**

soit : $\mathbf{x = x' \sin\alpha - y' \cos\alpha,\ y = x' \cos\alpha + y' \sin\alpha}$

PROCEDES DE LEVE SECONDAIRES

3.3 ***Trilatération***

L'utilisation d'appareils de mesure de distances tels les géodimètres, les telluromètres… permettent d'exécuter des canevas à partir des seules mesures des côtés : c'est le procédé de trilatération, par opposition à la triangulation, où l'on ne mesure que les angles.

<u>Principe :</u>

Un point M est déterminé à partir de deux points connus A et B par les distances AM et BM : M est à l'intersection des arcs de cercles de centre A et B et de rayons AM et BM.

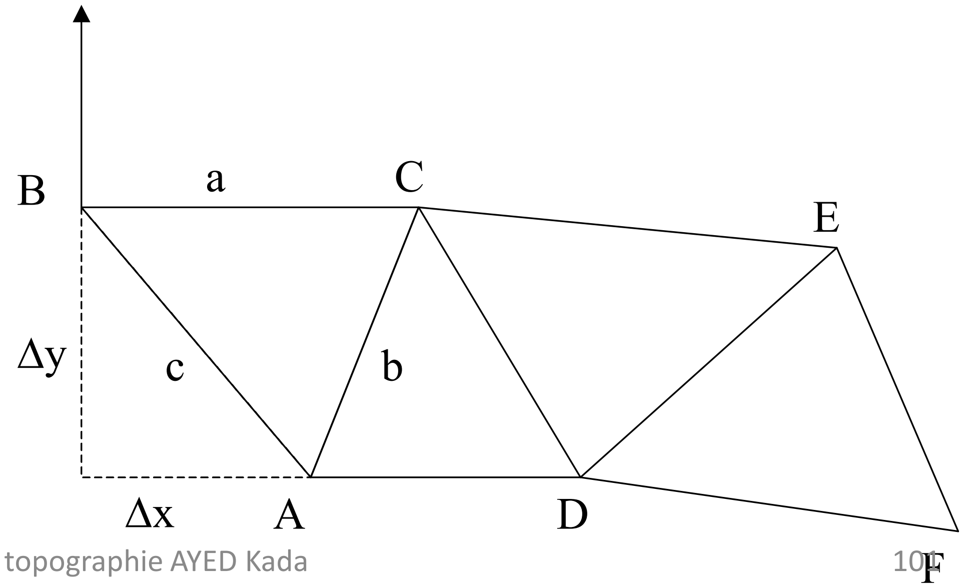
Une troisième mesure depuis un autre point C fournit un contrôle. Ce procédé n'est intéressant que lorsque les rayons sont courts et le levé est d'autant plus précis que l'angle AMB est voisin d'un angle droit. (Il faut éviter les angles trop fermés ou trop ouverts).

Ce procédé est surtout utilisé pour des levés de détails précis, d'étendue réduite (cour, impasse, levé intérieur d'un bâtiment). Il est aussi très utilisé pour les implantations.

<u>Calcul :</u>

Considérons une chaîne de triangles accotés BAC, ACD, etc… chaque côté intérieur est commun à deux triangles successifs.

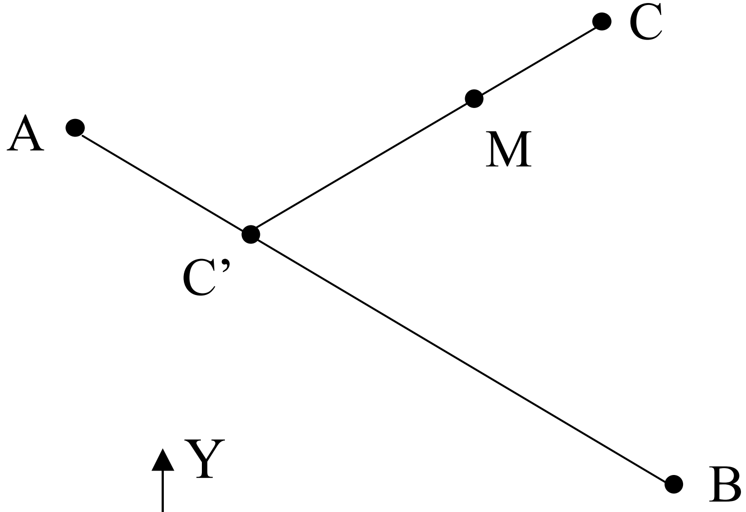
Supposons connus le gisement G_{AB} et les coordonnées du point A. On mesure sur le terrain les longueurs a, b, c, d etc…



3.4 ***Alignement et prolongement***

Principe :

Soient 3 points A, B, C et un point M à déterminer, C' l'intersection de l'alignement CM, et de l'alignement AB. Les distances AC' et C'M définissent le point M. Procédé précis lorsque les mesures de distances sont faciles (terrain découverts et peu accidentés. Il est d'autant plus avantageux que les détails à lever sont plus denses et mieux groupés sur les lignes droites. En outre, il ne nécessite qu'un matériel réduit (jalons, équerre optique, ruban, fil à plomb…)

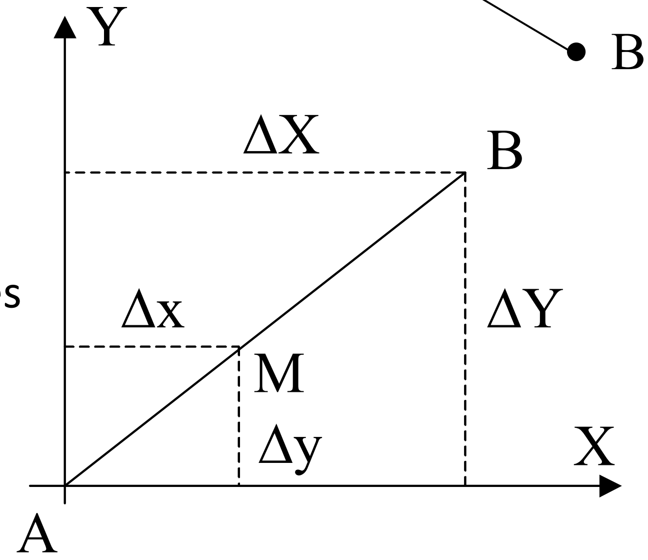


Calcul :

Si le point M est aligné avec les points A et B, les coordonnées de M seront :

$X_M = X_A + \Delta x$ et $Y_M = Y_A + \Delta y$

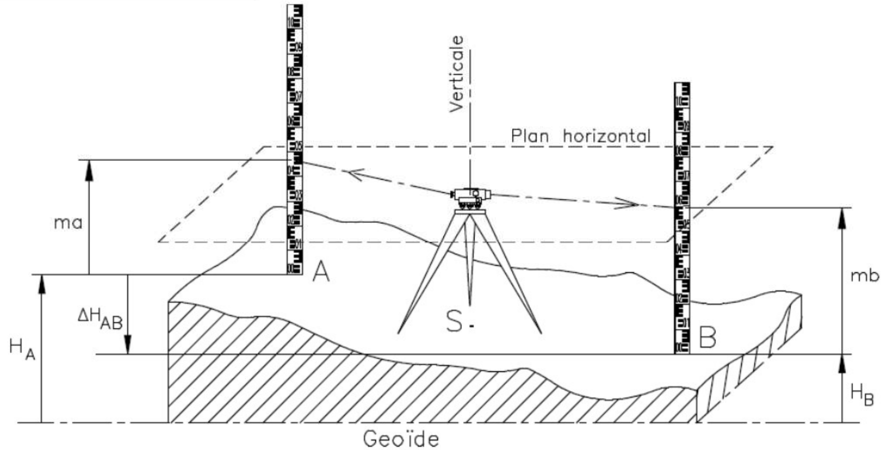
Avec $\Delta x = AM/AB.\Delta X$ et $\Delta y = AM/AB.\Delta Y$



