

Technologie topographique et Calculs topométriques

Partie A : Planimétrie

Module 1

Notions de topographie et topométrie

Responsable du cours :

Mountassir BOUKIR.
boukir_m@yahoo.fr

Introduction

Ce module présente les différentes opérations de topographie et topométrie

Objectifs

Au terme de ce module, vous serez en mesure de:

Définir de manière concrète la topographie, si possible en ces propres termes ;

Donner le but de la topographie ;

Connaître les différents types d'échelles, de plans et cartes topographiques ;

Connaître les différents éléments d'un plan ou d'une carte.

Connaître les différentes lignes de référence (Azimut magnétique, azimut géographique, gisement...) ;

Connaître et définir un gisement, un gisement d'origine et un rayonnement ;

Connaître et définir la course et la relation entre la course et le gisement ;

Connaître les conversions de coordonnées (polaires et rectangulaires) ;

Calcul de superficies par coordonnées polaires et rectangulaires ;

Connaître et définir le lever topographique ;

Connaître les types de cheminement et savoir calculer un cheminement ;

1. Généralités et définitions

La topographie, est la technique qui a pour l'objet l'exécution, l'exploitation et le contrôle des observations concernant la position planimétrique et altimétrique, la forme, les dimensions et l'identification des éléments concrets, fixes et durables, existant à la surface du sol à un moment donné ; elle fait appel à l'électronique, à l'informatique et aux constellations de satellites.

La planimétrie est la représentation en projection plane de l'ensemble des détails à deux dimensions du plan topographique ; par extension, c'est aussi l'exécution des observations correspondantes et leur exploitation.

L'altimétrie est la représentation du relief sur un plan ou une carte ; par extension, c'est aussi l'exécution des observations correspondantes et leur exploitation.

Les travaux topographiques peuvent être classés en six grandes catégories suivant l'ordre chronologique de leur exécution : le levé topographique, les calculs topométriques, les dessins topographiques, les projets d'aménagement, les implantations, le suivi et contrôle des ouvrages.

1.1. Le levé topographique

Le lever topographique est l'ensemble des opérations destinées à recueillir sur le terrain les éléments nécessaires à l'établissement d'un plan ou d'une carte.

Le lève de détails est l'ensemble des opérations intervenant dans un levé topographique et consistant à déterminer à partir des points du canevas d'ensemble polygonal ou de

détails, la position des différents objets d'origine naturelle ou artificielle existant sur le terrain. Le levé, nom donné au document résultant d'un lever, est destiné, éventuellement après traitement numérique, à l'établissement de plans graphiques ou numériques : c'est la phase de report. Un levé est réalisé à partir d'observations : actions d'observer au moyen d'un instrument permettant des mesures ; par extension, « les observations » désignent souvent les résultats de ces mesures.

La phase d'un levé topographique, ou d'une implantation, qui fournit ou utilise les valeurs numériques de tous les éléments planimétriques et altimétriques est appelée topométrie ; généralement, la topométrie est la technique de levé ou d'implantation mise en œuvre aux grandes et très grandes échelles graphiques ou numériques : c'est la phase de report.

Les calculs topométriques

Ils traitent numériquement les observations d'angles, de distances et de dénivelées, pour fournir les coordonnées rectangulaires planes : abscisse E, ordonnée N et les altitudes H des points du terrain, ainsi que les superficies ; en retour, les calculs topométriques exploitent ces valeurs pour déterminer les angles, distances, dénivelées non mesurées, afin de permettre notamment les implantations.

1.2. Les dessins topographiques

Une carte est une représentation conventionnelle, généralement plane en positions relatives, de phénomènes concrets ou abstraits, localisables dans l'espace. La carte permet de montrer les variations et les développements des phénomènes dans le temps ainsi que leur facteur de mouvement et de déplacement dans l'espace.

Un plan ou dessin topographique est une représentation conventionnelle du terrain à grande échelle. L'échelle d'un plan ou d'une carte est le rapport constant entre une distance mesurée sur le papier et la distance homologe du terrain : $P/T = 1/E$.

On distingue trois types d'échelles :

- Petite échelle : $100\,000 \leq E$
- Moyenne échelle : $10\,000 \leq E \leq 100\,000$
- Grande échelle : $E < 10\,000$, en général 1/5000, 1/2000, 1/1000, l'appellation
- « très grande échelle » s'appliquant plutôt au 1/500, 1/200, 1/100, 1/50.

Une échelle peut se représenter sous deux (02) formes :

- Forme numérique ; elle s'exprime généralement sous la forme d'une fraction dont le numérateur est 1, le dénominateur donnant alors la mesure sur le terrain de la longueur prise comme unité sur la carte. Cette échelle numérique est de

la forme $\frac{1}{200000}$, $\frac{1}{25000}$ Depuis l'adoption du système métrique, on a admis que

le dénominateur devrait être de la forme « $n * 10^3$ », ceci facilite l'usage courant puisque dans ce cas « 1mm » représente « n mètres » sur le terrain ; elle se note donc : $1/n \times 10^3$.

Pour matérialiser l'échelle de façon explicite et pour faciliter les mesures, il est d'usage de faire figurer sur la carte une échelle graphique

- Forme graphique, elle comporte généralement une ligne simple divisée en parties égales représentant le sur la carte, l'unité de terrain choisie, par exemple le km. La graduation va de gauche à droite

et à gauche du zéro une partie appelée « talon » est subdivisée en sous multiples de l'unité, par exemple en hectomètres (hm).

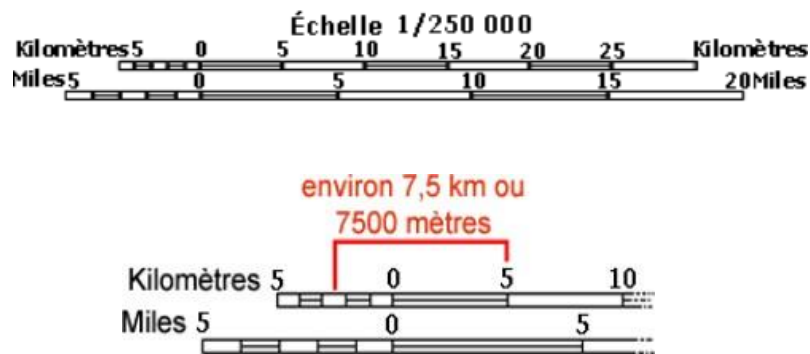


Figure 3.1 : exemples d'échelles graphiques

Selon le mode des données et le mode de traitements numériques et graphiques mis en œuvre, on peut distinguer trois (3) types de plans :

- Le plan graphique représentation obtenue en reportant les divers éléments descriptifs du terrain sur un support approprié quel que soit le mode d'établissement. Etabli par « dessin du trait », sa précision d'exploitation est au mieux de 0.1mm, valeur qui conditionne la précision des observations (à l'échelle 1/100 les dimensions du terrain inférieures à 10 cm ne peuvent être représentées) et en aval leur exploitation (l'échelle 1/1000 il est illusoire d'espérer évaluer une distance du terrain à mieux que le décimètre) ; définition donnée par le cahier de charges techniques générales (CCTG50)
- Le plan numérique est le fichier informatique des coordonnées des points et des éléments descriptifs du terrain, quel que soit le mode d'établissement ; ce fichier autorise le dessin du plan à différentes échelles à l'aide de traceurs de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO), la précision, indépendante de l'échelle, étant au mieux celle de la saisie des données ;
- Le plan numérisé est un plan numérique dont une partie des données provient d'un plan graphique.

L'appellation plan topographique s'applique généralement au plan qui représente les éléments planimétriques apparents, naturels ou artificiels, du terrain et porte la représentation conventionnelle de l'altimétrie ; il a une qualité géométrique, c'est-à-dire un degré d'adéquation aux besoins exprimés ou implicites de la géométrie d'une image par rapport au système de référence utilisé. Les plans topographiques ont des finalités très diverses ; c'est souvent leur destination qui imposera la précision du lever et le choix des détails.

Il existe différents types de cartes et de plans comme résumé dans le tableau ci-dessous fonction de l'échelle du dessin :

Echelle	Finalité
1/1 000 000 à 1/500 000	Cartes géographiques
1/250 000 à 1/100 000	Cartes topographiques à petite échelle
1/50 000, 1/25 000 à 1/20 000	Cartes topographiques à moyenne échelle (INC)
1/10 000	Cartes topographiques à grande échelle
1/5000	Plans topographiques d'études, plans d'urbanisme
1/2 000	Plans d'occupation de sols, descriptifs parcellaires
1/1 000, 1/500	Plans parcellaires, cadastres urbains
1/200	Plans de voirie, d'implantation, de lotissement
1/100	Plans de propriété, plan de masse
1/50	Plans d'architecture, de coffrage...

Sur les plans ou cartes topographiques, vous devez toujours rechercher ou mettre les renseignements suivants :

- le nom de la zone ou du terrain représenté et/ou la désignation du type de projet dans le cadre duquel il doit être utilisé ;
- l'emplacement exact du terrain ;
- la projection et l'ellipsoïde utilisés
- le nom de la personne ou des personnes qui ont effectué les levés topographiques sur lesquels reposent le plan ou la carte ;
- la (les) date d'édition ou (s) d'établissement des levés, l'indication du type de levé, et de la source des données ;
- Les quadrillages (géographique : donnant les coordonnées géographiques d'un point ; longitude, latitude. Kilométrique : donnant les coordonnées rectangulaires planes X ou E et Y ou N d'un point dans un système de projection UTM et un ellipsoïde WGS84 par exemple).

- La planimétrie (phénomènes physiques, biologiques, humains, qu'ils soient naturels ou artificiels)
- La direction du nord magnétique ; la déclinaison magnétique (en fonction du lieu et du temps)
- L'échelle du plan ou de la carte (elle peut être numérique ou graphique)
- Le relief, représenté par les courbes de niveau, les points cotés et les lignes spéciales (talus, escarpement...), l'équidistance des courbes de niveau, si la carte indique le relief vertical.
- La légende (donnant la signification des signes conventionnels utilisés, en bref une description des symboles de représentation graphique.

1.3. Les projets d'aménagement

Ce sont les projets qui modifient la planimétrie et l'altimétrie d'un terrain : aménagements fonciers comme le remembrement avec les travaux connexes, lotissements avec l'étude de voirie et réseaux divers (VRD), tracés routiers et ferroviaires, gestion des eaux : drainage, irrigation, canaux, fossés, etc.

1.4. Les implantations

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

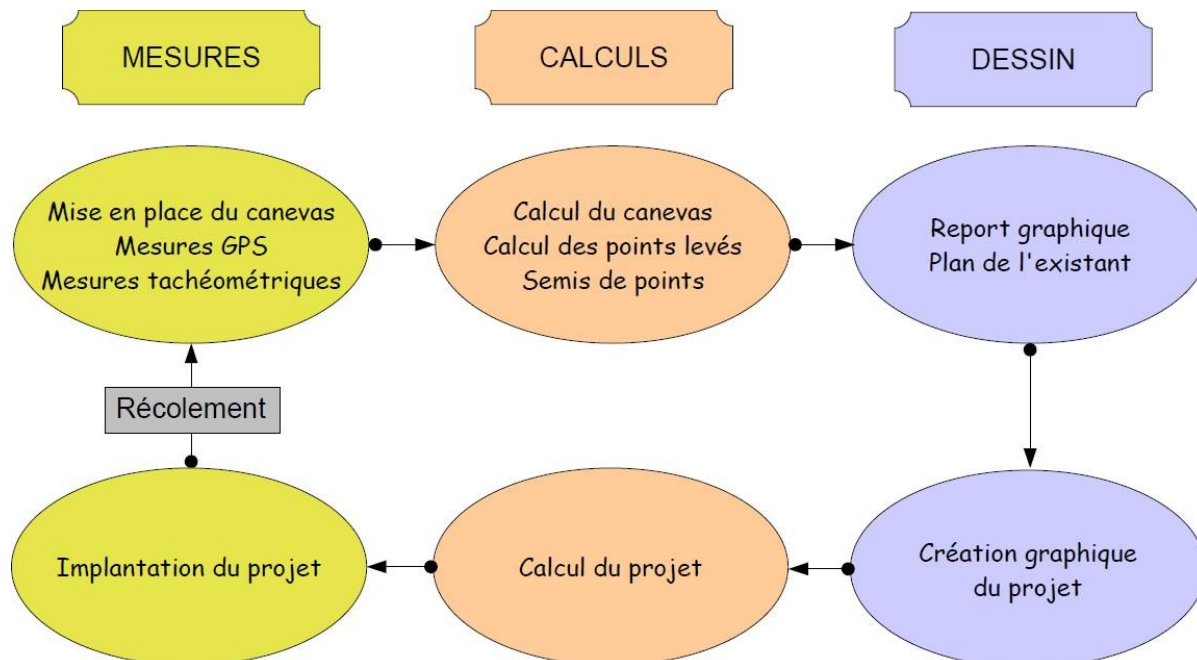
1.5. Le suivi et contrôle des ouvrages

Les ouvrages d'art une fois construits demandent souvent un suivi, c'est-à-dire une auscultation, à intervalles de temps plus ou moins réguliers suivant leur destination ; digues, ponts, affaissements, etc. Les travaux topographiques correspondants débouchent généralement sur les mesures des variations des coordonnées ENH(XYZ) de points rigoureusement définis, suivies de traitements numériques divers constatant un état et prévoyant une évolution.

Les travaux topographiques sont très informatisés, à la fois par des progiciels, programmes standards répondant à des besoins prédéfinis aux quels l'utilisateur doit s'adapter, et par des logiciels programmes spécifiques adaptés aux besoins propres de l'utilisateur.

1.6. Différentes phases de la topographie

Les travaux topographiques s'organisent en 3 grandes étapes : Les mesures, les calculs et le dessin comme le présente l'organigramme ci-dessous:



Lors de travaux topographiques, on définit 3 phases obligatoires :

1	2	3
Définir un système de référence	Mettre en place et mesurer un canevas	Mesurer ou positionner les points de détail
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Système de référence général ou système local ▪ Réseaux de points géodésiques et altimétriques (repères de nivellement) ▪ Carte topographique (papier ou numérique) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Logiciels de transformation de coordonnées (ex : CIRCE) ▪ Altérations linéaires <ul style="list-style-type: none"> ▪ etc... 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Canevas planimétrique par mesures GNSS ou par méthodes "classiques" (relèvement, intersection, multilatération, cheminement polygonal, etc...) ▪ Canevas altimétrique par mesures de nivellements direct, indirect ou par mesures GNSS <ul style="list-style-type: none"> ▪ etc... 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lever par rayonnement, par abscisses et ordonnées, par mesures GNSS, etc... ▪ Orientation du lever (GO des stations, orientations) ▪ Cheminements polygonaux secondaires <ul style="list-style-type: none"> ▪ Codification ▪ Implanter des points <ul style="list-style-type: none"> ▪ etc...

Système (géodésique) de référence : repère tridimensionnel géocentrique dans lequel sont positionnés tous les points de la surface terrestre.

Canevas : ensemble de points repartis sur l'ensemble de la surface à lever qui servent de points d'appui pour le lever des points de détail. La précision du canevas doit être au moins égale à celle du lever.

Points de détail (ou détails) : ensemble des points levés, ces points représentant tous les éléments fixes et durables à la surface du sol.

2. Les outils de la topographie

La topographie nécessite la connaissance de nombreux outils dans les domaines techniques (appareils de mesure), mathématiques (géométrie, calculs), réglementaires, statistiques (calcul d'erreurs)

2.1 Les appareils

- Niveaux ;
- Théodolites, tachéomètres, stations totales ;
- IMEL : Instrument de Mesure Electronique des Longueurs ;
- Scanner 3D ;
- Récepteurs GNSS ;
- Petits matériels : chaines, disto ou lasermètre, équerres optiques, ...

2.2 les erreurs

- erreurs systématiques : mesurables et pouvant être éliminées ;
- erreurs accidentelles : quantifiables mais ne pouvant pas être éliminées - précision des appareils ;
- Chaque appareil a une précision donnée (erreurs accidentelles) et engendre des erreurs systématiques.
- Il faut ainsi connaître leur utilisation mais également les méthodes pour les contrôler et les étalonner.

2.4 les méthodes de mesure

- en planimétrie : le rayonnement (angles, distances), les abscisses et ordonnées, le GNSS, etc...
- en altimétrie : nivellement direct, nivellement indirect, mesures GNSS.

Les méthodes de calculs et graphiques

- outils géométriques et trigonométriques ;
raccordements : circulaires, paraboliques, clothoïdes ;
- surfaces et volumes : mesures, divisions ;
- représentation du relief : courbes de niveau, profils en long et en travers,
MNT.

2.4 l'aspect réglementaire

- Textes règlementaires: lois, codes, arrêtés, décrets, préconisations professionnelles, etc...
- contrôle qualité : normes de qualité.

2.5 Définitions de la topographie

1. Selon l'étymologie : topographie vient du grec « topos » qui signifie « lieu » et graphein qui signifie « décrire », en première approche on peut donc dire que l'objectif de la topographie est de décrire le lieu.
2. Selon le lexique de l'AFT (Association Française de Topographie) :
« technique qui a pour objet l'exécution, l'exploitation et le contrôle des observations concernant la position planimétrique et altimétrique, la forme, les dimensions et l'identification des éléments concrets, fixes et durables à la surface du sol à un moment donné. »
3. Michel BRABANT dans son ouvrage « Maîtriser la topographie ; des observations aux plans » à la page 23 complète la définition de l'AFT en ajoutant : « (...) identification des objets géographiques, (...) à un moment donné ; elle fait appel, à l'électronique, à l'informatique et aux constellations de satellites.
4. En définitive, la topographie est la représentation graphique d'un lieu sur le papier : l'opération correspondante implique des mesures de distances et d'angles pour les raisons suivantes :
 - a. la détermination de la position planimétrique des points de la surface terrestre,
 - b. la détermination de l'élévation ou hauteur des points au-dessus ou en dessous d'une surface de référence tel le niveau moyen de la mer (géoïde),
 - c. la détermination de la configuration du terrain ou le relief,

- d. la détermination de la direction des lignes et phénomènes naturels,
- e. la mesure des distances entre les points, la délimitation des frontières, et la détermination des surfaces et volumes.

Ces mesures qui constituent le lever topographique, aboutissent à l'élaboration d'une minute de levé (plan).

2.6 Buts de la topographie

Pour une bonne représentation le terrain est étudié sous deux aspects :

- En planimétrie : mesures de distances, d'angles et de directions, d'éléments nécessaires pour la reproduction sur papier des projections horizontales des phénomènes et détails du terrain.
- En altimétrie : mesure de hauteurs dans le plan vertical des points de la nature pour définir les irrégularités du sol les mouvements du terrain, le relief.

Il est intéressant de faire cette représentation du terrain pour deux raisons :

- Le lever topographique constitue une fin en soi : c'est le cas des levés à très grandes échelles des zones très limitées en surface. La minute de levé est reproduite directement en quelques exemplaires monochromes (une seule couleur) appelés plans topographiques pouvant servir à des fins variées :
- Définir les limites de propriétés (plans cadastraux)
- Implanter des ouvrages de génie civil : ponts, barrages, etc.
- Implanter des bâtiments (plans d'alignement, plans d'urbanisme, etc.)
- Le lever topographique sert à l'établissement des cartes dont chaque feuille est reproduite en un grand nombre généralement polychrome. Ces levés donnent une vue d'ensemble du terrain couvrant alors une surface étendue : cela peut être un pays par exemple. Après l'exécution des levés, on procède à des opérations cartographiques. La carte issue directement des levés topographiques (lever direct sur le terrain ou lever photogrammétrique) est la carte de base du pays ; on en tire des cartes dérivées à plus petites échelles. Dans tous les cas, le lever topographique a besoin d'être appuyé sur un canevas de points géodésiques (c'est l'ensemble des points connus en planimétrie et/ou en altimétrie avec une précision absolue homogène).

Comme souvent, il est pratique de partir de la finalité pour remonter aux techniques mises en œuvre et les justifier ainsi.

En schématisant, on peut dire que la topographie a pour objectifs principaux de permettre l'établissement de cartes et de plans graphiques sur lesquels sont représentées, sous forme symbolique, toutes les informations ayant trait à la topologie du terrain et à ses détails naturels et artificiels. Cette cartographie de données existantes permettra par exemple de s'orienter sur le terrain ou bien d'étudier un projet de construction.

En quoi consiste donc la Topographie ?

Les procédés topographiques permettent de mesurer les détails de la surface de la terre et d'établir des cartes et des plans afin de les représenter. Il s'agit soit d'objets naturels tels que plaines, collines, montagnes, cours d'eau, formations rocheuses ou forêts, soit d'objets créés par l'homme, tels chemins de fer, routes, bâtiments, villages ou étangs d'élevage. Une carte topographique peut également indiquée la pente du terrain. En effet, elle mentionne les points dont le niveau est

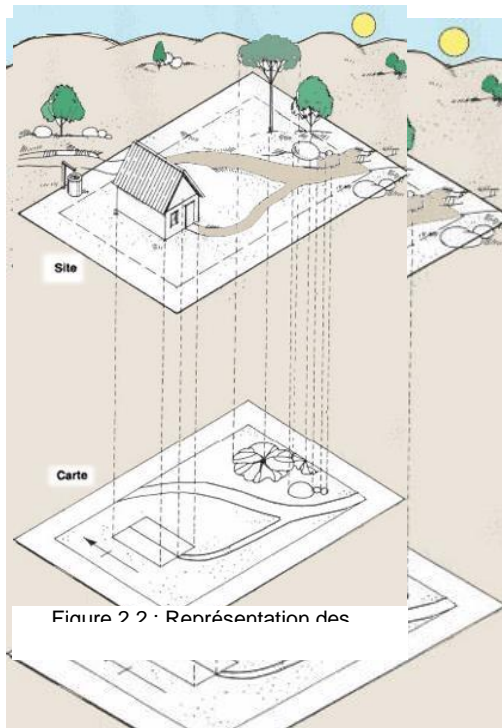


Figure 2.2 : Représentation des objets sur

élevé et ceux dont le niveau est bas, mais aussi la pente entre ces mêmes points.

La profession de géomètre consiste à effectuer des mesures topographiques et à les inscrire sur des cartes, des tableaux et des plans. Cela peut comprendre plusieurs opérations :

- L'arpentage se borne à évaluer des surfaces.
- Le levé des plans est destiné à représenter des surfaces
- Le nivellement a pour but de déterminer l'élévation des différents points du terrain

2.7 Système de coordonnées dans le plan de projection

Il existe différentes façons pour déterminer la position d'un point dans le plan. Dans le cadre de notre cours, nous étudierons principalement les coordonnées rectangulaires et les coordonnées polaires.

2.7.1 Coordonnées planes rectangulaires

Pour représenter la surface de la terre sur une carte ou un plan, il faut effectuer une projection des points de cette surface (ellipsoïde) sur un plan, un cône, un cylindre...

Les points sont alors définis par leurs coordonnées planes (coordonnées dites « en projection »)

Les coordonnées planes sont les coordonnées des points de la surface terrestre représentées sur un plan. Elles sont donc en deux (2) dimensions.

Elles sont définies par rapport à des axes de référence qui varient suivant la projection utilisée.

Les abscisses sont appelées coordonnées **Est** et notées **E**.

Les ordonnées sont appelées coordonnées **Nord** et notées **N**.

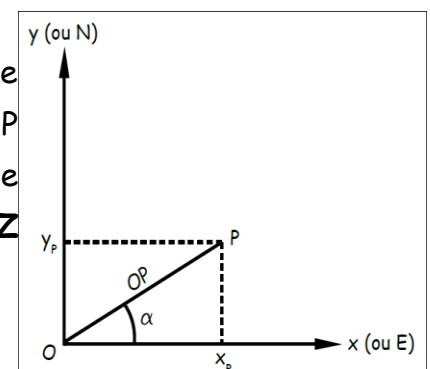
On utilise encore régulièrement les notations X et Y, mais celles-ci sont à proscrire pour éviter une confusion avec les coordonnées cartésiennes géocentriques. En géodésie, les coordonnées planes sont appelées Est (E) et Nord (N). Dans ce cours, on utilisera les notations X et Y pour faire le lien avec les notations mathématiques habituelles. (fig3.3)

Un point P connu en coordonnées planimétriques n'est pas transportable à la surface de la terre car il manque une dimension pour l'élévation.

En topographie, on utilise principalement les altitudes avec les coordonnées planes.

▪ L'altitude

L'altitude d'un point est la distance verticale qui le sépare d'une surface de référence appelée géoïde. L'altitude du point P mesurée suivant la verticale du lieu au-dessus du géoïde (surface de niveau zéro). L'altitude est notée **H** (la notation **Z** est encore utilisée, mais à proscrire).



