

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Centre Universitaire de Abdelhafid Boussouf - Mila
Faculté de Science de Technologie
Département Génie Civil et d'Hydraulique



Polycopie

Cours : Topographie 2

3^{ème} Année Génie Civil

Dr. TALEB Hosni Abderrahmane

Année Universitaire 2022 - 2023

Présentation

Cette polycopie est destinée aux étudiants de 3^{ème} année de génie civil. Il présente les éléments fondamentaux de cours topographie 2 aux étudiants. L'ouvrage comporte le nécessaire pour faire le calcul pratique en terme de principes, méthodes, formules, tables. Dans ce contexte, il représente une polycopie couvrant les chapitres du programme officiel. Le document est organisé en quatre chapitres, chaque chapitre expose le cours, accompagnés dans la mesure du possible par des exemples dont la résolution se fait pendant le cours.

Objectifs de l'enseignement : A l'issue de ce cours, l'étudiant doit être capable de réaliser et contrôler une implantation d'un ouvrage ou de parties d'ouvrage sur le terrain.

Connaissances préalables recommandées : Connaissances acquises dans la matière Topographie 1 en semestre 4.

Enfin, s'agissant de la première version du document, je serai reconnaissant au lecteur ses corrections de l'écrit, ses remarques, ainsi que ses suggestions.

Dr Taleb. H. A

Mila, le 28 Janvier 2023

Carte Heuristique

Unité d'enseignement : UED 5.1

Centre Universitaire
Abdelhafid Boussouf
MILA

Dr. Taleb Hosni
Abderrahmane

Capable de réaliser et contrôler une
implantation d'un ouvrage ou des
parties d'ouvrage sur le terrain

Cours : 1h30
Total : 22H30
15 semaines

Examen : **100%**
Crédit : **1**
Coefficient : **1**

Topographie 1

Compétence visée

Volume Horaire

Connaissances préalables
recommandées

Mode d'évaluation

TOPOGRAPHIE 2



Contenu de la matière

Chapitre : 01

Polygonation

Chapitre : 03

Les levés topographiques

Chapitre : 02

Tachéométrie

Chapitre : 04

Implantation

Sommaire

Généralité	01
------------------	----

Chapitre I : Polygonation

1. Définition	04
1.1. Points d'appui.....	04
1.2. Réseau de points d'appui	04
2. Polygonation	05
2.1. Définition	05
2.2. But d'une polygonation	06
2.2. Cheminement et leurs types.....	08
3. Gisement	09
3.1. Définition	09
3.2. Calcul d'un gisement à partir de coordonnées cartésiennes	10
3.3. Calcul de coordonnées cartésiennes à partir d'un gisement	12
3.4. Surface d'un polygone quelconque	13
a. Application	13
b. Solution	14
4. Calcul d'un Cheminement Fermé	14
4.1. Application	18
4.2. Solution	18

Chapitre II : Tachéométrie

1. Définition	21
2. Travaux de terrain	22
2.1. Organisation d'une brigade	22
2.2. Le chef de brigade	23
2.3. Le croquiseur	23
2.4. L'opérateur	23
2.5. Le teneur de carnet	24
3. Procédés	24
4. Croquis du terrain	24
5. Travaux de bureau	24
5.1. Calcul	25
5.2. Plan	25

6. Tachéométrie	25
6.1. Mesurés stadimétriques	25
6.2. La théorie et les utilisations de la méthode tachéométrique	25
6.3. Utilisation tachéométrique dans plusieurs projets d'ingénierie tels que	25
7. Méthode de mesure stadimétrique	26
7.1. Calcul vue horizontale: ($\theta=0$)	26
7.2 Vue Incliné : ($\theta \neq 0$)	27
8. Méthode de tangent	29
8.1. Méthode de tangent	29

Chapitre III : Les Levés Topographiques

1. Définition	32
1.1. Canevas planimétrique	32
1.2. Densification du canevas planimétrique de base	32
2. Les levés topographiques	32
2.1. Brigade	33
2.2. Croquis	33
2.3. Dessin de croquis	33
2.4. Organisation d'une brigade	33
3. Types de levés	34
3.1. Levé planimétrique	35
3.1.1. Le levé par abscisses et ordonnées	35
3.1.2. Levé par rayonnement	38
3.1.3. Levé altimétrique	39

Chapitre IV : Implantation

1. Définition	41
2. Document nécessaires à l'établissement de l'implantation	42
2.1. Le plan de situation	42
2.2. Le plan de masse	42
2.3. Plan d'implantation	42
2.4. Plan de fondation	42
3. Réalisation de l'implantation	42
3.1. l'élément de base	42
3.2. Alignement de référence	42
3.3. Levé planimétrique	42
4. Technique d'Implantation	44
4.1. Implantation d'alignements.....	44
4.2. Implantation de Points en Planimétrie	49

5. Contrôle d'implantation	50
6. Implantation d'un Bâtiment	51
6.1. Bâtiments courants	51
6.2. Bâtiments sur fondations spéciales, ouvrages d'art	53
6.3. Bâtiments de grande hauteur	53

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I: Polygonation

Tableau 1.1 les données d'application	13
Tableau 1.2 Solution d'application.....	14
Tableau 1.3 Tableau d'application de polygonation	19
Tableau 1.4 Correction d'application	20

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Polygonation

Figure 1.1 Réseau de points d'appui	05
Figure 1.2 Les composants d'un polygone	06
Figure 1.3 Polygonation.....	06
Figure 1.4 Exemple pour vérifier les angles et les longueurs	07
Figure 1.5 Structure polygonale sur un territoire.....	07
Figure 1.6 Les types de cheminement	08
Figure 1.7 Point nodal	08
Figure 1.8 Gisements GAB et GBA	10
Figure 1.9 Gisements à partir de coordonnées cartésiennes	10
Figure 1.10 Résumé de calcul les Gisements	11
Figure 1.11 coordonnées cartésiennes à partir d'un gisement	12
Figure 1.12 Surface en cartésien	13
Figure 1.13 Cheminement fermé	18

Chapitre II : Tachéométrie

Figure 2.1 Tachéomètre et Schéma descriptif des composants d'un Tachéomètre	22
Figure 2.2 Vue horizontale	27
Figure 2.3 Vue incliné angles vers le haut	28
Figure 2.4 Vue incliné angles vers le bas	28

Figure 2.5 Méthode de tangente vue horizontale et autre inclinée	29
Figure 2.6 Méthode de tangente deux vues inclinées	30

Chapitre III Les Levés Topographiques

Figure 3.1 Equerre optique	35
Figure 3.2 Equerre optique	36
Figure 3.3 Schématise le principe du levé par abscisses et ordonnées. En effet, l'emplacement des pieds des perpendiculaires (M' , N' , P') est déterminé à partir des points à lever (M , N , P) sur une ligne d'opération AB	36
Figure 3.4 Principe du levé par rayonnement	38
Figure 3.5 Coordonnées polaires d'un point	38
Figure 3.6 Altitude d'un point	39
Figure 3.7 Schématisation d'une dénivelée	40

Chapitre IV : Implantation

Figure 4.1 Tracer une perpendiculaire au ruban	44
Figure 4.2 Tracer une perpendiculaire au ruban	45
Figure 4.3 Equerre optique	45
Figure 4.4 Equerre optique	46
Figure 4.5 Tracé d'une parallèle	46
Figure 4.6 Tracé d'une parallèle	47
Figure 4.7 Tracé d'une parallèle	47
Figure 4.8 Jalonnement	48
Figure 4.9 Jalonnement sans visibilité	48
Figure 4.10 Contournement d'obstacle	48
Figure 4.11 Abscisses et ordonnées	49
Figure 4.12 Intersection	50
Figure 4.13 Intersection Contrôles après implantation	50
Figure 4.14 Piquetage d'un terrassement.....	51
Figure 4.15 Chaise d'implantation	52
Figure 4.16 Position des chaises d'implantation	52
Figure 4.17 Report de points d'axe en fond de fouilles	53
Figure 4.18 Report de point de repère en étage	54

Généralité

Généralité

Dans cette généralité, nous rappelons la matière de Topographie 1 à nos étudiants qui ont été étudiée en deuxième année de licence.

La topographie est la science et l'art qui a pour objet d'établir le carte et les plans des formes et détails visibles sur le terrain, qu'ils soient naturels (notamment le relief) ou artificiels (comme les bâtiments, les routes, etc.). Son objectif est de déterminer la position planimétrique et altimétrique de n'importe quel point situé dans une zone donnée, qu'elle soit de la taille d'un continent, d'un pays, d'un champ ou d'un corps de rue.

C'est la science qui permet l'exécution, le contrôle et l'exploitation des observations concernant la position et l'altitude, les dimensions, la forme 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 question qui se pose est, pourquoi ce cours de topographie ?

C'est pour les étudiants de 3ème Année Génie Civil, les futurs ingénieurs, qui serez amenés à résoudre des problèmes d'aménagement ou de génie civil et qui se résument à :

- Pouvoir effectuer des opérations topographiques sur le terrain.
- Savoir lire un plan topographique,
- Etre en mesure de définir les caractéristiques des plans d'exécution,

1. DEFINITIONS

- Géodésie** : mots grec « le partage des terres » la géodésie est la science de base nécessaire à la topographie, qui étudie la forme de la terre elle s'est développée dans deux directions fondamentales, une direction théorique et une direction pratique.

- **Théorique** : connaissance de la forme et des dimensions de la terre, de son champ de pesanteur, et développement des mesures précises dans le domaine spatial (repérage et guidage de satellite).
 - **Pratique** : détermination des points remarquable et matérialiser de façon durable permettant l'établissement de cartes et de plans exacts et fournissant les données géométriques indispensables aux grands travaux de génie civil.
- b. **Cartographie** : c'est la science qui permet s'établir les cartes et les plans.
- **Carte** : c'est la présentation d'une portion de la terre
 - **Plan** : c'est le développement ou agrandissement d'une portion d'une carte.
- c. **Topographie** : mots grec « Topos : lieu et graphie : dessiner » c'est une science ou une technique qui permet de dessiner une image figurative de la surface de terre sur plan. C'est une science qui donne les moyens de représentation graphique ou numérique d'une surface terrestre. La nuance entre ces deux techniques réside dans le fait qu'en topographie le terrain est représenté in situ alors qu'en topométrie les calculs et reports sont des phases ultérieures au travail sur le site.
- d. **Topologie** : c'est la science qui analyse les lois générales de la formation du relief par les déformations lentes des aires continentales appelées mouvements épirogéniques, atténués ultérieurement par les actions externes : érosion due à la mer, au vent, à la glace, à l'eau et à la neige.
- e. **Topométrie** : mots grec « le mot topo = lieu et métrie = mesure » La topométrie est une techniques qui permet d'obtenir sur le terrain les données nécessaire au calcul des valeurs métriques de tous les éléments d'un plan à grand ou à très grand échelle (cas de levée détails). Il faut noter que la topométrie sert les domaines suivants :
- **Topométrie de construction** : La topométrie de construction consiste à donner des alignements et des altitudes qui servent à la construction de bâtisses, de réseaux d'égouts et d'aqueducs (tubes, canaux), de rues, et le reste.

- **Topométrie routière** : La topométrie routière est génialement liée aux autoroutes, aux chemins de fer, aux pipe-lines, d'une façon générale, sur de grandes distances.
 - **Topométrie cadastrale** : La topométrie cadastrale, aussi appelée bornage légal, consiste principalement à déterminer la délimitation et division des propriétés foncières. C'est un champ d'activité exclusivement réservé aux géomètres.
 - **Topométrie souterraine** : Les opérations comme l'orientation et les dimensions des tunnels et des passages de cavités, le calculent des volumes, etc, relèvent de la topométrie souterraine.
 - **Topométrie hydrographique** : La topométrie hydrographique, ou tout simplement l'hydrographie, a pour but de représenter le littoral (côte), les lacs et rivières, les fonds marins, et le reste.
 - **Topométrie industrielle** : L'aménagement des installations industrielles, au moyen d'instruments optiques, constitue la principale application de la topométrie industrielle.
- f. **Planimétrie** : exécution et exploitation des observations et mesures qui permettent de représenter sur un horizontal les détails situés à la surfaces du sol (méthode pour mesurer les surfaces plane).
- g. **Altimétrie** : exécution et exploitation des observations qui conduisent à la représentation du relief du sol (méthode pour mesurer les altitudes).
- h. **Canevas** : c'est l'ensemble des points connus en planimétrie et on altimétrie avec une précision absolue homogène.
- i. **Les levés topographiques** qui permettent l'établissement de plans utilisés par la suite par les Ingénieurs des travaux publics de l'Etat. Ces plans se présenteront sous la forme d'avant-projet, de plan de masse et de plan de détail.
- j. **Les implantations** Les projets d'aménagement établis généralement a partir de données topographiques, qui doivent être réalisés sur terrain. Pour ce faire, le topographe implante autrement dit met en place sur le terrain, les éléments planimétriques et altimétriques nécessaires à cette réalisation.

Chapitre I

Polygonation

Chapitre I : Polygonation

Ce chapitre, qui se divise en plusieurs sections, expose des notions fondamentales en topographie « polygonations ». Celle-ci est indispensable pour réaliser théoriquement des différents types de polygonation.

1. Définitions

1.1. Points d'appui

Pour obtenir un levé détaillé du terrain d'un projet de construction, que ce soit en **Planimétrie** ou en **Altimétrie**, on se sert d'un ensemble de points d'appui déjà connus dans un système de coordonnées.

1.2. Réseau de points d'appui

L'ensemble des points d'appui est souvent appelé **Canevas** ou **réseau de points d'appui**. Le réseau de points d'appui joue deux rôles :

- **Un rôle scientifique** (connaissance de la forme et des dimensions de la terre) ;
- **Un rôle technique** (ossature pour tous les levés : levé d'une propriété, d'une route, d'une ferrée, d'une ville ou levé de tout un territoire).

On distingue deux types de systèmes dans un réseau de points d'appui (figure 1.1):

- **Un système général** : constitué par des points d'appui espacés de 20 à 30 km, il forme l'ossature de base pour tous les travaux de levé grande échelle.
- **Un système local** : basé sur le système général, il sert aux levés échelle réduite.

