

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Djilali BOUNAAMA Khemis Miliana
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de la Technologie



جامعة الجيلالي بونعامة خميس
مليانة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم التكنولوجيا

Adresse : Rue Thniet El Had, Khemis Miliana, Ain Defla , Algérie. Tel :(213) 27556844

Intitulé du polycopié

Topographie 2

Destiné aux étudiants

Niveau 3^{ème} année Licence
Spécialité Génie Civil

Auteur

Dr. Wiam KHEBIZI

Experts du polycopié	Grade	Etablissement d'affiliation
TOUHARI Mahfoud	MCA	Université Djillali Bounaama KHEMIS MILIANA
NOURI Said	MCA	Université Hassiba Benbouali CHLEF

Date de validation du polycopié par l'instance scientifique habilitée CSD et/ou CSF:

CSD

CSF



Année universitaire : 2023/2024.

Avant-propos

Ce document propose un polycopié de cours intitulé « Topographie 2 » destiné aux étudiants en Licence 3, Filières : « Génie Civil », facilitant la tâche aux étudiants.

Ce polycopié est une synthèse rassemblant des informations provenant de diverses ouvrages et sources en relation avec le thème (livres, revues, publication, ...etc.). Il présente conformément au programme officiel, des notions, des définitions et des rappels sur les instruments topographiques, les méthodes d'observations et les mesures nécessaires pour la topographie. Il s'intéresse par la suite aux techniques de levée et de canevas topographique, en traitant : leurs types, leurs usages et leurs calculs. Et enfin l'implantation qui intervient après les levées et le projet.

Etant très vaste et ramifié, Le thème de topographie pratique touche plusieurs disciplines (géologie, géotechnique, hydraulique, génie civil et travaux publics), j'ai essayé dans l'élaboration de ce document de développer les aspects en relation avec le profil des étudiants auxquels ce document est destiné.

Ce polycopié regroupe cinq chapitres. Le premier chapitre la polygonaire expose des notions fondamentales en topographie. Le deuxième chapitre le levé tachéométrique est consacré aux connaissances nécessaires pour effectuer des levés planimétriques et altimétriques ainsi que pour interpoler des courbes de niveau. Le troisième chapitre porte sur le levé par abscisse et ordonnée. Le quatrième chapitre est consacré au levé quasi-ordonnée et oblique latérale. Le cinquième chapitre porte sur l'implantation des bâtiments en utilisant les différentes méthodes.

Ce cours sera amélioré et poursuivi prochainement par la version travaux pratiques, dans laquelle des TP, des exercices et des méthodes explicatives et complémentaires à ce cours seront proposés. Enfin, mes hommages à tous ceux qui ont contribué indirectement à la réalisation de ce cours (auteurs des différents ouvrages) sans oublier ceux qui me feront le plaisir de consulter et d'expertiser ce document et de l'enrichir les experts du polycopie Mr. NOURI Saïd de l'université de CHLEF et Mr. TOUHARI Mahfoud de l'université de KHEMIS MILIANA.



Résumé

La topographie est la 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, existant à la surface du sol à un moment donné ; elle fait appel à l'électronique, l'informatique et les constellations des satellites.

Ce polycopié de topographie 2 a pour objectif de compléter les connaissances acquises dans la matière Topographie 1 en semestre 4

A l'issu de ce polycopie, l'étudiant doit être capable d'apprendre de nouvelles notions telles que les différents types de levée (levé tachéométrie, levé par abscisse et ordonnée et levé quasi-ordonnée et oblique latérale) et de réaliser et contrôler une implantation d'un ouvrage ou des parties d'ouvrage sur le terrain.

A travers cette discipline le lecteur pourra acquérir une culture générale dans ce domaine. Ce polycopié est rédigé sous forme de chapitres qui comportent principalement la polygonation, levé tachéométrique, levé par abscisse et ordonné, levé quasi-ordonné et oblique latérale et enfin l'implantation des ouvrages sur le terrain. Avec une description générale de tous les appareils topographiques utilisés dans les différentes méthodes de levée.



Introduction générale	1
Chapitre I Polygonation	
I.1 Généralités	3
I.1.1 Points d'appui	3
a. Réseau de points d'appui	3
b. Choix et Matérialisation	4
c. Caractéristiques	5
I.1.2. Gisement	5
I.2 Réseau polygonal	6
I.2.1 Définition et but	6
I.3 Cheminement	6
I.4 Types de cheminements	7
I.4.1 Cheminement tendu (ou encadré)	7
I.4.2 Cheminement fermé	8
I.4.3 Antenne	8
I.5 Calcul d'un cheminement tendu	9
I.5.1 Calcul des gisements	10
I.5.2 Fermeture angulaire (f_a) et de la tolérance de fermeture angulaire	14
I.5.3 Compensation des gisements	15
I.5.4 Coordonnées relatives	16
I.5.5 Écarts de fermeture planimétriques (f_x et f_y) et la tolérance planimétrique	18
I.5.6 Ajustement planimétrique (compensation des AX et des AY)	20
I.5.7 Coordonnées définitives	22
I.6 Calcul d'un cheminement fermé	23
I.6.1 Gisement de départ	24
I.6.2 Somme théorique des angles topographiques	25
I.6.3 Somme pratique des angles topographiques	25
I.6.4 Détermination de la fermeture angulaire et de la tolérance de fermeture	26
I.6.5 Compensation angulaire	27
I.6.6 Compensation des gisements	27
I.6.7 Coordonnées relatives	29
I.6.8 Écarts de fermeture planimétriques f_x et f_y	30