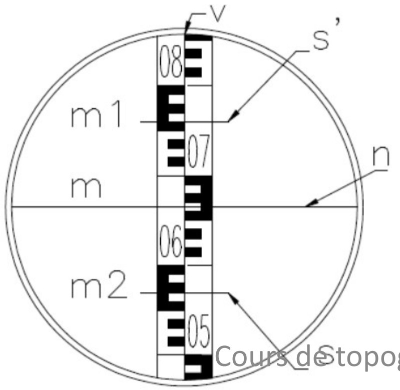
NIVELLEMENT DIRECT ORDINAIRE

Le nivellement direct appelé aussi nivellement géométrique, consiste à déterminer la dénivelée entre les points AB (ΔH_{AB}) à l'aide de niveau.
La mire est placée successivement sur les deux points A et B, L'opérateur lit la valeur ma au point A mb. La différances des lectures sur la mire égale à la dénivelée des lectures entre A et B.

- la dénivelée de A vers B est : $\Delta H_{AB} = m_a - m_b$
- la dénivelée de B vers A est : $\Delta H_{BA} = m_b - m_a$



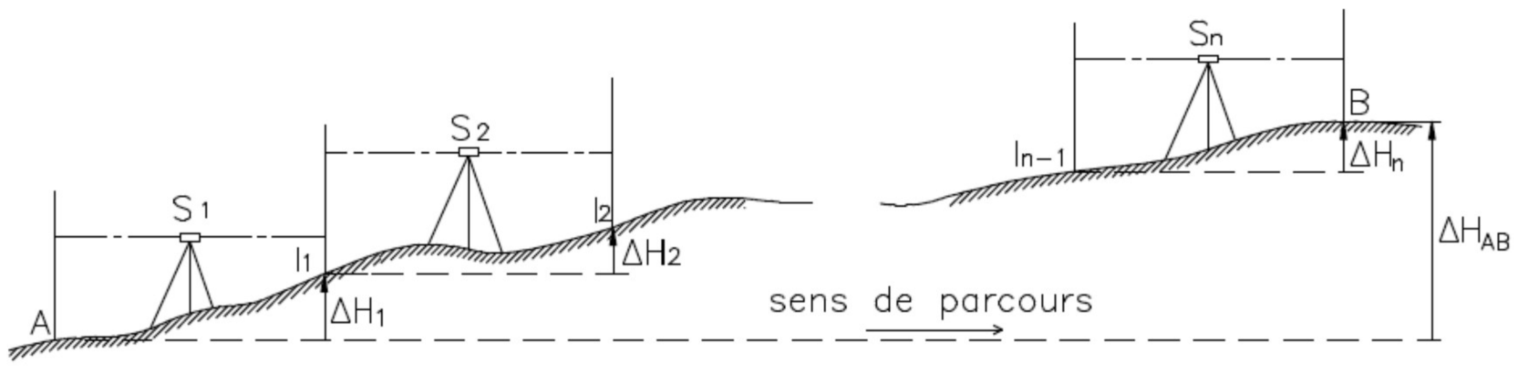
- le fil **stadimétrique supérieur** (s′), qui donne une lecture m_1 sur la mire ;
- le fil **stadimétrique inférieur** (s), qui donne la lecture m_2 sur la mire ;
- le fil **niveleur** (n), qui donne la lecture m sur la mire ;
- le fil vertical (v), qui permet le pointé de la mire ou d'un objet.



Cheminements simples

nivellement par cheminement.

C'est un cheminement de plusieurs points qui commencent d'un points de départ connue en altitude A et un points d'arrivée B connue en altitude. Lorsqu'on cherche a déterminer l'altitude du point B inconnu du point A connu on fait un cheminement ALLER-RETOUR. Lorsqu'on démarre et on fait plusieurs point pour terminer sur le même point donc ce type est appelé cheminement fermé.



$$\boxed{\sum_{i=1}^{i=n} m_{ar} - \sum_{i=1}^{i=n} m_{av} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta H_i = \Delta H_{AB}}$$

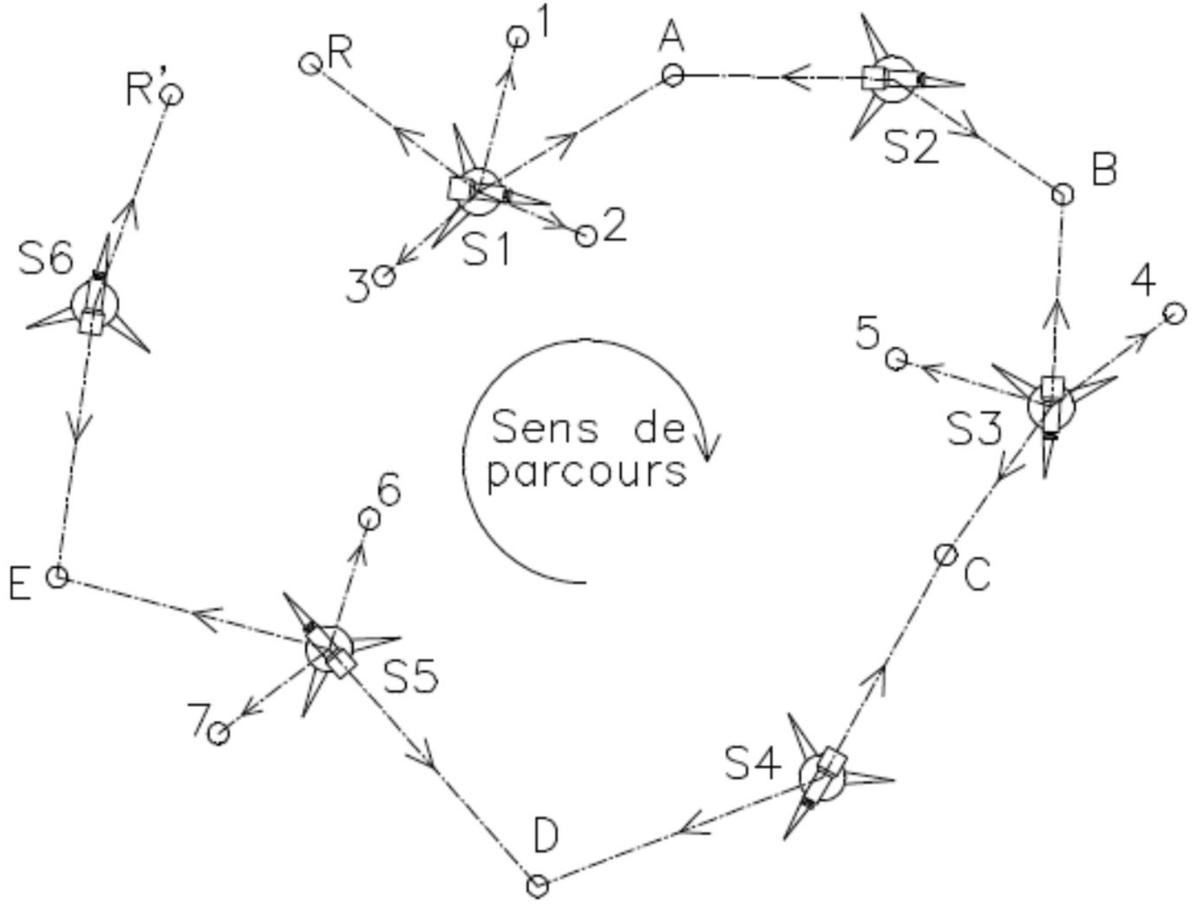
$$\boxed{H_{B\ \mathrm{obs}} = H_A + \sum_{i=1}^{n} \Delta H_i}$$