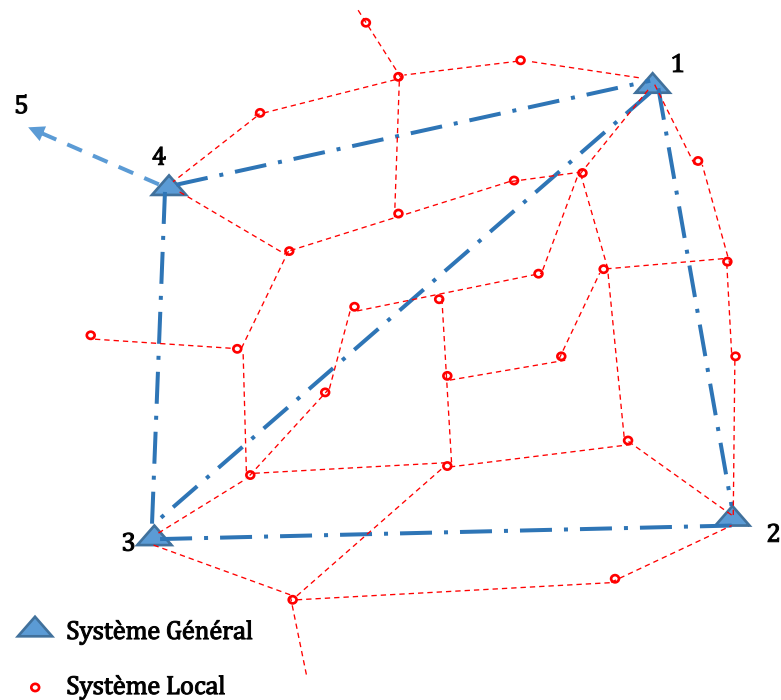


Figure 1.1 Réseau de points d'appui

2. Polygonation

2.1. Définitions:

Une ligne polygonale ou polygonation est un ensemble de sommets formants une ligne brisée dont on a pris soin de mesurer les angles ainsi que la longueur des côtés pour ainsi déterminer les coordonnées de chacun des sommets.

On appelle polygonation, l'ensemble des polygones formés par les cheminements topographiques reliant les points de triangulation entre eux ou reliant les cheminements.

Il y a deux composants d'un polygone (figure 1.2) : angle (angle de position ou angle de connecte) et la distance entre les points de triangulation.

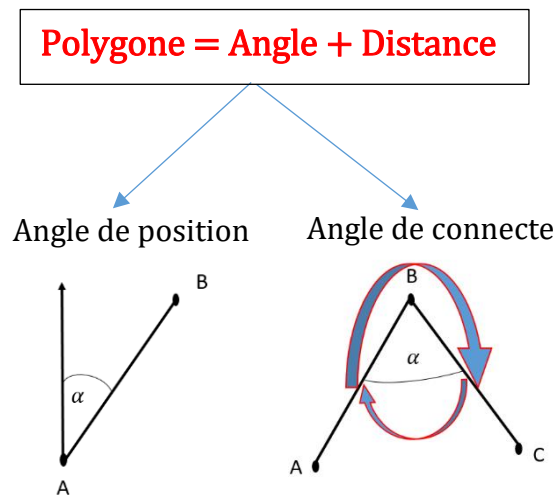


Figure 1.2 Les composants d'un polygone

Sur la figure 1.3 les points de triangulation A et B reliés par un cheminement dont on a mesuré les angles topographique α, β, γ et les longueurs L_1, L_2, L_3 et L_4 .

Ce cheminement est dit principal, car il relie deux points de triangulation. On a mesuré aussi les angles φ et ω

Un cheminement est dit goniométrique si la direction d'un côté est déterminée par rapport à la direction du côté précédent.

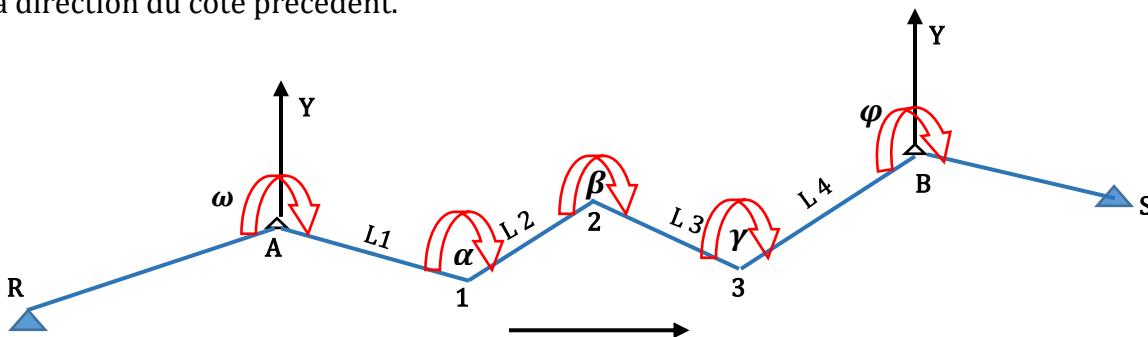


Figure 1.3 Polygonation

2.2. But d'une polygonation :

Le rôle et l'importance du cheminement consistent à découvrir et détecter les erreurs de travail topographiques et à les corriger, puis à augmenter la précision des travaux topographiques ; et accès aux coordonnées précisés des points de contrôle.

Exemple d'un triangle, il est possible de vérifier les longueurs (A, B et C) et les angles (1, 2 et 3) facilement.

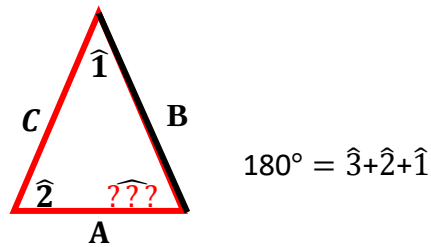


Figure 1.4 Exemple pour vérifier les angles et les longueurs

Pour effectuer un levé topographique, consistant à relever pour un territoire donné l'ensemble des détails naturels et artificiels, tant en **altimétrie** qu'en **planimétrie**, et pour en faire la représentation graphique, il faut établir sur le terrain, des lignes de contrôle qui serviront de référence afin de lier les détails. L'établissement de ces lignes constitue, la structure polygonale.

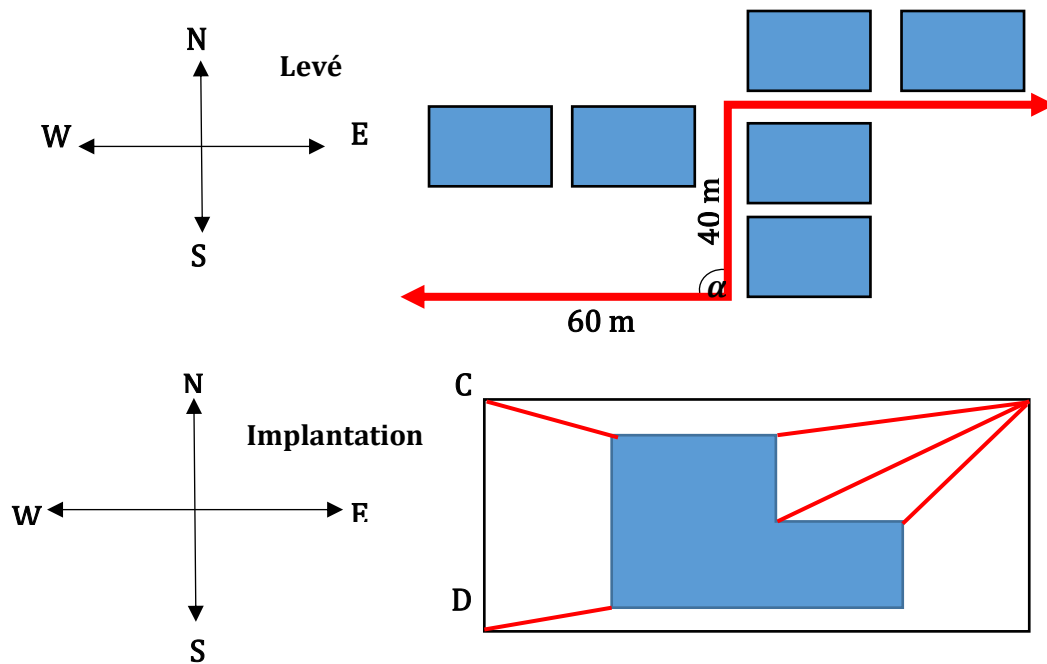


Figure 1.5 Structure polygonale sur un territoire

2.3. Cheminement et leurs types

C'est une succession de rayonnements entre deux points aux coordonnées connues.

- Cheminement tendu (ou encadré) :** C'est une ligne polygonale qui relie deux points connus en coordonnées, c'est la **meilleure** forme de cheminement
- Cheminement fermé :** C'est une ligne polygonale qui se boucle sur elle-même. Il doit être utilisé lorsque la surface à lever est peu étendue
- Antenne :** C'est une ligne polygonale qui ne se referme pas sur un point connu. Procédé à éviter, ou à observer aller et retour.
- Point nodal :** C'est le point de convergence de plusieurs cheminement encadrés.

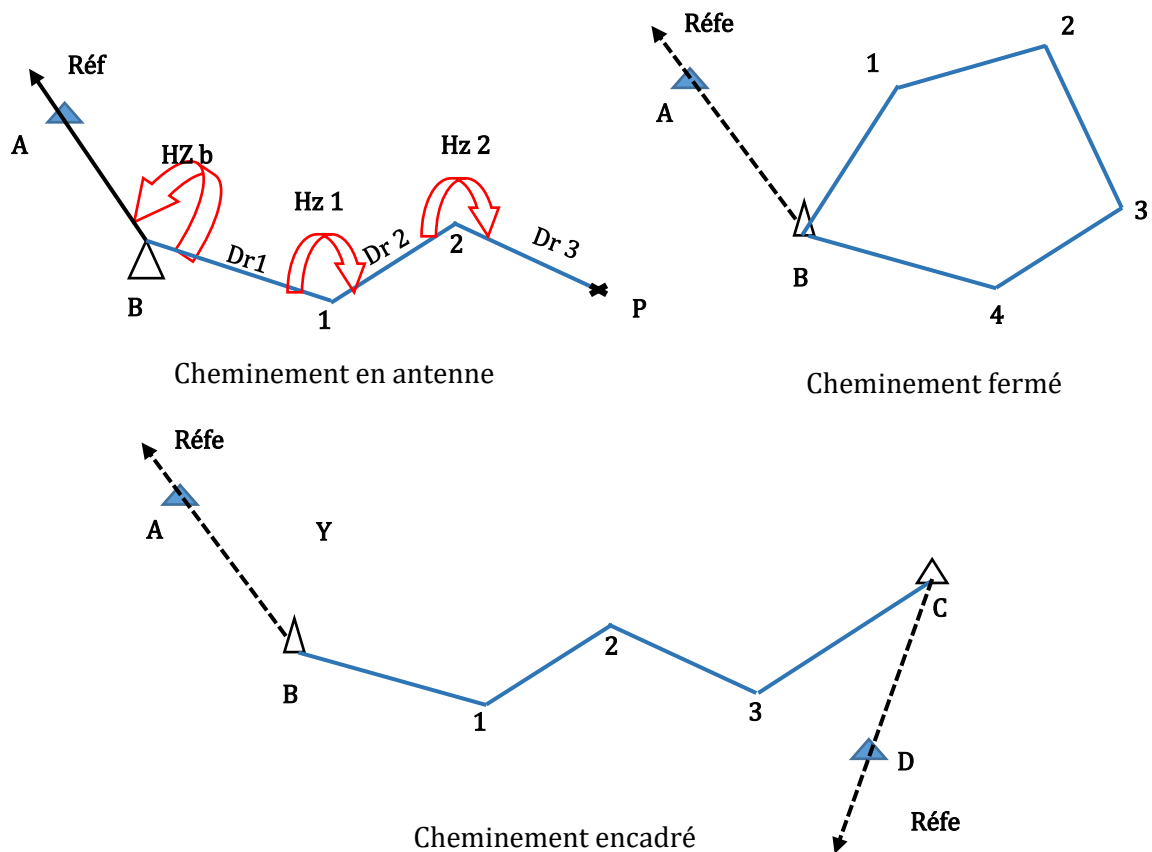


Figure 1.6 Les types de cheminement

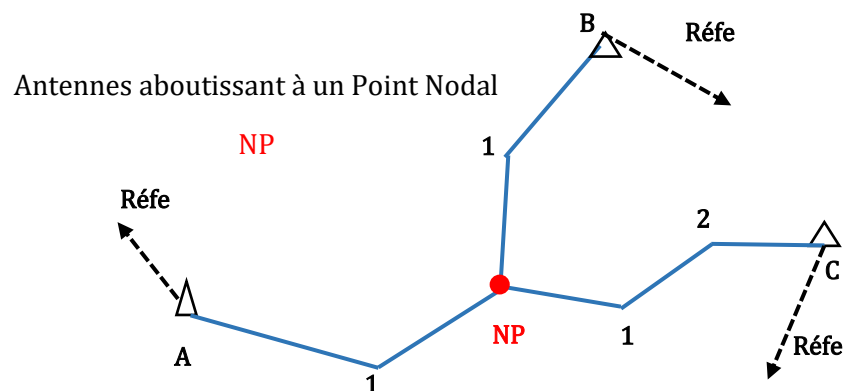


Figure 1.7 Point nodal

Pour déterminer la surface d'un polygone fermé il faut connaître les coordonnées (cartésiennes, polaires) ou les distances et les gisements de ce polygone. Donc nous allons commencer pour calculer les angles « **Gisement** » rappelle sur la topographie 1.

3. Gisement

3.1. Définitions:

Le Gisement d'une direction AB est l'angle horizontal mesuré positivement dans le sens horaire entre l'axe des ordonnées du système de projection utilisé et cette direction AB (figure 1.8). On le note G_{AB} .

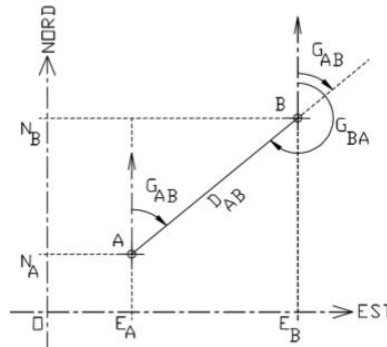
Mathématiquement, c'est l'angle positif en sens horaire entre l'axe des ordonnées du repère et la droite (AB). Un gisement est toujours compris entre 0 et 400 grades.