2.7.2 Coordonnées polaires

Le point est défini par sa distance à un point fixe appelé pôle, et par son angle par rapport à une référence. (fig. 3.3)

Le point est défini par sa distance à un point fixe appelé pôle, et par son angle par rapport à une référence. (fig. 3.3)

2.7.3 Orientation des lignes de référence sur la surface de la terre

Angle de direction ou gisement

Qu'est-ce qu'un gisement ?

Le gisement est l'angle formé par la direction orientée AB avec l'axe parallèle à l'axe des ordonnées (axe Y) de la représentation.

Les gisements sont comptés positivement de 0 à 400 grades dans le sens des aiguilles d'une montre.

Le gisement est l'angle formé par la direction orientée AB avec l'axe parallèle à l'axe des ordonnées (axe Y) de la représentation.

Les gisements sont comptés positivement de 0 à 400 grades dans le sens des aiguilles d'une montre.

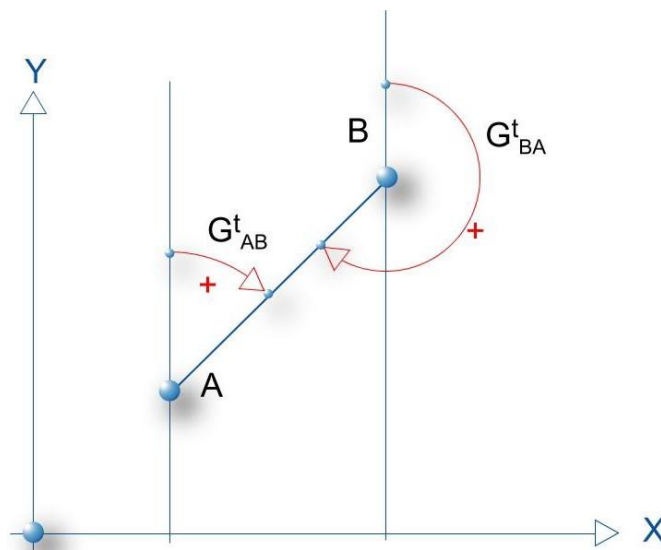
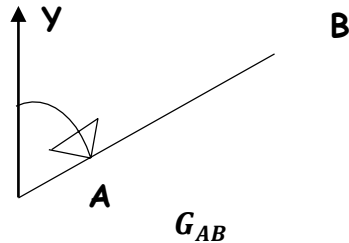


Figure 3.4: Gisement d'une direction

a. Gisement direct et gisement inverse

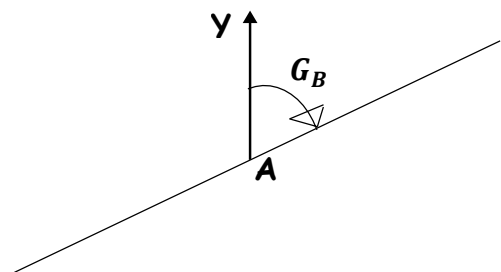
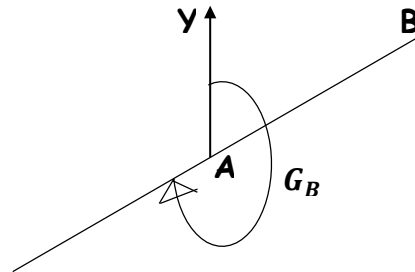
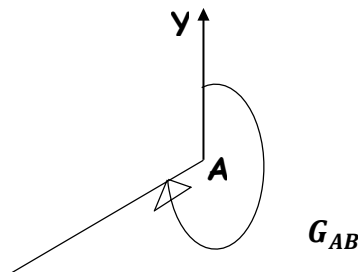
Par rapport au gisement d'une direction AB, appelé *gisement direct* G_{AB} , le gisement de la direction opposée BA est appelé gisement inverse G_{BA}

- G_{AB} compris entre 0 et 200 gon



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

- G_{AB} compris entre 200 et 400 gon



$$G_{BA} = G_{AB} - 200 \text{ gon}$$

En définitive : $G_{BA} = G_{AB} \pm 200 \text{ gon}$

b. La course

La course d'une ligne est l'angle aigu (0° à 90°) qu'on mesure à partir de la direction du Nord ou Sud du méridien et vers l'est ou l'ouest jusqu'à la ligne considérée. Par convention on représente la course par la lettre « N. » ou « S. » qu'on inscrit devant la valeur de l'angle et par la lettre « E. » ou « O. », après la valeur de l'angle par exemple à la figure 3.5. Ci-dessous, on a :

Course AB = N. 50° E. ;

Course AC = S. 60° E. ;

Course AD = S. 20° O. ; Course AE =

N. 70° O. ; Course AD = S. 20° O. ;

Course AE = N. 70° O. ;

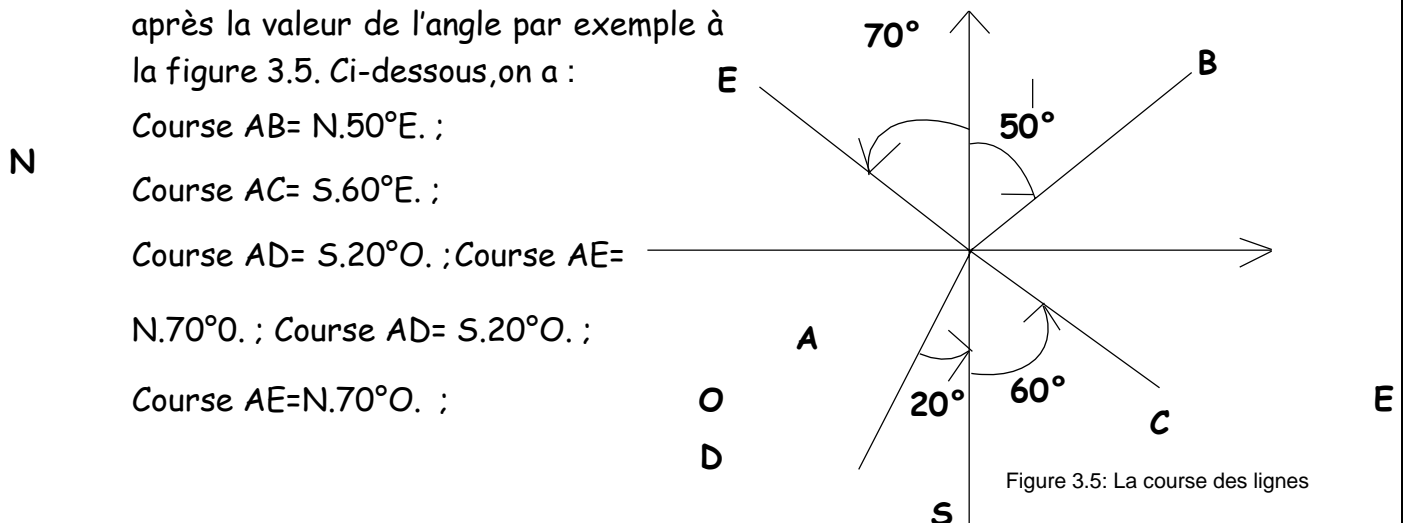


Figure 3.5: La course des lignes

c. Les relations entre le gisement et la course

Voyons les quatre cas courants de même que les cas limites qui illustrent les relations entre le gisement et la course (voir fig.3. 6)

1^{er} cas (a): si $0^\circ < G_{AB} < 90^\circ$, alors la course $AB = N.G E$.

2^{ème} cas (b): si $90^\circ < G_{AB} < 180^\circ$, alors la course $AB = S.(180^\circ -$

$G) E$. 3^{ème} cas (c): si $180^\circ < G_{AB} < 270^\circ$, alors la course $AB =$

$S.(G-180^\circ) O$. 1^{er} cas (d): si $270^\circ < G_{AB} < 360^\circ$, alors la course

$AB = N.(360^\circ - G) O$.

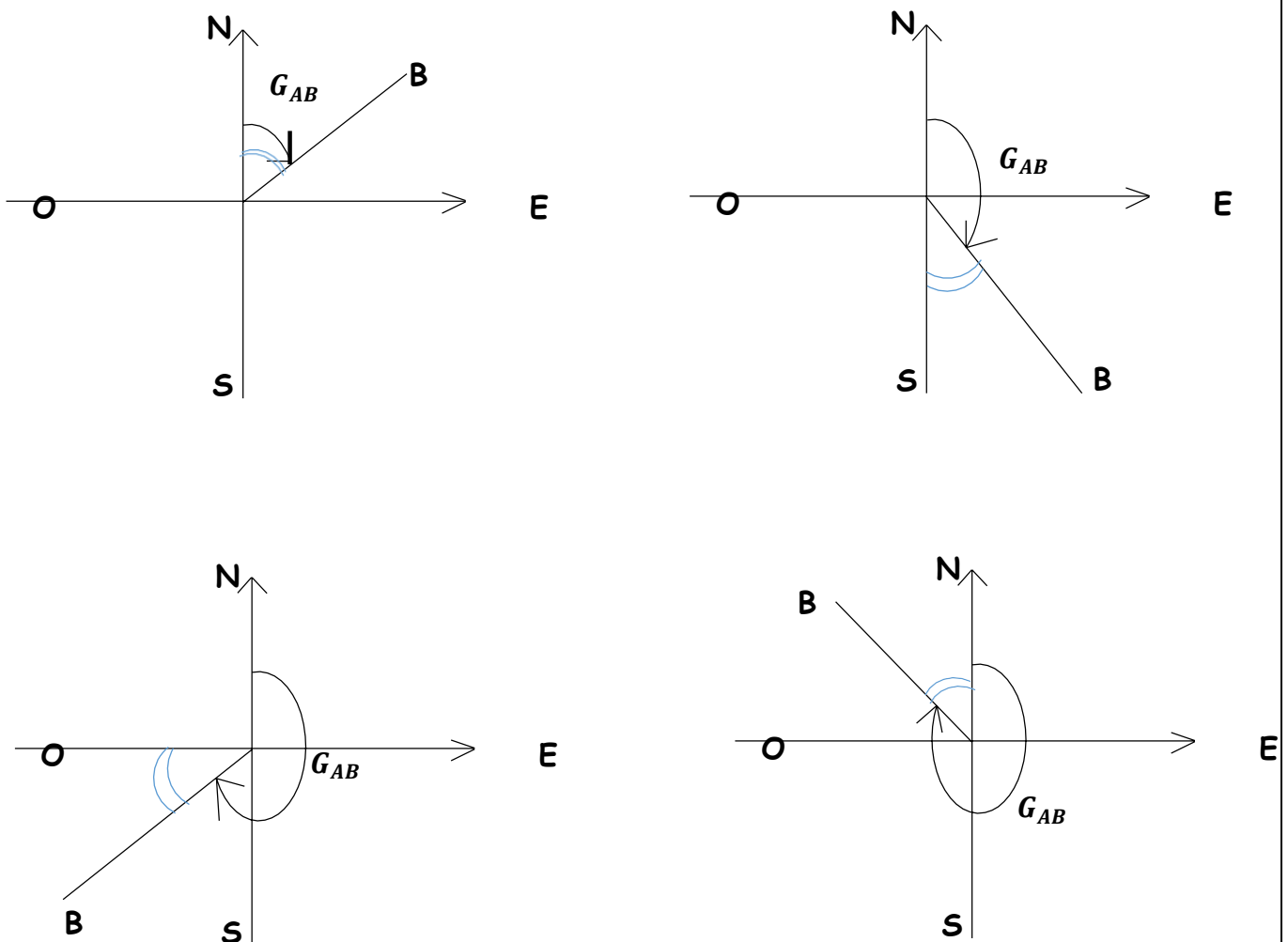


Figure 3.6: Les relations entre le gisement et la course

NB : G_{AB} Représente le gisement de la direction AB

Cas limites :

- Si $G_{AB} = 0^\circ$, alors la course AB= N.0°E. ou N.0°O. ou franc nord.
- Si $G_{AB} = 90^\circ$, alors la course AB= N.90°E. ou S.90°E. ou franc est.
- Si $G_{AB} = 180^\circ$, alors la course AB= S.0°E. ou S.0°O. ou franc sud.
- Si $G_{AB} = 270^\circ$, alors la course AB= S.90°O. ou N.90°O. ou franc ouest.

Gisement d'origine G_0

Le gisement d'origine G_0 (ou V_0) représente la direction (gisement) de la lecture $l_0 = 0$ gon du limbe d'un goniomètre (appareil de mesure des angles ; cercle horizontal). Si l'origine du limbe est orientée vers le nord (UTM), le G_0 de la station est nul. Le gisement de la direction est obtenu en modifiant le gisement direct de 200gr.

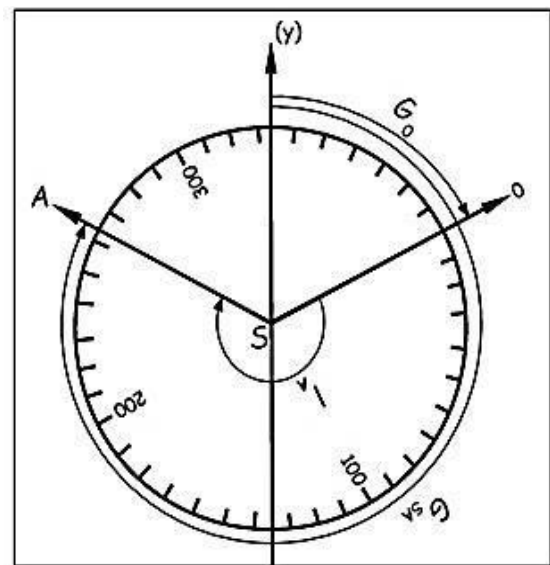
$$G_{AB} = G_{BA} + 200gr$$

d. Relations gisement- lecture

Le gisement d'une direction depuis une station est égal au G_0 auquel on ajoute la valeur de la lecture vers cette direction.

Inversement, la valeur du G_0 d'une station est égale au gisement d'une direction depuis la station auquel on soustrait la lecture vers cette direction.

$$G_0 = G_{SA} - l_{SA}$$

Figure 3.7: Gisement d'origine G_0

e. Orientation d'une direction

Définitions

- **Le nord géographique NG** est la direction nord du méridien géographique ; On la détermine soit par des visées sur les étoiles ou visées astronomiques, soit par des mesures gyroscopiques.
- **Le nord magnétique NM** est la direction nord du méridien magnétique. Elle est donnée par la pointe bleue de l'aiguille aimantée.
- **Le nord UTM ou le nord du Quadrillage NUTM ou NQ** est le nord du quadrillage correspondant à la projection plane UTM. C'est la direction positive de l'axe Nord (Y positif)
- **La déclinaison magnétique δ** est l'angle que fait le méridien magnétique avec le méridien géographique pris pour origine. Elle varie dans le temps et l'espace. Elle est actuellement ouest. Les mesures angulaires correspondantes sont faites en mode décliné (mesure des gisements).
- **L'angle de convergence γ** ou la convergence des méridiens est l'angle sous lequel le méridien du lieu considéré converge avec le méridien pris pour origine. Angle compris entre le Nord Géographique et le nord UTM.
- **L'azimut géographique Azg** est l'angle orienté que fait la direction considérée avec la direction nord du méridien géographique mesuré dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre de 0 à 400gon.

L'azimut magnétique Azm est l'angle orienté que fait la direction considérée avec la direction du méridien magnétique, mesurée dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre de 0 à 400gon.

- **Le Go d'un tour d'horizon Go** est le gisement de la direction pour laquelle la lecture

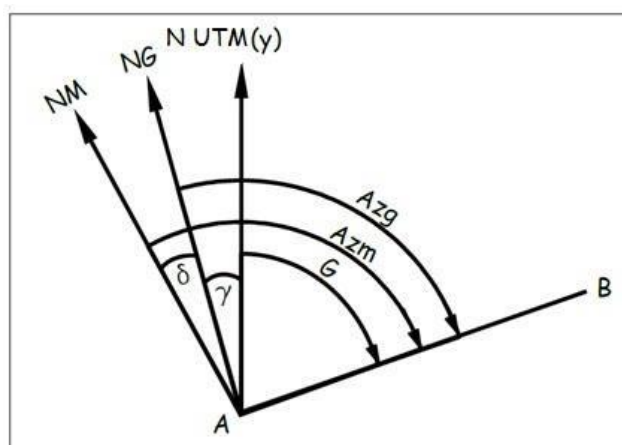


Figure 3.8: ORIENTATION D'UNE DIRECTION

sur le cercle horizontal est égale à 0 gon.

- **Le gisement G** est l'angle orienté que fait la direction considérée avec la direction positive de l'axe des ordonnées (Oy), mesuré dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre de 0 à 400gon. C'est l'angle le plus utilisé dans les calculs topométriques.

f. Relations entre les angles orientés

Un simple examen de la figure (fig2.5) nous permet d'en déduire les relations élémentaires qui existent entre ces divers angles orientés notamment :

$$Azg = G \pm \gamma \quad \text{et} \quad Azm = Az \pm \delta$$

Il est à noter que le gisement d'une direction est constant. Par contre, l'azimut d'une direction varie le long de cette direction. Ceci est dû à la convergence des méridiens.

g. Calcul du gisement et de la distance entre 2 points

Les mesures réalisées lors du lever avec un tachéomètre sont des coordonnées polaires (angles et distances) alors que le report s'effectue avec des coordonnées rectangulaires X et Y. La phase de calculs entre le lever et le report consiste donc principalement en la transformation de coordonnées polaires en coordonnées rectangulaires.

Inversement, une implantation s'effectue en coordonnées polaires avec un tachéomètre alors que les points à implanter sont définis en coordonnées rectangulaires. Il faut donc transformer les coordonnées rectangulaires en coordonnées polaires.

h. conversion polaires -> Rectangulaires

Problème direct $(X_A, Y_A, G_{AM}, D_{AM}) \rightarrow (X_M, Y_M)$

Calcul des coordonnées d'un point M inconnu par la donnée des coordonnées d'un point A connu et de la mesure du gisement et de la distance AM.

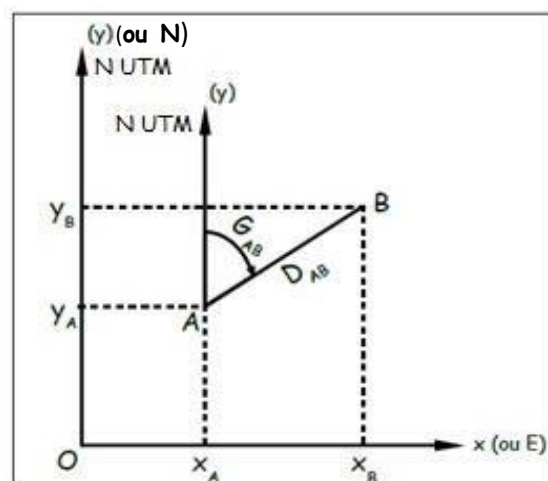
$$\begin{aligned} X_M &= X_A + D_{AM} * \sin G_{AM} \\ Y_M &= Y_A + D_{AM} * \cos G_{AM} \end{aligned}$$

Donc :

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + D_{AB} * \sin G_{AB} \\ Y_B &= Y_A + D_{AB} * \cos G_{AB} \end{aligned}$$

Entre un point A et un point B on peut écrire :

$$\begin{aligned} \Delta X &= X_B - X_A = D_{AB} * \sin G_{AB} \\ \Delta Y &= Y_B - Y_A = D_{AB} * \cos G_{AB} \end{aligned}$$



Pour ne pas confondre les coordonnées cartésiennes géocentriques (X, Y, Z) aux coordonnées rectangulaires planes (x, y, z), on note dorénavant les coordonnées planes par E pour Est, N pour Nord et H pour Hauteur ou Altitude. Les formules ci-dessous deviennent alors :

$$\begin{aligned}\Delta E &= E_B - E_A = D_{AB} * \sin G_{AB} \\ \Delta N &= N_B - N_A = D_{AB} * \cos G_{AB}\end{aligned}$$

Donc :

$$\begin{aligned}E_B &= E_A + D_{AB} * \sin G_{AB} \\ N_B &= N_A + D_{AB} * \cos G_{AB}\end{aligned}$$

Le gisement du vecteur pouvant varier de 0 à 400 gon, $\sin(G)$ et $\cos(G)$ sont positifs ou négatifs. On détermine le signe de ΔX et ΔY en fonction du tableau ci-dessous :

<i>Gisement (gon)</i>	ΔX ou ΔE	ΔY ou ΔN
$0 < G < 100$	+	+
$100 < G < 200$	+	-
$200 < G < 300$	-	-
$300 < G < 400$	-	+

i. Conversion rectangulaires -> polaires

Problème indirect ou inverse $(X_A, Y_A, X_B, Y_B) \rightarrow (G_{AB}, D_{AB})$
 $(E_A, N_A, E_B, N_B) \rightarrow (G_{AB}, D_{AB})$

Calcul du gisement et de la distance AB à partir des coordonnées des points A et B connus.

$$D_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

ou

$$D_{AB} = \sqrt{(E_B - E_A)^2 + (N_B - N_A)^2} = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$$

$$G_{AB} = \arctan \frac{(X_B - X_A)}{(Y_B - Y_A)} = \arctan \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (1)$$

$$G_{AB} = \arctan \frac{(E_B - E_A)}{(N_B - N_A)} = \arctan \frac{\Delta E}{\Delta N} \quad (1)$$

Ou

$$G_{AB} = 2 * \arctan \frac{(X_B - X_A)}{\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} + (Y_B - Y_A)} \quad (2)$$

$$G_{AB} = 2 * \arctan \frac{(E_B - E_A)}{\sqrt{(E_B - E_A)^2 + (N_B - N_A)^2} + (N_B - N_A)} \quad (2)$$

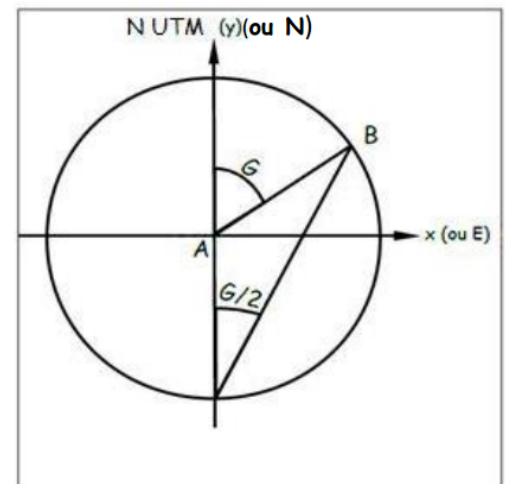


Figure 3.10: Transformation rectangulaire en polaire

Remarque:

La formule (2) permet de lever l'ambiguïté de 200 grades sur le calcul de « arctan ». Le calcul du gisement effectué avec une calculatrice va donner un résultat g dans le premier quadrant (g entre 0 et 100 gon) ou le quatrième quadrant (g entre -100 gon et 0). Il faut donc tenir compte des signes de ΔX ou ΔE et de ΔY ou ΔN pour savoir dans quel quadrant on se situe (tableau ci-dessous).

ΔX ou ΔE	ΔY ou ΔN	Gisement (gon)
+	+	$G = g$
+	-	$G = g + 200$
-	-	$G = g + 200$
-	+	$G = g + 400$

GO et rayonnement

Un théodolite permet d'effectuer des lectures d'angles horizontaux. Ces lectures sont comptées positivement dans le sens des aiguilles d'une montre par rapport à une direction origine correspondant à la lecture « zéro ».

Le gisement d'une direction peut se déduire du gisement de l'origine des lectures d'angles horizontaux mesurées lors du tour d'horizon. Celui-ci appelé G_0 d'orientation peut se calculer à partir de l'observation de points connus en coordonnées.

G_0 individuel en station A sur le point visé connu i :

$$G_{0i} = G_{Ai} - l_i$$

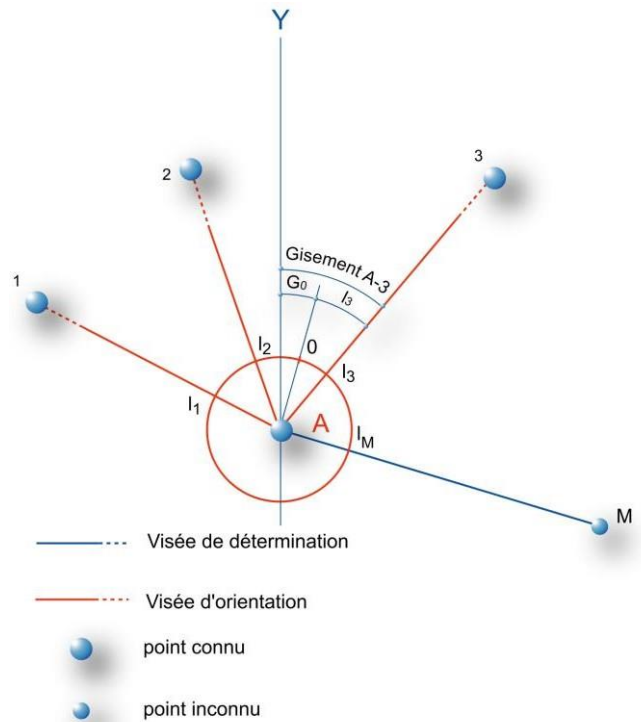


Figure 3.11 : G_0 et Rayonnement

▪ Définition

La moyenne de ces valeurs individuelles donne l'orientation moyenne du zéro du limbe au moment du tour d'horizon.

$$\text{moyenne arithmétique: } G_{0(\text{moyen})} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n G_{0i}$$

$$\text{moyenne pondérée: } G_{0(\text{moyen})} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{0i} * D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}$$

n est le nombre de points visés connus en coordonnées depuis la station.
L'analyse des écarts entre les $G0$ individuels et ce gisement moyen d'orientation permet de déceler les éventuelles erreurs de calculs et d'observations mais aussi de montrer un éventuel déplacement des points connus en coordonnées (borne déplacée, mauvaise identification de points visés...).