Fermeture du cheminement

Exemple de carnet de nivellement cheminé

n°	Point visé	Lectures arrière			Lectures avant			Portée Dh m	Dénivelées ΔH (mm)		Comp.* mm	Altitude m
		S' mm	Niv mm	S mm	S' mm	Niv mm	S mm		+	–		
1	R1	1 973	1 925	1 878								124,968
								18,9	629		–2	
2	I1	1 536	1 524	1 508	1 343	1 296	1 249					125,595
								5,1	147		–1	
3	I2	1 866	1 836	1 806	1 388	1 377	1 365					125,741
								11,9	789		–1	
4	I3	1 016	0 988	0 955	1 076	1 047	1 017					126,529
								12,0		–650	–1	
5	54	1 696	1 661	1 626	1 667	1 638	1 608					125,878
								12,0	615		–1	
6	I4	1 709	1 678	1 647	1 072	1 046	1 022					126,491
								12,5	452		–1	
7	I5	1 634	1 604	1 572	1 258	1 226	1 195					126,942
								12,5	330		–1	
8	I6	1 363	1 333	1 304	1 306	1 274	1 243					127,271
								24,2	530		–3	
9	I7	1 314	1 155	0 995	0 896	0 803	0 713					127,798
								34,6	1 130		–4	
10	R3				0 039	0 025	0 012					128,924
	9 dénivelées							143,7	4 622	–650	–16	

Cheminement mixte



Cheminement mixte encadré

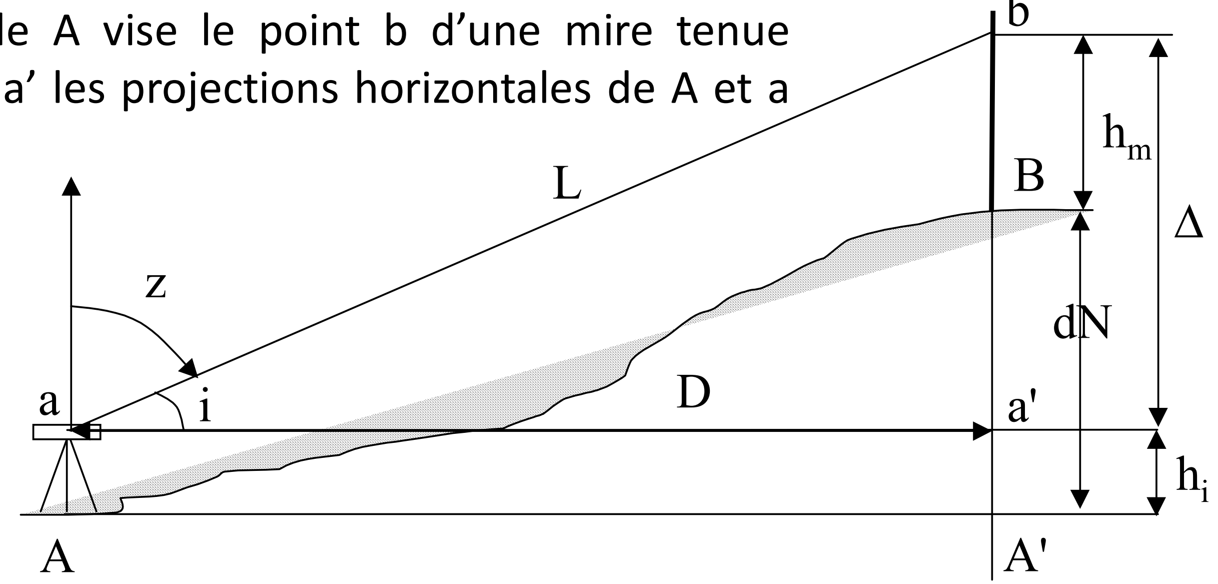
NIVELLEMENT INDIRECT (OU TRIGONOMETRIE)

<u>2.1 *Principe*</u>

Soient deux points A et B dont on veut déterminer la différence d'altitude. On utilise dans ce cas

- -Un théodolite (ou éclimètre) permettant la mesure des angles verticaux
- -Un clisimètre mesurant les pentes

L'appareil placé à la verticale de A vise le point b d'une mire tenue verticalement en B. Soient A' et a' les projections horizontales de A et a sur la verticale de B.



On peut écrire :

A'B + Bb = A'a' + a'b

$dN + h_m = h_i + \Delta$

$\mathbf{dN = \Delta + h_i - h_m}$

Lorsque cela est possible on s'arrange pour égaler hm et hi en visant la hauteur de mire.

Dans ce cas : $dN = \Delta$

Dans cette expression dN est la dénivelée entre A et B. h_i est la hauteur de l'axe des tourillons, h_m est la hauteur lue sur la mire. Δ est la dénivelée instrumentale. Selon que l'appareil mesure le site i, l'angle zénithal z ou la pente P, on a :

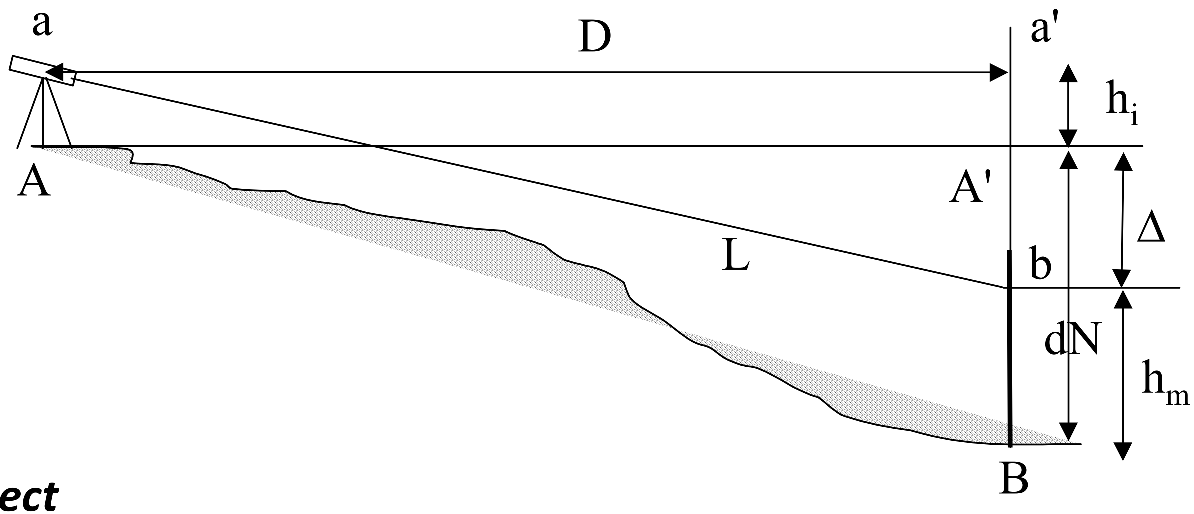
$$\mathbf{\Delta = L \sin i = D \operatorname{tg} i}$$

$$\mathbf{\Delta = D \operatorname{cotg} z}$$

$$\mathbf{\Delta = Dp}$$

NIVELLEMENT INDIRECT (OU TRIGONOMETRIE)

Remarque :
Notons que i et P sont comptés positivement au dessus de l'horizon et négativement en dessous. Δ aura dons le signe de i ou de P.dN indiquera la différence d'altitude de B par rapport à celle de A



2.2 *Pratique du nivellement indirect*

Le nivellement indirect est employé pour la détermination rapide des altitudes dans les terrains même très accidentés ou dans des visées à grandes distances. Il est surtout utilisé avec les levés stadimétriques. On ne peut l 'employer que lorsque la précision requise ne doit pas être très grande, de l'ordre de quelques centimètres. On utilise le procédé pour le rayonnement, le cheminement, le relèvement, l'intersection.