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

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

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

$$G_{BA} = G_{AB} + 200 \quad (1.1)$$

Figure 1.8 Gisements G_{AB} et G_{BA}

3.2. Calcul d'un gisement à partir de coordonnées cartésiennes

Considérons les coordonnées de deux points $A(X_A, Y_A)$ et $B(X_B, Y_B)$ (figure 1.9).

La distance D_{AB} se calcule comme suit:

$$D_{AB} = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad (1.2)$$

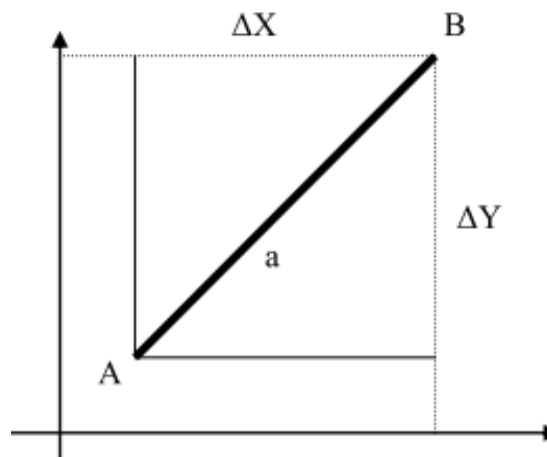


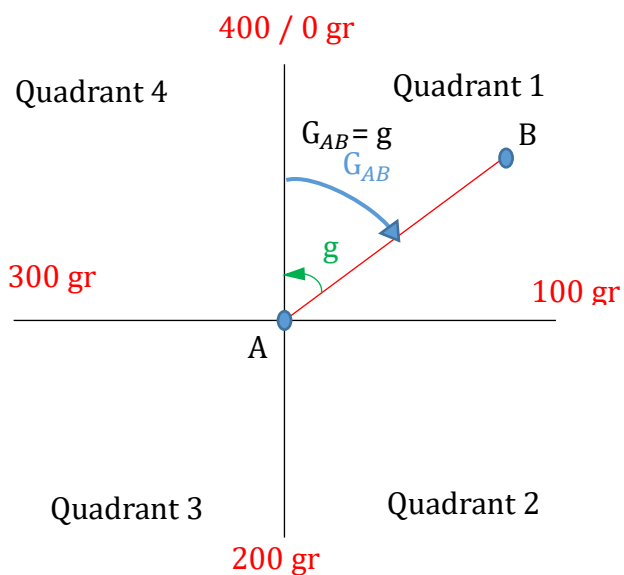
Figure 1.9 Gisements à partir de coordonnées cartésiennes

En fait, la calculatrice donne la valeur de l'angle auxiliaire g (figures suivantes). Pour obtenir G_{AB} , il faut donc tenir compte de la position du point B par rapport au point A ; on parle de quadrants:

* **Quadrant 1** : B est à l'est et au nord de A

$(\Delta X > 0)$ et $(\Delta Y > 0)$

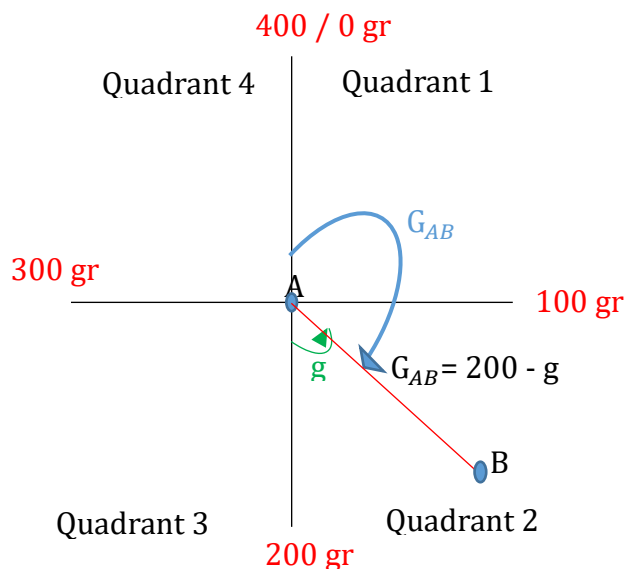
$$G_{AB} = g$$



* **Quadrant 2** : B est à l'est et au sud de A

$(\Delta X > 0)$ et $(\Delta Y < 0)$

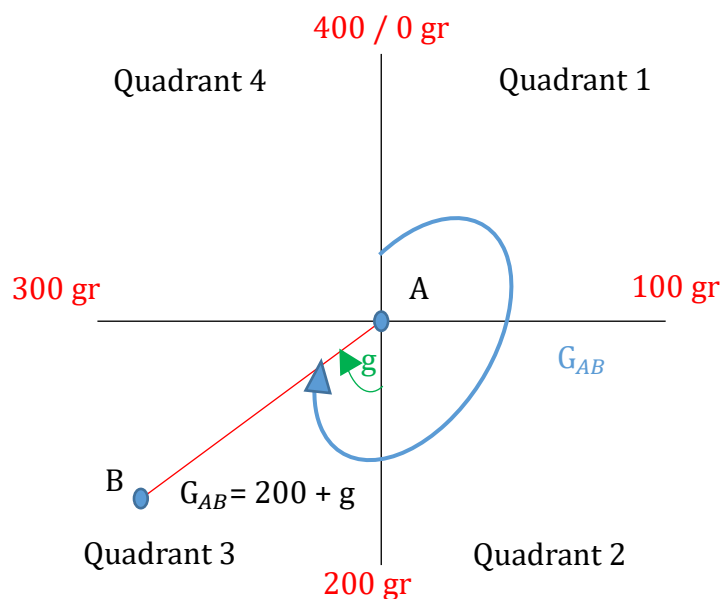
$$G_{AB} = 200 - g$$



* **Quadrant 3** : B est à l'Ouest et au Sud de A

$(\Delta X < 0)$ et $(\Delta Y < 0)$

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



* **Quadrant 4** : B est à l'Ouest et au Nord de A

$(\Delta X < 0)$ et $(\Delta Y > 0)$

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

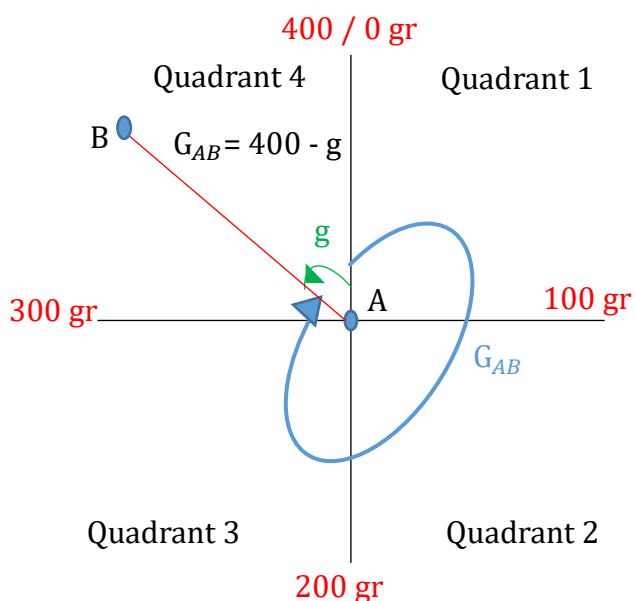


Figure 1.10 Résumé de calcul les Gisements

La relation suivante permet de calculer l'angle auxiliaire g

$$\text{tg } g = \left| \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right| = \left| \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \right| \quad (1.3)$$

Qui est un angle inférieur à 100 grades que forme la direction AB avec l'axe de Y

Résumé : les quatre cas comme suit

- la direction AB est située dans le 1^{er} quadrant,

$$G_{AB} = g$$

- la direction AB est située dans le 2^{ème} quadrant,

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

- la direction AB est située dans le 3^{ème} quadrant,

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

- la direction AB est située dans le 4^{ème} quadrant,

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

3.3. Calcul de coordonnées cartésiennes à partir d'un gisement

Connaissant le point de station A (X_A, Y_A), et cherchant les coordonnées d'un point B visible depuis A.

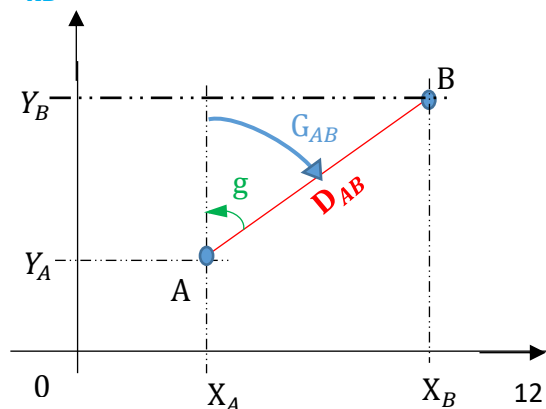
On dit que le point B est rayonné depuis A si l'on peut mesurer la distance horizontale D_{AB} et le gisement G_{AB} .

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

$$X_B = X_A + D_{AB} \cdot \sin G_{AB} \quad (1.4)$$

$$Y_B = Y_A + D_{AB} \cdot \cos G_{AB} \quad (1.5)$$

Figure 1.11 coordonnées cartésiennes à partir d'un gisement



3.4. Surface d'un polygone quelconque

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 1.12. Présente un exemple avec $n = 4$. La surface de ce polygone s'exprime de deux manières équivalentes :

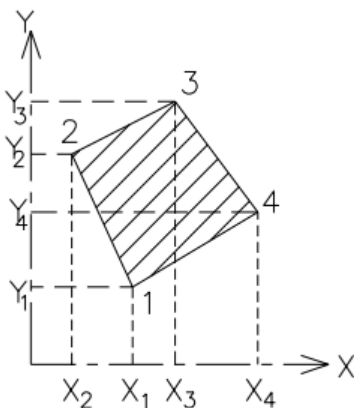


Figure 1.12 Surface en cartésien

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} X_i (Y_{i-1} - Y_{i+1}) \quad (1.6)$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}) \quad (1.7)$$

a. 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.

Tableau 1.1 les données d'application

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

b. Solution

Tableau 1. 2 Solution d'application

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 m²**

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

4. Calcul d'un Cheminement Fermé

Les étapes de calcul se résument comment suite :

a. Détermination du gisement de départ **G_{AB}**

b. Somme théorique des angles topographique

Somme théorique des angles topographiques

- Angles mesurés intérieurs au cheminement :

$$\sum B_i = (n - 2) 200 \text{ gr} \quad (1.8)$$

- Angles mesurés extérieurs au cheminement :

$$\sum B_i = (n + 2) 200 \text{ gr} \quad (1.9)$$

c. Somme Pratique des angles topographiques

$$\sum B_{i \text{ pratique}} = B_i + B_{i+1} + \dots + B_n \quad (1.10)$$

d. Fermeture angulaire (fa)

$$f_a = \sum B_{i \text{ pratique}} - \sum B_{i \text{ théorique}} \quad (1.11)$$

e. Tolérance de fermeture angulaire (T_α)

T_α : Est la valeur maximale que la fermeture angulaire ne doit pas dépasser dans ce cas les mesures sont acceptables dans le cas contraire il faut refaire les observations angulaire sur le terrain ainsi il faut que

$$f_a \leq T_\alpha \quad (1.12)$$

La tolérance de fermeture angulaire est donnée par la formule suivante

$$T_\alpha = 2.7 \times \sigma_\alpha \times \sqrt{n} \quad (1.13)$$

σ_α : Décision de la mesure de l'angle

n : Nombre de côtés

2.7 : Coefficient constant

f. Compensation angulaire

$$C_a \leq \frac{-f_a}{n} \quad (1.14)$$

C_a : Compensation angulaire

n : Nombre de côtés

f_a : Fermeture angulaire.

Compensation (C_a) est toujours désigné contraire à celui de f_a

Compensation angulaire pour chaque angle

$$B_{i \text{ compensé}} = B_i + \left(\frac{-f_a}{n}\right) \quad (1.15)$$

g. Compensation des gisements

$$G_{n-1} = G_n \pm B_{i \text{ compensé}} \pm 200 \quad (1.16)$$

G_n : Ongle topographique mesuré

On ajoute 200 gr si n est pair

On retranche 200 gr si n impair

On ajoute B_i compensé à la quantité G_n si l'angle topographique mesuré sur le terrain est extérieur cheminement et on retranchant retranche à la quantité G_n si l'angle topographique mesuré est intérieur ou cheminement

h. Coordonnées relative

$$\Delta X = D \sin G_{\text{compensé}} \quad (1.17)$$

$$\Delta Y = D \cos G_{\text{compensé}} \quad (1.18)$$

D : Distance horizontale mesurée entre deux points

$G_{\text{compensé}}$: Gisement compensé de la direction formée par ces deux points.

i. L'écart de fermeture planimétrique f_x et f_y

$$F = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (1.19)$$

f_x : L'écart de fermeture planimétrique en abscisse

f_y : Écart de fermeture planimétrique en ordonnée

F : Composition quadratique de f_x et f_y

$$f_x = \sum \Delta X = \Delta X_{A-1} + \Delta X_{A-2} + \dots + \Delta X_{A-n} \quad (1.20)$$

$$f_y = \sum \Delta Y = \Delta Y_{A-1} + \Delta Y_{A-2} + \dots + \Delta Y_{A-n} \quad (1.21)$$

j. Tolérance planimétrie

Pour plus précision du cheminement fermé on calcule la tolérance

$$T = \frac{\sum D_i}{2000} \quad (1.22)$$

$\sum D_i$: Longueur totale de cheminement

2000: Coefficient constant

Pour s'assurer de l'exactitude des mesures sur le terrain et des calculs il faut

$$F \leq T \quad (1.23)$$

$$\sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq \frac{\sum D_i}{2000} \quad (1.24)$$

k. Ajustement planimétrie

• Ajustement planimétrique en abscisse

Pour chaque point

$$C_{xi} = -f_x * \frac{D_{A-i}}{L} \quad (1.25)$$

L : Longueur totale du cheminement

D_{A-i} : Longueur de chaque côté

Après le calcul des C_{xi} on compense les coordonnées relatives en abscisse, ce qui donne

$$\Delta X_{A-i \text{ compensé}} = \Delta X_{A-i} + \left(-f_x * \frac{D_{A-i}}{L} \right) \quad (1.26)$$

$$\Delta X_{n-i \text{ compensé}} = \Delta X_{n-i} + \left(-f_x * \frac{D_{n-i}}{L} \right) \quad (1.27)$$

• Ajustement planimétrique en ordonnée

Pour chaque point

$$C_{yi} = -f_y * \frac{D_{A-i}}{L} \quad (1.28)$$

L : Longueur totale du cheminement

D_{A-i} : Longueur de chaque côté

Après le calcul des C_{yi} on compense les coordonnées relatives en ordonnée, ce qui donne

$$\Delta Y_{A-i \text{ compensé}} = \Delta Y_{A-i} + \left(-f_y * \frac{D_{A-i}}{L} \right) \quad (1.29)$$

$$\Delta Y_{n-i \text{ compensé}} = \Delta Y_{n-i} + \left(-f_y * \frac{D_{n-i}}{L} \right) \quad (1.30)$$

l. Coordonnées définitives

$$X_n = X_{n-1} + \Delta X_{n \text{ compensé}} \quad (1.31)$$

$$Y_n = Y_{n-1} + \Delta Y_{n \text{ compensé}} \quad (1.32)$$

4.1. Application

Le cheminement (A, B, C, D, A) a été observé avec un théodolite dont la précision de la mesure de l'angle (σ_β) est de 0,05 gr. Le gisement de départ G_{AB} est égal à 100 gr.