Le gisement d'une direction à déterminer se calcule simplement ensuite :

$$GAM = G0_{moyen} + IM$$

Application 1 : Calcul de V_0 et rayonnement

Un géomètre procède à la détermination de 2 points nouveaux 80 et 81 à partir de points géodésiques les plus proches 50, 51, 52, 53 et 54 de coordonnées planes suivantes.

Il stationne le point 50 et mesure les angles horizontaux suivants :

Points	E(m)	N(m)
50	982 591.010	3 155 242.710
51	983 111.450	3 157 891.810
52	986 130.980	3 154 407.730
53	979 758.400	3 154 999.820
54	982 679.857	3 154 794.980

Point Visé	Moyenne des lectures réduites (grades)
80	0.0000
52	52.7859
81	156.6256
53	232.5948
51	350.3884
54	125.5665

Point Visé	Distances horizontales (m)
80	300.460
81	216.612

Il mesure également les distances horizontales réduites à la projection depuis la station 50 :

➤ **Question 1 :**

- Calculer pour chaque point connu le $G0$ individuel
- Calculer le $G0$ moyen de la station 50

➤ **Question 2 :**

- Calculer les coordonnées planes des points 80 et 81

LE THEODOLITE

Le théodolite est l'un des instruments de topographie le plus complexe techniquement, mais son principe est relativement simple, tout comme son utilisation.

Il sert essentiellement à mesurer des angles horizontaux, verticaux et à obtenir des alignements précis.

1. Description.

Un théodolite comporte plusieurs parties pouvant pivoter autour de certains axes



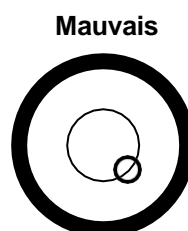
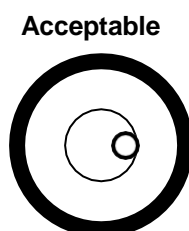
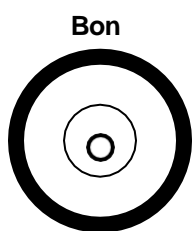
a) **L'embase** : liaison entre les organes de mesure et le trépied. Elle comporte 3 vis calantes (*calage des nivelles*).

b) **Le limbe** : Cercle gradué (*cercle horizontal*) avec divisions en grades (*en principe fixe lors des mesures*) et dont le centre se situe sur l'axe principal. Il comporte aussi une nivelle sphérique.

c) **L'alidade** : Partie mobile qui comporte

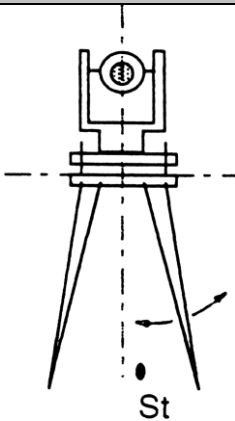
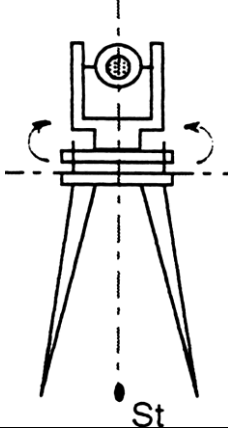
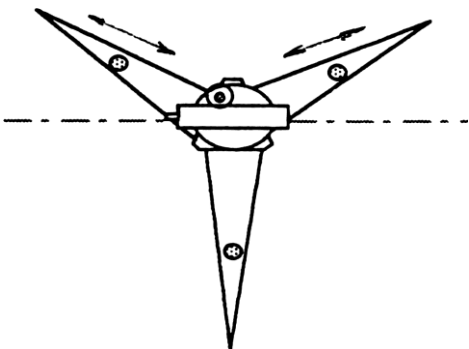
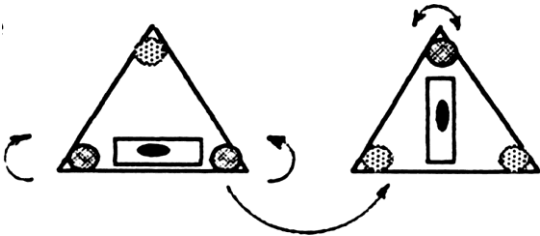
- La lunette
- Une nivelle torique
- Un cercle gradué (*cercle vertical*)

La **nivelle sphérique** sert à donner la verticale ou l'horizontale d'un élément du théodolite mais de manière approximative.



La **nivelle torique** ou tubulaire a la même utilité mais de manière beaucoup plus précise.

2) **Mise en station.**

Ordre des opérations	Manipulation	Parties actionnées
Centrage approché :	 <p>Tout en gardant le plateau à peu près horizontal, placer l'axe principal très proche de la station.</p>	Ensemble trépied + théodolite.
Centrage fin :	 <p>Amener l'axe principal parfaitement sur la station.</p>	Les vis calantes.
Calage approché :	 <p>Caler la bulle de la nivelle sphérique.</p>	Les pieds coulissants.
Calage fin :	 <p>Dans une position, caler la bulle de la nivelle torique avec 2 vis, puis à 100 gr, caler à nouveau avec la 3^{ème} vis.</p>	2 vis calantes, puis la 3 ^{ème} .
Contrôle: Vérifier que l'on est toujours centré sur la station, sinon déplacer le théodolite sur le plateau, puis recommencer le calage fin.		Vis de fixation du théodolite au trépied.

3) La mesure des angles.

Une fois la mise en station effectuée, l'opération de mesure des angles peut commencer. Un principe important, celui de la **référence**. C'est une première lecture effectuée sur un point éloigné et précis. Elle sera reprise en fin de station pour constater que, ni l'instrument, ni le trépied n'ont bougé pendant les mesures.

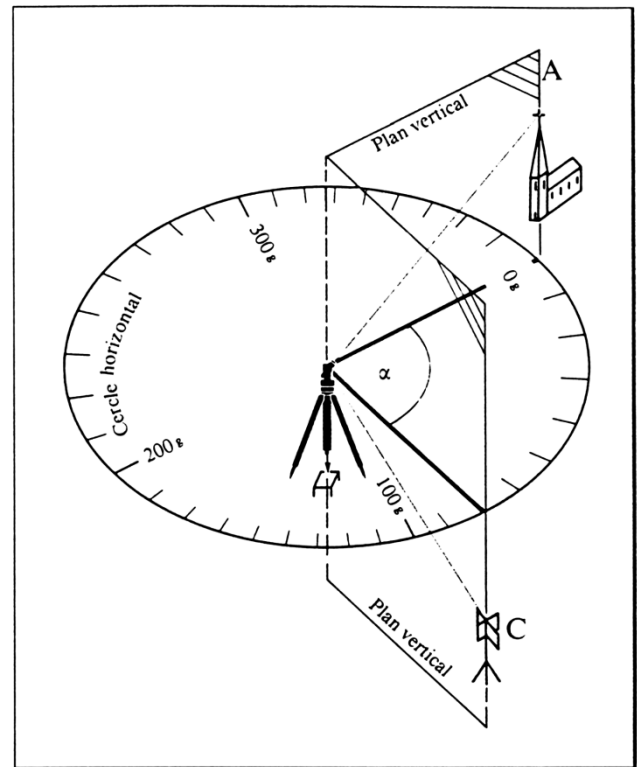
Les angles horizontaux.

Lorsqu'on a visé le point A avec la croisée des fils du réticule, l'index s'est arrêté sur une lecture du limbe.

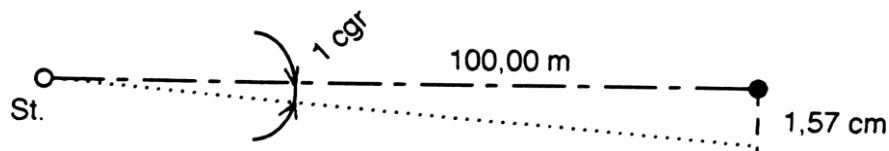
Ensuite, en visant C, l'index et l'alidade ont été déplacés et sont positionnés face à une nouvelle lecture.

L'angle horizontal ainsi mesuré est obtenu par l'opération :

$$\alpha = \text{Lecture extrémité} - \text{Lecture origine} \\ = L_C - L_A$$



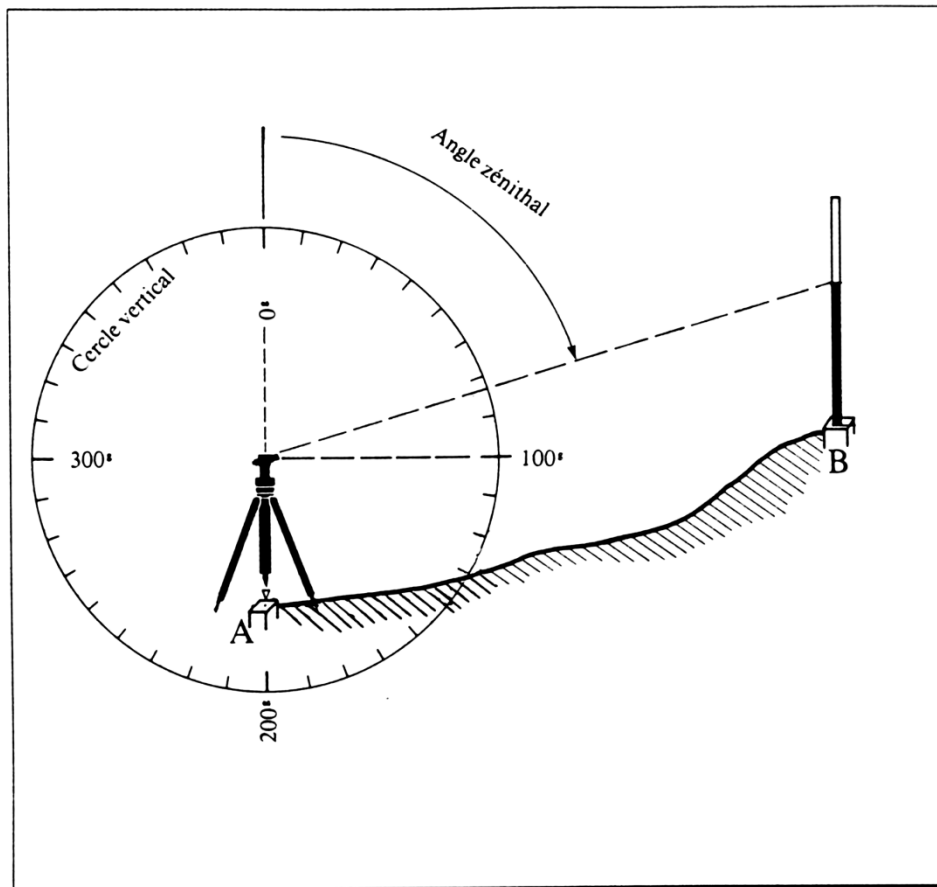
Remarque : un écart angulaire de 1 cgr (centigrade) correspond à un décalage de 1,57 cm à 100 m.



Cela permet d'apprécier la fermeture angulaire et la précision à apporter sur la mesure des angles.

Les angles verticaux.

Contrairement aux angles horizontaux, la mesure des angles verticaux se lit directement, l'origine de ces angles est généralement placée au zénith.



4) Contrôle.

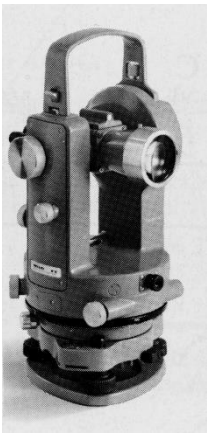
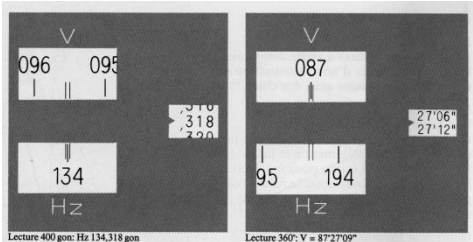

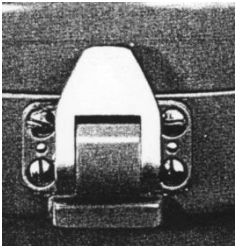
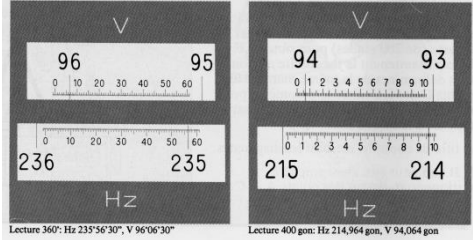
Un contrôle, le « **double retournement** », permet d'une part d'éviter une faute et d'autre part d'apporter une meilleure précision en atténuant les erreurs dans la mesure des angles.

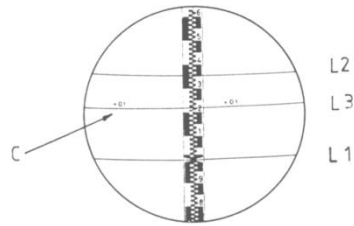
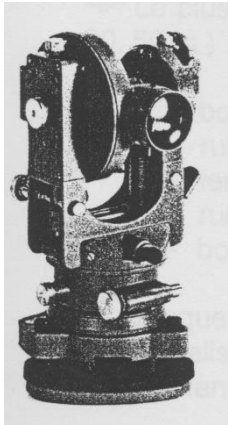
Il consiste à effectuer 2 rotations :
 - de la lunette autour de l'axe secondaire
 - de l'alidade autour de l'axe principal

On obtient des lectures faites entre la position **CG** (cercle à gauche) et **CD** (cercle à droite) :

- pour les angles horizontaux, différentes de $200\text{ gr} + I - \varepsilon$
- pour les angles verticaux, complémentaires à $400\text{ gr} + / - \varepsilon$

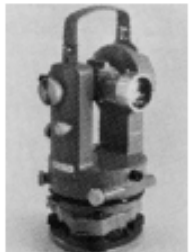
St	Pt	Lect. AH		Lect. AV		Observations
		CG	CD	CG	CD	
S1	A	27,614	227,619	65,831	334,167	
	B	142,038	342,041	102,645	297,359	

Appareil	Particularité	Lecture
T1 	<ul style="list-style-type: none"> - Nivelles de collimation verticale ? - Avec la molette du micromètre, encadrer la valeur V (<i>blanc</i>) ou HZ (<i>jaune</i>) et effectuer la lecture. <p>NB : Plus précis que le T 16</p>	 <p>Lecture 400 gon: Hz 134,318 gon Lecture 360°: V = 87°27'09"</p>
T16 	<ul style="list-style-type: none"> - Nivelles de collimation verticale ? - Effectuer directement la lecture V (<i>blanc</i>) ou HZ (<i>jaune</i>). <p>Pince du cercle : elle permet d'orienter le cercle horizontal pour obtenir n'importe quelle lecture de départ.</p> 	 <p>Lecture 360°: Hz 235°56'30", V 96°06'30" Lecture 400 gon: Hz 214,964 gon, V 94,064 gon</p>

RDS**Tachéomètre auto-réducteur**

- Nivelles de collimation verticale ?
- 1) En basculant la lunette, amener le trait stadimétrique inférieur (*courbe origine*) sur une cote ronde (**L1**).
- 2) La lecture au trait stadimétrique supérieur (**L2**) donne :
 $D = 100 (L2 - L1)$
- 3) La lecture au trait stadimétrique médian (**L3**) donne :
 $\Delta H = 100 \times C \times (L3 - L1)$

NB : Dépassé aujourd'hui avec l'arrivée des appareils électroniques.

**T2**

- Sélectionner le type d'angle à mesurer :

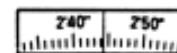
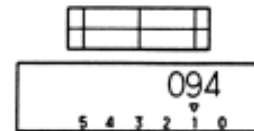
Vertical

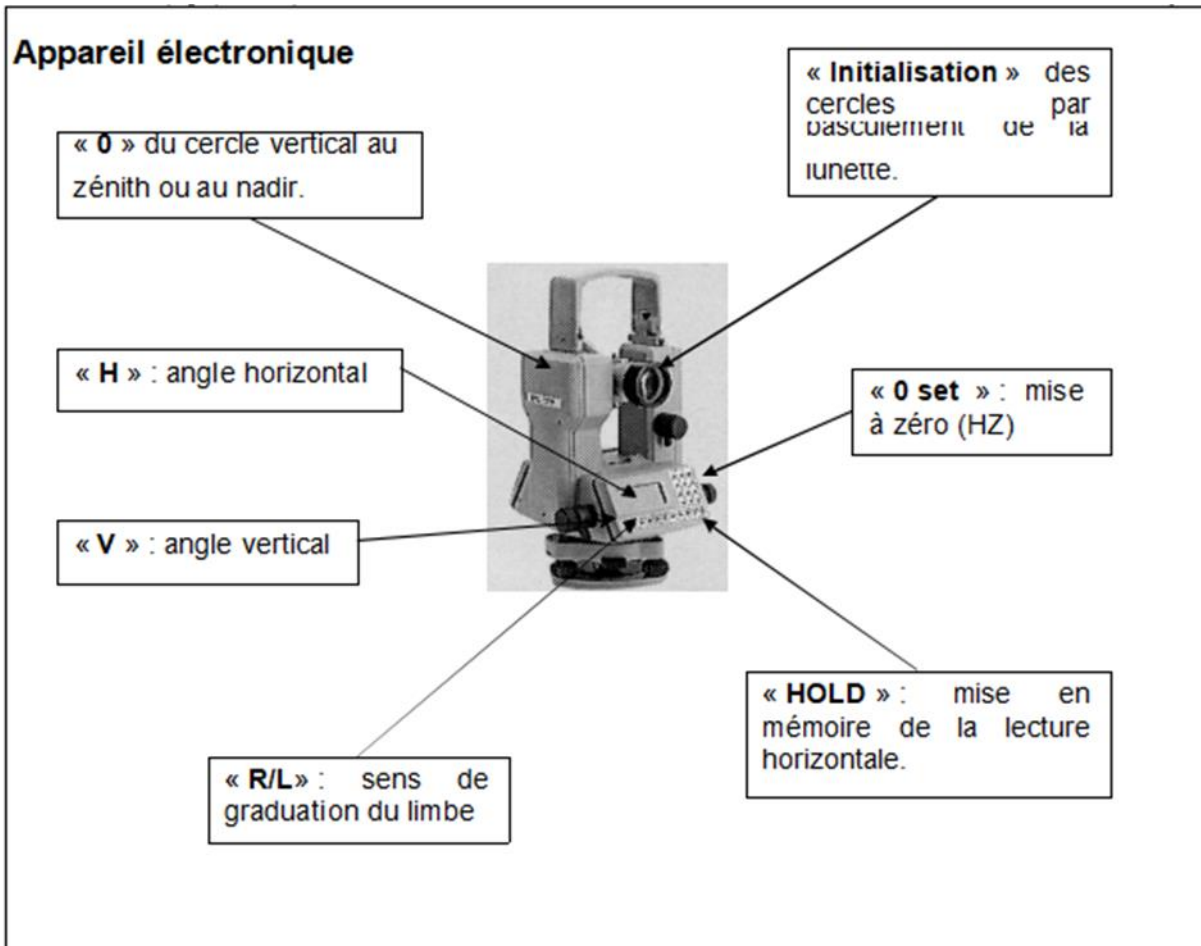


Horizontal



- Avec la molette du micromètre, superposer les 2 échelles et effectuer la lecture.





5. UNITES UTILISEES EN TOPOMETRIE.

1. Unités linéaires

En topométrie, les unités utilisées sont les multiples et sous-multiples du mètre (m).

2. Unités angulaires

Principalement en topométrie, nous utilisons :

- En topographie, l'unité d'angle employée est : Le grade : (gr) ou gon (g), (système centésimal).

La circonférence vaut 400gr.

Sous multiples : le décigrade (dgr) = 0.1 gr,

Le centigrade (cgr) = 0.01 gr,

Le milligrade (mgr) = 0.01 gr,

Le décimilligrade (dmgr) = 0.0001 gr.

Unités	Symbole	Valeur
Grade	gr	1
Décigrade	dgr	10 ⁻¹ gr
Centigrade ou Minute centésimale	cgr (') mgr	10 ⁻² gr
Milligrade	dmgr ('')	10 ⁻³ gr
Décimilligrade ou Seconde centésimale		10 ⁻⁴ gr

- **le degré (sexagésimal) :**

Unités	Symbole	Valeur
Degré	°	1
Minute sexagésimale	'	1/60°
Seconde sexagésimale	"	1/3600°

- **le radian (rd) :** C'est l'angle au centre sous lequel est vu un arc de longueur égale au rayon du cercle. Pour les calculs, le radian est compatible avec les unités de longueur.

3. Unités de surface (unités agraires)

Unités	Symbole	Valeur
hectare	ha	10 ⁴ m ²
are	a	10 ² m ²
centiare	ca	1 m ²

4. Conversions angulaires

$$2 \pi \text{ rd} = 360^\circ = 400 \text{ gr} \text{ d'où } \pi \text{ rd} = 180^\circ = 200 \text{ gr}$$

a) Degrés → grades (exemple : 93°24'33")

$$\left(93 + \frac{24'}{60} + \frac{33''}{3600} \right) \times \frac{10}{9} = 103.78797 \text{ gr}$$

$$103.78797 \times \frac{9}{10} = 93.4092^\circ$$

- Multiplier par 60 la partie décimale du résultat pour obtenir des minutes décimales :
 $0.4092 \times 60 = 24.5504'$

- Multiplier par 60 la partie décimale de ce dernier pour obtenir des secondes :
 $0.5504 \times 60 = 33.0228''$

D'où $103.78797 \text{ gr} = 93^\circ 24' 33''$

b) Radians → grades → radians

$$\pi \text{ rd} = 200 \text{ gr} \Rightarrow \frac{A(\text{rd})}{\pi} = \frac{A(\text{gr})}{200} \rightarrow \begin{cases} A(\text{rd}) = A(\text{gr}) \times \frac{\pi}{200} \\ A(\text{gr}) = A(\text{rd}) \times \frac{200}{\pi} \end{cases}$$

c) **Radians → degrés → radians**

$$\pi \text{ rd} = 180^\circ \text{ gr} \Rightarrow \frac{A(\text{rd})}{\pi} = \frac{A(^{\circ})}{180} \rightarrow \begin{cases} A(\text{rd}) = A(^{\circ}) * \frac{\pi}{180} \\ A(^{\circ}) = A(\text{rd}) * \frac{180}{\pi} \text{ (degrés décimaux)} \end{cases}$$

Remarque : Aucune vérification n'est possible au cours de ces transformations. Il est donc hautement conseillé de convertir le résultat obtenu dans le premier par mesure de vérification.

Exercice :

Convertir :

- 302°21'17" en radians
- 318.0958 gr en degrés et ses sous-multiples
- 249°08'02" en grades

Relation entre les unités de mesure des angles

$$\frac{\text{Angle en grade}}{400} = \frac{\text{Angle en degré}}{360} = \frac{\text{Angle en radian}}{2\pi}$$

LA PLANIMETRIE

**1) Mesures linéaires.****a - Mesures directes de distances.**

⇒ Le plus courant des instruments de mesure de longueur en topographie est le mètre (20, 30, 50 m). Son utilisation est simple, à condition de respecter certaines règles particulières :

- bon placement du « **zéro** » sur l'axe de la station, l'angle du mur...
- ruban bien déroulé (*non vrillé*)
- tension correcte du ruban
- ruban bien à l'horizontale (*surtout en mode suspendu*)

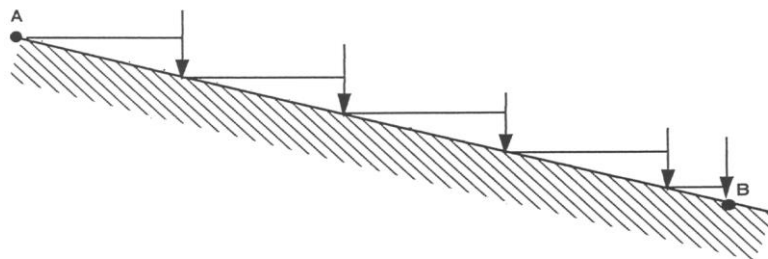
- bonne lecture sur le ruban (*éviter les inversions*).