2.3 *Appareils*

Les éclimètres :

Ils donnent la valeur de l'angle d'inclinaison de la visée (en grade)

- *Règle à éclimètre*
- *Théodolite et tachéomètre*

Les clisimètres :

Ils donnent, avec son signe, la valeur de la tangente de l'angle de pente de la visée (en %).

IMPLANTATION

L'implantation est l'opération qui consiste à reporter sur le terrain, suivant les indications d'un plan, la position de bâtiments, d'axes ou de points isolés dans un but de construction ou de repérage. La plupart des tracés d'implantation sont constitués de droites, de courbes et de points isolés.

Les instruments utilisés sont:
théodolites, équerres optiques, rubans, niveaux, etc.

L'instrument choisi dépend de la précision cherchée, elle-même fonction du type d'ouvrage à implanter :
précision millimétrique pour des fondations spéciales,
Centimétrique pour des ouvrages courants,
Décimétriques pour des terrassements, etc.

Les principes suivants doivent être respectés:

- Aller de l'ensemble vers le détail ce qui implique de s'appuyer sur un canevas existant ou à créer ;
•
prévoir des mesures surabondantes pour un contrôle sur le terrain.

IMPLANTATION

Les instruments utilisés doivent permettre de positionner des alignements ou des points :
théodolites, équerres optiques, rubans, niveaux, etc. L'instrument choisi dépend de la
précision cherchée, elle-même fonction du type d'ouvrage à implanter : précision millimétrique
pour des
fondations
spéciales, centimétrique
pour
des ouvrages courants,
décimétriques
pour des terrassements,
etc.

Les principes suivants doivent être respectés :

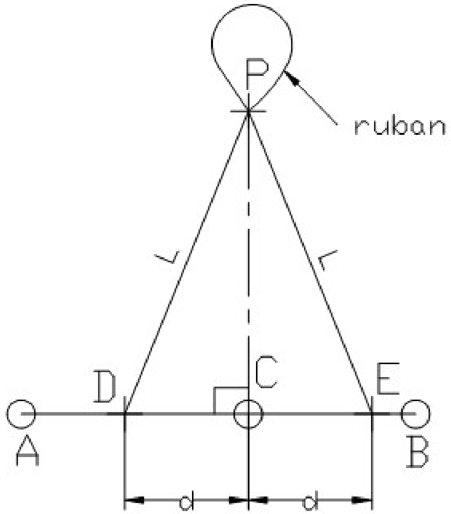
Aller de l'ensemble vers le détail ce qui implique de s'appuyer sur un canevas existant ou à créer;

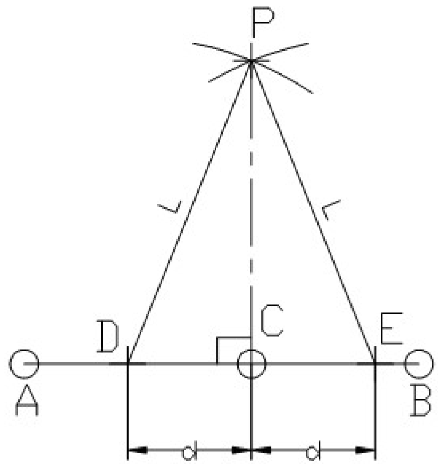
Prévoir des mesures surabondantes pour un contrôle sur le terrain.

Tracer une perpendiculaire à un alignement existant

Au ruban

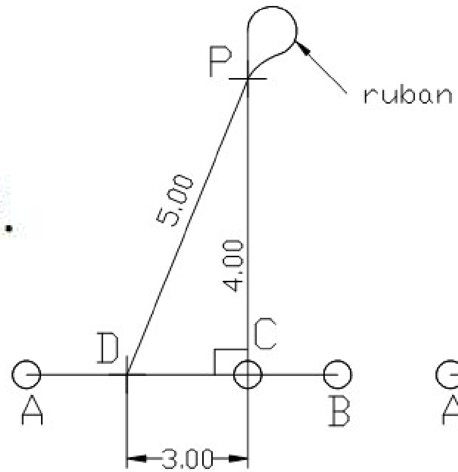
On cherche à tracer la perpendiculaire à l'alignement AB passant par C.
Pour cela, on utilise les propriétés du triangle isocèle ou du triangle rectangle.