Les angles topographiques intérieurs (β_i) et les distances horizontales (D_i) mesurés sont les suivants : $\beta_1 = 176.9400$ gr, $\beta_2 = 62.4400$ gr, $\beta_3 = 92.3200$ gr, $\beta_4 = 68.4200$ gr. $D_{AB} = 43.210$ m, $D_{BC} = 65.818$ m, $D_{CD} = 60.778$ m, $D_{DA} = 42.225$ m. Les coordonnées du point de départ A sont : A ($X_A = 100.355$ m, $Y_A = 550.397$ m).

Déterminer les coordonnées des points intermédiaires B, C et D.

Sachant que : $f_\beta^{tol} = 2.7 \times \sigma_\beta \times \sqrt{n}$ et $F^{tol} = S \times \frac{1}{2000}$

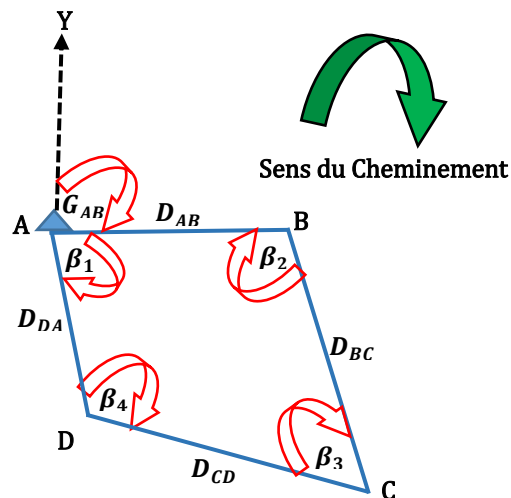


Figure 1.13 Cheminement fermé

4.2. Solution

Détermination des coordonnées rectangulaires des points B, C et D.

Il s'agit d'un cheminement fermé.

Étape 1: Écart de fermeture angulaire, f_β

En général, on a: $\Sigma B_{int} = (n - 2) 200 \text{ gr}$

Dans notre cas, nous avons:

$$\Sigma B_{int}^{théo} = (n - 2) 200 \text{ gr} = (4 - 2) 200 = 400 \text{ gr}$$

$$\sum B_{int}^{prat} = \sum B_i = B_1 + B_1 + B_1 + B_1 = 400,12 \text{ gr}$$

$$f_\beta = \sum B_{int}^{prat} - \sum B_{int}^{théo} = 400,12 - 400 = 0.12 \text{ gr}$$

Vérification de la tolérance:

$$f_\beta = \sum B_{int}^{prat} - \sum B_{int}^{théo} = 400,12 - 400 = 0.12 \text{ gr}$$

$$f_\beta^{tol} = 2.7 \times \sigma_\beta \times \sqrt{n} = 2,7 \times 0,05 \times \sqrt{4} = 0.27 \text{ gr} > f_\beta$$

Condition est vérifiée (OK)

Tableau1.3 Tableau d'application de polygonaion

	Angles (gr)	Gisements (gr)	Distances (m)	ΔX brut (m)	C_x (mm)	ΔY brut (m)	C_y (mm)	Différences de coordonnées compensées		Coordonnées définitives	
								ΔX (m)	ΔY (m)	X (m)	Y (m)
A											
B											
C											
D											
A											
B											
Σ											

Suivre les étapes de calcul un cheminement fermé pour résoudre l'application, et puis remplir le tableau

Tableau 1. 4 Correction d'application

	Angles (gr)	Gisements (gr)	Distances (m)	ΔX brut (m)	C_x (mm)	ΔY brut (m)	C_y (mm)	Différences de coordonnées compensées		Coordonnées définitives	
								ΔX (m)	ΔY (m)	X (m)	Y (m)
A		100,0000	43,210	43,210	-3	0,000	1	43,207	0,001	100,355	550,397
B	62,4400 62,4100	237,5900	65,818	-36,644	-5	-54,674	1	-36,649	-54,673	143,562	550,398
C	92,3200 92,2900	345,3000	60,778	-46,029	-4	-39,689	1	-46,033	39,690	106,913	495,725
D	68,4200 68,3900	76,9100	42,225	39,478	-3	14,981	1	39,475	14,982	60,880	535,415
A	176,9400 176,9100	100,0000 100,0000								100,355 100,355	550,397 550,397
B											
Σ			212,031	0,015	-15= $-f_x$	-0,004	4= $-f_y$	0,000 $= \sum \Delta X^{ex}$	0,000 $= \sum \Delta Y^{ex}$		

Chapitre II

Tachéométrie

Chapitre II : Tachéométrie

1. Définitions

Calcul des distances et des différences de hauteurs avec une manière indirecte. Cette méthode caractérisée par la facilité et la rapidité d'exécution sur le terrain par rapport à d'autres méthodes elle est souple et économique.

La précision de la méthode tachéométrique n'est pas très élevée, elle n'est donc pas utilisée pour les travaux qui nécessitent une grande précision.

Le lever tachéométrique est basé sur l'utilisation d'appareils permettant la mesure des angles et la mesure indirecte des distances et dénivelées ainsi que l'emploi du cheminement et de rayonnement.

Le choix de l'appareil (tachéomètre optique ou électronique) dépend de la précision exigée pour le lever ainsi que de l'échelle de présentation.

Le tachéomètre (figure 2.1) est un appareil servant à mesurer les angles horizontaux et verticaux entre deux cibles, ainsi que la distance de ces cibles (figure 2.1). Les mesures prises permettent de caractériser un triangle géodésique, et donc soit d'établir une carte ou un plan, soit de vérifier la cohérence entre un plan et la réalité du terrain.

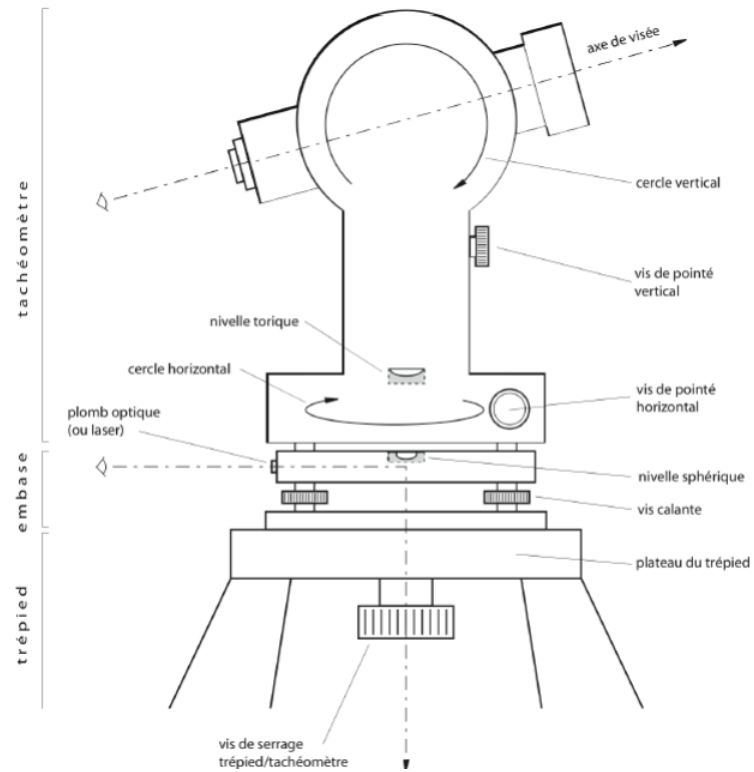


Figure 2.1 Tachéomètre et Schéma descriptif des composants d'un Tachéomètre

La mise en station d'un tachéomètre présenter dans la **Topographie 1** (2^{ème} année Génie Civil et Hydraulique).

2. Travaux de terrain

2.1. Organisation d'une brigade

Le lever tachéométrique est exécuté par une équipe appelé « brigade », constituée par :

- Un chef de brigade ;
- Un croquiseur ;
- Un opérateur ;
- Un teneur de carnet ;
- Un ou plusieurs portes mires ou portes prismes.

La composition de cette équipe est au maximum mais suivant l'importance de levé elle peut être réduite au minimum. Chaque membre de l'équipe a des tâches bien définies.

2.2. Le chef de brigade

Il organise l'ensemble du travail dont il est le responsable, il choisit les méthodes à employer et détermine les points à lever.

2.3. Le croquiseur

- Il fait un croquis de l'ensemble de la zone à lever, dirige la manœuvre et fait placer les portes mires sur les stations, puis les dirige sur les points de détails.
- Il complète son croquis, numérote ses points et prend lui-même certaines mesures complémentaires.
- Il doit être en liaison constante avec l'opérateur et lui signaler toute opération particulière afin qu'il puisse la noter sur son carnet.

2.4. L'opérateur : Il procède de la façon suivante

- Centrage et mise en station du tachéomètre sur un point du cheminement ;
- Mesure de la hauteur des tourillons, à signaler au porte prisme (hauteur de l'appareil = hauteur du point visé) ;
- et Observation du cheminement de base :
- Orientation en début de cheminement sur un point éloigné connu en coordonnées.
- Observation de l'angle du sommet de polygonal.
- Lectures au limbe horizontales et lectures stadimétrique (distances, dénivelés).
- Lever des points de détails montrés par la porte - mire ou porte prismes suivants les indications du croquiseur.
- Retour à la référence de départ pour s'assurer que l'appareil n'a pas bougé.

2.5. Le teneur de carnet

- Il inscrit les lectures annoncées par l'opérateur, en les répétant de façon qu'il puisse éventuellement rectifier une lecture mal comprise ;
- Il doit porter beaucoup d'attention aux indications données par le croquiseur particulièrement dans la numérotation des points qui doit être la même sur le carnet.

3. Procédés

On effectue des mesures nécessaires à positionner des objets aux points par leurs coordonnées rectangulaires ou polaire et leurs altitudes. Ainsi à partir de la position de ces points. Ces mesures se composent :

- D'angles horizontaux et verticaux.
- Des distances inclinées et horizontales.

4. Croquis du terrain

Toutes les mesures relevées sur le terrain seront inscrites sur un croquis exécuté au fur et à mesure de l'avancement de l'opération. En altimétrie, un carnet de nivellement remplace cet office.

Le croquis est utilisé dans un but précis : préparer un jeu, repérer un lieu de camp, illustrer un compte rendu d'exploration Il doit donc être clair et suivre des règles connues de tous. Un croquis doit pouvoir se situer dans le temps et l'espace. Il doit donc impérativement indiquer :

- La situation du lieu (on utilisera de préférence les coordonnées Lambert) ;
- La direction du Nord ;
- L'échelle ;

5. Travaux de bureau

On effectue des calculs géodésiques tels que les calculs des distances horizontales des coordonnées rectangulaires et des altitudes. Après, il faut faire une représentation graphique

des résultats (de calculs) sous forme d'un dessin qui présente des signes conventionnels et une échelle fixe.

5.1. Calcul

Au bureau, il s'agit de traduire ce croquis, mentionne les calculs qui seront faits, tant pour les différents besoins de l'opération: périmètres, surfaces, ... etc., que pour les vérifications indispensables.

5.2. Plan

Il ne reste plus qu'à interpréter ce rapport, pour exécuter (avec une très grande précision) le dessin du plan, qui représente le but final de toute opération topographique. Toutefois, après l'exécution du plan, on peut être appelé à retourner sur le terrain pour diverses opérations, telles que: partage de propriétés, tracé de route, implantation des ouvrages...etc.

6. Tachéométrie

Le mot Tachéométrie est formé à partir de deux mots grecs (Tachéo -- Rapide et Métrie – Mesure), le mot signifie la mesure rapide

Le tachéomètre, c'est un théodolite couple à un système de mesure de distance. On distingue:

- **Le tachéomètre à diagramme**

Est un ancien modèle mécanique à utiliser avec des murs spécial. La précision espérée sur une mesure de distance est de l'ordre de plus ou moins ± 14 cm pour une distance de 50 m.

- **Le tachymètre électrique électronique**

Est un théodolite couplé à un instrument de mesuré électronique des longueurs.

6.1. Mesurés stadimétriques

La stadimétrie est une méthode moins précise elle permet la mesure indirecte d'une distance horizontale en utilisant la longueur interceptée sur un mur par les fils stadimétriques de réticule de visée.

6.2. La théorie et les utilisations de la méthode tachéométrique

La base de la méthode et de calculer des distances horizontales et verticale entre les points à travers trois fils de réticule.

Base mathématiques pour la méthode tachéométrique et de la composition des triangles dans le niveau vertical avec ces triangles on peut calculer la distance horizontale et la différence de hauteur entre deux points.

6.3. Utilisation tachéométrique dans plusieurs projets d'ingénierie tels que

Les cartes de contour sont établis sur des terrains extrêmement accidenté ou l'utilisation des niveaux et très difficile et coûteuse.