<i>I.6.9 Tolérance planimétrique</i>	31
<i>I.6.10 Ajustement planimétrique</i>	31
<i>I.6.11 Coordonnées définitives</i>	33
Chapitre II Tachéométrie	
II.1 Introduction	36
II.2 Détails à lever	36
II.3 Mesures à effectuer	36
II.4 Croquis de levé	37
II.5 Lever par rayonnement	37
II.6 Report	37
II.7 Levé tachéométrique	38
II.8 Organisation D'une Brigade	38
II.9 Types de levés	38
<i>II.9.1 Levé planimétrique</i>	39
<i>II.9.2 Levé altimétrique</i>	41
<i>II.9.3 Courbes de niveau</i>	42
Chapitre III et IV Levé par abscisse et ordonnée et quasi-ordonnée/ Levé oblique latérale	
III.1 Définition	46
III.2 Méthode de levé	47
<i>III.2.1 équerre optique</i>	48
<i>III.2.2 Calculs</i>	49
<i>III.2.3 Mesures effectuées</i>	49
III.3 levés quasi-ordonné	50
IV.1 Définition et méthode de levé	51
IV.2 Calculs	52
Chapitre V Implantation	
V.1 Introduction	53
V.2 Méthodes d'implantation	53
<i>V.2.1 Implantation par rayonnement (coordonnées polaires)</i>	55
<i>V.2.2 Implantation par abscisse et ordonnée</i>	55
V.2.3 Implantation altimétrique	56



V.3 Techniques d'implantation	58
<i>V.3.1 Implantation d'alignements droits</i>	58
<i>V.3.2 Implantation Des Courbes Circulaires</i>	61
<i>V.3.3 Méthodes D'implantation Des Courbes Circulaires</i>	63
V.4 Implantation d'un bâtiment	70
<i>V.4.1 Piquetage de l'emprise des terrassements</i>	70
<i>V.4.2 Positionnement des chaises d'implantation</i>	71
<i>V.4.3 Report des points d'axe en fond de fouilles</i>	72
<i>V.4.4 Exemple d'implantation</i>	73
Références bibliographiques	



Liste des figures

Figure I.1. Réseau de points d'appui.	4
Figure I.2 Matérialisation des points d'appui.	5
Figure I.3 Représentation d'un gisement.	6
Figure I.4 Cheminement (A-1-2-3-B).	7
Figure I.5 Cheminement tendu (A-1-2-3-B)	7
Figure I.6 Cheminement fermé (A-1-2-3-A)	8
Figure I.7 Antenne (A-d-b-c).	9
Figure I.8 Cheminement tendu (A-1-2.....n-B).	10
Figure I.9 Détail d'un cheminement tendu.	11
Figure I.10 Cheminement tendu (A-1-2-3-B).	12
Figure I.11 Cheminement fermé (A-B-C-D).	23
Figure I.12 Cheminement fermé (A-1-2-3-A).	24
Figure I.13 Cheminement fermé (A-1-2-3-A)	28
Figure II.1 Levé par rayonnement	38
Figure II.2 coordonnées polaires d'un point	39
Figure II.3 Altitude d'un point.	40
Figure II.4 Dénivelée.	40
Figure II.5 Courbe de niveau	41
Figure II.6 Méthode analytique.	42
Figure II.7 Exemple de calcul (méthode analytique).	43
Figure II.8 Outil de report manuel	44
Figure III.1 Levé par abscisses et ordonnées.	45
Figure III.2 Abscisses et ordonnées.	46
Figure III.3 Equerre optique.	47
Figure III.4 Equerre optique	47
Figure III.5 Lever à l'équerre optique.	48
Figure III.6 Abscisses et ordonnées.	49
Figure III.7 Bilatération	49
Figure III.8 Lignes d'opération reliée par intersection.	50
Figure IV.1 Quasi-ordonnées.	51
Figure IV.2 Coordonnées et oblique latérale.	51
Figure V.1 Implantation par rayonnement.	54



Figure V.2 Exemple d'implantation par rayonnement.	55
Figure V.3 Implantation par abscisse et ordonnées.	56
Figure V.4 Implantation altimétrique.	57
Figure V.5 Méthode du 3.4.5	59
Figure V.6 Tracer une perpendiculaire au ruban.	59
Figure V.7 méthode du rayonnement.	60
Figure V.8 Equerre optique.	61
Figure V.9 Paramètre d'une courbe circulaire	62
Figure V.10 Implantation d'une courbe circulaire par abscisses et ordonnées	64
Figure V.11 Implantation d'une courbe circulaire par des abscisse et ordonnées.	66
Figure V.12 Implantation d'une courbe circulaire Par rayonnement	67
Figure V.13 exemple d'implantation par rayonnement.	69
Figure V.14 Piquetage d'un terrassement.	71
Figure V.15 Chaise d'implantation	71
Figure V.16 Position des chaises d'implantation	72
Figure V.17 Report de point d'axe en fond de fouille	72
Figure V. 18 Exemple général	73
Figure V.19 Repère local d'implantation	73



Liste des tableaux

Tableau V.1 Coordonnées (Xi, Yi) des points de la courbe à implanter

65

Tableau V.2 Résultats des valeurs de la corde

68

Tableau A : Tableau de calcul du cheminement tendu (A-1-2-B).