Lorsque la distance à mesurer sera plus grande qu'une longueur de ruban, on aura intérêt à matérialiser un ou des points intermédiaires. Il sera impératif que ces points se trouvent sur l'alignement formé par les points extrêmes (*cette opération se fait généralement à l'œil*).

Lorsque le terrain sera accidenté (*forte pente > à 5 %*), on aura recours, en plus du ruban, à un plomb d'axe (*fil à plomb*). Le principe de mesure, appelé **cultélation** est celui de mesures en « escaliers ».

Les difficultés que l'on rencontrera seront :

- mise à l'horizontale du ruban
- conservation d'un bon alignement
- bonne matérialisation du point grâce au fil à plomb.



En règle générale, on aura intérêt pour ce genre de mesure, à procéder du point le plus haut vers le point le plus bas.

Les progrès réalisés en électronique et en informatique depuis plus de 10 ans ont

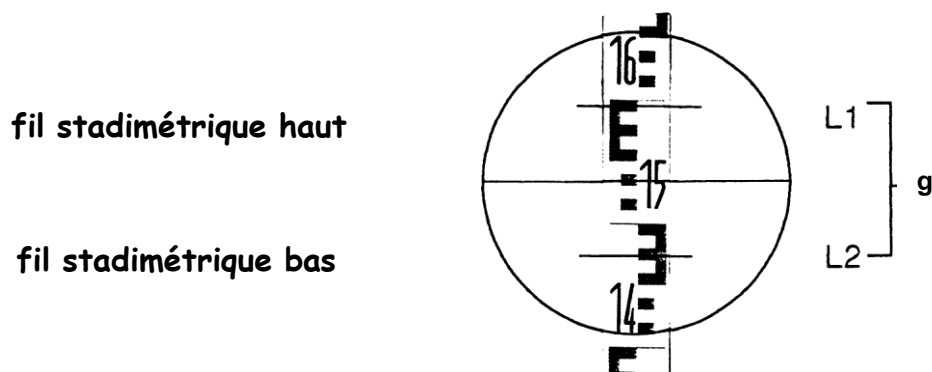
révolutionnés le domaine de la topométrie. L'opérateur géomètre dispose désormais, pour mesurer les distances, d'instruments équipés d'un émetteur - récepteur fonctionnant sur le principe d'une émission d'onde, onde qui est réfléchie après avoir atteint un ensemble de prismes. Le résultat est obtenu en quelques secondes et est affiché sur un écran interne à l'instrument.

Toutes les mesures effectuées peuvent être directement enregistrées sur un carnet électronique qui sera connecté à un ordinateur dès l'arrivée au bureau.

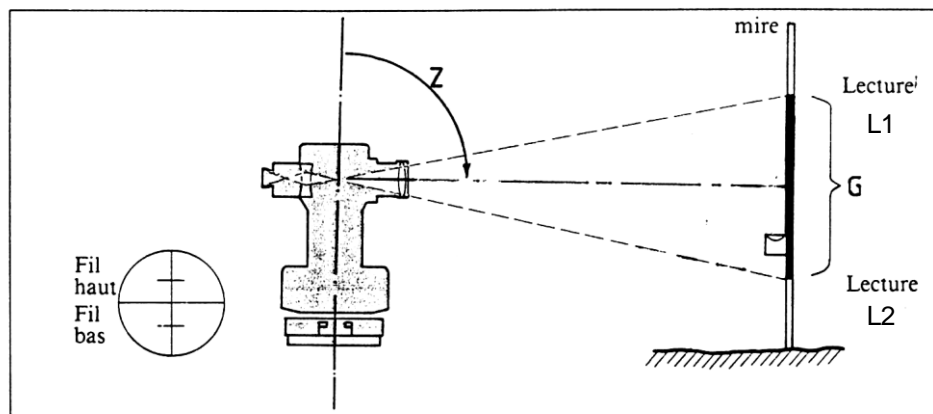
b - Mesures indirectes de distances.

⇒ Les instruments (tachéomètres) possédant, en plus du réticule, des fils « stadimétriques », permettent d'obtenir des distances horizontales par une manipulation simple.

Viser sur la mire, puis noter alors les deux lectures sur mire **L1** et **L2** ainsi que l'angle vertical **Z**.



$$g = L1 - L2$$



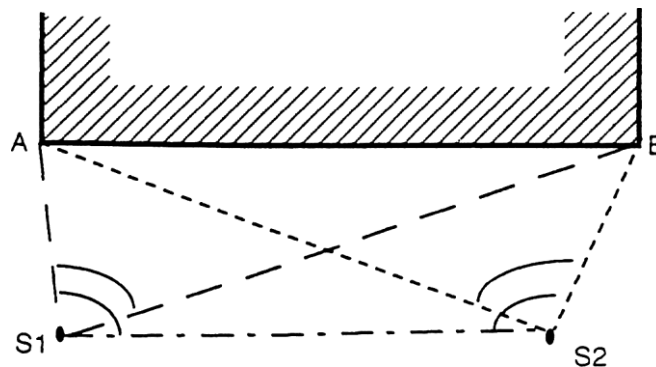
$$Dh = 100 \cdot G \cdot \sin^2 Z$$

Remarque :

Une astuce peut faciliter les calculs : viser sur la mire avec une visée horizontale (cas du niveau), on obtient ainsi directement la distance horizontale **Dh = 100 . G**

c - Précision des méthodes.

Chaînages au ruban à plat	= +/- 2 à 3 cm pour 100 m
Chaînages au ruban en terrain accidenté	= +/- 5 à 10 cm pour 100 m
Grâce aux fils du réticule	= +/- 10 cm à 60 m
Au distancemètre	= +/- quelques mm pour 100 m

d - Cas particulier : Mesure de la longueur d'un bâtiment inaccessible.**Terrain :**

- ✧ implanter une base S1 S2
- ✧ mesurer la distance horizontale S1 S2
- ✧ noter les lectures d'angles depuis S1 sur A, B, S2
- ✧ noter les lectures d'angles depuis S2 sur A, B, S1

Calculs :

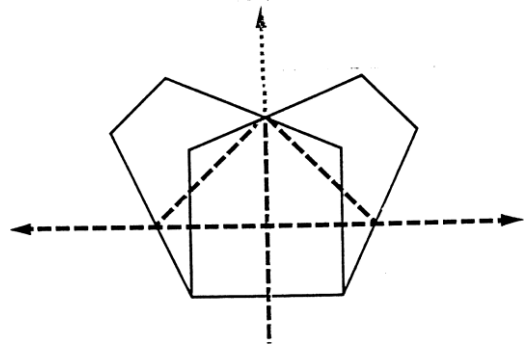
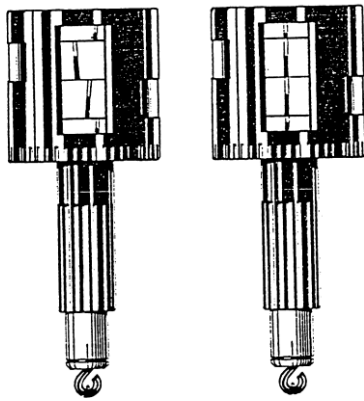
résolution de triangles par analogie des sinus : $a / \sin A = b / \sin B = c / \sin C$

par la formule : $c^2 = a^2 + b^2 - 2.a.b.\cos C$

2) Alignements.

⇒ Pour résoudre les problèmes d'alignement, il existe un instrument très simple, appelé l'équerre optique qui est couplé soit à un fil à plomb, soit à une canne plombée. Son principe est basé sur l'utilisation de miroirs, l'un donnant une image venant de la gauche suivant un angle à 100,00 gr, l'autre une image venant de la droite (cas de l'équerre à double prismes). Souvent, une petite « fenêtre » permet d'observer droit devant soi

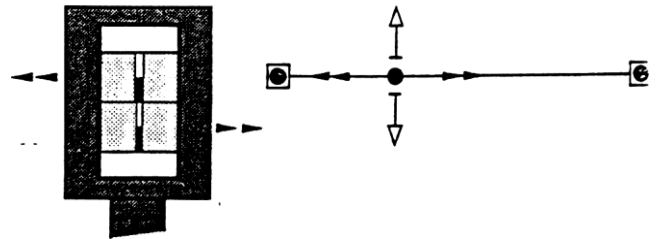
⇒ (visée directe) ; c'est par le jeu de superposition des images que l'on obtient les points désirés.



Trois utilisations sont alors possibles:

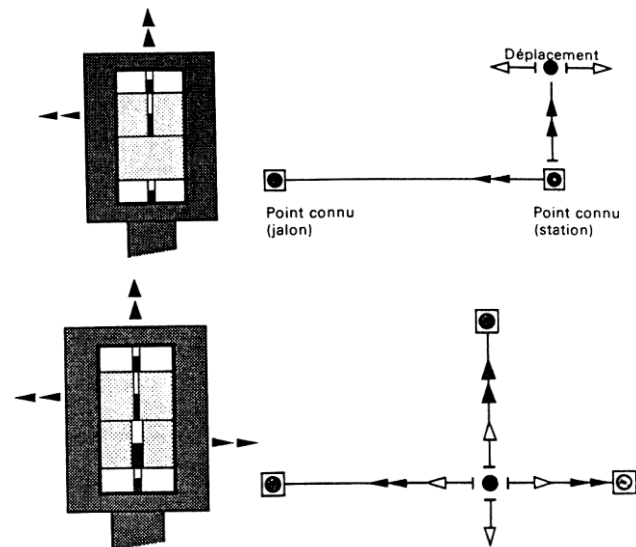
1. Matérialiser un point sur un alignement donné :

En stationnant approximativement sur l'alignement entre deux points connus, on avance ou on recule jusqu'à ce que les images des 2 jalons vus dans le prisme se trouvent superposées.



2. Elever, en un point d'un alignement une perpendiculaire à cet lignement
En stationnant le point connu, on observe

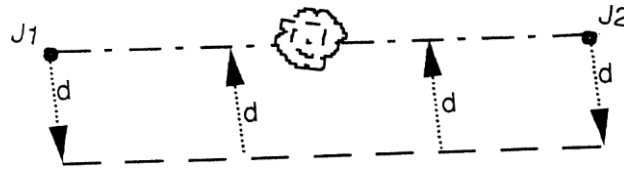
dans le prisme le jalon placé sur l'autre point de l'alignement. En visant à travers la fenêtre, on fait déplacer le jalon au point cherché jusqu'à ce qu'il soit dans le prolongement de l'image du jalon vu dans le prisme.



3. Abaisser, sur un alignement la perpendiculaire d'un point extérieur :

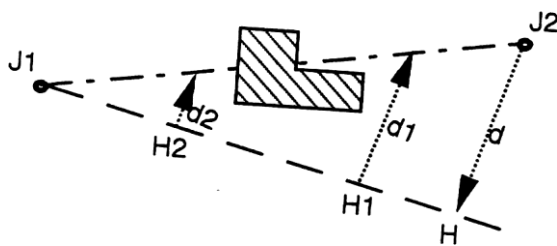
Ce cas est une combinaison des deux précédentes. On s'aligne d'abord sur le point connu pour obtenir la superposition des images. On se déplace ensuite sur cet alignement jusqu'à ce que le 3ème point connu se trouve dans le prolongement des 2 autres images.

⇒ Alignement avec petit obstacle (arbre, voiture...) :



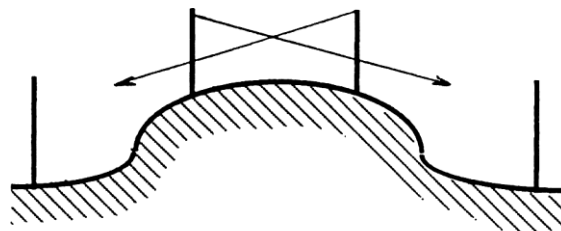
Se décaler de 1 à 1,50 m perpendiculairement à l'alignement.

⇒ Alignement avec gros obstacle (bâtiment...) :

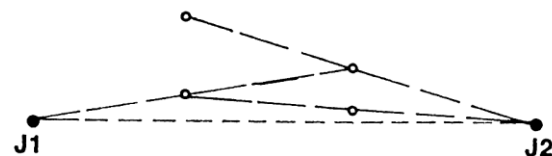


Créer un alignement quelconque, abaisser la perpendiculaire de J1 sur ce nouvel alignement mesurer J1H et d. En H1, élever une perpendiculaire d1 calculée avec THALES...

$$d / J1H = d / J1H1$$



COUPE



PLAN

⇒ Relief sur alignement avec :

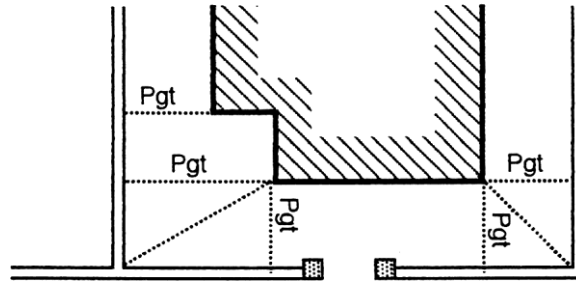
Avec deux opérateurs, on procédera par « ajustements » successifs pour arriver à l'alignement définitif.

3) Méthodes de levé planimétrique.

⇒ Levé au ruban uniquement :

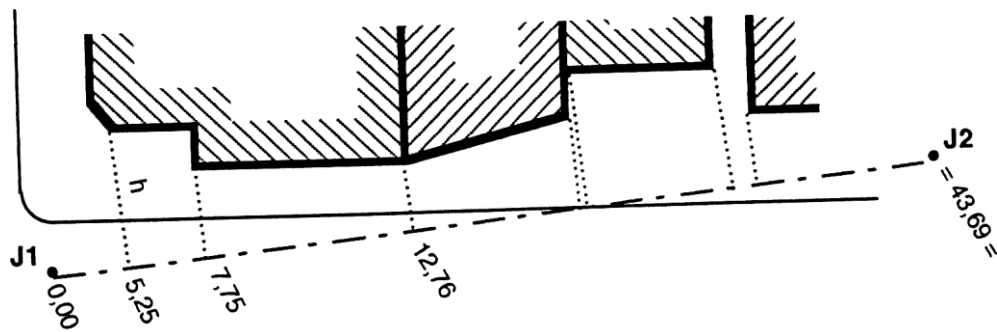
⇒ intéressant pour les parties inaccessibles avec du gros matériel (par exemple levé d'intérieur, de complément)

⇒ on peut se servir des prolongements (Pgt) des bâtiments, murs, trottoirs, ...



⇒ Levé par abscisses et ordonnées :

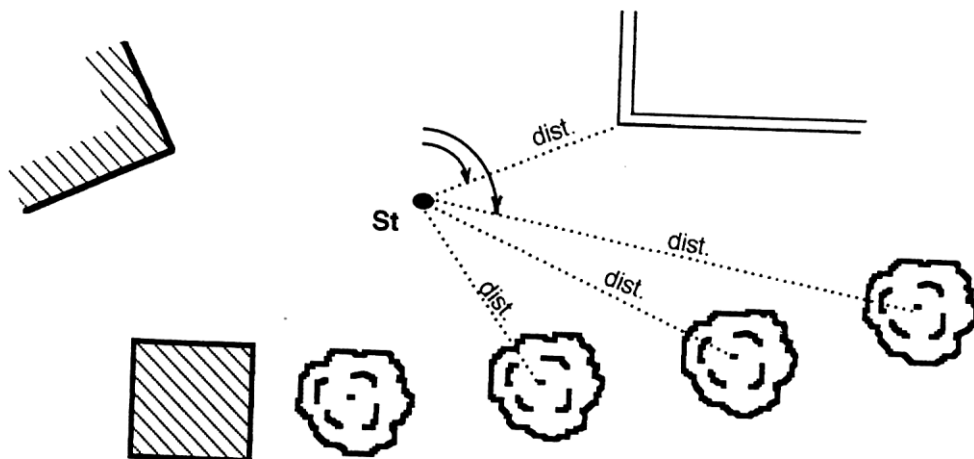
- s'opère à l'aide d'une équerre optique
- est utilisé pour des compléments de levé
- demande l'implantation d'une ligne d'opération.



⇒ Levé par rayonnement :

- s'opère à partir d'une station « centrale » bien choisie à l'aide du théodolite pour les angles et du ruban ou du distancemètre pour les distances

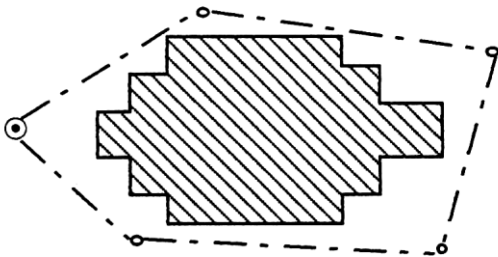
certain points importants pourront être « rayonnés » à partir de deux stations différentes, ils seront ainsi contrôlés (= points doubles).



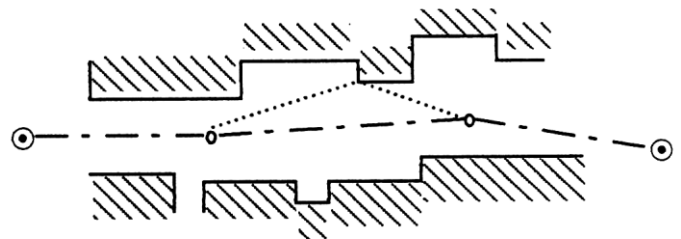
⇒ Levé par cheminement polygonal : cela consiste à

- planter un ensemble de stations au sol reliées les par rapport aux autres de façon à pouvoir effectuer, à partir de ces stations, le levé de la zone.
- effectuer les mesures de cette « polygonale » qui peut être de deux types :

Polygonale fermée

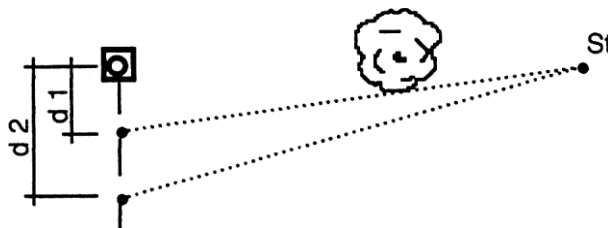


Polygonale encadrée

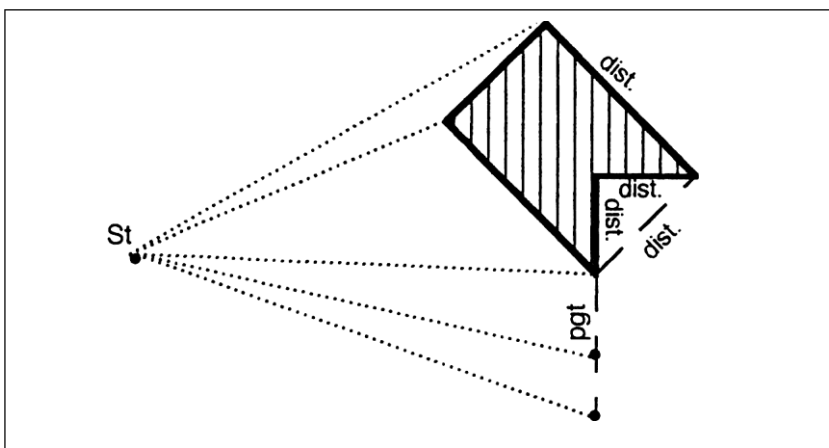


4) Cas particuliers.

Il peut arriver lors d'un levé que certains points soient invisibles (masqués par un arbre, ...).



Lever deux points sur un alignement droit et mesurer au ruban d1 et d2.



Lever 1 ou 2 points sur le prolongement (pgt) et faire un levé complémentaire au ruban. L'angle « invisible » sera positionné lors du report par coordonnées bi-polaires.

Conclusion : des cotes de contrôles devront être prises, notamment entre les points importants (façades, points doubles, ...).

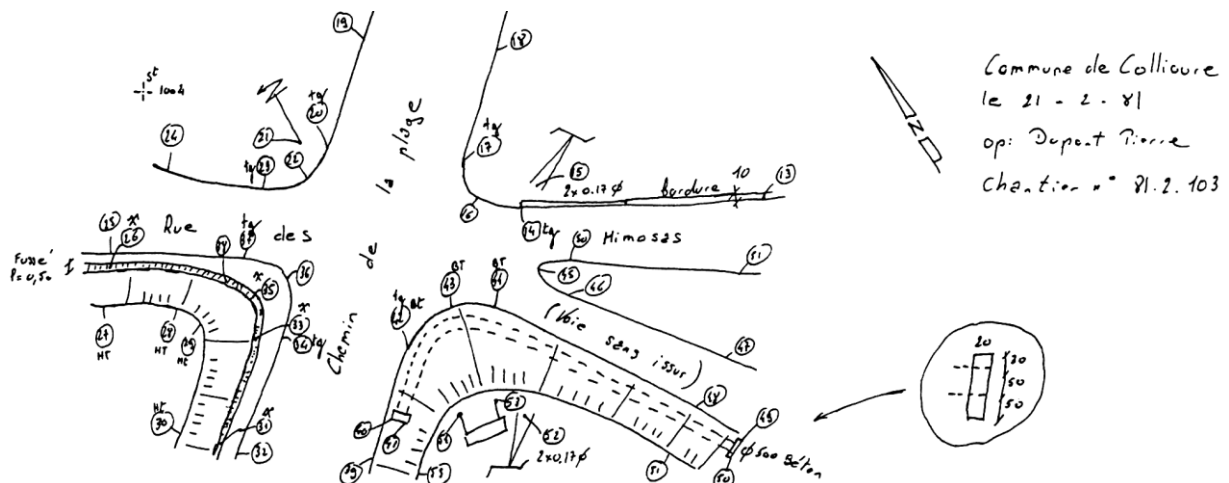
METHODOLOGIE DE RELEVÉ

1) Reconnaissance :

Choisir le nombre et l'emplacement des stations qui pourront être soit des piquets + clou (au ras du sol), soit des spits. Croquis de repérage indispensable.

Etablir le croquis de terrain qui est le document graphique primordial qui doit être établi sur le terrain, dès la reconnaissance de la zone effectuée.

C'est un dessin sans échelle, proportionné, pour donner une image assez fidèle du terrain. On y inscrit tous les n° des stations, des points, ainsi que les renseignements nécessaires à la réalisation du plan. Il doit être clair, complet, facile à interpréter.




2) Levé :

Pour les mesures de cheminement, double retournement en angle, et aller-retour en distance (contrôle immédiat sur le terrain).

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées, priorité cependant au rayonnement (sur chaque point de détail, prise de la lecture d'angles horizontaux et de distances horizontales).

Noter ces éléments sur le carnet de terrain qui est le document manuscrit complémentaire au croquis de terrain. Il contient tous les éléments mesurés à partir des bases ou stations, éléments que l'on note dans les colonnes appropriées :

St (ht)	Pt	Lect. AH		Lect. AV		Dist H		Obsevation
		CG	CD	CG	CD			

Prise de cotes de contrôles. Cette opération n'est pas à négliger car elle permet souvent de retrouver et d'anéantir des fautes dans les mesures, elle permet aussi de diminuer les erreurs.

COORDONNEES POLAIRES COORDONNEES RECTANGULAIRES



Il existe différents modes de repérage du point dans le plan :

- repérage de tous les points par rapport aux autres (trop de cotes...)
- repérage par rapport à deux points particuliers = bipolaires (mauvaise précision...)
- repérage par un système de coordonnées :

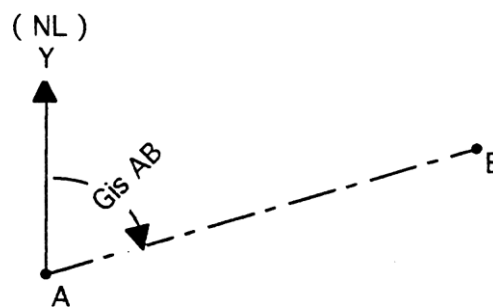
a - système de coordonnées rectangulaires (repérage du point par abscisse X et ordonnée Y).

b - système de coordonnées polaires (repérage du point par rapport à un autre en distance et direction).

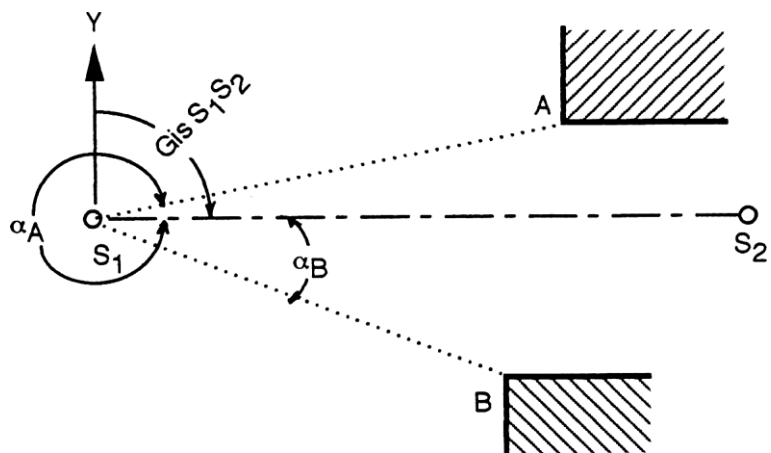
Lorsque l'on s'appuie, lors des mesures topographiques, sur les points géodésiques déterminés en (X,Y) Lambert, on parlera de « système général » ou système Lambert ; sinon on parlera de « système particulier » ou système indépendant.