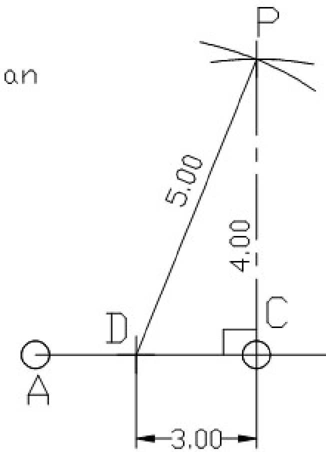




VERIFICATION

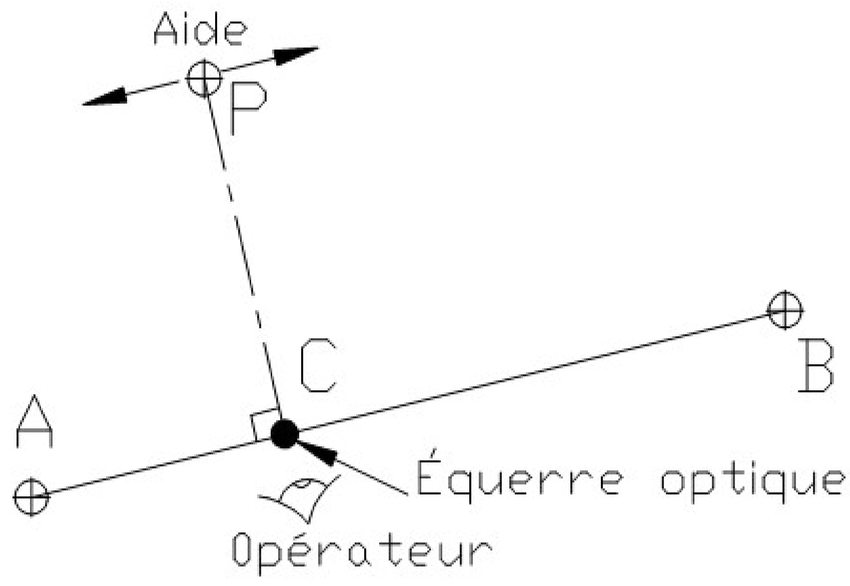
$$5^2 = 4^2 + 3^2.$$

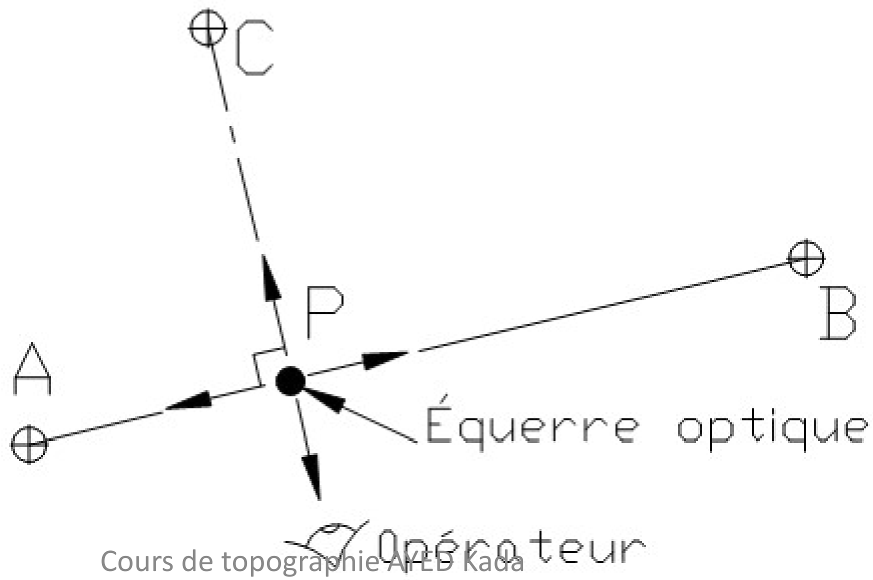




Avec une équerre optique

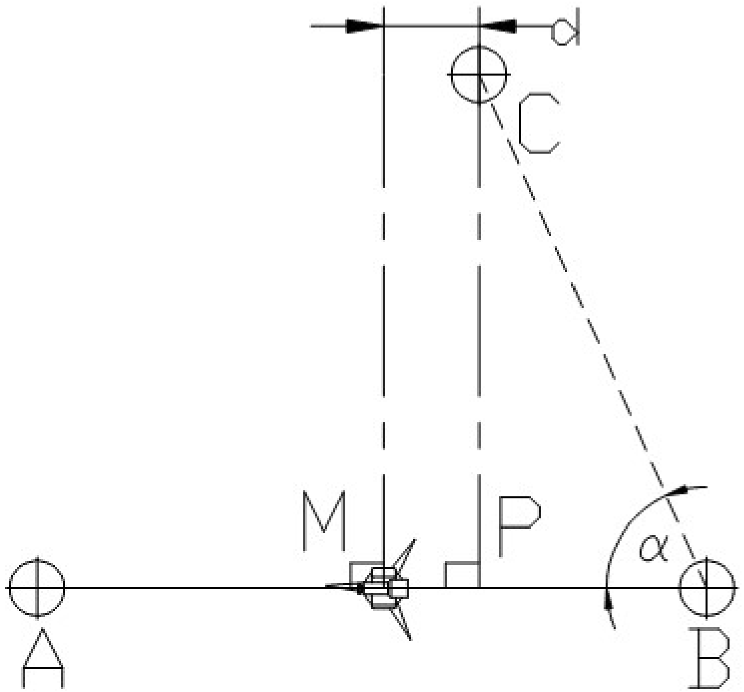
On place un jalon en A et en B.
L'opérateur se place à la verticale du point C avec l'équerre optique et aligne visuellement les jalons de A et B dans l'équerre.
Ensuite, il guide le déplacement d'un troisième jalon tenu par un aide jusqu'à ce que l'image de ce jalon soit alignée avec les deux premiers. L'aide pose alors son jalon et obtient un point P de la perpendiculaire.





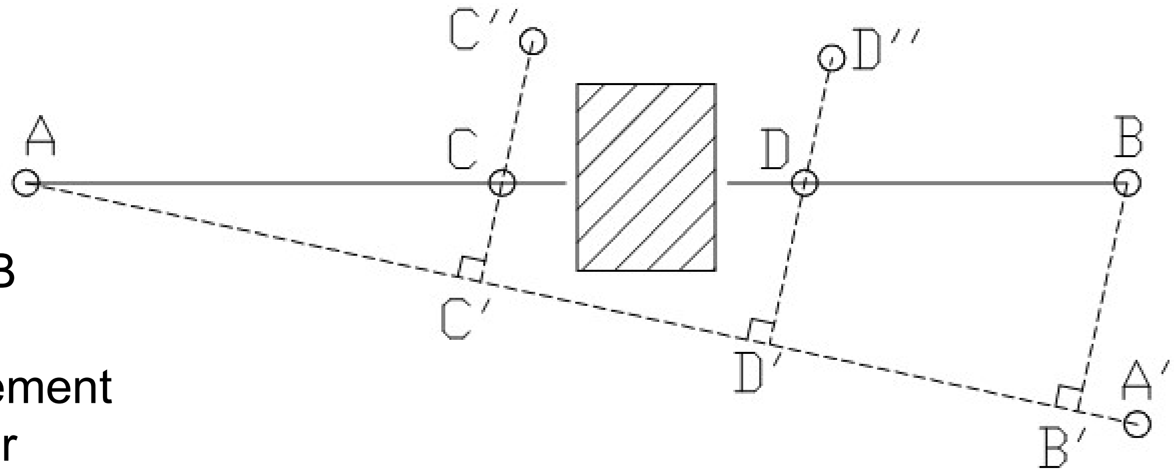
Avec un théodolite ou un niveau équipé d'un cercle horizontal

Si le point donné C est sur l'alignement AB, il suffit de stationner C, de viser A (ou B) et de pivoter l'appareil de 100 gon (ou 300 gon).
Si le point C est extérieur à l'alignement AB, une possibilité consiste à construire une perpendiculaire d'essai en stationnant un point M de l'alignement AB, choisi à vue proche de la perpendiculaire cherchée. L'opérateur mesure la distance d séparant la perpendiculaire d'essai et le point C et construit le point P sur AB en se décalant de la même distance d. Il obtient une précision acceptable en répétant l'opération deux ou trois fois.