77



Introduction générale

La topographie est la science qui a pour objet la représentation plane d'une portion plus ou moins grande de la surface terrestre. Cette représentation comporte tant la description des détails naturels : cours d'eau, relief, ... que des infrastructures liées à l'intervention humaine : canaux, barrages, agglomérations, constructions isolées ...

Le module topographie 2 consiste à doter le géomètre topographe des notions de base sur « Les instruments et appareils topographiques » et de lui faire apprendre la construction de différents types et modèles des instruments d'une côté et leurs mode d'emploi et utilisation en topographie de l'autre, pour qu'il puisse faire des mesures topographiques, destinés pour élaboration des plans topographiques dans la réalisation des travaux en construction sur le chantier ou bien dans élaboration des études dans un bureau d'étude.

L'objectif de ce polycopié est de compléter les connaissances des étudiants et de leur apprendre de nouvelles notions telles que (la polygonation, levé tachéométrie, levé par abscisse et ordonnée et levé quasi-ordonnée et oblique latérale, l'implantation) et consiste à doter le géomètre topographe avec une connaissance générale et de lui faire apprendre les méthodes générales à faire des mesures et des calculs topographique, destinés pour élaboration des plans topographiques dans la réalisation des travaux en construction sur le chantier ou bien dans élaboration des études dans un bureau d'étude. Et enfin A l'issue de ce cours, l'étudiant doit être capable de réaliser et contrôler une implantation d'un ouvrage ou des parties d'ouvrage sur le terrain.

Ce polycopié comporte cinq principaux chapitres. Le premier chapitre la polygonation expose des notions fondamentales en topographie. Celles-ci sont indispensables pour réaliser pratiquement les différents types de polygonation. Les différents types de cheminement polygonal, Polygonale rattachée, Calculs polygonal, Report. Le deuxième chapitre est levé tachéométrique consiste Définitions, Emploi de la méthode tachéométrique, Préparation du travail: Sa destination, Document de base; Reconnaissance des lieux: Canevas, Croquis de terrain; Travaux de terrain: Composition d'une brigade, Les mesures sur terrains; Travaux de bureau: Calculs, Report. Le troisième chapitre est levé par abscisse et ordonnée contient Définitions, Méthode de levé, Calculs. Le quatrième chapitre est levé quasi-ordonnée et oblique latérale contient Définitions, Méthode de levé, Calculs. Et enfin le cinquième chapitre est l'implantation comporte Définitions, Implantation d'alignements droits, Implantation de courbes (Raccordements circulaires), Implantation de Bâtiments.

Ce polycopié du cours est structuré en cinq chapitres :

Chapitre 1 : Polygonation

Les différents types de cheminement polygonal, Polygonale rattachée, Calculs polygonal, Report

Chapitre 2 : Tachéométrie

Définitions, Emploi de la méthode tachéométrique, Préparation du travail: Sa destination, Document de base; Reconnaissance des lieux: Canevas, Croquis de terrain; Travaux de terrain: Composition d'une brigade, Les mesures sur terrains; Travaux de bureau: Calculs, Report

Chapitre 3 : Levée par abscisse et ordonnée et quasi-ordonnée

Définitions, Méthode de levé, Calculs.

Chapitre 4 : Levée oblique latérale

Définitions, Méthode de levé, Calculs.

Chapitre 5 : Implantation

Définitions, Implantation d'alignements droits, Implantation de courbes (Raccordements circulaires), Implantation de Bâtiments.



Chapitre I La polygonation

I.1 Généralités

Pour construire les immenses pyramides qui nous étonnent tous, les Égyptiens ont été parmi les premiers à utiliser les procédés topographiques. Implantées dans un site désertique, les pyramides possèdent des formes et des dimensions bien étudiées.

Ces dernières décennies, l'évolution de la technologie s'est accélérée, ce qui a permis le perfectionnement des procédés et de l'appareillage topographiques. Ces procédés rapides et précis permettent d'implanter un barrage, un pont, un édifice, une route, un chemin de fer, un aqueduc, un réseau d'irrigation, etc.

Ce chapitre, qui se divise en trois sections, expose des notions fondamentales en topographie. Celles-ci sont indispensables pour réaliser pratiquement les différents types de polygonation.

I.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.

a. 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 : propriété, route, voie ferrée, ville...).

On distingue deux types de systèmes dans un réseau de points d'appui (figure I.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 à grande échelle.
- un système local : basé sur le système général, il sert aux levés à échelle réduite.