1) Gisements.

Si la direction origine est parallèle à l'axe des Y du système de coordonnées rectangulaires de la projection, les directions sont appelées « gisement » (notation G ou Gis).
Le gisement est l'angle compris entre l'axe des Y et une droite.



2) Transmission de gisement.



- Lors d'un rayonnement :

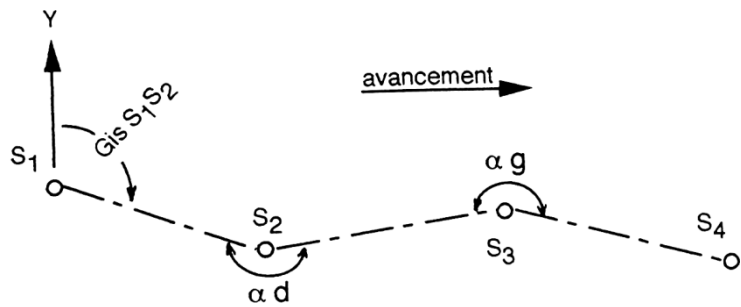
$$\text{Gis } S_1B = \text{Gis } S_1S_2 + \alpha_B$$

$$\text{Gis } S_1A = \text{Gis } S_1S_2 + \alpha_A - 400$$

- Lors d'un cheminement :

avec angle topographique de droite
 $\text{Gis } S_2S_3 = \text{Gis } S_1S_2 + (200 - \alpha_{S_2})$

avec angle topographique de gauche
 $\text{Gis } S_3S_4 = \text{Gis } S_2S_3 + (\alpha_{S_3} - 200)$



3) Le Vo.

Le **VO** ou **GO** est le « **gisement du zéro** » du limbe de l'appareil.

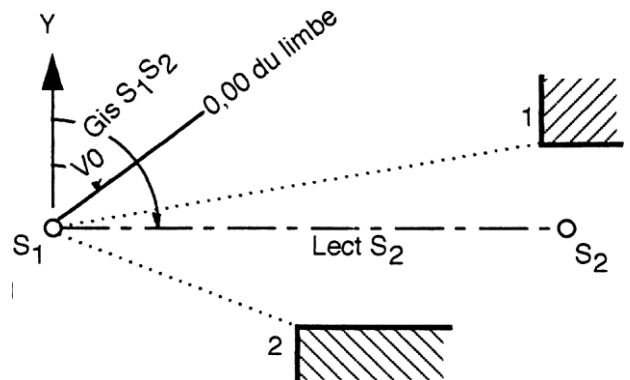
$$\text{VO} = \text{Gis } S_1S_2 - \text{Lect } S_2$$

On aura ensuite pour chaque point de détail :

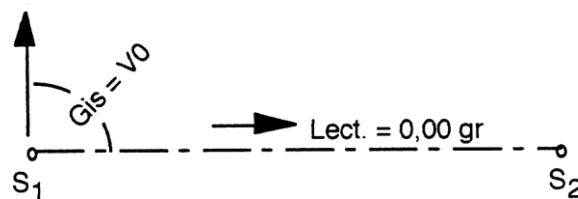
$$\text{Gis } S_1P_1 = \text{VO} + \text{Lect } P_1$$

Pour une plus grande précision, on calculera un VO (plusieurs gisements) :

$$\text{Gis } S_1P_1 = \text{VO}_{\text{moy}} + \text{Lect } P_1$$

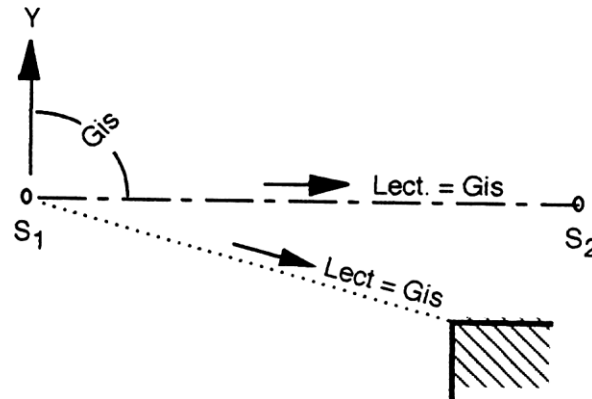


Remarque : pour simplifier les calculs, lors d'un levé, à partir de stations connues en (X,Y), « afficher » une lecture :

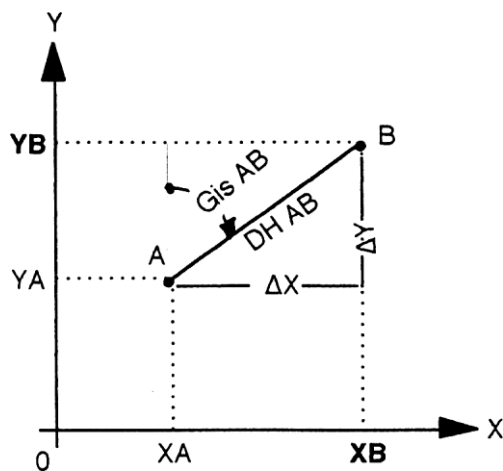


- égale à 0,000 gr. On obtiendra alors directement le VO.

- égale au gisement. On obtiendra alors, sur les points de détails, une lecture correspondant à leur gisement.



4) Transformation de coordonnées polaires en rectangulaires



éléments connus

$A(X,Y)$
 G_{AB}
 DH_{AB}

éléments recherchés

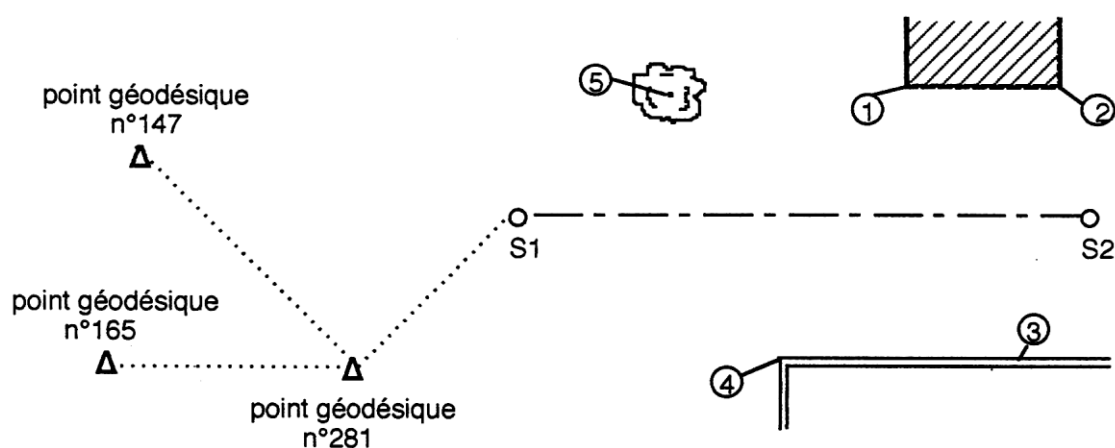
$B(X,Y)$

Formules :

$$XB = XA + (AB \sin G) \quad (\Delta X)$$

$$YB = YA + (AB \cos G) \quad (\Delta Y)$$

Exemple : un opérateur a effectué le levé d'une zone de terrain. D'après ces documents on vous demande de calculer les coordonnées Lambert des différents points

Croquis de terrain**Carnet de levé**

St	Pt	Lecture Ah		V	Dh	Observations
		CG	CD			
281	S1	101,383	301,380		239,449	Gis 281-165 = 228,569 Gis 281-147 = 373,984
	165	231,846	31,843			
	147	377,258	177,261			
S1	281	27,665	227,663		239,451	281 X = 830,611 Y = 981,818
	S2	99,131	299,133		163,745	
S2	Ref	343,824				
	S1	256,636			163,741	
	1	338,451			19,27	
	2	20,691			21,54	
	3	107,420			18,48	
	4	224,150			23,19	
	5	256,634			29,62	
	Ref	343,823				

Calcul du VO**Calcul des gisements****Calculs des coordonnées (X, Y)**

[illegible]

5) Transformation de coordonnées rectangulaires en polaires.

éléments connus

éléments recherchés

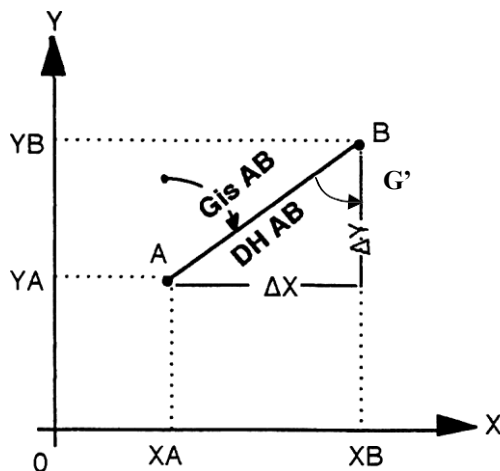
$A(X,Y)$

$B(X,Y)$

Formules : $DHAB$

GAB

$$(DHAB)^2 = \Delta X^2 + \Delta Y^2$$



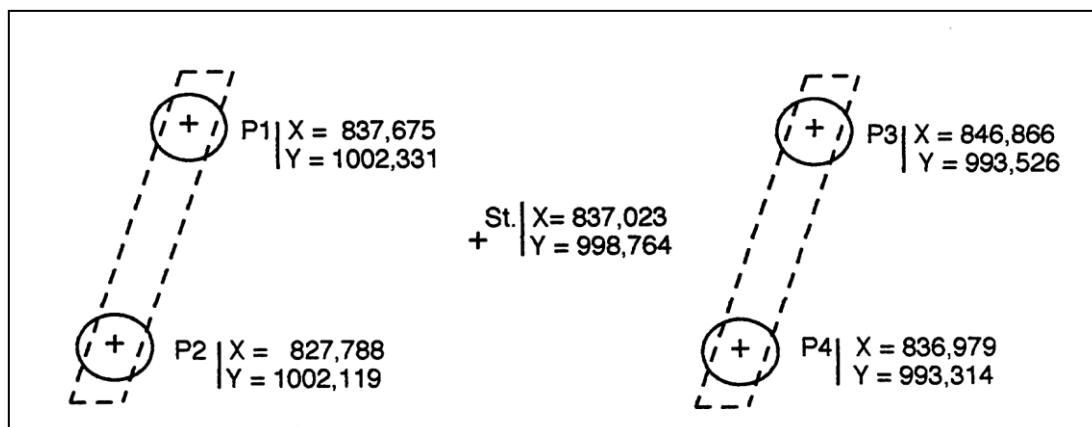
avec $\Delta X = X_B - X_A$

$\Delta Y = Y_B - Y_A$

$$\text{tg } G' = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

G'	0	100	200	300	400
ΔX	+	+	-	-	
ΔY	+	-	-	+	
G	$G = G'$	$G = 200 - G'$	$G = 200 + G'$	$G = 400 - G'$	

Exemple : lors d'un projet d'un passage supérieur, les positions des pieux et de la station sont indiquées par leurs coordonnées rectangulaires. On vous demande de calculer les éléments d'implantation (gisements, distances) depuis la station.



[illegible]

TYPE ET AJUSTEMENT D'UN CHEMINEMENT PLANIMETRIQUE

1. Cheminements planimétriques

1.1. Définition

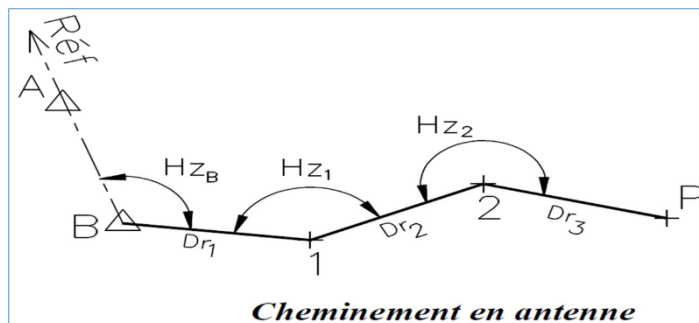
Les cheminements planimétriques sont des lignes brisées parcourues en mesurant les angles, les longueurs des côtés pour ensuite calculer les coordonnées des sommets.

- Un cheminement est goniométrique lorsque les gisements de ces cotés sont calculés à partir de gisement de référence ;
- Un cheminement est décliné lorsque les gisements de ces cotés sont mesurés directement sur le terrain avec un théodolite décliné.

1.2. Type et forme des cheminements planimétriques

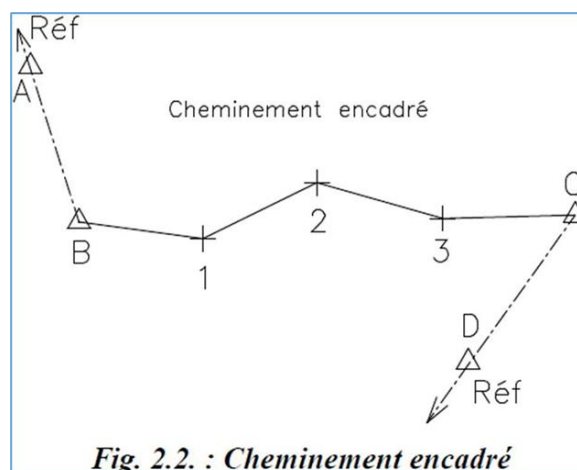
1. Cheminement en antenne (ou vert) :

Est une ligne polygonale brisée orientée définie géométriquement par une rigine connue (coordonnées rectangulaires et le gisement), cette ligne polygonale se referme pas sur un point inconnu → procédé à éviter.



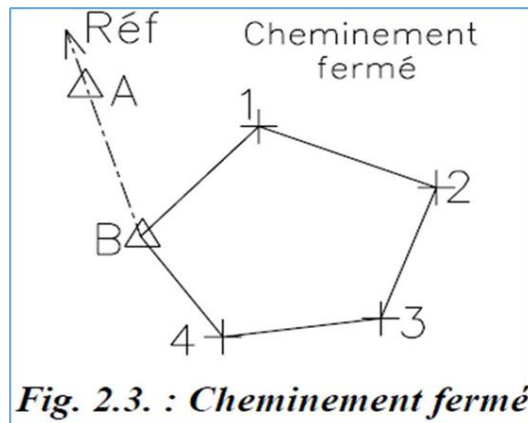
2. Cheminement encadré = tendu :

Un cheminement qui arrive sur un point connu différent du point de départ aussi connu. → C'est la meilleure forme de cheminement



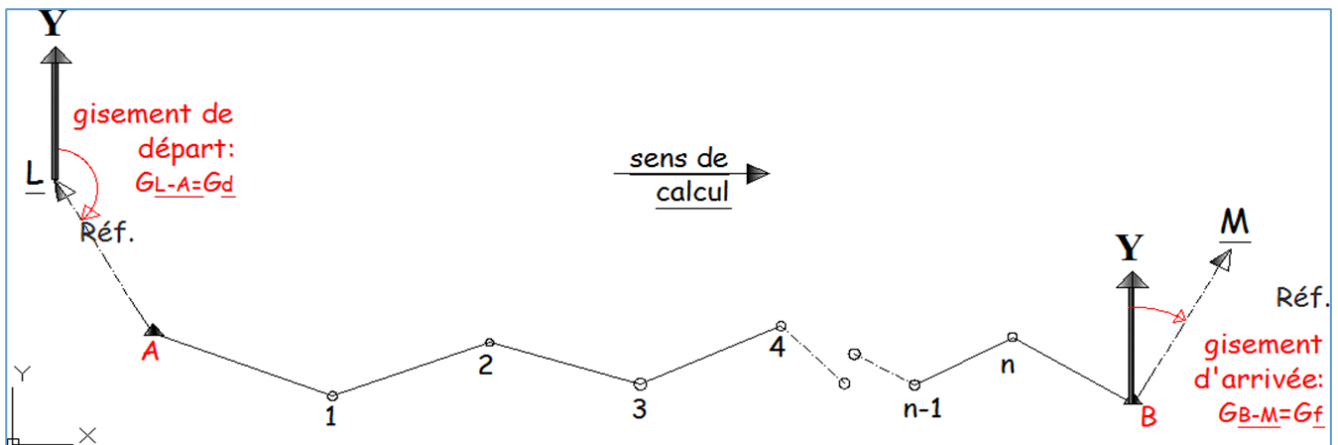
3. Cheminement fermé

Un cheminement qui revient sur son point de départ ➡ connu. Lorsque la surface à lever est peu étendue.



3.1. Observations

Soit le cheminement encadré AB définit géométriquement par :



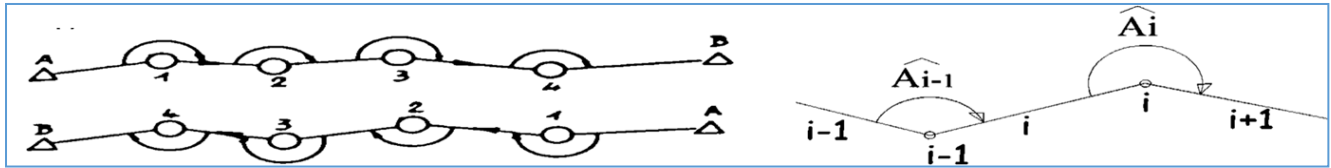
Une origine connue en coordonnées rectangulaires {point de départ : $A(X_A, Y_A)$ dans un repère orthonormé (X, Y) ou le système U.T.M Maroc}

1. Une direction de référence à l'origine, dont le gisement est connu (gisement de départ : G_d)
2. Le gisement d'une direction de référence à l'extrémité (gisement d'arrivée \equiv fermeture : G_f)
3. Les coordonnées de cette extrémité B (X_B, Y_B).

3.2. Mesures sur le terrain

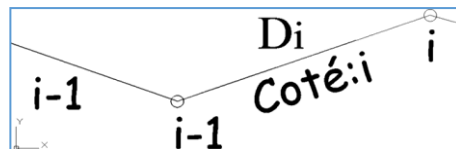
Après avoir reconnu le cheminement, l'opérateur matérialise de façon durable chaque sommet (borne, piquets,). On mesure à chaque station :

1) Angle Horizontal : est l'angle azimutal de deux cotés successifs i et $i+1$ l'angle qu'un opérateur laisse à sa gauche en parcourant le cheminement de l'origine vers l'extrémité.

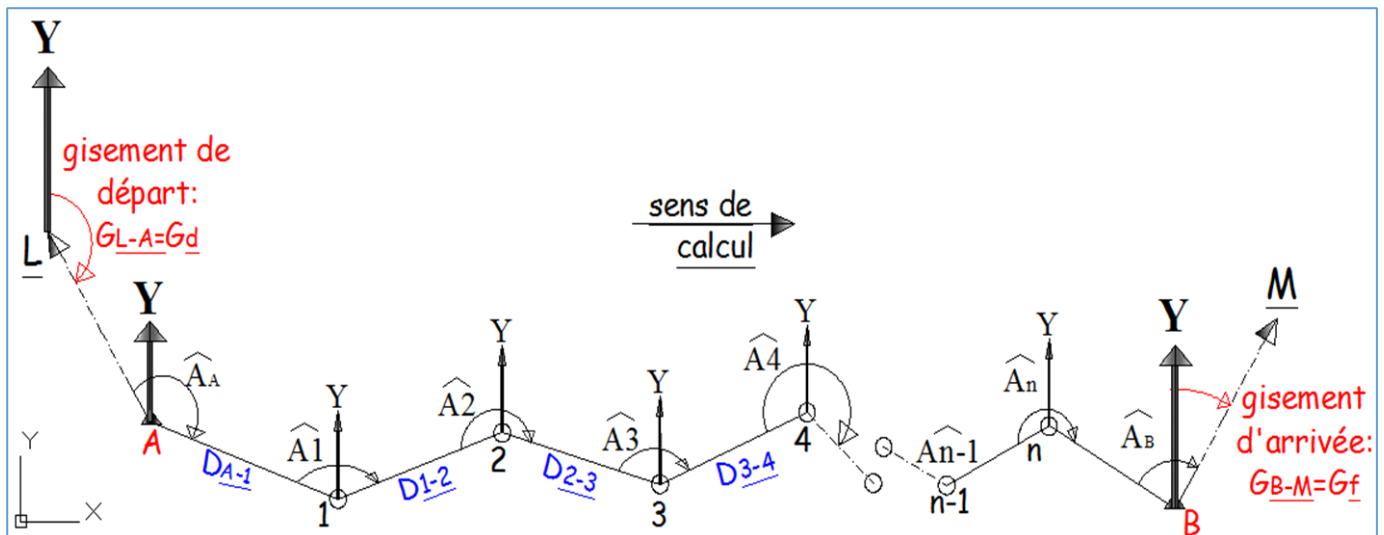


En pratique cet angle est calculé par différence de lectures effectuées sur un cercle horizontal gradué de 0 à 400 grades dans le sens des aiguilles d'une montre appelé "limbe" \Rightarrow L'angle est déduit en calculant (lecture avant - lecture arrière)

2). La distance horizontale : entre deux points successifs si le calcul est fait dans un repère orthonormé ou les longueurs des cotés réduites au système de projection.



3.3 Etape de calcul :



3.3.1. Transmission des gisements

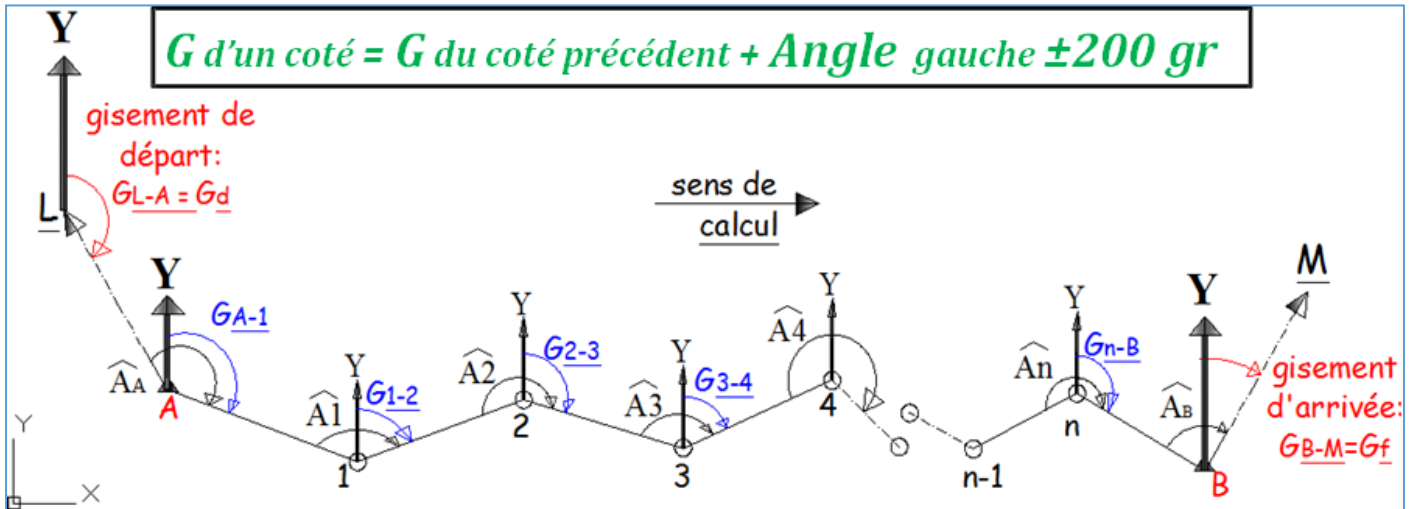
3.3.2. Compensation de l'écart de fermeture angulaire

3.3.3. Calcul des coordonnées

3.3.4. Ajustement planimétrique

1.3.1. Transmission des gisements

Le procédé consiste à calculer les gisements des cotés successifs à partir du gisement de départ et des angles polygonaux horizontaux observés sur terrain:



$$G_{i+1} = G_i + A_{i+1} - 200 \text{ gr} \Rightarrow G_{A-L} = G_d + A^{\wedge} A \pm 200 \text{ gr}$$

$$G_{1-2} = G_{A-L} + A^{\wedge} 1 - 200 \text{ gr}$$



$$G \text{ f. calculé} = G_{B-M} = G_d + \sum_{i=n} A^{\wedge} i - (n+1) \cdot 200 \text{ gr}$$

3.3.2. Compensation de l'écart de fermeture angulaire

1). L'écart de fermeture angulaire f_a :

L'imprécision des angles observés, font que le gisement d'arrivée, calculé, diffère du gisement connu G_f . Cette quantité s'appelle l'écart de fermeture angulaire f_a

$$f_a = G_{f. \text{ calculé}} - G_f$$

2). Tolérance réglementaire sur la fermeture angulaire T_a

Soit σ_a l'écart type sur la mesure d'un angle par station dépendant du théodolite utilisé; La tolérance angulaire T_a pour un cheminement de n coté est :

- Cheminement encadré : $T_a = 2,7 \cdot \sigma_a \cdot \sqrt{(n+1)}$

Si $f_a > T_a \Rightarrow$ la manipulation doit être reprise en entier car il s'agit d'une faute.