- Élévation de la surface de grande zone ne nécessite pas grande précision.
- Implantation initiale des travaux d'ingénieur (route) dans la nature.
- Détermination des paramètres de projet d'une pente avec une longue distance.

Il existe plusieurs méthodes utiliser dans la méthode de tachéométrie tels que la méthode de mesure stadimétrique et la méthode des tangente, et il existe également plusieurs équipements utilisés sur le terrain tels que théodolite invar et d'autres. Mais nous allons présenter ici juste l'utilisation par appareil théodolite dans ce type de calcul.

7. Méthode de mesure stadimétrique

C'est la méthode la plus simple et le plus rapide dans la méthode tachéométrique, pour obtenir la distance horizontale et la différence entre deux points

- l'appareil théodolite est placé à une extrémité de la ligne et placer la mire à l'autre côté de la ligne. Avec l'appareil théodolite lit sur la mire pour calculer la distance horizontale, la différence entre les deux extrémités de la ligne, il y a deux cas:

7.1. Vue Horizontale: ($\theta=0$)

L'axe horizontale du théodolite est dans sa position horizontale, il n'y a pas d'angle (ni vers le haut ni vers le bas)

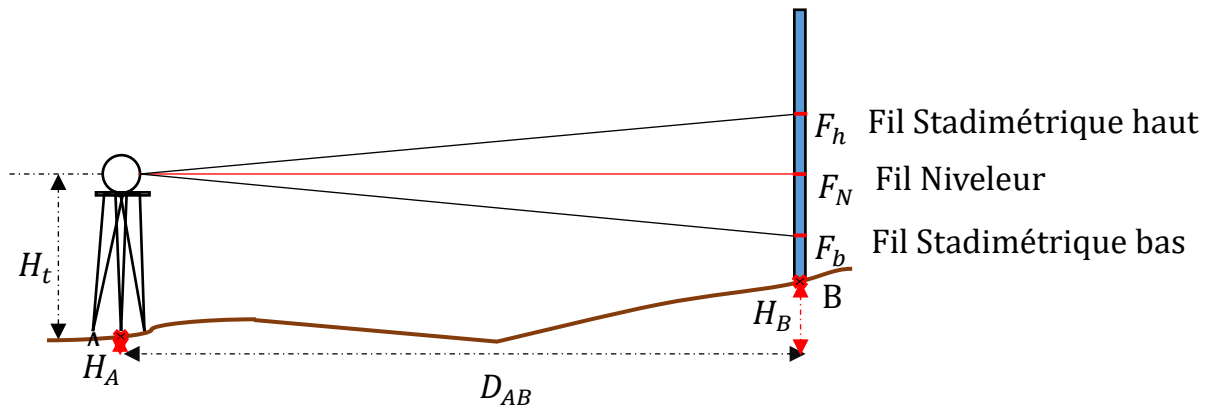


Figure 2.2 Vue horizontale

Distance horizontale

$$D_{AB} = (F_h - F_b)k + c \quad (2.1)$$

La hauteur de point B

$$H_B = H_A + H_t - F_N \quad (2.2)$$

D_{AB} : Distance horizontale;

k : Constant Tachéométrique;

c : Constant (Ajouter).

Généralement les caractéristiques K et c donné avec l'appareil ($k = 100$; $c = 0$).

7.2. Vue Incliné : ($\theta \neq 0$)

L'axe horizontal de théodolite n'est pas horizontale il existe une pente. (Angle vers le haut ou vers le bas).

a. Angles vers le haut

* La hauteur de point B

$$H_B = H_A + H_t - F_N + y \quad (2.3)$$

* Distance horizontale

$$D_{AB} = (F_h - F_b) * k * \cos^2 \theta + (c * \cos \theta) \quad (2.4)$$

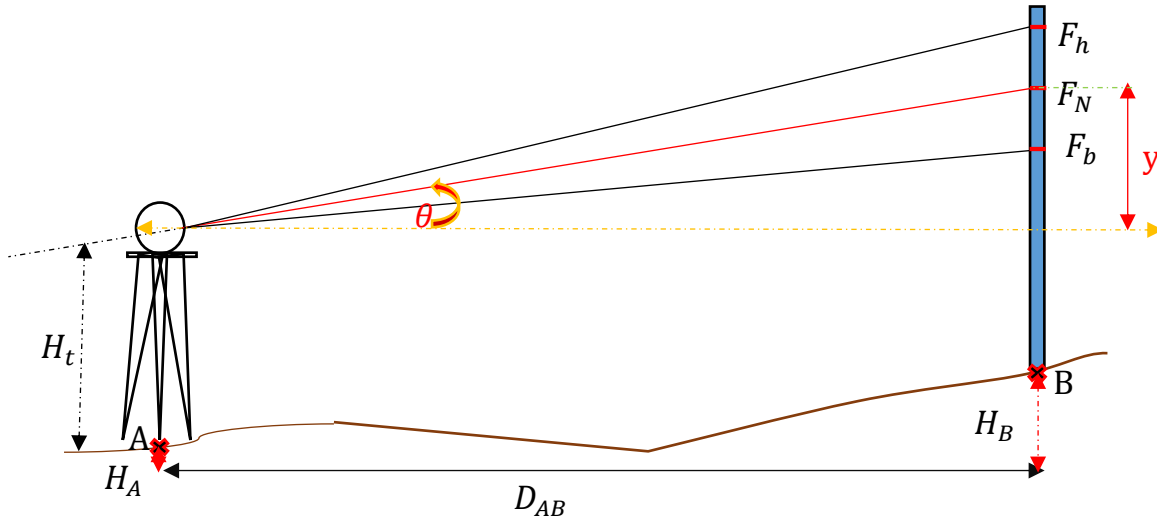


Figure 2.3 Vue incliné angles vers le haut

b. Angles vers le bas

* La hauteur de point B

$$H_B = H_A + H_t - F_N - y \quad (2.5)$$

* Distance horizontale

$$D_{AB} = (F_h - F_b) * k * \cos^2 \theta + (c * \cos \theta) \quad (2.6)$$

* Calcul y

$$y = \left(\frac{1}{2} (F_h - F_b) * \sin 2 \theta * k \right) + (c * \sin \theta) \quad (2.7)$$

* Calcul ΔH_{AB}

$$\Delta H_{AB} = D_{AB} * \operatorname{tg} \theta \quad (2.8)$$

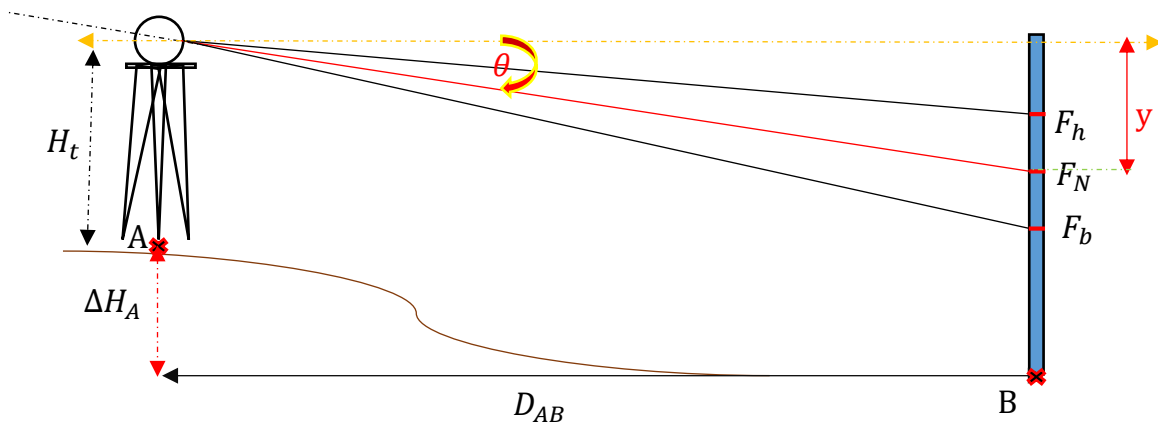


Figure 2.4 Vue incliné angles vers le bas

8. Méthode de tangent

- Théodolite dans le cas d'utilisation d'un théodolite sans les fils stadimétriques;
- Dans le cas ne connu pas le K et C;
- Lire la mire deux fois différentes.

Cette méthode de tangente est moins précise que la méthode de stadai.

Prendre une vue horizontale et autres incliné

* Distance horizontale

$$D_{AB} = (L_H - L_I) / \tan \theta \quad (2.9)$$

* Calcul de H_B

$$H_B = H_A + H_t - L_H \quad (2.10)$$

L_H : Lecteur Horizontale

L_I : Lecteur Incliné

8.1. Méthode de tangent

Prendre une vue horizontale et autre incliné

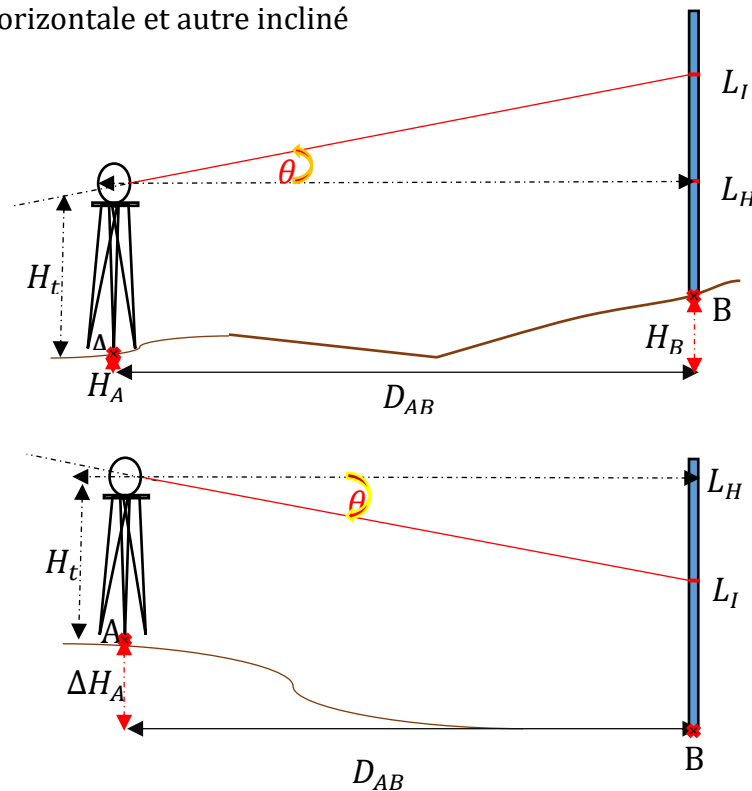


Figure 2.5 Méthode de tangent vue horizontale et autre incliné

* Distance horizontale

$$D_{AB} = (L_{I2} - L_{I1}) / (tg\theta - tg\alpha) \quad (2.11)$$

* Calcul H_B

$$H_B = H_A + H_t + (D_{AB} * tg\theta) - L_{I1} \quad (2.12)$$

$$H_B = H_A + H_t + (D_{AB} * tg\alpha) - L_{I2} \quad (2.13)$$

L_{I1} : Lecteur Incline 1

L_{I2} : Lecteur Incline 2

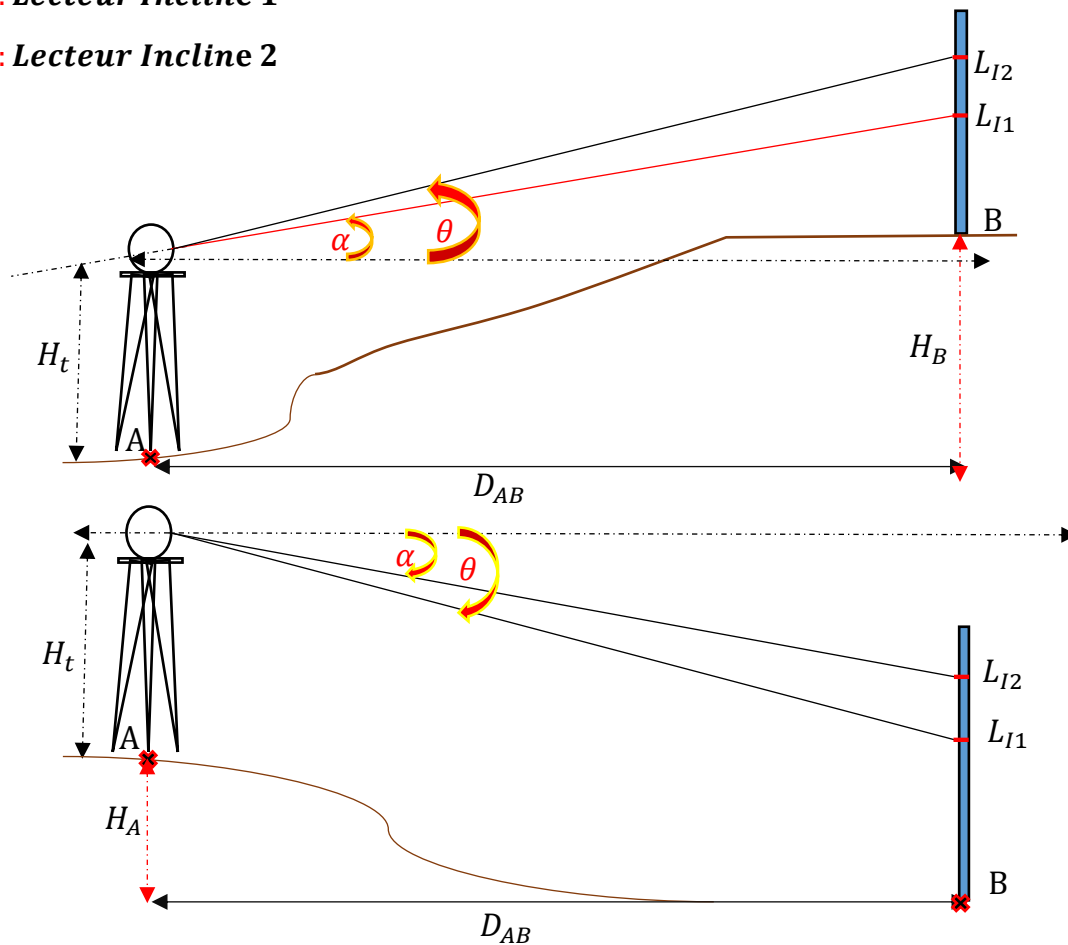


Figure 2.6 Méthode de tangente deux vue inclinés

* Calcul H_B

$$H_B = H_A + H_t - (D_{AB} * tg\theta) - L_{I1} \quad (2.14)$$

$$H_B = H_A + H_t - (D_{AB} * tg\alpha) - L_{I2} \quad (2.15)$$

L_{I1} : Lecteur Incline 1

L_{I2} : Lecteur Incline 2

θ : le plus grand

α : le plus petit

Chapitre III

Les levés

Topographiques

Chapitre III : Les Levés Topographiques

En circulant dans votre ville, vous avez surement déjà vu des personnes utiliser un appareil topographique. Il s'agit d'une brigade topographique effectuant un levé de détail en milieu urbain en se basant sur les points d'appui du système local.