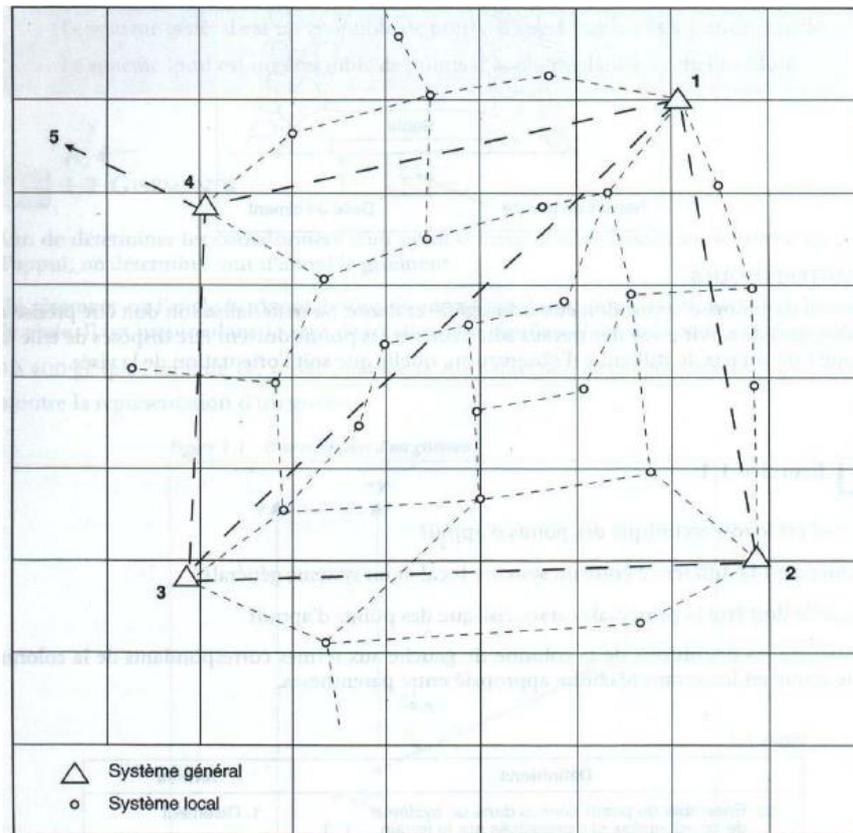


Figure I.1. Réseau de points d'appui.

b.Choix et Matérialisation

Le travail consiste à matérialiser les points retenus sur le terrain ou à les signaler sur des éléments bâtis. En général, les points du système général sont matérialisés sur le terrain par des bornes de granit ou de béton, soigneusement implantées de manière à être facilement repérables. Le point visé peut être situé sur un site naturel, comme une montagne, une colline, ou sur un élément bâti (pylône, cheminée, minaret d'une mosquée, paratonnerre...). Il peut aussi s'agir d'une mire en bois, qui sera implantée au sol ou sur un édifice comme un château d'eau ou un silo figure I.2.

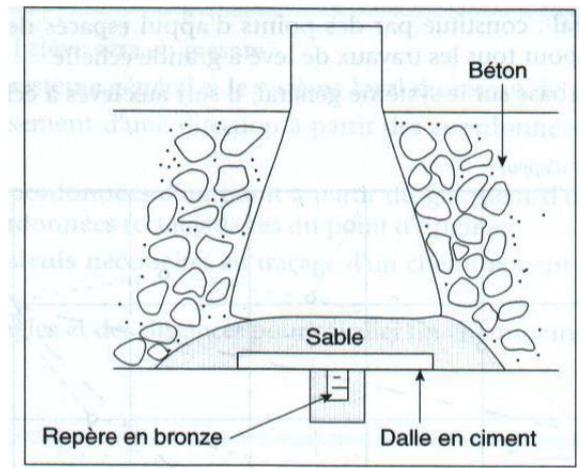


Figure I.2 Matérialisation des points d'appui.

c. Caractéristiques

Le réseau de points d'appui doit être homogène et dense. Sa matérialisation doit être précise et durable, afin de servir pour des travaux ultérieurs, et les points doivent être disposés de telle façon qu'il n'y ait pas de difficulté d'observation, quelle que soit l'orientation de la visée.

Résumé

- On appelle canevas ou réseau de points d'appui un ensemble de points connus dans un système de coordonnées et matérialisés sur le terrain,
- Le réseau de points d'appui sert de référence pour la réalisation des travaux en topographie.
- Le système général est un ensemble de points d'appui implantés à grande échelle.
- Le système local est un ensemble de points d'appui implantés à échelle réduite.

1.1.2. Gisement

Afin de déterminer les coordonnées d'un point du terrain en se basant sur le réseau de points d'appui, on détermine tout d'abord le gisement.

Un gisement est l'angle horizontal compris entre l'axe des y positifs et la direction d'une ligne de visée. Il est mesuré dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre et sa valeur varie de 0 à 400gr, que l'on note G^l_{A-B} (G^l : gisement ; A-B : direction de la ligne de visée). La figure I.3 montre la représentation d'un gisement.

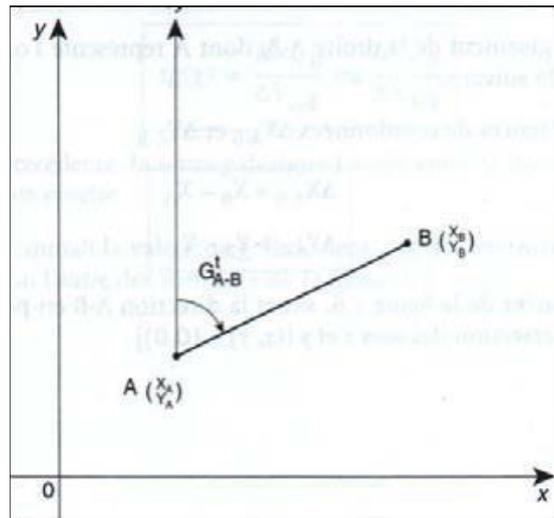


Figure I.3 Représentation d'un gisement.