IMPLANTATION

Contournement d’un obstacle

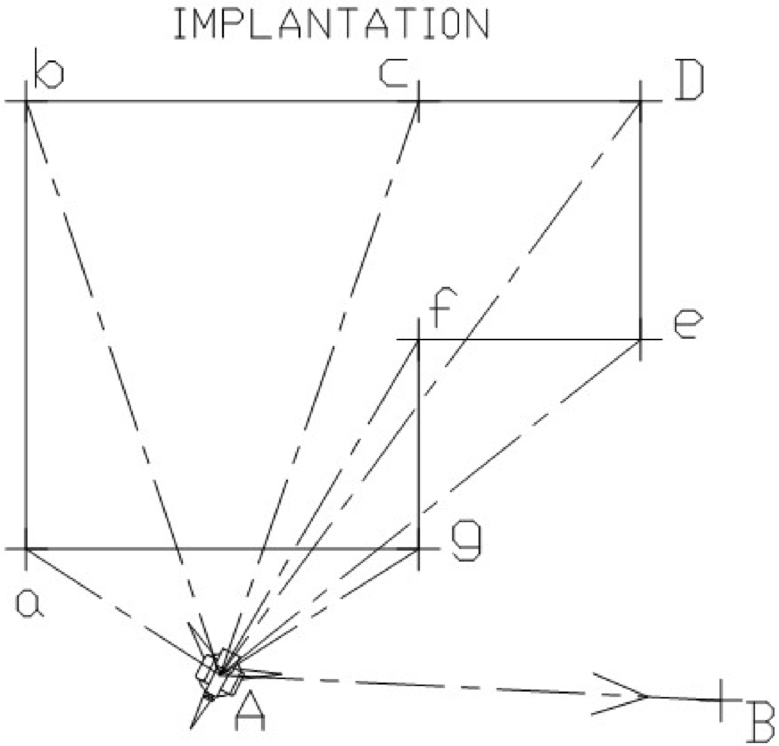


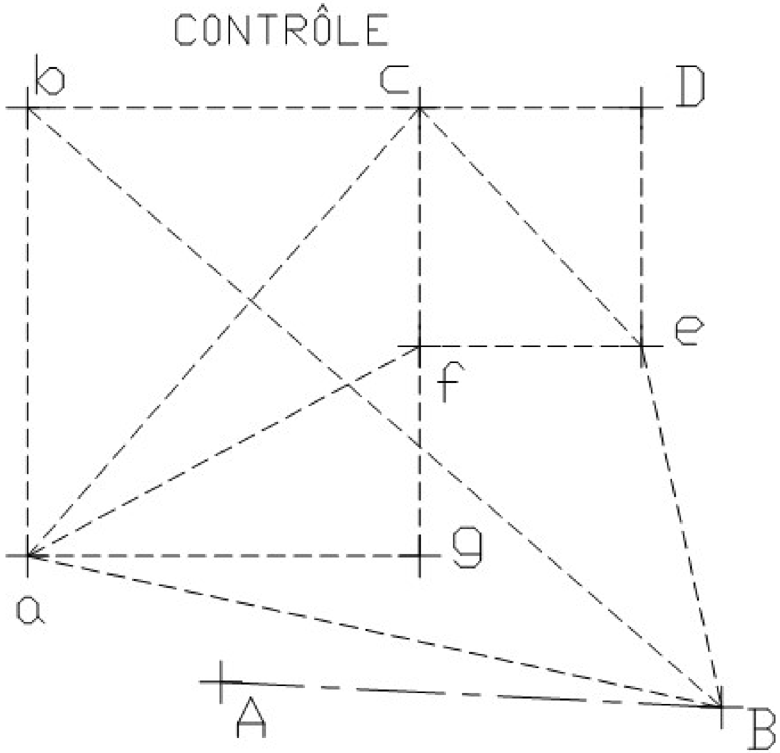
Un bâtiment sur l’alignement AB empêche le jalonnement.
On matérialise un nouvel alignement AA’ contournant l’obstacle et sur lequel on abaisse BB’,
Perpendiculaire à AA’ avec une équerre Optique,

On choisit deux points C’ et D’ sur l’alignement auxiliaire AB’ tels que les perpendiculaires CC’ et DD’ passent de chaque côté de l’obstacle.
On mesure les distances AC’
Et AD’ et on en déduit que :
CC’ AC’ BB’

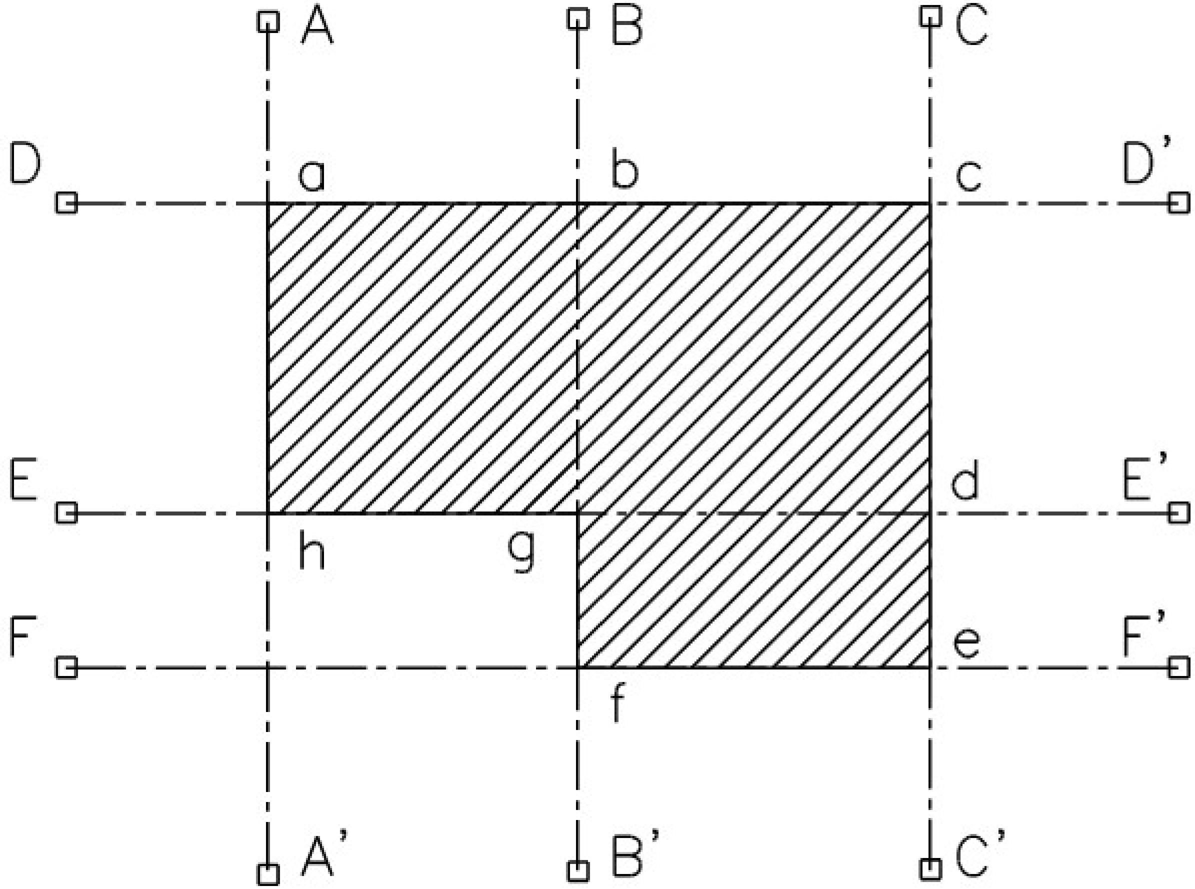
déduit que : $CC' = AC' \dfrac{BB'}{AB'}$ et $DD' = AD' \dfrac{BB'}{AB'}$