1. Définitions

1.1. Canevas planimétrique

Le canevas est la charpente sur laquelle on va bâtir le levé. Il est nécessaire quel que soit l'étendue de levé d'une propriété, route ou d'une ville.

C'est un ensemble de point bien réparti sur la surface à lever, déterminée par des mesures effectuées sur le terrain (mesure des angles et des distances).

Les positions relatives sont déterminées avec une précision au moins égale à celle que l'opérateur attend du levé. Ces points servent d'appuis ou levé de détails.

Il existe différents méthodes distinctes pour établir un canevas, elles sont généralement employées suivant la conformité du terrain :

- **Polygonation.**
- La triangulation.
- L'intersection.
- Multi altération.

1.2. Densification du canevas planimétrique de base

En topométrie le principe fondamental consiste à aller de l'ensemble aux détails.

- a. Canevas d'ensemble :** C'est un canevas planimétrique déterminé par des opérations de mesures sur le terrain (angles et distances), matérialisé d'une façon durable par des bornes ou maintenir le réseau sur laquelle s'appuient le levé de détail.

- b. **Canevas d'ensemble ordinaire** : Dont la tolérance sur l'erreur en distance entre 2 points est égale à 20 cm. Il est parfaitement adapter aux travaux en zone rurale, pour les travaux cadastraux.
- c. **Canevas d'ensemble de précision** : Dont la tolérance sur l'erreur en distance entre 2 points est égale à 4 cm, il est adapté aux travaux en zone urbaine.

2. Les levés topographiques

2.1. Brigade

La méthode Tachéométrique et plus souvent mise en œuvre par équipe de deux : le chef d'équipe et l'opérateur.

L'équipe encore appelé brigade, et composé d'un élément mobile : chef d'équipe porte prisme croquisseur, accompagné parfois d'un aide porte-prisme, et d'un élément statique : l'opérateur, lequel peut-être supprimé si le tachéomètre est motorisé.

Le chef d'équipe doit avoir le coup d'oeil et la rapidité de décision voulus, fruit d'une longue pratique.

Le chef d'équipe établit le canevas et croquer après une reconnaissance approfondie. il est guidé par:

- Les impératifs propres à tout cheminement polygonal
- l'éloignement des obstacles divers qui créent des (angles morts) horizontaux ou verticaux.
- Les surfaces ensoleillées, horizontales ou verticales qui gênent et dégradent les mesures.

2.2. Croquis

Les dessins est apparu depuis l'antiquité en tant que langage utilisé par l'homme pour exprimer.

Le but des dessins et d'arranger et d'organiser les formes et les détails sur le site. Afin de représenter le plan horizontal projet sur papier.

2.3. Dessin de croquis

Quand un croquiseur va pour la première fois vers le site pour dessiner le croquis, il explore il explore d'abord la zone puis dessiner un croquis général de ce site. Avant que le croquiseur commence à dessiner un croquis de la zone, il doit d'abord déterminer les objectifs suivants :

- Le début et la fin de la zone à mesurer.
- Déterminer la direction du nord sur le site ainsi que le croquis.
- Identifier les sites les plus importants du Site afin de pouvoir les consulter nécessaire si nécessaire.
- Pendant le processus de dessin graphique il prend en compte l'engagement de proportionnalité dans les longueurs dessinées sur la carte et les longueurs réelles sur le terrain ainsi que la forme.
- Description de différents éléments de croquis et de ce qu'ils contiennent en détail, tels que bâtiment, rue et poteaux de lumière, ainsi que des séparations entre les biens.

2.4. Organisation d'une brigade : c'est l'équipe qui effectue le levé topographique.

- 2.4.1. **Le Chef de brigade** : est responsable du travail, c'est lui qui choisit les méthodes à employer,
- 2.4.2. **Le croquiseur** : dessine le croquis de la zone à lever,
- 2.4.3. **L'opérateur** : dirige l'appareil sur les points à lever et effectue les lectures correspondantes,
- 2.4.4. **Le teneur de carnet** : note les lectures dictées par l'opérateur, Le ou **Les porte-mire**.

3. Types de levés

On distingue deux types de levés, le levé **planimétrique** et le levé **altimétrique**.

3.1. Levé planimétrique

On fait appel à ce type de levé, lorsque l'on souhaite représenter des éléments tels que des routes, une construction, un cours d'eau ou les limites d'une propriété. Le levé planimétrique consiste à mesurer les angles et les distances au sol. Les méthodes de levé planimétriques sont :

3.1.1. Le levé par abscisses et ordonnées

Il s'effectue à l'aide d'une équerre optique (figure 3.1), qui permet de déterminer une **direction perpendiculaire** à une autre.

Équerre optique : C'est un petit instrument optique très pratique, cet appareil permet de déterminer simplement des angles droits précis à 90° pour l'implantation de tout type d'ouvrage, son utilisation est simple.



Figure 3.1 Équerre optique

L'équerre peut être prise à la main ou poser sur une canne porte équerre ou un jalon porte équerre. Cet instrument est de faibles dimensions (boîtier cylindrique : diamètre 4 cm environs et hauteur 5 cm).

On se sert de cet instrument couplé soit à un fil à plomb, soit à une canne plombée pour implanter des angles droits. Son Principe est fondé sur l'utilisation de miroirs, l'un donnant une image venant de la gauche suivant un angle droit (donc à 90°), l'autre image venant de la droite. Enfin, une petite "fenêtre" permet d'observer droit devant soi (fenêtre centrale de l'équerre optique). C'est par le jeu de superposition des images que l'on obtient les points désirés.

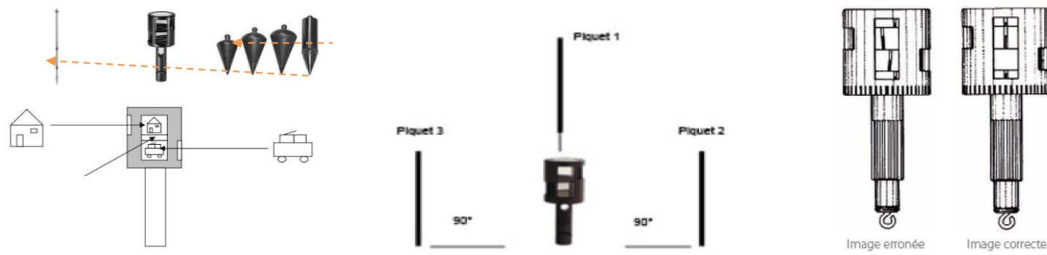


Figure 3.2 Equerre optique

Visez dans la fente du milieu le piquet n°1.

Pour avoir un angle à 90° à droite ou à gauche du piquet n°1, il suffit d'aligner visuellement en regardant le miroir du haut ou du bas le piquet 2 ou le piquet 3 !

a. Méthode pour dresser une perpendiculaire (Travail effectué avec deux personnes):

- Placer un Jalon aux points A et B.
- Prendre une équerre optique avec une canne plombée et se positionner au point C qui est donc situé sur la ligne AB.
- Placer la canne perpendiculaire à l'aide d'un niveau pour Jalon et la fixer à l'aide d'un porte Jalon.
- Faire signe à l'autre personne de placer un Jalon au point D.
- Le Jalon est placé de telle manière que toutes les images sont alignées dans le prisme.
- (DC) est perpendiculaire à (AB) en C.

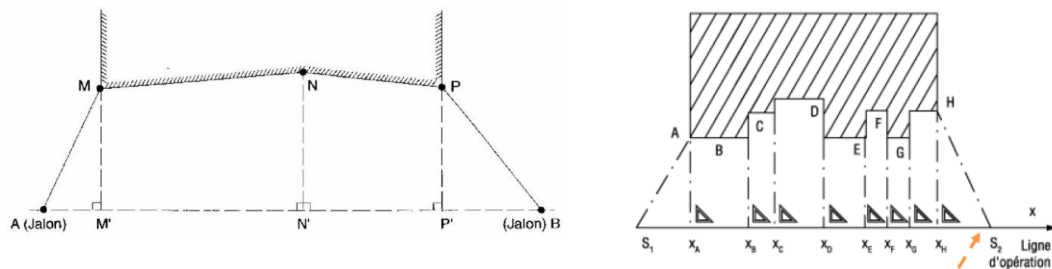


Figure 3.3 Schématise le principe du levé par abscisses et ordonnées. En effet, l'emplacement des pieds des perpendiculaires (M' , N' , P') est déterminé à partir des points à lever (M , N , P) sur une ligne d'opération AB

Qu'est-ce qu'une ligne d'opération ?

La ligne d'opération est une droite orientée, sensiblement parallèle à la direction générale des détails à lever. Elle a pour origine un des points du canevas, et elle sert d'échelle des abscisses.

Les ordonnées des points nouveaux sont alors données par la longueur de leur hauteur abaissée sur la ligne d'opération. Cette méthode est très souvent employée lors des levés de corps de rue. Une fois les objets positionnés en abscisse et en ordonnée par rapport à la ligne d'opération, il est nécessaire de faire une transformation de coordonnées afin d'intégrer les points levés dans l'ensemble du levé.

b. Procédure à suivre in-situ :

La ligne d'opération est matérialisée par deux jalons. On mesure les abscisses en cumulé (AM' , AN' , AP' ...) puis les ordonnées (MN' , NN' , PP' ...).

Les mesures doivent être contrôlées par la mesure des diagonales (AM , BP ...) en utilisant le théorème de Pythagore (triangle rectangle) :

$$AM^2 = AN'^2 + MN'^2 \quad (3.1)$$

Pour exécuter un levé par abscisse et ordonnées, on procède comme suit :

- a. Faire un croquis général du site de travail (à lever).
- b. Matérialiser la ligne d'opération à l'aide de jalons.
- c. Matérialiser les points de détail à l'aide de jalons.
- d. Déterminer la projection des points de détail sur la ligne d'opération à l'aide de l'équerre optique.
- e. Mesurer les distances entre les points projetés et les points d'appui (abscisses).
- f. Mesurer les distances entre la position des points de détail et leur projection sur la ligne d'opération (ordonnées).
- g. Tracer un croquis sur lequel figure la position des points de détail.

3.1.2. Levé par rayonnement

Il s'appuie sur le principe géométrique de la détermination d'un point par coordonnées polaires (figure.3.4).

Chaque point est défini par :

- **L'angle θ** : qui est déterminé depuis la distance A à partir d'un axe fixe AB.
- **La distance D** : qui définit la position des points (a, b, c) par rapport à la station (A).

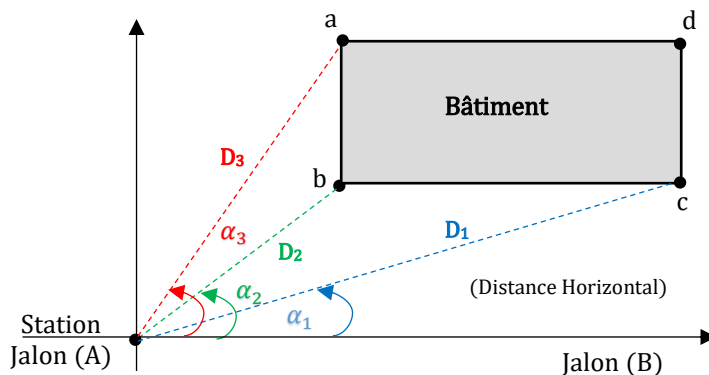


Figure 3.4 Principe du levé par rayonnement

La valeur de l'angle horizontal (en grades) ainsi que celle de la distance (en mètres) forment les coordonnées polaires d'un point (figure 3.5).

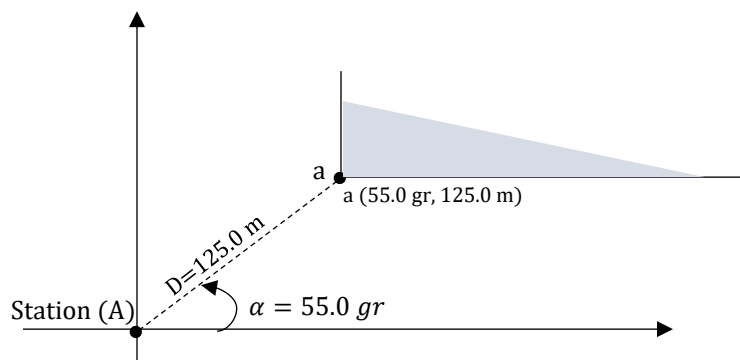


Figure 3.5 Coordonnées polaires d'un point

La procédure à suivre pour effectuer un levé par rayonnement est :

- a. Faire un croquis général du site à lever,
- b. Matérialiser la ligne d'opération et les points de détail à l'aide de jalons,

- c. Faire la mise en station de l'appareil topographique,
- d. Régler la nivelle de l'appareil à l'aide des vis calantes,
- e. Viser les points de détail avec la lunette topographique,
- f. Noter les valeurs des lectures effectuées dans l'ordre suivant :
Lecture supérieure (l_{sup}), Lecture moyenne (l_{moy}), et Lecture inférieure (l_{inf}).
- g. Faire la lecture de l'angle vertical,
- h. Calculer les distances en utilisant la formule :

$$D = 100 (l_{sup} - l_{inf}) \times (\sin V)^2 \quad (3.2)$$

- i. Faire la lecture de l'angle horizontal (H_z) sur le cercle horizontal de l'appareil pour chacune des directions.
- j. Calculer les angles horizontaux (α) en utilisant la formule suivante :

$$\alpha = H_z(\text{suivant}) - H_z(\text{précédent}) \quad (3.3)$$

3.1.3. Levé altimétrique

On appelle levé altimétrique l'ensemble des opérations permettant de déterminer les altitudes et les dénivelées par rapport au niveau moyen des mers au repos, afin d'établir des plans et des cartes topographiques. L'altitude d'un point est la distance, en mètre, entre ce point et une surface se trouvant au niveau moyen des mers, qui correspond à la valeur 0 (figure 3.6). La dénivelée représente la différence d'altitude entre deux points, en valeur et en signe (figure 3.7).