I.2 Réseau polygonal

Le réseau polygonal est la pierre angulaire de n'importe quel type de travail réalisé dans les domaines du génie civil et du bâtiment. Ce réseau peut être composé de :

- points d'appui existants : ce sont l'ensemble des points qui appartiennent au canevas d'ensemble et qui sont connus dans le système général. Ces points serviront de points de référence pour la réalisation de certains travaux tels que les levés, les implantations, le calcul des surfaces, etc.;
- points inexistantes : il s'agit de l'ensemble des points qu'il faut créer pour les besoins du projet à réaliser. Après le calcul de leurs coordonnées planimétriques, et éventuellement altimétriques, ces points serviront d'ossature à l'exécution des différentes étapes du projet.

I.2.1 Définition et but

Un réseau polygonal est une suite de cheminements appuyés sur le canevas d'ensemble. Son calcul a pour but la détermination des coordonnées planimétriques X et Y d'un certain nombre de points inconnus qui serviront ultérieurement comme ossature pour l'exécution de différents travaux topographiques.

I.3 Cheminement

Pour sa part, un cheminement est une succession de rayonnements entre deux points aux coordonnées connues (figure I.4).

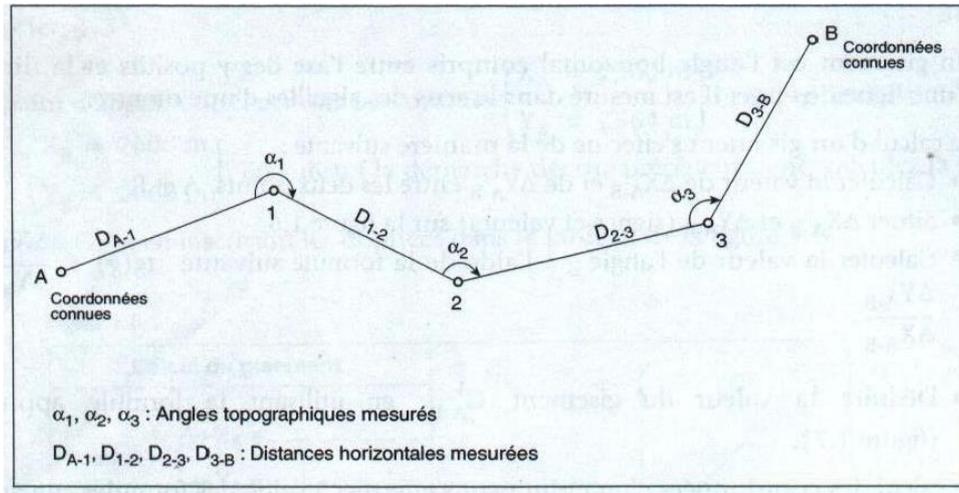


Figure I.4 Cheminement (A-1-2-3-B).

I.4 Types de cheminements

Il existe trois types de cheminements:

- Le cheminement tendu ou encadré, utilisé lorsque les coordonnées des points A et B sur lesquels il s'appuie sont connues dans le système général. Ce cheminement permet de rattacher les travaux réalisés à une carte.
- Le cheminement fermé, utilisé pour les levés locaux où les points connus dans le système général sont inexistant.
- L'antenne, que l'on utilise peu.

I.4.1 Cheminement tendu (ou encadré)

Le cheminement tendu est une ligne polygonale qui relie deux points (A et B) aux coordonnées connues (figure I.5).

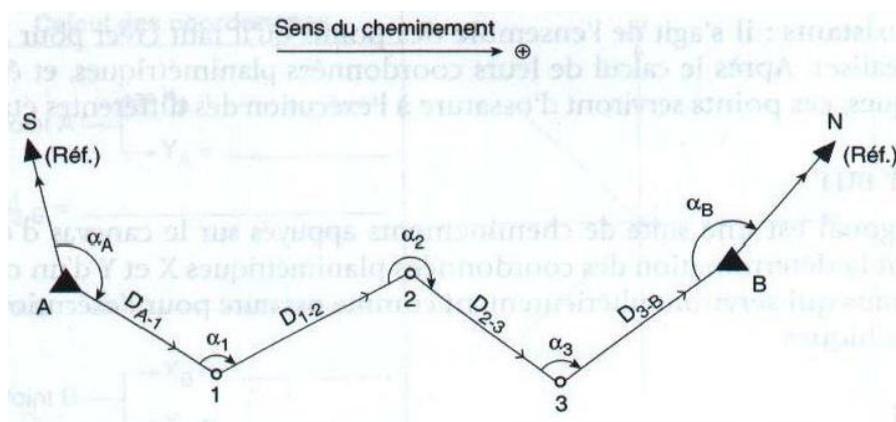


Figure I.5 Cheminement tendu (A-1-2-3-B)

- 1, 2, 3 : Points de coordonnées inconnues
- A : Point de départ des coordonnées connues
- B : Point d'arrivée de coordonnées connues
- Set N: Points de référence (orientation du cheminement)
- $\alpha_A, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: Angles topographiques mesurés
- $D_{A-1}, D_{1-2}, D_{2-3}, D_{3-B}$: Distances horizontales mesurées.

I.4.2 Cheminement fermé

Le cheminement fermé est une ligne polygonale qui part d'un point A aux coordonnées connues et se referme sur le même point (figure I.6). En raison de sa faible précision et de l'absence d'un point d'arrivée différent du point de départ, il est **souvent employé pour les levés dans le système local**.