Implantation du point A et contrôle du point B



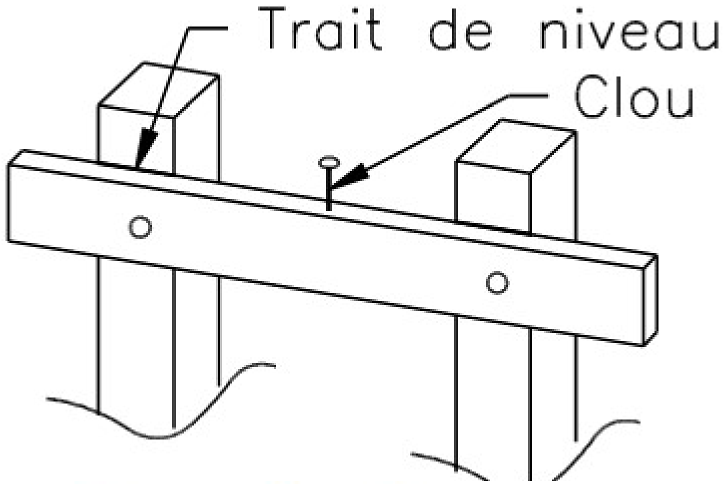


IMPLANTATION D'UN BÂTIMENT



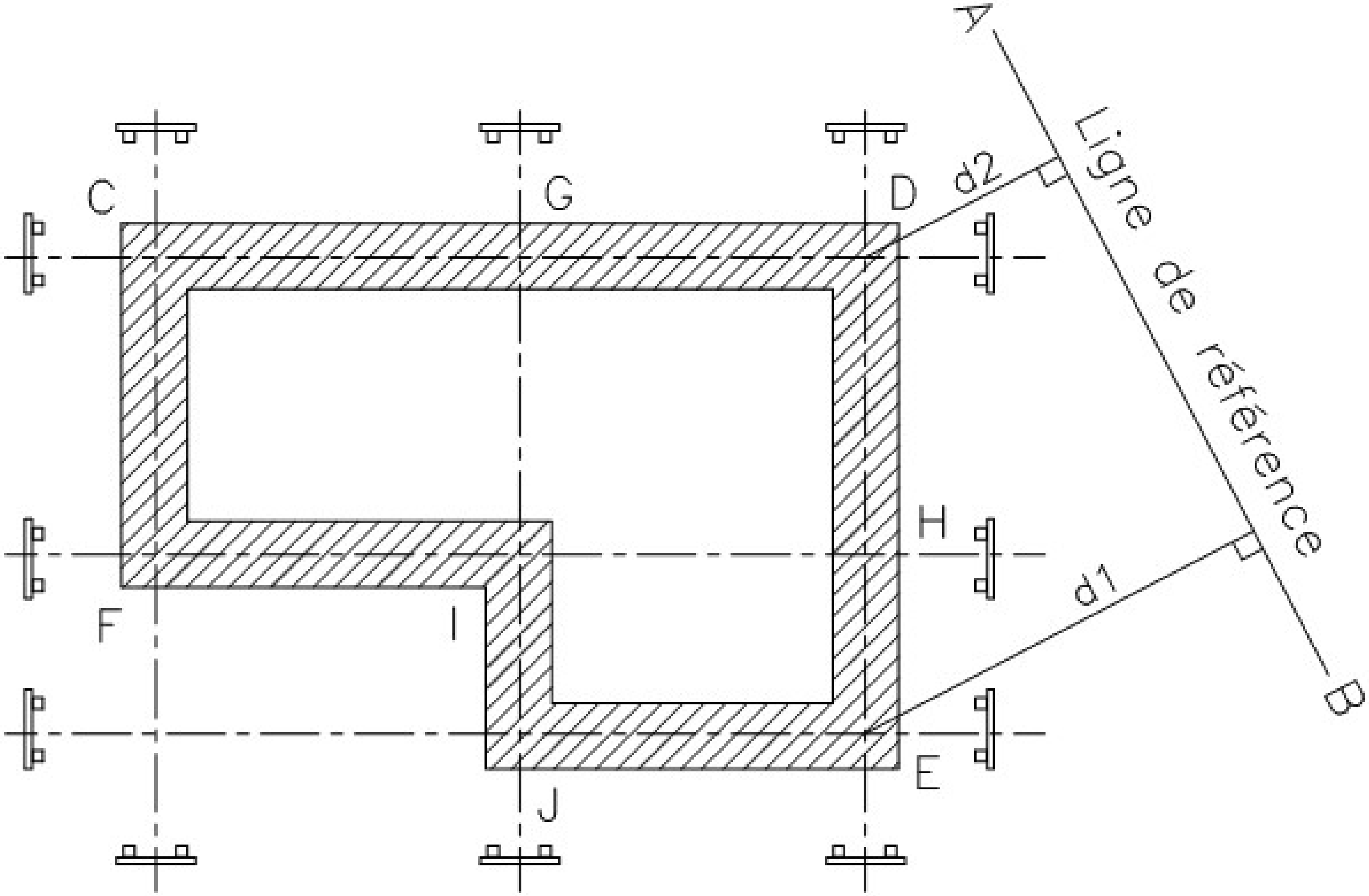
Piquetage de l'emprise des terrassements