Si $f_a < T_a \Rightarrow$ On ne peut compenser angulairement un cheminement

3.3.2. Compensation de l'écart de fermeture angulaire

3). Compensation angulaire C_a

La compensation angulaire est la quantité à répartir sur les différentes mesures ; c'est donc l'opposé de la fermeture angulaire : $C_a = -f_a$

On compense soit :

- Proportionnelle à l'inverse des distances de visées :

Comme à chaque station intervient la distance de la visée arrière et celle de la visée avant, on fait intervenir des poids p_j tels que, au sommet j :

$$p_j = \frac{1}{D_{j-1}} + \frac{1}{D_j} \quad C_j = \frac{C_a}{\sum p_j} \cdot p_j$$

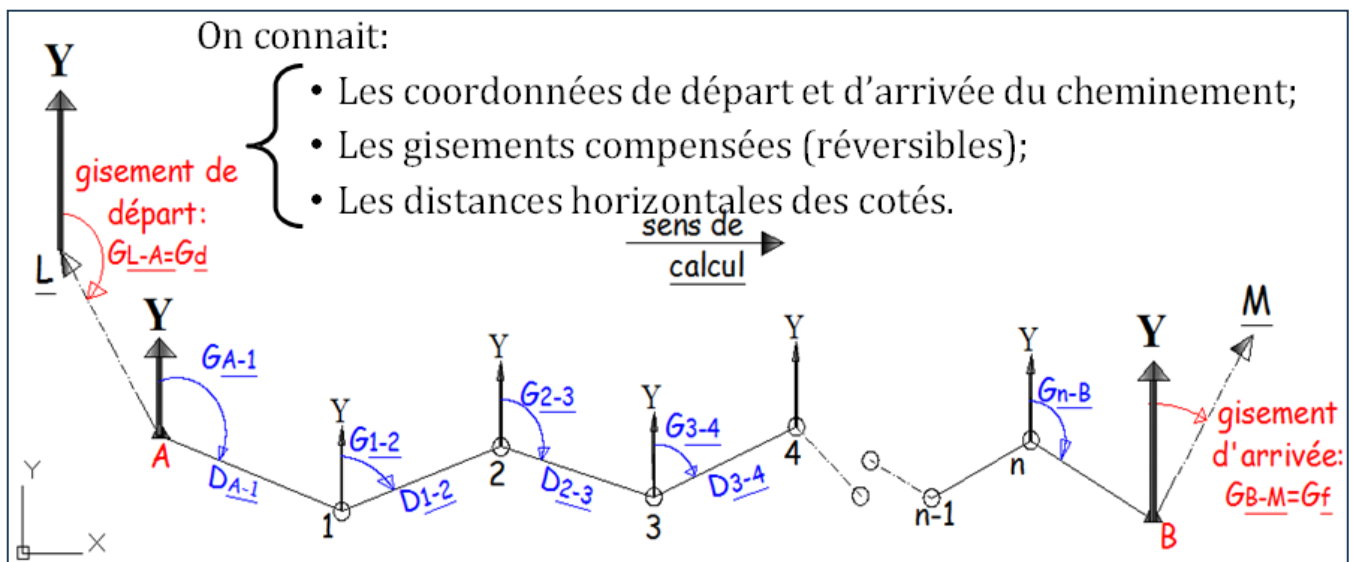
→ Solution assez complexe et dans la plupart des cas sans intérêt, l'opérateur s'attachant à obtenir des cotés sensiblement de même longueur.

- Proportionnelle au nombre de stations :

pour un cheminement de n côtés, la compensation angulaire C_i sur chaque lecture est : $C_i = C_a / (n+1)$.

⇒ Le cheminement ainsi compensé est dit réversible : $G_{i \text{ comp}} = G_i + \sum C_i$

3.3.3. Calcul des coordonnées rectangulaires des sommets



Transformation des coordonnées polaires en rectangulaires

$$X_1 = X_A + D_{A-1} \cdot \sin G_{A-1} = X_A + \Delta X_1$$

$$X_2 = X_1 + D_{1-2} \cdot \sin G_{1-2} = X_A + \Delta X_2$$



$$X_{B \text{ calculé}} = X_A + \sum_{i=A}^B (\Delta X_i)$$

$$Y_1 = Y_A + D_{A-1} \cdot \cos G_{A-1} = Y_A + \Delta Y_1$$

$$Y_2 = Y_1 + D_{1-2} \cdot \cos G_{1-2} = Y_A + \Delta Y_2$$



$$Y_{B \text{ calculé}} = Y_A + \sum_{i=A}^B (\Delta Y_i)$$

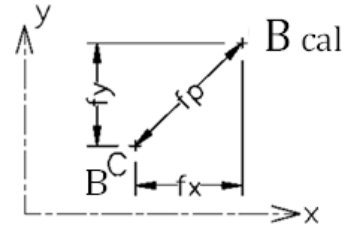
3.3.4. Ajustement planimétrique

1) .Fermeture planimétrique

Les coordonnées du point d'arrivée du cheminement (point B), étant connues, On peut en déduire une erreur de fermeture planimétrique du cheminement due au cumul des erreurs de lectures angulaires et des erreurs de mesures de distances. L'erreur de fermeture est :

Selon X (repère local) : $f_x = X_{B \text{ calculé}} - X_B$

Selon Y (repère local) : $f_y = Y_{B \text{ calculé}} - Y_B$



Ces fermetures en X et en Y permettent de calculer une fermeture planimétrique f_p qui est la distance séparant le point B calculé issu des mesures de terrain du point B réel ; on parle de vecteur de fermeture. La longueur de ce vecteur s'exprime par :

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

3.3.4. Ajustement planimétrique

2) . Tolérance planimétrique T_p

L'expression de la tolérance de fermeture planimétrique est très complexe. Elle dépend de: la forme du cheminement, la longueur des cotés (longs, courts, inégalité de leur longueur, etc...)

- Tolérance planimétrique en longueur T_L :

$$T_L = 2,7 \sigma_L \sqrt{n}$$

- Tolérance planimétrique en direction

$$T_d = 2,7 L \sigma_\alpha \sqrt{(n/3)}$$

$$T_p = \sqrt{T_L^2 + T_d^2}$$

n : nombre de cotés

σ_L : l'écart type sur la mesure de longueur d'un côté.

T_L et σ_L sont donnés en mètre.

L : longueur total du cheminement

σ_α : l'écart type sur la mesure de l'angle (σ_α doit être converti en radian).

3.3.4.Ajustement planimétrique

3) .Compensation

L'ajustement planimétrique consiste à répartir les fermetures planimétriques sur les mesures du cheminement. On ne peut procéder à cet ajustement que si la longueur du vecteur de fermeture est inférieure à la tolérance réglementaire :

* La compensation en X: $CX = -fX$ * La compensation en Y : $CY = -fY$

Il existe plusieurs méthodes d'ajustement : nous ne développons que la plus fréquemment employée dans les calculs manuels, On répartit CX et CY proportionnellement à la longueur de chaque côté, donc sur le côté j :

$$C_{Xj} = \frac{C_X}{\sum_{i=1}^n D_i} \cdot D_j \text{ et } C_{Yj} = \frac{C_Y}{\sum_{i=1}^n D_i} \cdot D_j$$

$$\Delta X_{i, \text{comp}} = \Delta X_i + C_{X,i}$$

$$\Delta Y_{i, \text{comp}} = \Delta Y_i + C_{Y,i}$$

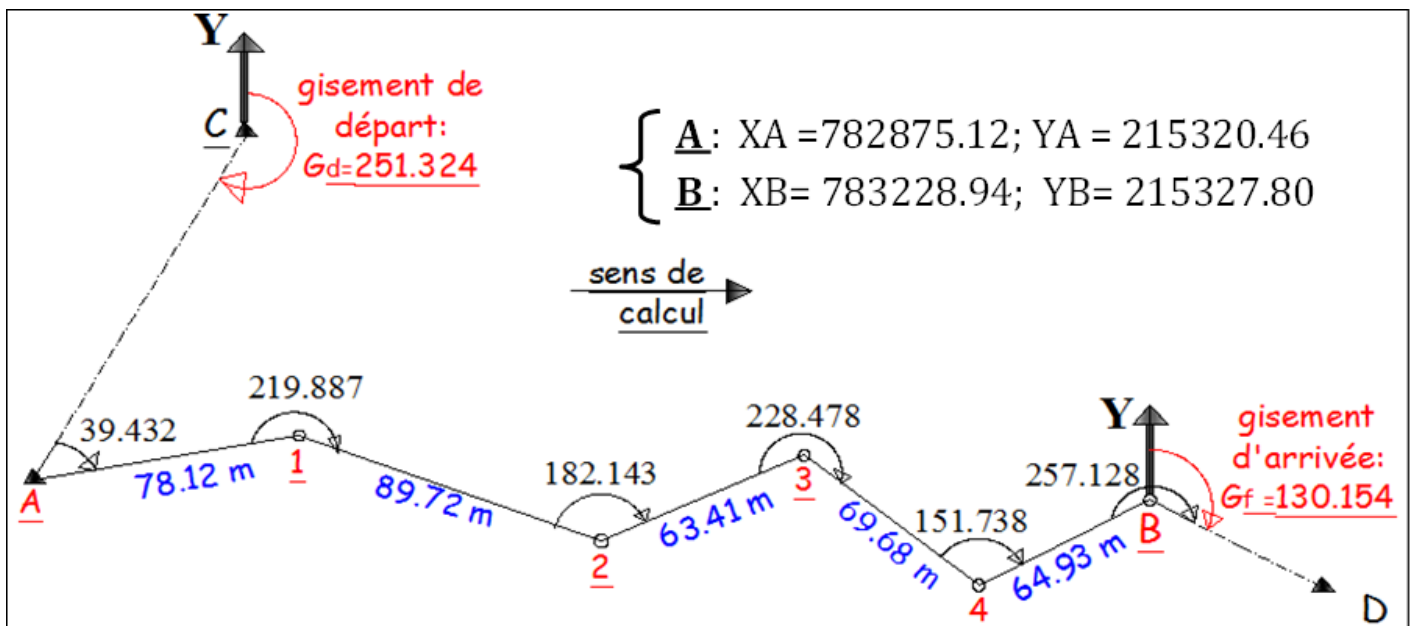
$$X_{i+1, \text{définitive}} = X_i + \Delta X_{i, \text{comp}}$$

$$Y_{i+1, \text{définitive}} = Y_i + \Delta Y_{i, \text{comp}}$$

Coordonnées définitives

3.4. Exemple de calcul

Considérons la polygonale représentée sur la figure suivante :

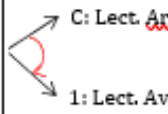
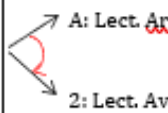
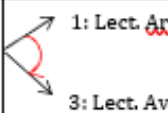
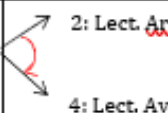
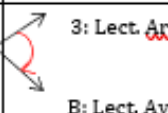
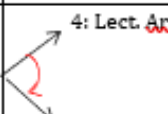




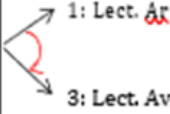
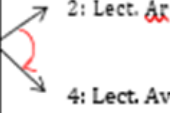
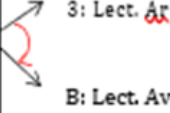

Il est demandé de calculer le cheminement encadré A-B, à partir des données indiquées sur le schéma :

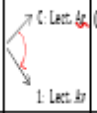

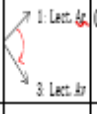

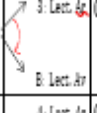
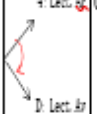
1. Les Gisements de départ et d'arrivée ;
2. Distances réduites à l'horizontale ;
3. Angles observés à partir des lectures des tours d'horizon (Lect AV - Lect AR).

Transmission des gisements						Transmission des coordonnées								
Points (Station)	Points visés (Angles)	Angles azimutaux	Angles \hat{A}_i (gr) = Lect. Ar - Lect. Ar	Gisements G (gr) $G_{i+1} = G_i + \hat{A}_i - 200$	Cal = $C_a / (n+1)$	$\sum C_{ai}$	Gisements compensés (gr)	Distances (m)	Δx (m)	$C_{Xi} = C_x \cdot D_i / \sum D_i$	X (m)	Δy (m)	$C_{Yi} = C_y \cdot D_i / \sum D_i$	Y (m)
C				$G_C = 251.324$										
A			39.432				$G_{1-1} =$				$X_A = 782875.12$			$Y_A = 215320.46$
1			219.887				$G_{1-2} =$				$X_1 =$			$Y_1 =$
2			182.143				$G_{1-3} =$				$X_2 =$			$Y_2 =$
3			228.478				$G_{1-4} =$				$X_3 =$			$Y_3 =$
4			151.738				$G_{1-B} =$				$Y_4 =$			$Y_4 =$
B			257.128	$G_B =$			$G_B = 130.154$				$X_B = 783228.94$			$Y_B = 215327.80$
D														
$f_x = G_1 - G_2$						$\sum D =$		$\sum \Delta x =$				$\sum \Delta y =$		
$C_x = f_x / \sum D$						$X_{tot} = 783228.901$		$Y_{tot} = 215327.016$		$f_y = Y_B - Y_{tot}$				

Transmission des gisements					Transmission des coordonnées								
Points (Station)	Angles \hat{A}_i (gr) Lect. Ar- Lect. Ab	Gisements G_i (gr) $G_{i+1}=G_i+\hat{A}_i-200$	$C_{ai}=$ $C_{ai}/(n+1)$	$\sum C_{ai}$	Gisements coordonnées (gr)	Δx (m)	$C_{xi}=$ $C_{xi} \cdot D_i / \sum D_i$	$\sum C_{xi}$	X (m)	Δy (m)	$C_{yi}=$ $C_{yi} \cdot D_i / \sum D_i$	$\sum C_{yi}$	Y (m)
C		$G_d= 251.324$											
A	39.432	$G_{A1}=$							$X_A=782875.12$				$Y_A=215320.4$
1	219.887	$G_{12}=$											
2	182.143	$G_{23}=$											
3	228.478	$G_{34}=$											
4	151.738	$G_{4B}=$											
B	257.128	$G_{Bcal}=$			$G_f= 130.154$				$X_B=783228.94$				$Y_B=215327.8$
D		$G_f= 130.154$				$X_{Bcal}=$				$Y_{Bcal}=$			
$f_a= G_{Bcal}-G_f$ $f_a=$ $C_a=-f_a=$					$C_x=X_{Bcal}-X_B=$				$C_y=Y_{Bcal}-Y_B=$				

Points (Station)	Points visées (sommets)	Angles azimutaux	Angles \hat{A}_i (gr) = Lect. Av. - Lect. Ar.	Gisements G (gr) ; $G_{i+1} = G_i + \hat{A}_i - 200$	$C_{ai} =$ $C_a / (n+1)$	$\sum C_{ai}$	Gisements compensés (gr) ;
C				$G_d = 251.324$			
A	 C: Lect. Ar 0 1: Lect. Av 39.432		39.432	$G_{A-1} = \dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots$ $\dots\dots\dots$		
1	 A: Lect. Ar 0 2: Lect. Av 219.887		219.887	$G_{1-2} = \dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots$ $\dots\dots\dots$		
2	 1: Lect. Ar 0 3: Lect. Av 182.143		182.143	$G_{2-3} = \dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots$ $\dots\dots\dots$		
3	 2: Lect. Ar 0 4: Lect. Av 228.478		228.478	$G_{3-4} = \dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots$ $\dots\dots\dots$		
4	 3: Lect. Ar 0 B: Lect. Av 151.738		151.738	$G_{4-B} = \dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots$ $\dots\dots\dots$		
B	 4: Lect. Ar 0 D: Lect. Av 257.128		257.128	$G_{f,cal} = \dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots$ $\dots\dots\dots$		$G_f = 130.154$
D				$G_f = 130.154$			
				$f_a = G_{f,cal} - G_f$	$f_a = \dots\dots\dots$	$C_a = -f_a = \dots\dots\dots$	

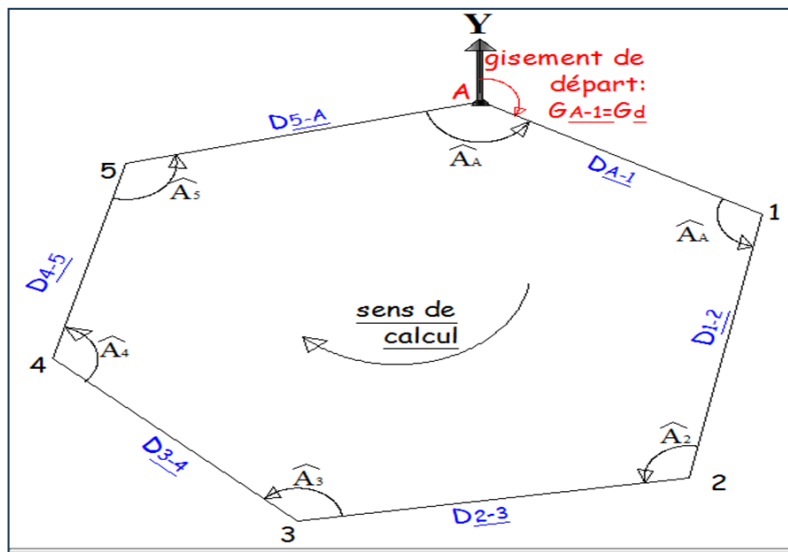
Points (Station)	Points visées (sommets)	Angles azimutaux	Angles \hat{A}_i (gr)= Lect. Av. - Lect. Ar.	Gisements G (gr): $G_{i+1} = G_i + \hat{A}_i - 200$	$C_{ai} =$ $C_a / (n+1)$	$\sum C_{ai}$	Gisements compensés (gr):
C				251.324			
A		0 39.432	39.432	90.756	0.004 0.004		90.76
1		0 219.887	219.887	110.643	0.004 0.008		110.651
2		0 182.143	182.143	92.786	0.004 0.012		92.798
3		0 228.478	228.478	121.264	0.004 0.016		121.28
4		0 151.738	151.738	73.002	0.004 0.02		73.022
B		0 257.128	257.128	130.13	0.004 0.024		130.154
D				130.154			
$f_a = G_{f. cal} - G_f$				-0.024	$C_a = -f_a = 0.024$		

Transmission des gisements							Transmission des coordonnées							
Points (Station)	Points visés (stations)	Angles azimutaux	Angles \hat{A}_i (gr) = Lect. Ar. - Lect. Ar.	Gisements G (gr) = $G_{i+1} - G_i + \hat{A}_i - 200$	$C_{ai} = C_{ai}/(n+1)$	ΣC_{ai}	Gisements compensés (gr)	Distances (m)	Δx (m)	$C_{xi} = C_{xi} \cdot D_i / \Sigma D_i$	X (m)	Δy (m)	$C_{yi} = C_{yi} \cdot D_i / \Sigma D_i$	Y (m)
C				251.324										
A		39.432	39.432	90.756	0.004	0.004	90.76	78.12	77.299	+	$X_A = 782875.12$	11.299	-3	$Y_A = 215320.46$
1		219.887	219.887	110.643	0.004	0.008	110.651	89.72	88.467	+	782875.43 782952.43	-14.94	-4	215331.76
2		182.143	182.143	92.786	0.004	0.012	92.798	63.41	63.005	+	783040.91	7.158	-3	215316.81
3		228.478	228.478	121.264	0.004	0.016	121.28	69.68	65.823	+	783103.92	-22.86	-3	215323.97
4		151.738	151.738	73.002	0.004	0.02	73.022	64.93	59.187	+	783169.75	26.699	-3	215301.11
B		257.128	257.128	130.13	0.004	0.024	130.154				$X_B = 783228.94$			$Y_B = 215327.80$
D				130.154				$\Sigma D = 365.86$	$\Sigma \Delta X = +353.781$			$\Sigma \Delta Y = +7.356$		
				$f_x = G_f - G_i - G_f$	-0.024	$C_x = -f_x = 0.024$			$X_{\text{cor}} = 783228.901$			$X_{\text{cor}} = 215327.816$		
								$f_y = Y_B - Y_A - Y_B$	-0.039			$f_y = Y_B - Y_A - Y_B$	0.016	

4. Calcul d'un cheminement Fermé

4.1. Observations

Soit le cheminement fermé A-1-2-3-4-5-A défini géométriquement par :



1. Une origine (départ \equiv arrivée) connue en coordonnées rectangulaires {point de départ : A (X_A, Y_A)}
2. Une direction de référence à l'origine, dont le gisement est connu (gisement de départ : G_d)

4.2. Mesures sur le terrain

- 1) Angle Horizontal
- 2). La distance horizontale

4.3. Etape de calcul

4.3.1. Somme des angles théoriques

angles intérieures: $\sum A_{intérieures} = 200gon * (n - 2)$

angles extérieures: $\sum A_{extérieures} = 200gon * (n + 2)$

4.3.2. Somme des angles mesurés : $\sum \hat{A}^i = A_1 + A_2 + A_3 + \dots$

4.3.3. Fermeture angulaire f_a : $f_a = \sum A_{théorique} - \sum A_{mesuré}$

4.3.4. Tolérance T_a : $T_a = 2,7 * \sigma_a * \sqrt{n}$

Si $f_a > T_a \Rightarrow$ la manipulation doit être reprise en entier car il s'agit d'une faute

Si $f_a < T_a \Rightarrow$ On ne peut compenser angulairement un cheminement

4.3.4. Compensation angulaire C_a : $C_a = -f_a$

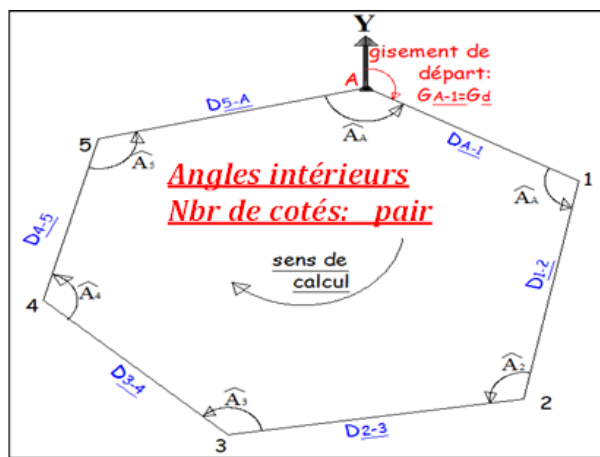
pour un cheminement de n côtés, la compensation angulaire C_i sur chaque lecture est :

$$C_i = C_a / (n+1)$$

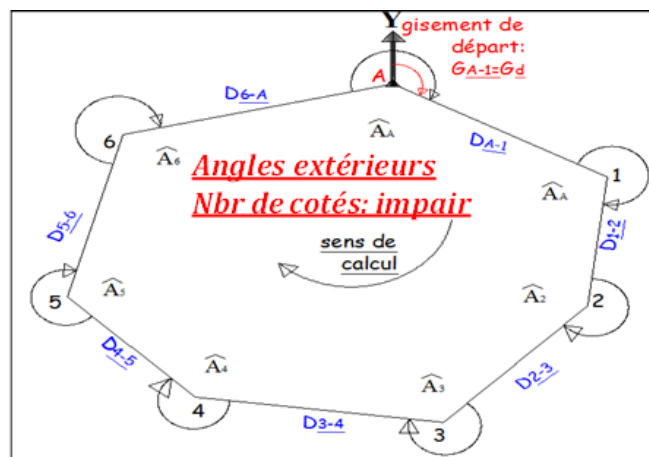
* angles Compensés: $\hat{A}^i_{compensé} = c_i + \hat{A}^i$

* Gisements compensés : $G_{i+1} = G_i \pm \hat{A}^{i+1}_{compensé} \pm 200\text{gon}$