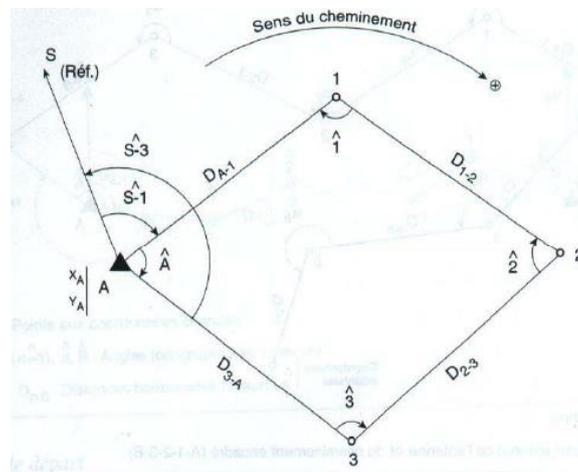


Figure I.6 Cheminement fermé (A-1-2-3-A)

- 1, 2, 3 : Points de coordonnées inconnues
- A : Point de départ et des arrivées des coordonnées connues
- S: Points de référence de coordonnée connue
- $\alpha_A, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: Angles topographiques mesurés
- $D_{A-1}, D_{1-2}, D_{2-3}, D_{3-B}$: Distances horizontales mesurées.

I.4.3 Antenne

On appelle antenne une ligne polygonale qui part d'un point A aux coordonnées connues pour aboutir sur un point c aux coordonnées inconnues. Ce cheminement est très rarement utilisé, car il faut l'observer en aller et en retour (figure I.7).

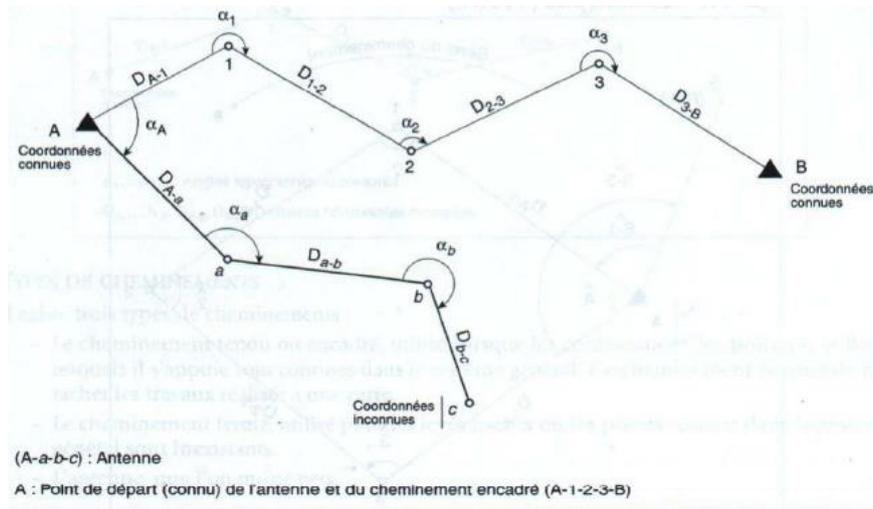


Figure I.7 Antenne (A-d-b-c).

(A-d-b-c) : Antenne

A : Point de départ (connu) de l'antenne et du cheminement encadré (A-1-2-3-B).

I.5 Calcul d'un cheminement tendu

Le calcul d'un cheminement tendu se fait en plusieurs étapes, qui se résument comme suit :

1. Calcul des gisements
2. Détermination de la fermeture angulaire et de la tolérance de fermeture angulaire
3. Compensation des gisements
4. Calcul des coordonnées relatives ou approchées
5. Détermination des écarts de fermeture planimétriques et des tolérances planimétriques en direction et en longueur
6. Ajustement planimétrique
7. Calcul des coordonnées définitives

On peut présenter les résultats du calcul d'un cheminement tendu de deux façons :

- en exécutant les différentes étapes citées ci-dessus une par une et en inscrivant les formules appliquées ainsi que les résultats obtenus.
- en exécutant les mêmes étapes de calcul, mais en inscrivant uniquement les résultats dans un tableau (voir tableau dans l'annexe).

Les pages qui suivent décrivent comment procéder aux différentes étapes du calcul d'un cheminement tendu.

1.5.1 Calcul des gisements

Connaissant les coordonnées rectangulaires X et Y des points L, A, B et M (figure I.8), il s'agit de calculer, en premier lieu, le gisement de départ G^t_{A-L} et le gisement d'arrivée exact G^t_{B-M} .

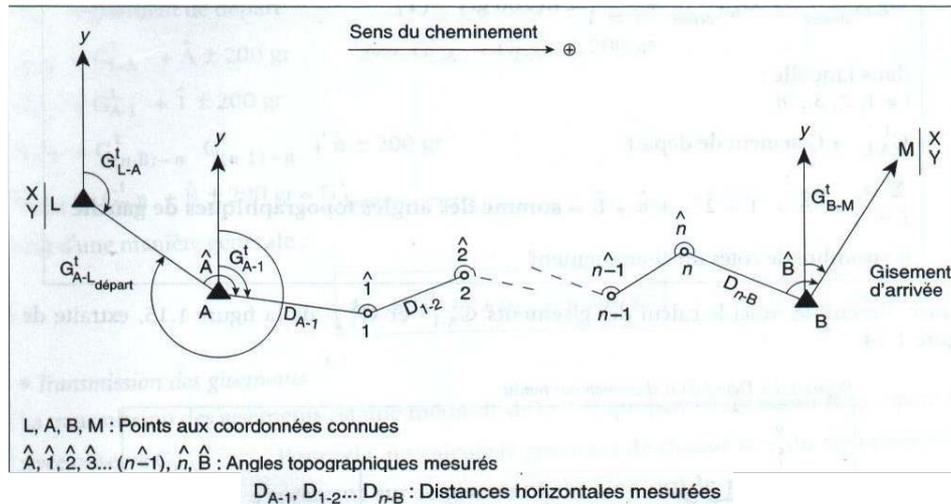


Figure I.8 Cheminement tendu (A-1-2.....n-B).