Positionnement des chaises d'implantation



Chaise d'implantation

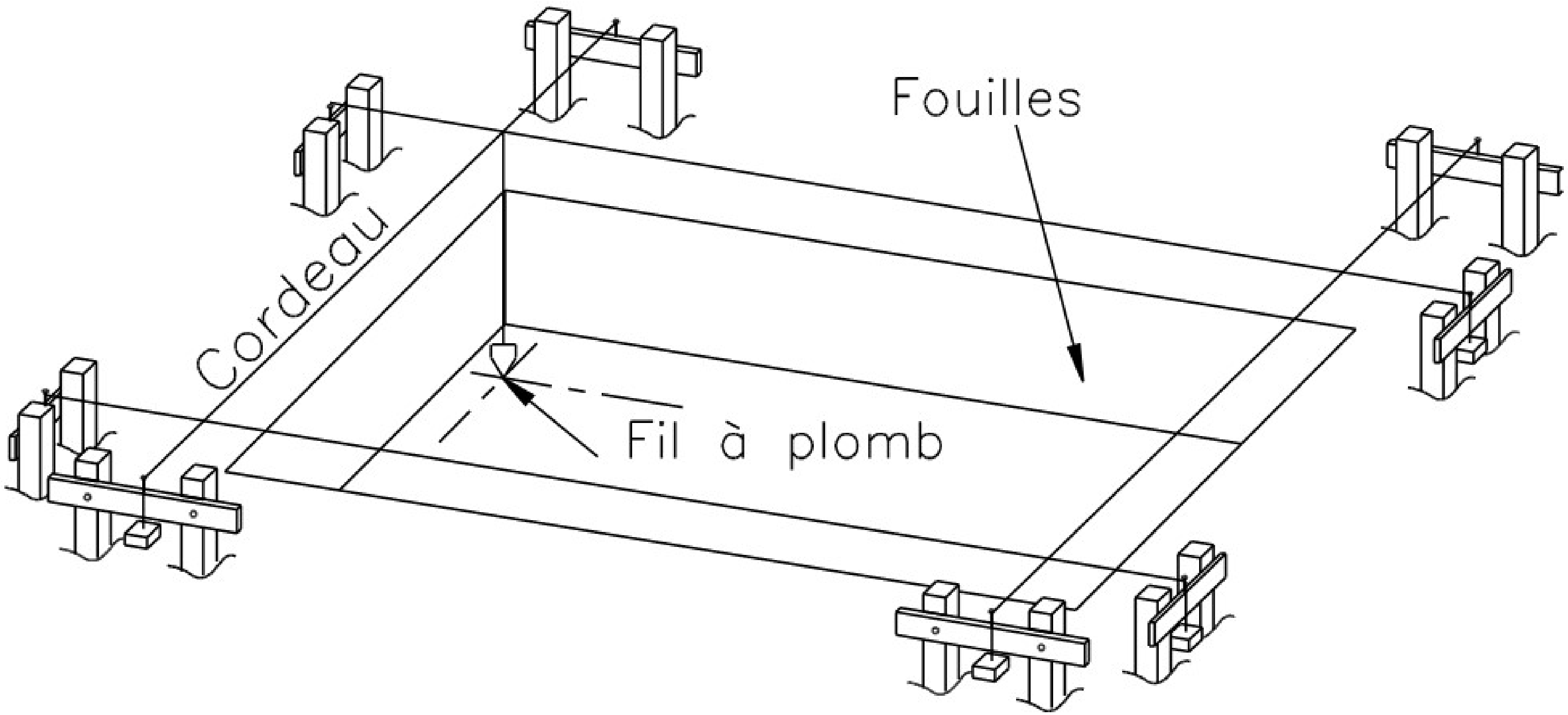
IMPLANTATION



Position des chaises d'implantation

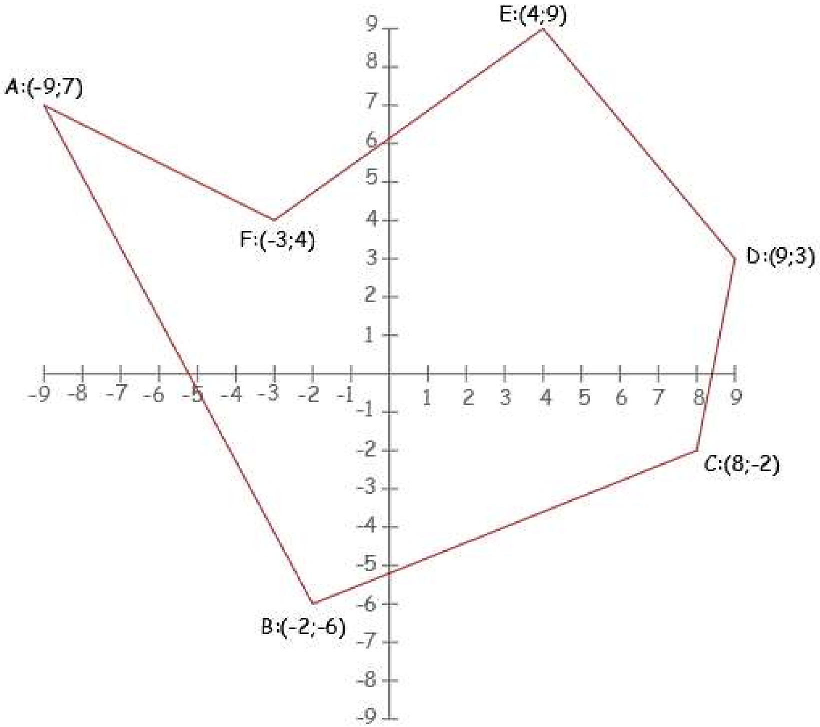
IMPLANTATION

Report des points d'axe en fond de fouilles



Calcul d'une surface quelconque avec les coordonnées rectangulaires

Exemple d'application

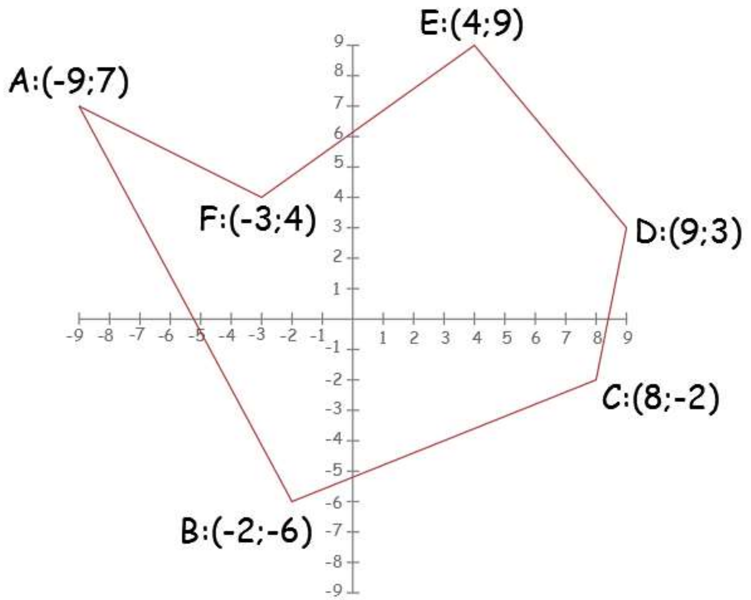


Notez les coordonnées des sommets :

Dans un repère orthonormé, récupérez les coordonnées de chacun des sommets du polygone. En effet, pour ce type de polygone, l'aire peut être calculée à partir des coordonnées des sommets.

Calcul d'une surface

	X	Y
A	-9	7
B	-2	-6
C	8	-2
D	9	3
E	4	9
F	-3	4
A	-9	7



Préparez un tableau de coordonnées.

Indiquez tous les sommets et leurs coordonnées x (abscisses) et y (ordonnées) en opérant dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Terminez par les coordonnées du premier sommet.

Calcul d'une surface

	X	Y
A	-9	7
B	-2	-6
C	8	-2
D	9	3
E	4	9
F	-3	4
A	-9	7

Multipliez l'abscisse d'un sommet par l'ordonnée du suivant.

-9 x -6 = 54
-2 x -2 = 4
8 x 3 = 24
9 x 9 = 81
4 x 4 = 16
-3 x 7 = -21

Additionnez le tout. Dans l'exemple ci-contre, on obtient **<u>158</u>**

Calcul d'une surface

	X	Y
A	-9	7
B	-2	-6
C	8	-2
D	9	3
E	4	9
F	-3	4
A	-9	7

Multipliez ensuite l'ordonnée d'un sommet par l'abscisse du suivant.

7 x -2 = -14
-6 x 8 = -48
-2 x 9 = -18
3 x 4 = 12
9 x -3 = -27
4 x -9 = -36

Additionnez le tout. Dans l'exemple ci-contre, on obtient **-131**

Calcul d'une surface

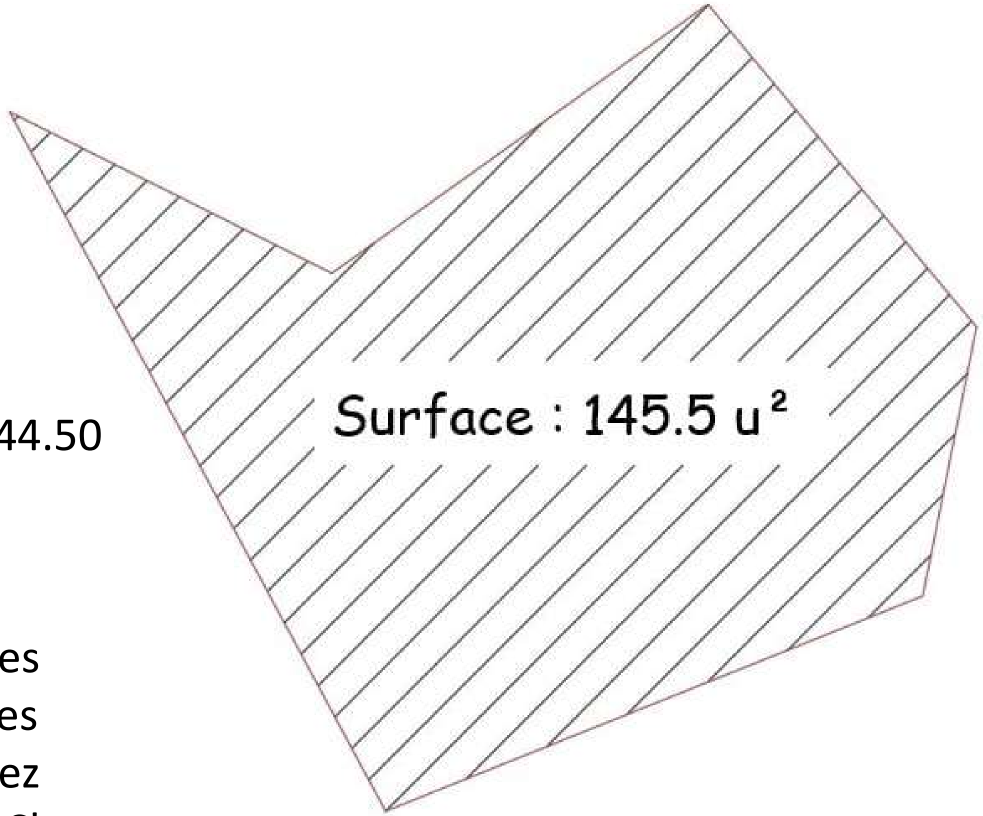
Soustrayez la dernière somme de la première.

158 - (-131) = 289

Divisez alors votre résultat par 2.

289 / 2 = 144.50

Le polygone étudié a une surface de 144.50 unités carrées.



Remarques:
Si vous prenez les points dans le sens des aiguilles d'une montre, alors qu'il faut les prendre dans le sens contraire, vous allez obtenir la même valeur, mais négative. C'est ainsi que vous pourrez en déduire le sens dans lequel ces points sont organisés. On utilise la méthode analytique