- $\left\{ \begin{array}{l} +\hat{A}_{i+1, \text{compensé}} \quad \text{Si l'angle mesuré sur le terrain est } \textbf{extérieur} \\ -\hat{A}_{i+1, \text{compensé}} \Rightarrow \quad \text{Si l'angle mesuré sur le terrain est } \textbf{intérieur} \end{array} \right.$
- $+200 \text{ gon} \quad \text{Si le nombre de cotés est pair}$
- $-200 \text{ gon} \quad \text{Si le nombre de cotés est impair}$



$$G_{i+1} = G_i - \hat{A}_{i+1} + 200\text{gon}$$



$$G_{i+1} = G_i + \hat{A}_{i+1} - 200\text{gon}$$

4.3.5. Calcul des coordonnées = cheminement fermé

4.3.6. Fermeture planimétrique fp et Tolérance planimétrique Tp4.

$X_1 = X_A + D_{A-1} * \sin G_{A-1} = X_A + \Delta X_1$	$Y_1 = Y_A + D_{A-1} * \cos G_{A-1} = Y_A + \Delta Y_1$
$X_2 = X_1 + D_{1-2} * \sin G_{1-2} = X_A + \Delta X_2$	$Y_2 = Y_1 + D_{1-2} * \cos G_{1-2} = Y_A + \Delta Y_2$
↓	↓
$X_{A. \text{ calculé}} = X_A + \sum (\Delta X_i)$	$Y_{A. \text{ calculé}} = Y_A + \sum (\Delta Y_i)$

***Fermeture planimétrique f_p** Selon X: $f_x = X_{B. calculé} - X_B$ Selon Y: $f_y = Y_{B. calculé} - Y_B$

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$\text{*Tolérance planimétrique } TP \Rightarrow T_p = \frac{\sum D_i}{200}$$

4.3.7.**Ajustement planimétrique**On ne peut procéder à cet ajustement que si : $f_p < T_p$ ***La compensation en X: $C_x = -f_x$**

$$c_{x,i} = C_x \frac{D_i}{\sum D_i}$$

$$\Delta X_{i. comp} = \Delta X_i + C_{x,i}$$

$$X_{i+1. définitive} = X_i + \Delta X_{i. comp}$$

***La compensation en Y: $C_y = -f_y$**

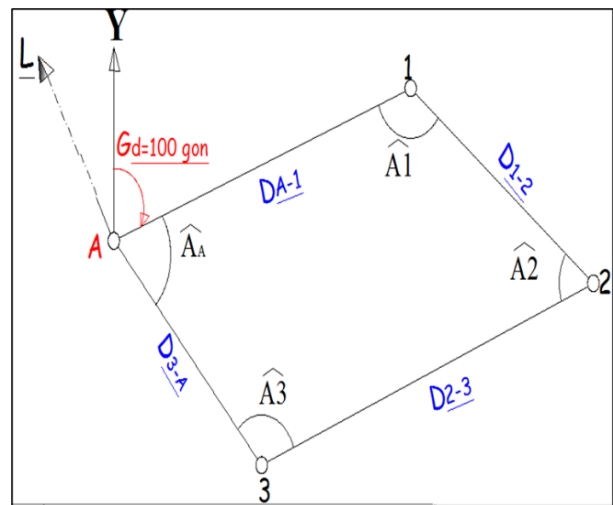
$$c_{y,i} = C_y \frac{D_i}{\sum D_i}$$

$$\Delta Y_{i. comp} = \Delta Y_i + C_{y,i}$$

$$Y_{i+1. définitive} = Y_i + \Delta Y_{i. comp}$$

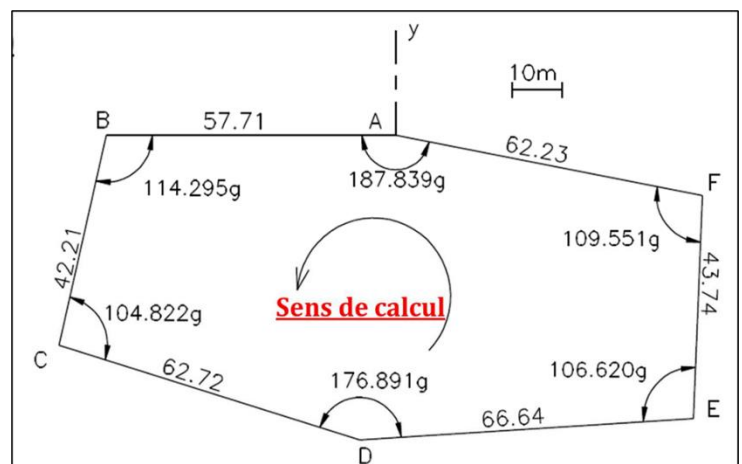
4.4.1. Exercice (01)

Le cheminement fermé A-1-2-3-A a été observé avec un théodolite dont la précision de la mesure angulaire $\sigma_a = 0.05$ gon

Le gisement de départ : $G_d = 100$ gon**les angles topographiques mesurés:** $\hat{A}_A = 176.940$ gon; $\hat{A}_1 = 62.440$ gon; $\hat{A}_2 = 92.320$ gon; $\hat{A}_3 = 68.420$ gon.***les distances horizontales mesurées:** $DA-1 = 43.210$ m; $D1-2 = 65.818$ m; $D2-3 = 60.778$ m; $D3-A = 42.225$ m.***Les coordonnées de départ: $X_A = 100.335$ m; $Y_A = 550.397$ m.****4.4.1. Exercice (02)**

Dans le cadre d'un lever local (propriété, lever de détail non rattaché, etc.), on peut effectuer un cheminement fermé en se fixant:

***des coordonnées fictives de départ: $X_d = 1000,00$; $Y_d = 1000,00$.**



*Un gisement de départ $G_d=300$ gon

Calculez par exemple le cheminement fermé représenté sur la figure. Les données du lever sont indiquées sur le schéma.

On donne: $\sigma\alpha=0.05$ gon

REPORT DE POINTS



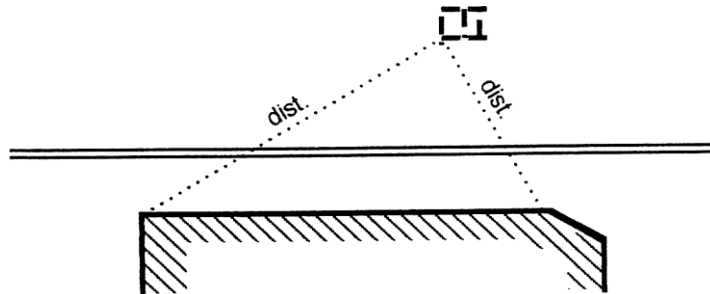
Après les opérations de terrain et les calculs, l'ultime phase est le report graphique. Le dessin s'effectue en principe sur papier (la minute), ensuite on effectue un calque (polyester de préférence) afin d'en faire des tirages.

1) Semis de point.

Pour un report manuel ce sont les méthodes de lever qui déterminent les méthodes de report.

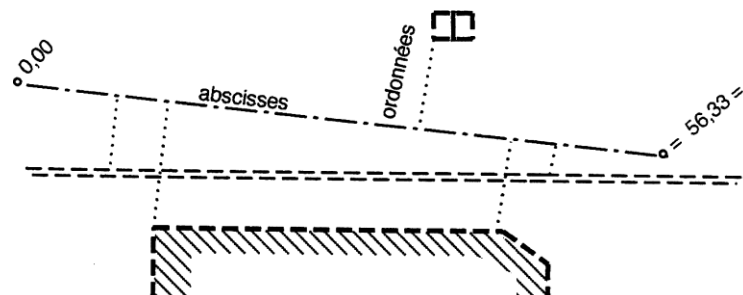
Lever par intersections :

La base étant « piquée » sur le support, on détermine l'emplacement des points par les arcs de cercles. Pratique pour les plans de recollements où il existe déjà un fond de plan.



Lever par abscisses et ordonnées :

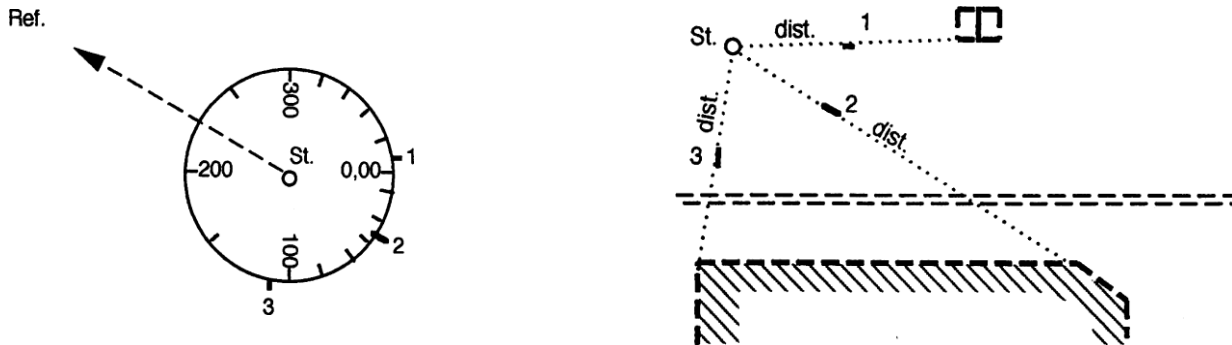
- marquer toutes les abscisses sur la ligne d'opération (en cumulées)
- tracer à l'aide d'une équerre toutes les perpendiculaires et reporter les ordonnées.



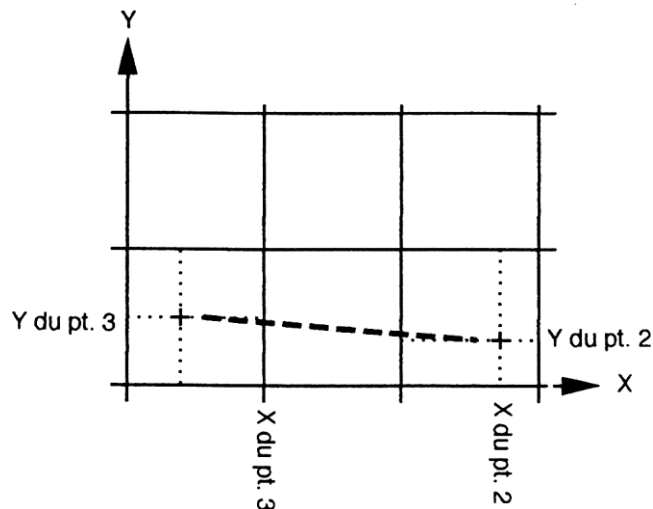
Lever par coordonnées polaires : report à l'aide d'un rapporteur et d'un kutch.

Une fois la station « piquée » sur le support reporter les directions.

Sur les directions, reporter les distances à l'échelle.



Il est préférable (plus précis) de calculer les coordonnées rectangulaires des points et d'effectuer un report en abscisses et ordonnées sur le support préalablement quadrillé (par convention quadrillage 10 x 10 cm).



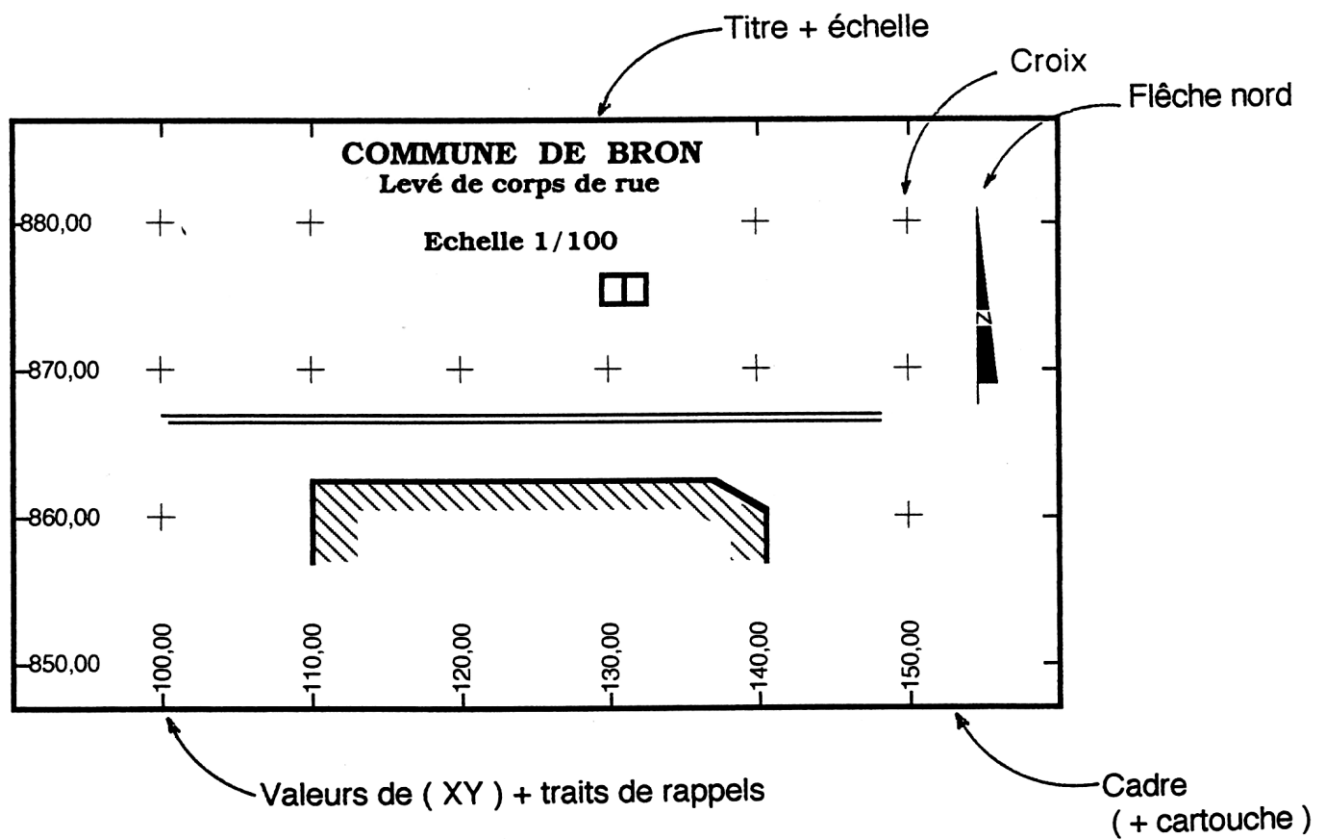
2) Interprétation.

Effectuer des contrôles graphiques à partir soit de distances calculées entre points connus en (X, Y), soit avec les cotes mesurées sur le terrain (longueurs de façades...).

Chaque point de détail ayant été reporté, avec l'aide du croquis de terrain, relier les points entre eux. Pour la représentation de certains détails caractéristiques du terrain (calvaire, lignes électriques...), on utilise des signes conventionnels (voir annexe de Report de points).

3) Habillage.

Tout plan comporte certaines normes au niveau de la présentation :



Exemple : à l'aide des coordonnées des stations et du carnet de levé, établir à l'échelle 1/500, le report du croquis de terrain ci-joint.

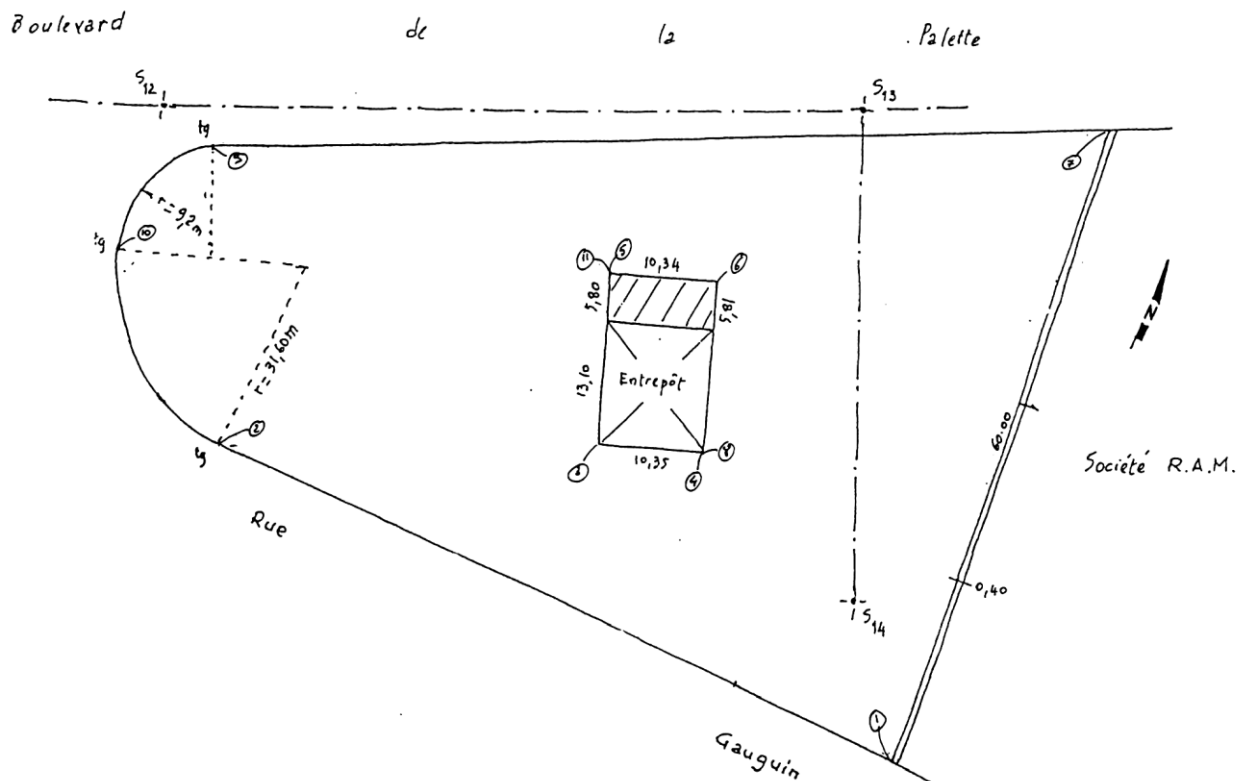
carnet de levé

St	Pt	L Ah	D h
S14	S13	0,00	42,10
	1	149,907	26,02
	2	309,501	45,15
	3	322,117	27,20
	4	333,644	17,58
S13	S14	0,00	42,09
	S12	100,002	57,54
	5	67,609	28,49
	6	50,382	20,34
	7	302,311	26,77
	8	27,271	36,50
S12	S13	0,00	57,55
	9	20,107	2,80
	10	131,278	13,28
	11	25,538	35,58

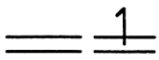
Coordonnées des st.

St	X	Y
S12	7586,76	9050,38
S13	7644,29	9052,48
S14	7645,78	9010,40

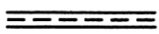
Croquis de terrain



ANNEXE : Signes conventionnels



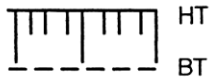
Mur - mur privatif



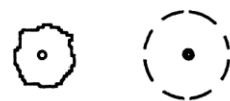
Mur grillagé



Cloture



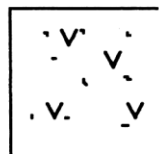
Talus



Arbres feuillus



Arbres résineux



Masse broussailles



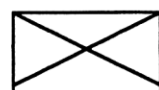
Candélabre



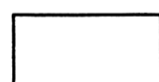
Poteau électrique



Poteau téléphonique

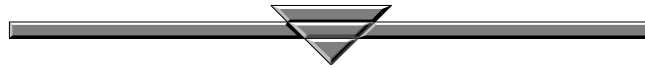
Bâtiment en dur
(2 étages pierres solides)

Bâtiment léger



Bâtiment en construction

L'IMPLANTATION PLANIMETRIQUE



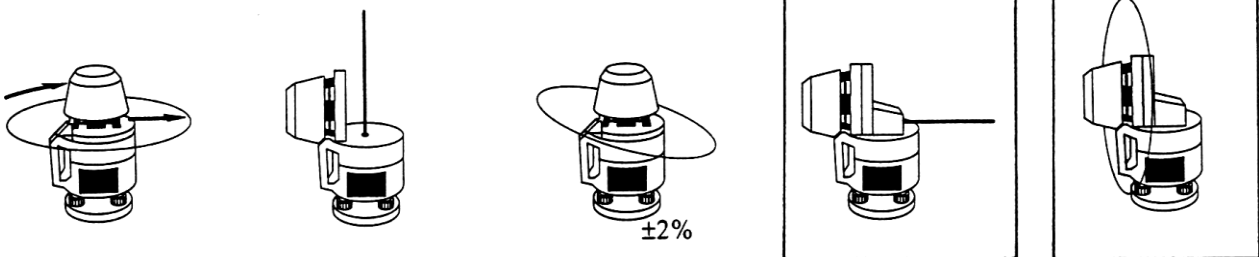
C'est l'opération qui consistera, à partir d'un plan coté et d'éléments d'implantation, à déterminer sur le terrain la position correcte de points, d'alignements, de bâtiments, d'ouvrages...

Dans tous les cas on aura à utiliser des bases qui pourront être une station, un alignement, un canevas de stations...

C'est finalement l'opération inverse de celle du levé.

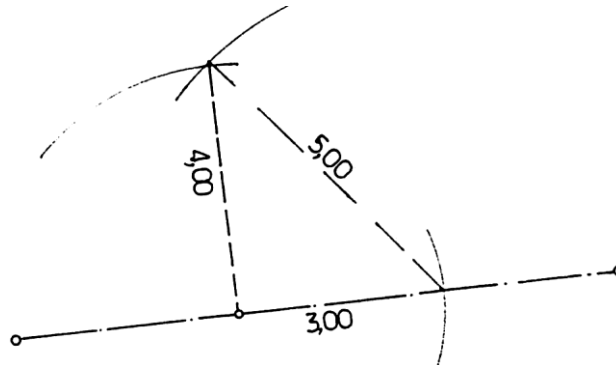
1) Implantation d'alignements droits.

- ⇒ À l'œil : on évitera de se placer trop près d'un jalon, car celui-ci peut cacher un champ visuel important. (Précision ± 5 cm).
- ⇒ À l'équerre optique : il suffit de rechercher la bonne superposition des images des jalons dans les miroirs, avançant ou reculant perpendiculairement à l'alignement. (Précision ± 3 cm).
- ⇒ Au théodolite : on stationnera l'une des extrémités de l'alignement, on visera l'autre en bloquant bien le mouvement H_z et on alignera les points intermédiaires avec le mouvement V de l'instrument. (Précision < 1 cm).
- ⇒ Au rayon « L.A.S.E.R. » : c'est en réalité un faisceau lumineux dont l'impact est visible ou sonore, ce qui permet de bien matérialiser un alignement, un plan horizontal, vertical ou oblique, ou bien encore une pente donnée (précision < 5 mm).

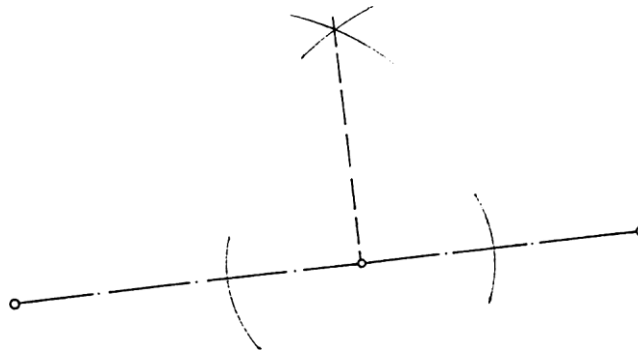


2) Implantation d'alignements perpendiculaires.

⇒ Au ruban : méthode 3/4/5.



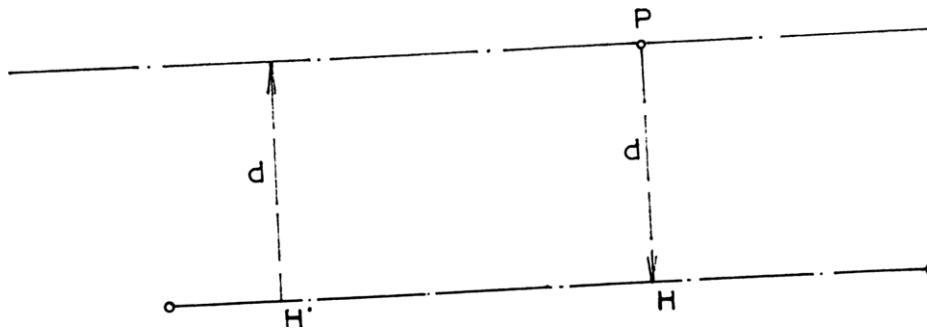
Méthode de la médiatrice



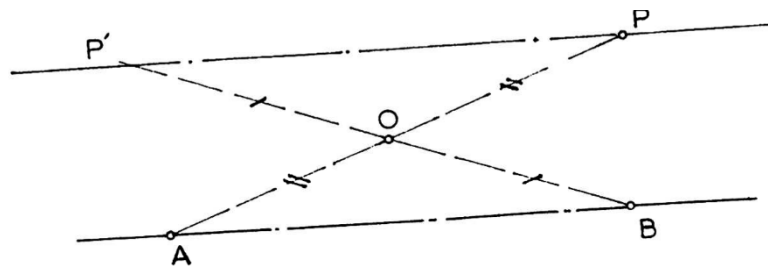
- À l'équerre optique : il s'agit dans ce cas, à partir du point déterminé sur l'alignement, d'obtenir la superposition des 3 images dans les 2 miroirs et la lucarne.
- Au théodolite : on prendra référence sur le point origine de l'alignement, on contrôlera la lecture (+ 200 gr) sur l'autre point extrémité par le basculement de la lunette, puis on « ouvrira » un angle de L'origine + 100 gr.