Gisement de départ

Le gisement de départ est le gisement du côté A-L. Il est donné par la formule

$G^t_{A-L} = \text{tg}^{-1}\left(\frac{X_L - X_A}{Y_L - Y_A}\right)$ dans laquelle X_A, Y_A sont les coordonnées du point de départ A et X_L, Y_L sont les coordonnées du point de référence L.

Gisement d'arrivée exact

Le gisement d'arrivée exact est le gisement du côté B-M. Il est donné par la formule

$G^t_{B-M} = \text{tg}^{-1}\left(\frac{X_M - X_B}{Y_M - Y_B}\right)$ dans laquelle X_B, Y_B sont les coordonnées du point d'arrivée B et X_M, Y_M sont les coordonnées du point de référence M.

Calcul du gisement d'arrivée observé

Le calcul du gisement d'arrivée observé $G^t_{B-M \text{ observé}}$ se fait par deux méthodes:

- 1^{ère} méthode : application de la formule générale;
- 2^{ème} méthode : transmission des gisements

• *Application de la formule générale*

Étant donné qu'à chaque station on a mesuré les angles topographiques de gauche $\hat{A} + \hat{1} + \hat{2} + \dots + \hat{n} + \hat{B}$, le gisement d'arrivée observé sera donné par la formule suivante :

$$G^t_{B-M} = G^t_{A-L \text{ départ}} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \pm n(200)gr \quad (I.1)$$

Dans laquelle : $i=1,2,3,\dots,n$

G^t_{A-L} = gisement de départ.

$\sum_{i=1}^n \alpha_i = \hat{A} + \hat{1} + \hat{2} + \dots + \hat{n} + \hat{B}$ = somme des angles topographiques de gauche.

n = nombre de côtes du cheminement.

À titre d'exemple, voici le calcul des gisements G^t_{A-1} et G^t_{1-2} de la figure I.9, extraite de la figure I.8.

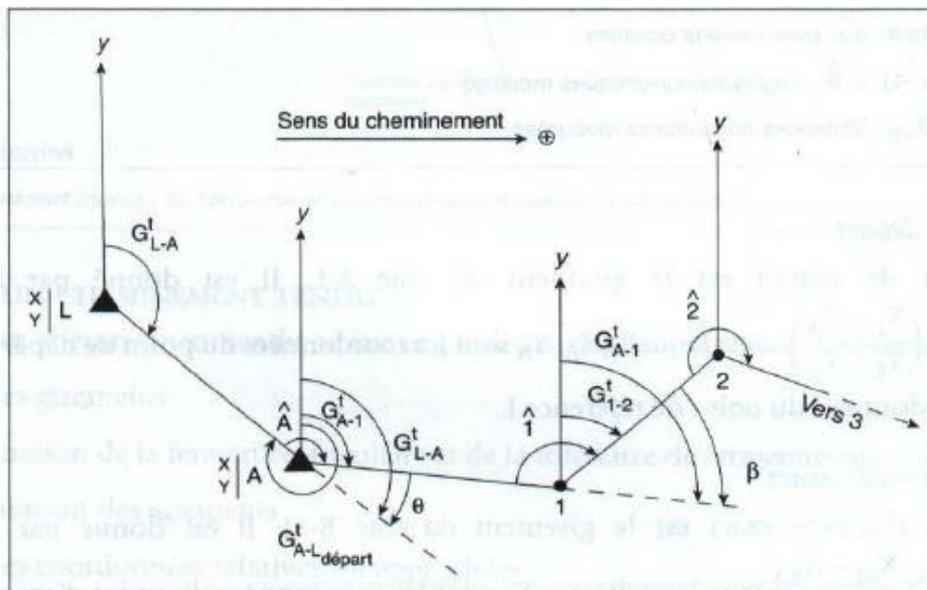


Figure I.9 Détail d'un cheminement tendu.

$$G^t_{A-L} = G^t_{\text{départ}} \quad \text{et} \quad G^t_{A-1} = G^t_{L-A} - \theta \quad \text{avec} \quad \theta = 200gr - \hat{A}$$

Donc

$$G^t_{A-1} = G^t_{L-A} - (200gr - \hat{A}) = G^t_{L-A} + \hat{A} - 200gr$$

On obtient:

$$G^t_{A-1} = G^t_{L-A} + \hat{A} - 200gr$$

$$G^t_{1-2} = G^t_{A-1} - \beta \quad \text{avec} \quad \beta = 200gr - \hat{1}$$

Donc

$$G^t_{1-2} = G^t_{A-1} - (200\text{gr} - \hat{1}) = G^t_{A-1} + \hat{1} - 200\text{gr}$$

En poursuivant les calculs de la même manière pour chacun des côtés, on obtient les gisements : G^t_{2-3} , G^t_{3-4} , G^t_{n-B} et G^t_{B-M} .