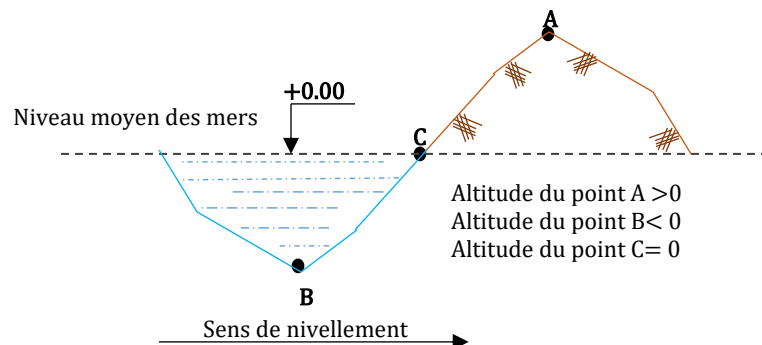
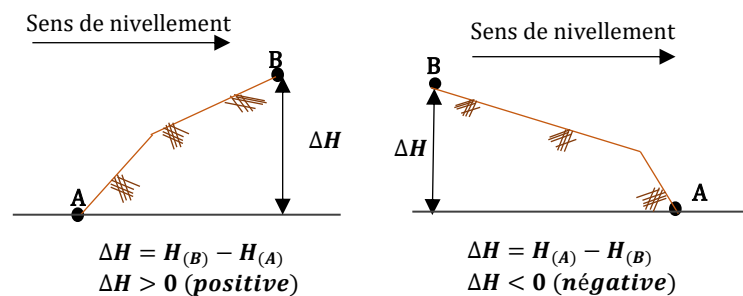


Figure 3.6 Altitude d'un point



ΔH : Dénivelée

Figure 3.7 Schématisation d'une dénivellée

Chapitre IV

Implantation

Chapitre IV : Implantation

La réalisation de tout ouvrage de génie civil nécessite la maîtrise de plusieurs opérations faisant intervenir plusieurs spécialités. L'ingénieur en qualité de chef de projet de construction accompagné de leurs staffs, doivent obligatoirement non seulement connaître toutes ces opérations dans les moindres détails, mais aussi l'ordre chronologique où elles interviennent. Et c'est dans ce cas et uniquement dans ce cas qu'on parera de l'art de construire. En conséquence, un projet de construction ne se restreint pas en un ensemble d'idées ou d'expressions architecturales reproduite sur plans mais doit s'étendre jusqu'au chantier.

1. Définitions

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

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

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

Cette opération consiste à matérialiser sur le terrain l'ensemble des tracés géométriques telles que :

- Terrassements à entreprendre (excavation pour déblais en grande masse) ;
- Délimitation des rigoles et des tranchées Position des organes de fondations ;
- Passages des canalisations et des regards Tracé des murs de façade, pignons etc.

2. Document nécessaires à l'établissement de l'implantation

Il est clair que pour pouvoir établir une implantation il est impératif de disposer de documents techniques graphiques et écrits. Parmi ces documents nous citerons:

- 2.1. **Le plan de situation** : ce plan parle de localiser le terrain à bâtir par rapport à des repères fixés tels que les rues boulevard.
- 2.2. **Le plan de masse** : ce plan permet de localiser la construction projetée et ces abordes immédiats.
 - Propriété non bâti
 - Limite de construction voisine.
- 2.3. **Plan d'implantation**: c'est en réalité un plan de masse reporté sur un relevé topographique. Le plan topographique étant un plan donnant l'allure altimétrique du terrain, ce dernier ne permet d'apprécier sur le terrain des plateaux accidenté.
- 2.4. **plan de fondation** : ce plan parle de localiser les axes des fondations par rapport le plan de construction.

3. Réalisation de l'implantation

- 3.1. **l'élément de base** : Pour réaliser correctement une implantation d'ouvrage, il est nécessaire de disposer d'un certain nombre d'éléments de base.
- 3.2. **alignement de référence** : toute construction doit impérativement s'intégrer dans le bâti existant. Ceci est souvent caractérisé par un choix préalable d'un alignement particulier.
 - Cet alignement pouvant être par rapport, A un axe de voirie (route), Bordure de trottoir, alignement par rapport à des édifices existants.
- 3.3. **Réalisation de l'implantation.**

La réalisation de l'implantation passe par un ensemble d'opérations préparatoires dont on cite:

3.3.1. Le piquetage.

Cette opération vise à matérialiser au moins deux axes généralement orthogonaux .Ces deux axes sont généralement reportés hors de l'emprise de la construction dont l'un est parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage .Ces deux axes serviront ensuite de base pour tracer un ensemble de lignes directrices secondaires situées cette fois à l'intérieur de l'emprise du bâtiment.

3.3.2. Le nivellement.

Comme son nom l'indique, le nivellement cherche à repérer les différents niveaux en vue de procéder à tous travaux de fouille ou de terrassement .Pour ce faire on réalise en général un quadrillage à grande maille (15m x 15 m) ou (20 m x 20 m).A l'intersection des lignes du quadrillage on place des piquets munis de repères altimétriques qui serviront plus tard à l'exécution des fouilles et des terrassements.

3.3.3. Mise en œuvre pratique de l'implantation.

Il se peut que les notions de piquetage et de nivellement soient quelque peu abstraites, il n'en demeure que ce sont des méthodes couramment mises en œuvre en pratique. Les pratiques de chantiers menant à cette fin se résument comme suit :

- Nettoyage et débroussaillage avec un nivellement grossier du terrain ;
- Repérage de l'emprise de l'ouvrage au moyen de piquets posés aux angles de ce dernier ;
- Mise en place des chaises d'implantation .Les chaises sont des planches en bois placées en équerre juste derrière l'emprise de l'ouvrage ;
- Détermination des lignes principales en les matérialisant au moyen de cordeaux ou de fil de fer recuit cloués sur les chaises .Les lignes principales sont déterminées pour les directions orthogonales ou plus généralement suivant les directions principales de ce dernier .à l'intersection des cordeaux on repère les axes des poteaux ou des voiles. Une fois l'implantation terminée on repère au moyen de plâtre ou de craie la position des différentes fouilles à exécuter ceci sera l'objet du prochain cours 'Les terrassements'.

4. Technique d'Implantation

4.1. Implantation d'alignements

Un alignement est une droite passant par deux points matérialisés au sol.

4.1.1. Tracer une Perpendiculaire à un Alignement Existant

a. Au Ruban

On cherche à tracer la perpendiculaire à l'alignement AB passant par C.

Pour cela, on utilise les propriétés du triangle isocèle ou du triangle rectangle

- Triangle Isocèle

Soit deux points D et E situés à une égale distance de part et d'autre de C ; tout point P situé sur la perpendiculaire est équidistant de D et de E ; on construit un triangle isocèle DPE.

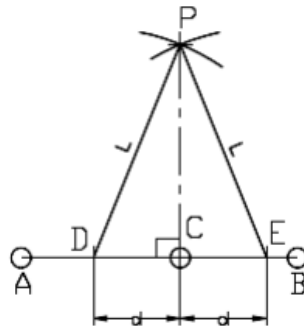


Figure 4.1 Tracer une perpendiculaire au ruban

Pratiquement, Si l'on ne dispose que d'un seul aide, on peut marquer au sol un arc de cercle de centre D et de rayon 15 m et prendre l'intersection avec un arc de cercle de même rayon centré en E voir la figure 4.1. Le contrôle est effectué en vérifiant que $BP^2 = BC^2 + CP^2$

- Triangle Rectangle

Trois côtés a, b et c d'un triangle rectangle vérifient $a^2 = b^2 + c^2$ (a étant l'hypoténuse).

Cette relation est aussi vérifiée par les nombres suivants : $5^2 = 4^2 + 3^2$.

Donc, si l'on positionne un point D sur AB à 3 m de C, un point P de la perpendiculaire sera distant de 4 m de C et de 5 m de D. Cette méthode est aussi appelée « méthode du 3-4-5 ».

Avec un seul aide, on peut marquer au sol un arc de cercle de centre D et de 5 m de rayon et prendre l'intersection avec un arc de cercle de 4 m de rayon centré en C.

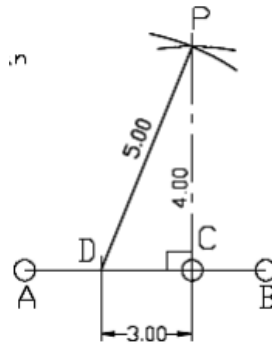


Figure 4.2 Tracer une perpendiculaire au ruban

B. Avec une Equerre Optique

- Mener une perpendiculaire depuis un point C de l'alignement AB

On place un jalon en A et en B (voir la figure .4.3). L'opérateur se place à la verticale du point C avec l'équerre optique et aligne visuellement les jalons de A et B dans l'équerre. Ensuite, il guide le déplacement d'un troisième jalon tenu par un aide jusqu'à ce que l'image de ce jalon soit alignée avec les deux premiers. L'aide pose alors son jalon et obtient un point P de la perpendiculaire.

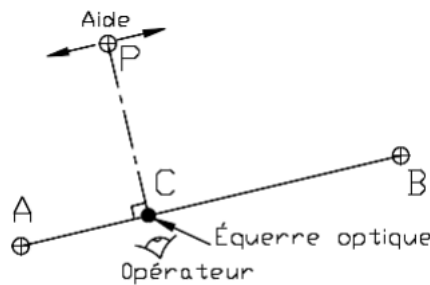


Figure 4.3 Equerre optique

- Abaisser une perpendiculaire depuis un point C extérieur à AB

On dispose trois jalons sur A, B et C (figure. 4.4). L'opérateur se positionne au moyen de l'équerre sur l'alignement AB en alignant les images des deux jalons de A et B puis se déplace

le long de AB jusqu'à aligner le troisième jalon avec les deux premiers. Lorsque l'alignement est réalisé, il pose la canne à plomber et marque le point P, pied de la perpendiculaire à AB passant par C.

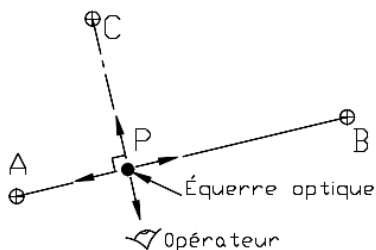


Figure 4.4 Equerre optique

4.1.2 Tracer une parallèle à un alignement existant

Étant donné un alignement AB, on cherche à construire une parallèle à AB passant par un point C ou à une distance d donnée de AB : le point C est alors positionné sur une perpendiculaire située à une distance d de l'alignement AB.

a. Tracé de deux perpendiculaires

L'opérateur construit au moyen d'une des méthodes déjà traitées, le point P, pied de la perpendiculaire à AB passant par C, puis la perpendiculaire à CP passant par C: cette dernière est parallèle à AB. Si l'on peut mesurer la longueur CP, on peut aussi reporter cette longueur sur une perpendiculaire à AB passant par B (ou A) : on obtient le point C', et la droite CC' est parallèle à AB (figure. 4.5). On contrôlera que $PC' = CB$.

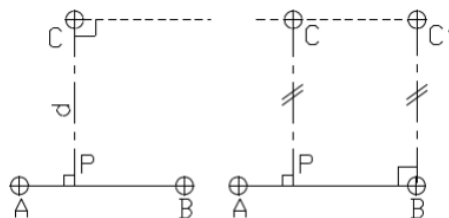


Figure 4.5 Tracé d'une parallèle

b. Tracé de deux perpendiculaires

Les diagonales d'un parallélogramme se coupent en leur milieu. On peut utiliser ce principe et construire le point D au milieu de l'alignement CA (figure. 4.6). On construit ensuite le point E en prolongeant DB ($DB = DE$). La droite CE est parallèle à AB puisque ABCE est un parallélogramme. Le contrôle est effectué en vérifiant que la perpendiculaire à EC passant par A est de longueur d. Une construction équivalente peut être faite en se basant sur les propriétés des triangles semblables.

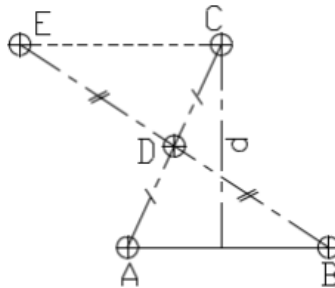


Figure 4.6 Tracé d'une parallèle

c. Angles alternes-internes

Si l'on dispose d'un théodolite, on peut stationner le point A et mesurer l'angle $\alpha = CAB$. On stationne ensuite en C et on ouvre de l'angle α à partir de la ligne CA (figure. 4.7) pour obtenir la direction CC' parallèle à AB.

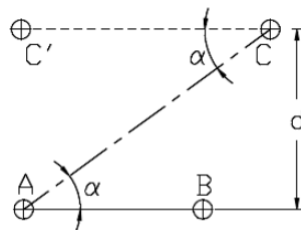


Figure 4.7 Tracé d'une parallèle

d. Jalonnement sans obstacles

Le jalonnement est l'opération consistant à positionner un ou plusieurs jalons sur un alignement existant.

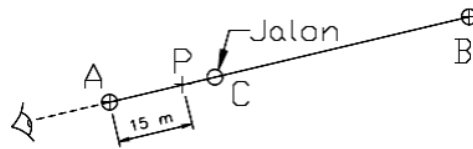


Figure 4.8 Jalonnement

e. Jalonnement avec obstacle

Le relief entre A et B fait que l'on ne peut pas voir B depuis A. L'opérateur plante un premier jalon en 1, visible de A et B, puis plante un jalon en 2, visible de B et situé sur l'alignement A-1. Jusqu'à obtenir un parfait alignement en C et D : procédé Fourier.

- Avec un théodolite et pour des alignements de très grande portée.