3) Tracé d'une parallèle.

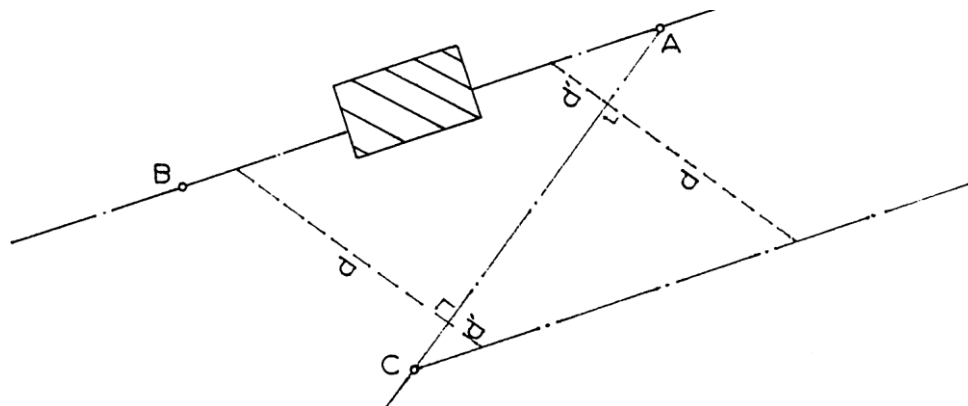
- ⇒ À l'équerre optique : abaisser le point P sur l'alignement en H et mesurer d, puis élever une perpendiculaire en H' et reporter d.



- ⇒ Au ruban : positionner le milieu de AP (O), puis d'un point de l'alignement porter une droite de telle sorte que $BO = OP'$.

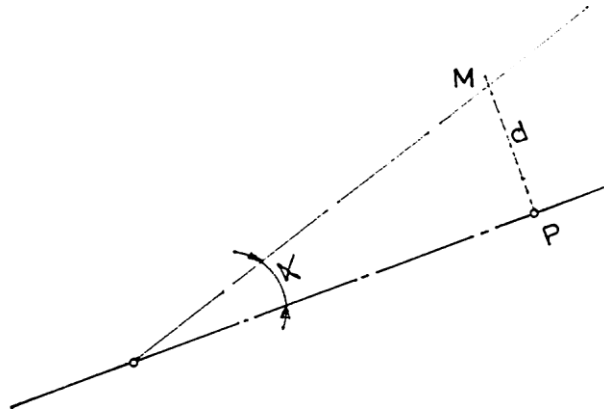


- ⇒ Avec obstacle : créer un nouvel alignement AC, puis, sur AC abaisser les perpendiculaires de points de l'alignement AB, enfin reconstruire cette figure ABC symétriquement.



4) Implantation d'un angle donné.

- ⇒ méthode de la tangente : avec un ruban, une équerre optique. On mesure une cote ronde sur l'alignement, on construit la perpendiculaire à l'alignement en P, on calcule la distance d et on la reporte sur la perpendiculaire et on obtient M.



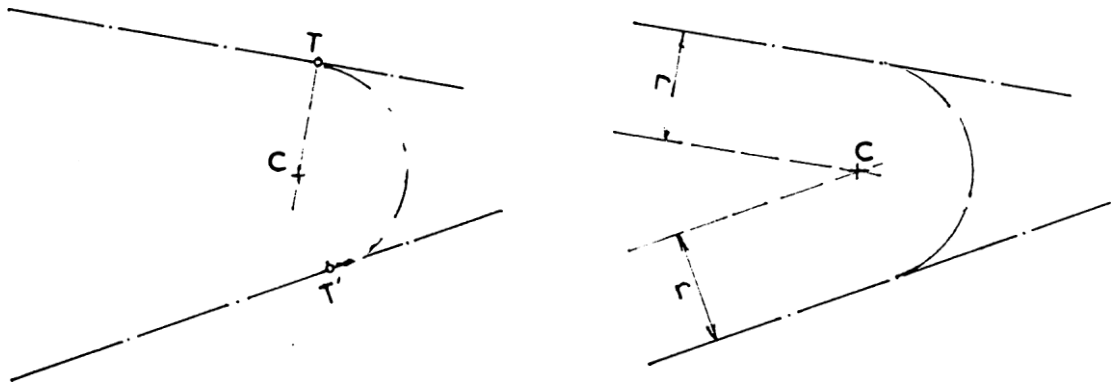
- ⇒ Au théodolite : prise de référence sur l'alignement, puis affichage de la lecture correspondant à l'angle demandé α (attention $400 - \alpha$ si à gauche de l'alignement).

5) Implantation de points.

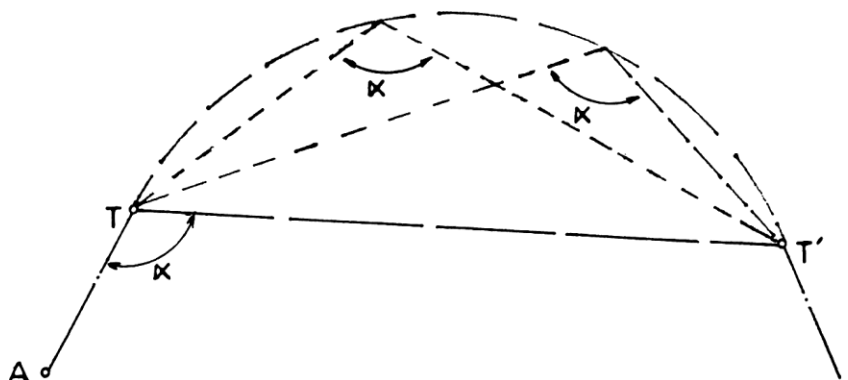
- ⇒ par abscisses et ordonnées : chaque point à implanter est connu par rapport à une base sous et forme de coordonnées.
- ⇒ par rayonnement : c'est la méthode la plus classique. Chaque point est connu par 2 éléments :
- angulaire (par rapport à une référence)
 - linéaire (dist. St-pt).
- ⇒ par distances : par rapport à deux stations connues, 2 cotes suffisent à positionner un point. Le ruban suffit pour cette méthode.
- ⇒ par angles : toujours par rapport à deux stations, à l'aide de 2 théodolites, on procède par intersection de deux droites.

6) Cas particulier : implantation de courbes.

- ⇒ Au ruban : c'est le cas des petits rayons de courbure (trottoirs, espaces verts...). Il suffit de rechercher le centre du cercle qui se situe à l'intersection des deux perpendiculaires aux points de tangence ou à l'intersection des deux parallèles aux alignements.

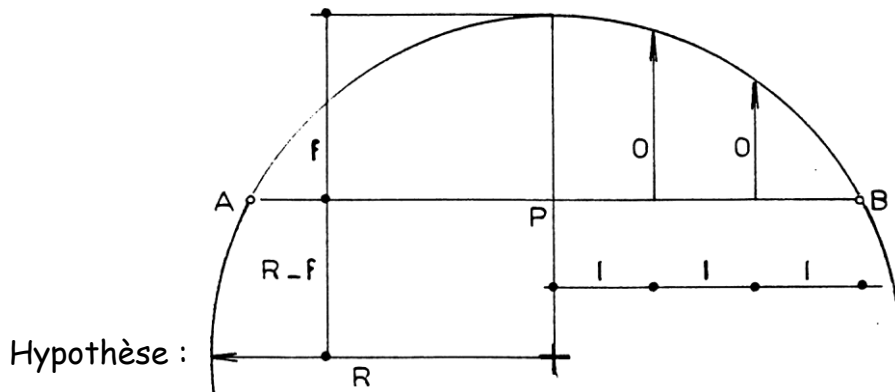


- ⇒ Avec l'équerre de raccordement : ce procédé provient d'une règle mathématique disant que de tout point de la courbe, on voit les points T et T' sous le même angle. On se place en T et on incline les miroirs de façon à voir A et T'. Cet angle est conservé pendant toute l'opération.



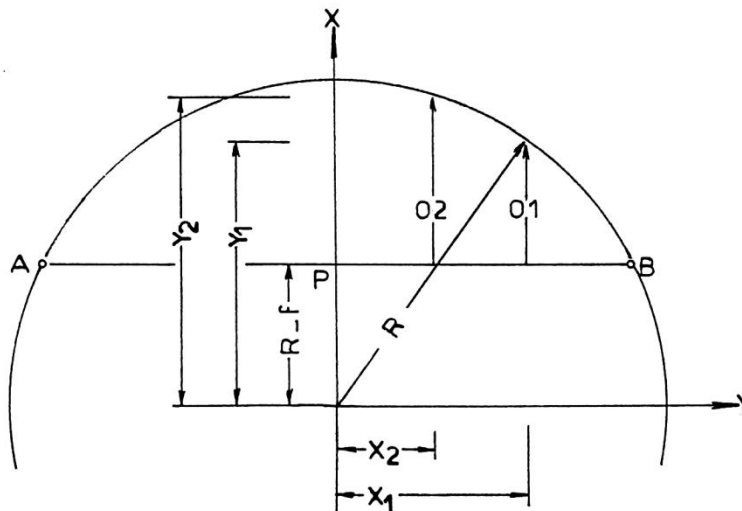
Equerre de raccordement

⇒ Par coordonnées rectangulaires sur la corde :



R : rayon de l'arc
 \widehat{AB} : arc à tracer
 AB : valeur de la corde
 f : valeur de la flèche
 l : dist. entre abscisses de l'arc à tracer
 O : valeur des ordonnées de l'arc à déterminer

Raisonner



$$R^2 = X^2 + Y^2$$

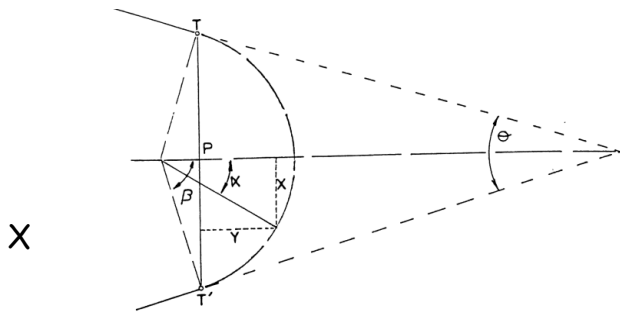
$$R^2 = X_1^2 + Y_1^2$$

$$Y_1 = \sqrt{R^2 - X_1^2}$$

$$O_1 = Y_1 - (R - f)$$

Ensuite, résolution de triangles rectangles pour obtenir l'angle et la distance depuis P.

⇒ Par coordonnées polaires sur la corde :



Mettre en place le point P au milieu de TT' et adopter différentes valeurs pour β (10, 20, 30 gr) puis calculer les coordonnées des points de la courbe :

$$X = R \cdot \sin \alpha$$

$$Y = R \cdot (\cos \beta - \sin \alpha)$$

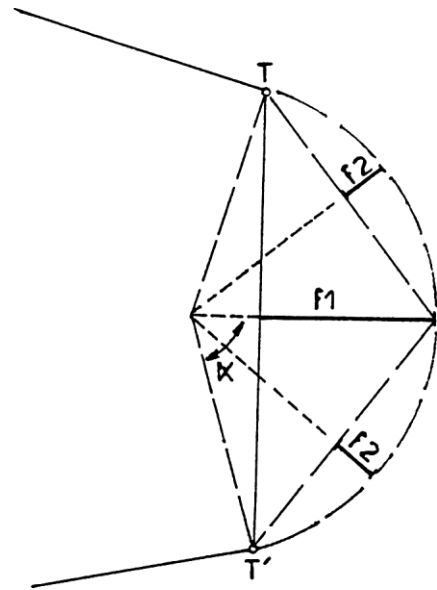
Avec $\beta = 100 - \frac{\theta}{2}$

Planter les points de la courbe sur PT' à partir de P et symétriquement sur PT à partir de P.

Conclusion : quelle que soit la méthode employée, on terminera toujours par des cotes de contrôle. On pourra contrôler soit :

⇒ méthode des quarts :

-
- par des cotes connues (calculées au préalable)
- par une implantation d'une autre station
- par l'application d'une autre méthode
- par un relevé.



Après avoir tracé la corde principale, on calcule la flèche principale f_1 , avec $f_1 = R (1 - \cos \alpha)$.

Ensuite, on peut tracer avec ce point du cercle 2 nouvelles cordes. Chaque nouvelle flèche f_2 est obtenue en faisant le $\frac{1}{4}$ de la précédente, et ainsi de suite... (précision +/- 3 à 4 cm).

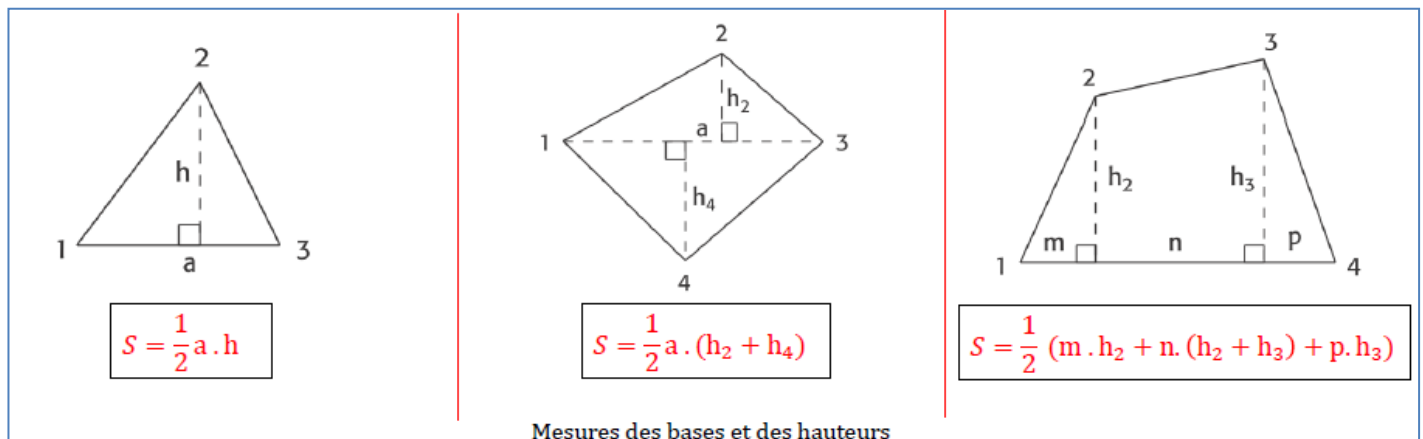
Calcul de superficies

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

1. Superficies graphiques

1.1 Décomposition d'un polygone en triangles et en trapèzes

Le polygone reporté à l'échelle est décomposé graphiquement en triangles et trapèzes les plus proches possible du triangle équilatéral et du rectangle. À partir des mesures graphiques des bases et des hauteurs (figures suivantes), les superficies sont calculées par les formules élémentaires



1.2 Surface d'un polygone quelconque

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

Coordonnées polaires	Coordonnées rectangulaires
Angle : α	Abscisse : x
Distance : L	Ordonnée : y

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

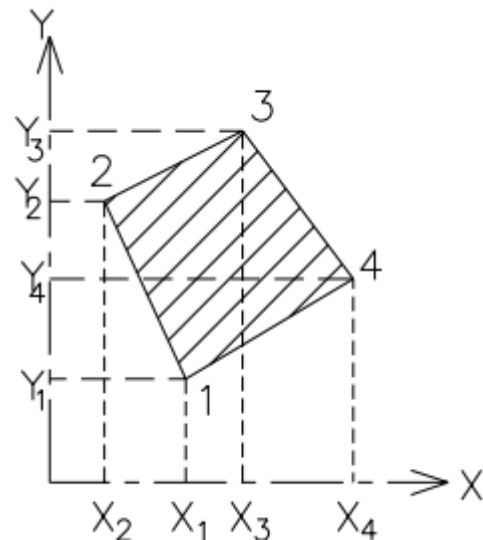
a/ Méthode se basant sur les coordonnées rectangulaires

Surface en cartésien Les sommets sont connus en coordonnées cartésiennes X,Y

Soit un polygone de n sommets dont chacun est connu par ses coordonnées rectangulaires X_i, Y_i La figure suivante présente un exemple avec n 4 La surface de ce polygone s'exprime de deux manières équivalentes

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} X_i (Y_{i-1} - Y_{i+1})$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} Y_i (X_{i-1} - X_{i+1})$$



Application

Le polygone suivant est défini par les coordonnées locales de ses sommets exprimées en mètre dans le tableau suivant Calculez sa superficie au centimètre carré près

Point	A	B	C	D	E
X_i (m)	120,41	341,16	718,59	821,74	297,61
Y_i (m)	667,46	819,74	665,49	401,60	384,13

Résultats

Point	$X_{i-1} - X_{i+1}$	$Y_{i-1} - Y_{i+1}$	$X_i(Y_{i-1} - Y_{i+1})$	$Y_i(X_{i-1} - X_{i+1})$
A	-43,55	-435,61	-52451,8001	-29067,8830
B	-598,18	1,97	672,0852	-490352,0732
C	-480,58	418,14	300471,2226	-319821,1842
D	420,98	281,36	231204,7664	169065,5680
E	701,33	-265,86	-79122,5946	269401,8929
Totaux			400773,6795	-400773,6795

Surface totale 200386 8398 m^2

Le double calcul de S par deux méthodes est une excellente vérification des calculs

Tableau de calcul de superficie par coordonnées rectangulaires

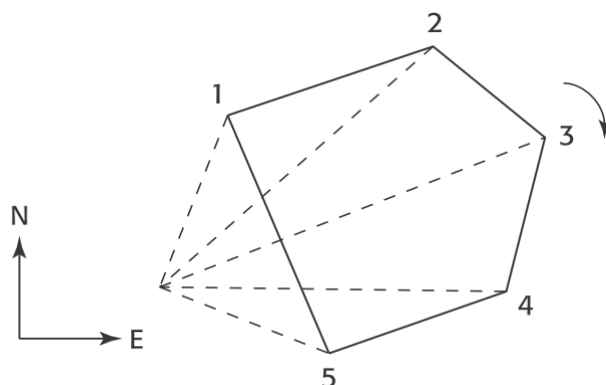
Points	X_n	$\begin{matrix} Y_{n-1} \\ Y_{n+1} \end{matrix}$	$Y_{n-1} - Y_{n+1}$	$X_n(Y_{n-1} - Y_{n+1})$	Y_n	$\begin{matrix} X_{n-1} \\ X_{n+1} \end{matrix}$	$X_{n-1} - X_{n+1}$	$Y_n(X_{n-1} - X_{n+1})$
...
...
...
...
		$\Sigma =$ 400gr/360° contrôle		$\Sigma = \dots \dots$ $\dots \dots \dots$ 1/2=..... $\dots \dots \dots$ $\dots \dots m^2$ S = ...ha ...a ...ca			$\Sigma =$ 400gr/360° contrôle	

b/ Méthode se basant sur les coordonnées polaires**Les sommets sont connus en coordonnées polaires**

Un appareil du type théodolite stationné au point S permet d'effectuer les lectures des angles α_i sur les sommets du polygone Si on mesure ensuite (par exemple au ruban) la distance horizontale du point S à chacun des sommets, on connaît ces sommets en coordonnées polaires topographiques (**Dh, α**) dans le repère (**S,X, Y**), l'axe des ordonnées Y étant la position du zéro du cercle horizontal du théodolite

Soit un polygone levé par rayonnement depuis un point S (figure), dont les sommets sont numérotés à partir de l'unité en respectant la suite naturelle des nombres sans

solution de continuité et parcouru dans le sens des aiguilles d'une montre

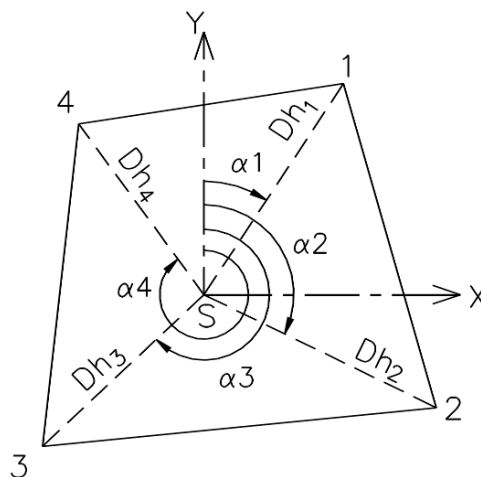


Soit un polygone de n sommets dont chacun est connu par ses coordonnées rectangulaires $X_i Y_i$. La figure suivante présente un exemple avec $n = 4$. La surface de ce polygone s'exprime de deux manières équivalentes

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} Dh_i \cdot Dh_{i+1} \cdot \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i)$$

$$\alpha = (\alpha_{i+1} - \alpha_i)$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} Dh_i \cdot Dh_{i+1} \cdot \sin \alpha$$



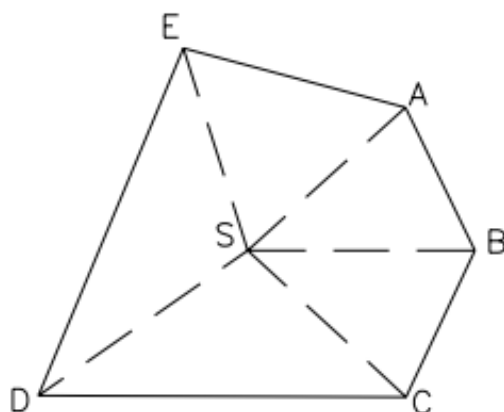
Application

Calculez la surface du polygone (A B C D E) levé en coordonnées polaires topographiques à partir de la station S figure suivante) Ces coordonnées sont données dans le tableau suivant

Points	Dh (m)	Angles (gon)
A	48,12	53,12
B	51,33	100,03
C	48,71	147,41
D	57,48	261,53
E	47,93	380,37

gon= gr

Triangles	Angle ($\alpha_{i+1} - \alpha_i$)	Surface (m ²)
ASB	46,91	829,8781
BSC	47,38	846,8655
CSD	114,12	1365,6326
DSE	118,84	1317,6265
ESA	72,75	1049,1548



Résultats

Le tableau suivant donne le détail des calculs

La surface totale est **5409,1575 m²**

Tableau de calcul de superficie par coordonnées polaires

Points	<i>L</i> Lectures /gisements	<i>a</i> ($L_{n+1} - L_n$)	<i>D</i> Distances	$2S =$ $D_i * D_{i+1} \sin(L_{i+1} - L_n)$
...	...			
...
...
...
...
...
...
		$\sum = 400gr/360^\circ$ contrôle		$\sum = \dots\dots\dots$ $1/2 = \dots\dots\dots m^2$ $S = \dots ha \dots a \dots ca$

L'inconvénient majeur de ce type de calcul est qu'il ne permet aucun contrôle de la superficie trouvée ; seul le calcul des angles a pourra être contrôlé, leur somme devant être égale à $400gr/360^\circ$

Applications de calcul de superficies

3.10.4.2. Application 2 : calcul de superficies par coordonnées rectangulaires

M.Ahmed, ami de votre père désire connaître les dimensions exactes, les gisements, ainsi que la superficie de son bâtiment nouvellement acheté. Sachant que vous faites des études en géomatique et que la topographie fait partie de vos matières scolaires. Papa vous demande d'aider son ami et vous confie donc ces calculs en vous donnant comme support le tableau 2.3 des coordonnées rectangulaires

Identification	Coordonnées	
	X	Y
A	252,106	434,360
B	251,067	452,330
C	261,050	452,907
D	260,358	464,887
E	280,324	466,042
F	280,786	458,055
G	286,776	458,402
H	287,469	446,422
I	271,496	445,498
J	272,073	435,514

- Calculer les dimensions de ce bâtiment.
- Calculer les gisements des côtés AB, BC, CD, DE, EF, FG, GH, HI, et IJ
- Quelle est la superficie de ce bâtiment ?

En vous servant des données ci-dessous, calculer directement dans le tableau la superficie du futur ouvrage. Effectuer un contrôle de vos calculs d'angles et de surfaces.

Station	Points Visés	Gisements en grades	Distances en mètres
50	51	12,3497	2699,739
	52	114,7495	3637,111
	53	94,5544	2843,004
	54	187,5290	456,460

Référence

Roger Duquette, Ernest P.Lauzon, 1996, Topométrie générale,
troisième édition. Serge Milles , Jean Lagofun,
1999, Topographie et Topométrie générale, Tome 1 & 2. Cours
de l'école Nationale des