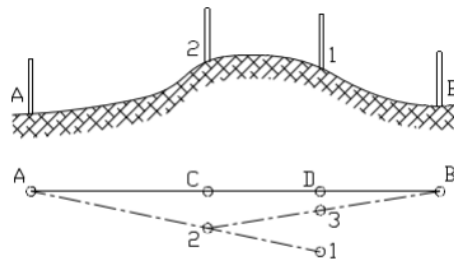


Figure 4.9 Jalonnement sans visibilité

f. Contournement d'un obstacle

Un bâtiment sur l'alignement AB empêche le jalonnement (voir la figure 4.10). On matérialise un nouvel alignement AA' contournant l'obstacle et sur lequel on abaisse BB' perpendiculaire à AA' avec une équerre optique. On mesure ensuite les distances BB' et AB'. On choisit deux points C' et D' sur l'alignement auxiliaire AB' tels que les perpendiculaires CC' et DD' passent de chaque côté de l'obstacle. On mesure les distances AC' et On implante C'' et D'' sur la perpendiculaire à AA' puis on positionne enfin C et D.

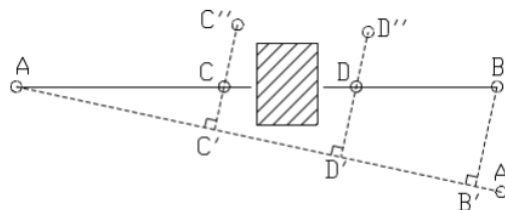


Figure 4.10 Contournement d'obstacle

4.2. Implantation de Points en Planimétrie

Pour tout chantier, il est indispensable de disposer de points de référence en planimétrie. Ces points permettent l'implantation des travaux et le contrôle de leur avancement. Ils doivent être matérialisés par des bornes ou des repères durables situés à proximité immédiate du chantier, mais hors de l'emprise des travaux. Deux points au minimum sont nécessaires, par exemple A et B, station A et orientation sur B.

4.2.1. Par abscisses et ordonnées

Cette méthode est utilisable si l'on ne dispose que d'un ruban en terrain régulier et à peu près horizontal ou d'une équerre optique en terrain accidenté. À partir d'un alignement de référence AB, on implante un point P à partir de ses coordonnées rectangulaires dans le repère (A, x, y), l'axe des x étant la ligne AB ; on reporte la cote x_p sur AB (point H) puis on trace la perpendiculaire à AB passant par H et on y reporte la cote, (figure. 4.11). On contrôle que $AP^2 = x_p^2 + y_p^2$.

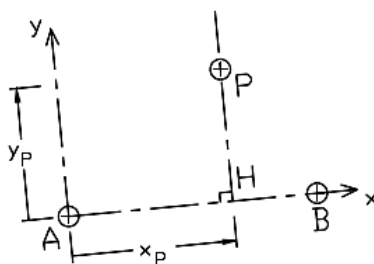


Figure 4.11 Abscisses et ordonnées

4.2.2. Intersection de deux alignements

On cherche à construire le point P matérialisant l'intersection des alignements AB et CD (figure. 4.12). Si l'on ne dispose pas d'un théodolite, on peut utiliser le matériel suivant des cordeaux ou des fils de fer tendus. Des cordeaux ou des fils de fer tendus entre les points définissant les alignements : les cordeaux sont tendus au-dessus du sol ; l'opérateur fait coulisser un fil à plomb sur l'un des deux cordeaux jusqu'à toucher l'autre cordeau ; le point P cherché est matérialisé par l'extrémité du fil à plomb. On tiendra compte de l'éventuel décalage des cordeaux dû à l'épaisseur des jalons (figure. 4.12).

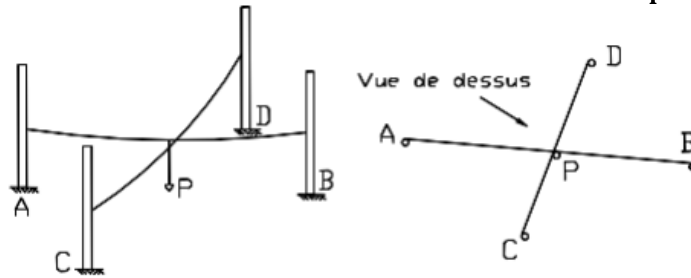


Figure 4.12 Intersection

5. Contrôle d'implantation

La phase de contrôle d'une implantation est aussi importante que l'implantation elle-même. Pour être fiable et représentatif de la précision d'implantation, un contrôle doit porter sur des dimensions non implantées déduites par calcul des éléments implantés.

- a. le premier contrôle à effectuer est la mesure des distances entre les sommets (a-b, b-c, etc., voir figure. 4.13). Ceci renseigne sur la précision de l'implantation.

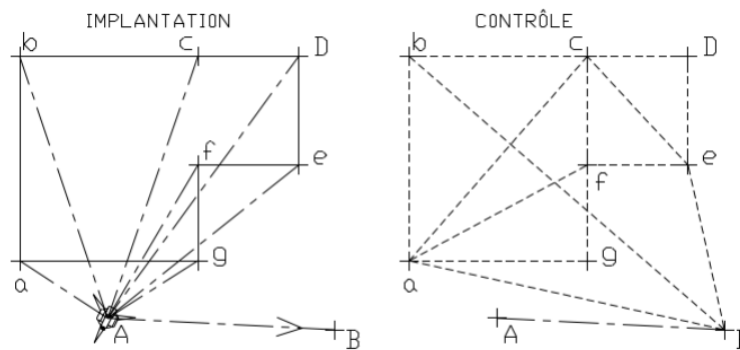


Figure 4.13 Intersection Contrôles après implantation

- b. Un deuxième contrôle consiste en la mesure de diagonales du polygone de manière à s'assurer de l'allure générale de la figure implantée sur le terrain ; un contrôle complet, mais redondant, nécessiterait un découpage en triangles et la mesure de tous les côtés de tous les triangles.
- c. Le dernier contrôle est la position du polygone par rapport à un point de référence

6. Implantation d'un Bâtiment

6.1. Bâtiments courants

Il s'agit des bâtiments de petites et moyennes dimensions (villas, petits immeubles, etc.) généralement fondés superficiellement, c'est-à-dire à de faibles profondeurs par rapport au dernier niveau excavé.

6.1.1. Piquetage de l'emprise des terrassements

On matérialise cette emprise par les limites extérieures des terrassements, axes AA' , BB' , CC' , etc. de la figure 4.14., les piquets étant placés en dehors de la zone à terrasser.

Pratiquement, le piquetage est réalisé par les méthodes précédentes en s'appuyant sur des repères connus ou sur les bâtiments voisins, ou encore sur les constructions du domaine public. Lors de l'exécution des terrassements, on contrôle la progression par nivellement régulier du fond de fouilles en s'appuyant sur un repère de nivellement.

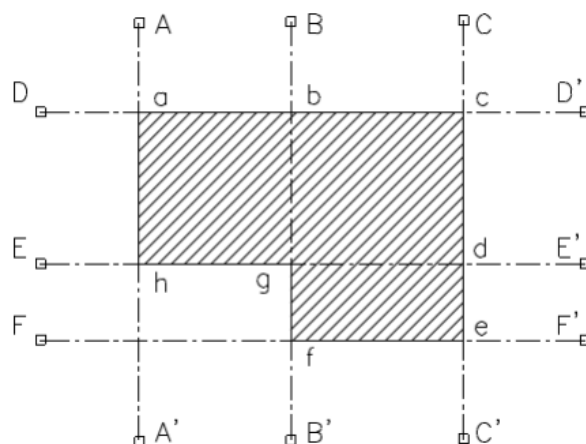


Figure 4.14 Piquetage d'un terrassement

6.1.2. Positionnement des chaises d'implantation

Une chaise d'implantation (figure. 4.15.) est constituée d'une latte horizontale fixée à deux piquets. La face supérieure de la latte horizontale est positionnée à une altitude donnée (trait de niveau) et on y plante des clous qui matérialisent les axes de la construction.

Les chaises sont donc placées autour de la construction, en retrait, de manière à ne pas gêner les travaux (figure. 9.15.). De plus, il faut veiller à régler les lattes de chaque chaise d'un même axe à la même altitude. Ces altitudes sont décalées de quelques centimètres (5 cm par exemple) d'une paire de chaise à l'autre pour éviter les interférences entre cordeaux.

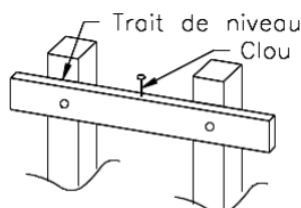


Figure 4.15 Chaise d'implantation

Les chaises matérialisent en général l'axe longitudinal du bâtiment, l'axe des fondations ou des murs à planter (figure. 4.16). Elles sont plantées en retrait de la zone de travaux (1 à 2 m) et les cordeaux ou fils de fer tendus entre les chaises représentent les axes à planter (figure. 4.16 et 4.17).

Le positionnement des chaises est réalisé comme suit : dans le repère local associé au chantier, souvent une simple ligne de base ou un ouvrage existant, l'opérateur calcule la position de deux points d'axe qu'il reporte sur le terrain. Par exemple les points D et E (figure. 4.15) placés à partir de la ligne de base AB en prenant les cotes sur le plan d'implantation du bâtiment. Les autres axes sont construits par jalonnement (alignements, perpendiculaires, parallèles, etc.) à partir de l'axe DE. Il en déduit la position des chaises en prolongeant les alignements.

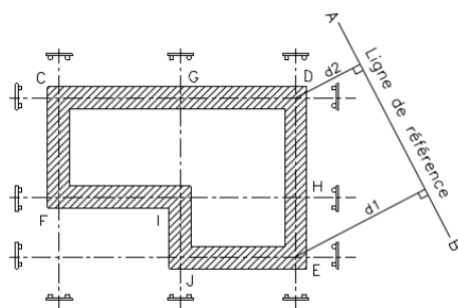


Figure 4.16 Position des chaises d'implantation

Les points d'axe sont reportés au sol sur le béton de propreté en fixant un fil à plomb à l'un des cordeaux. Les points d'intersection des axes sont obtenus de même en faisant coulisser le fil à plomb attaché à un cordeau jusqu'à ce qu'il touche un cordeau perpendiculaire (figure 4.17).

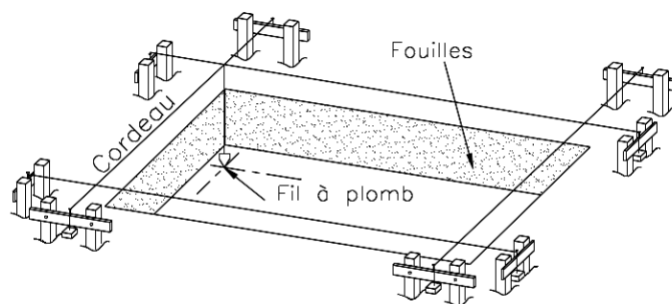


Figure 4.17 Report de points d'axe en fond de fouilles

6.2. Bâtiments sur fondations spéciales, ouvrages d'art

La précision nécessaire à l'implantation des fondations de ce type d'ouvrage (fondations profondes ou semi-profondes, comme le micro pieux nécessitant des précisions de l'ordre mm) oblige à utiliser essentiellement le théodolite ou une station totale. L'implantation s'effectue par rayonnement depuis un micro canevas de stations déterminées en repère général ou local. Les points à implanter sont calculés dans le repère utilisé pour le chantier à partir des indications des plans d'exécution. Les précisions à respecter sont de l'ordre de ± 1 à ± 2 cm en planimétrie et de ± 1 cm en altimétrie.

6.3. Bâtiments de grande hauteur

Les problèmes spécifiques à ce type de bâtiments sont le renvoi de repères dans les étages. En effet, pour un bâtiment de hauteur moyenne, on peut se contenter d'utiliser les axes (ou les nus extérieurs) des éléments porteurs de l'étage inférieur et de les reporter par de simples mesures au mètre sur le plancher de l'étage supérieur. Pour de très grandes hauteurs (au-delà de la dizaine d'étages), le cumul des erreurs de renvoi à chaque niveau peut entraîner des décalages trop importants en fin d'ouvrage, décalages généralement plus nuisibles du point de vue esthétique que du point de vue de la résistance de l'ouvrage.

Parmi les solutions possibles, on a : - Translation des repères planimétriques de l'étage inférieur vers l'étage supérieur pour contrôler l'altitude d'un plancher.

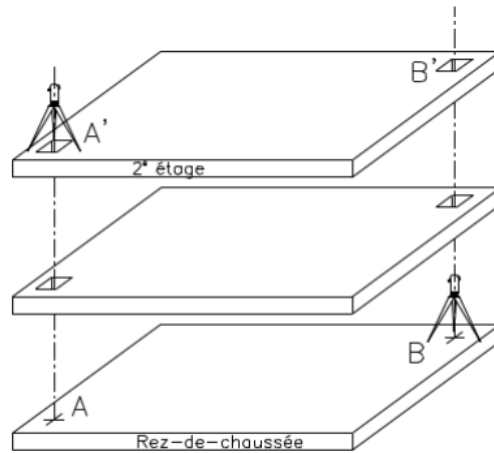


Figure 4.18 Report de point de repère en étage

Références

1. Serge Milles et Jean Lagofun, Topographie et topométrie modernes - Tome 1.
2. Serge Milles et Jean Lagofun, Topographie et topométrie modernes - Tome 2.
3. A.G.Heerbrugg, "Topographie et navigation, laica – wild GPS system", gosystems 1992.
4. Polycopie Topographie 2. Responsable du module : Dr. SETTARI CHAFIKA université Yahia Fares Médéa .
5. L. Lapointe, G. Meyer "Topographie appliquée aux travaux publics, bâtiment et levés urbains", Eyrolles, Paris, 1986.
6. Michel Brabant avec le concours de Béatrice Patizel, Armelle Piègle et Hélène Müller. Topographie opérationnelle Mesures – Calculs – Dessins – Implantations.2017.
7. R. D'hollander, "Topographie générales, tome 1 et 2", Eyrolles, Paris, 1970.
8. M. Brabant, "Maîtriser la topographie", Eyrolles, Paris, 2003.
9. S. Milles, J. Lagofun, "Topographie et topométrie modernes", Eyrolles, Paris, 1999.
10. 2012. دكتور جمعة داود. كتاب مبادئ المساحة.