En résumé, on obtient tous les gisements des côtés du cheminement en appliquant les formules suivantes (figure 1.8) :

G^t_{A-L} = gisement de départ

$$G^t_{A-1} = G^t_{L-A} + \hat{A} \pm 200\text{gr avec}$$

$$G^t_{1-2} = G^t_{A-1} + \hat{1} \pm 200\text{gr}$$

$$G^t_{n-B} = G^t_{(n-B)-n} + \hat{n} \pm 200\text{gr}$$

$$G^t_{B-M} = G^t_{n-B} + \hat{B} \pm 200\text{gr} = G^t_{\text{d'arrivée observé}}$$

Soit d'une manière

générale :

$$G^t_i = G^t_{i-1} \pm \alpha_{i-1} \pm 200\text{gr} \quad (I.2)$$

-Transmission des gisements

La transmission des gisements est une méthode de calcul qui permet d'obtenir le gisement d'arrivée observé $G^t_{B-M \text{ observé}}$. Pour cela on calcule le gisement de chaque côté du cheminement en s'appuyant sur le gisement du côté qui le précède, jusqu'à ce que l'on aboutisse au gisement d'arrivée observé ($G^t_{B-M \text{ observé}}$).

L'exemple numérique qui suit illustre les notions exposées jusqu'ici (figure I.10).

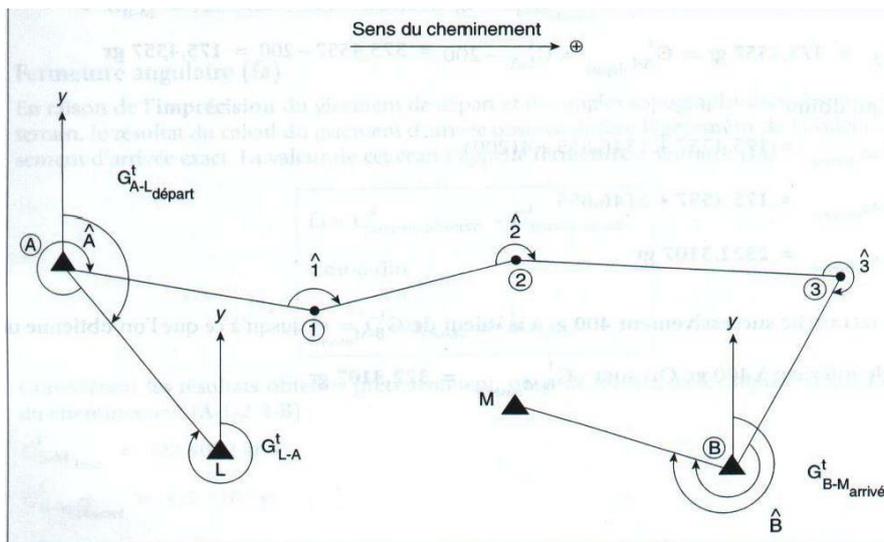


Figure I.10 Cheminement tendu (A-1-2-3-B).

Exemple

Le cheminement (A-1-2-3-B) a été observé avec un théodolite dont la précision de la mesure de l'angle (σ_α) est de 0,544 gr.

Le gisement G^t_{L-A} est égal à 375,4557 gr. Le gisement d'arrivée exact ($G^t_{B-M \text{ exacte}}$) est égal à 322,3092 gr.

Les angles topographiques de gauche mesurés sur le terrain ont les valeurs suivantes :

$$\hat{A} = 343,360 \text{ gr}, \hat{1} = 177,695 \text{ gr}, \hat{2} = 201,990, \hat{3} = 313,420 \text{ gr}, \hat{B} = 310,390 \text{ gr}.$$

Les distances mesurées sur le terrain ont les valeurs suivantes: $D_{A-1} = 34,30 \text{ m}$, $D_{1-2} = 31,70 \text{ m}$, $D_{2-3} = 38,50 \text{ m}$, $D_{3-B} = 49,50 \text{ m}$.

Les coordonnées du point de départ A et du point d'arrivée B sont :

$$A \begin{cases} X_A = 5000,000 \text{ m} \\ Y_A = 2000,000 \text{ m} \end{cases}; B \begin{cases} X_B = 5093,850 \text{ m} \\ Y_B = 1944,250 \text{ m} \end{cases}.$$

La précision sur la mesure d'une distance est $\sigma_l = 2,8 \text{ cm}$.

La première étape consiste à calculer le gisement d'arrivée observé ($G^t_{B-M \text{ observé}}$).

L'application de la formule 1 donne :

Calcul de la somme des angles topographiques ($\sum_{i=1}^n \alpha_i$)

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 343,360 + 177,695 + 201,990 + 313,420 + 310,390 = \mathbf{1346,855 \text{ gr}}$$

Donc :

$$G^t_{B-M \text{ observé}} = G^t_{A-L \text{ départ}} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \pm n(200) \text{ gr}$$

$$G^t_{L-A} = 375,4557 \text{ gr} \Rightarrow G^t_{A-L \text{ départ}} = G^t_{L-A} - 200 = 375,4557 - 200 = \mathbf{175,4557 \text{ gr}}$$

Ce qui donne :

$$G^t_{B-M \text{ observé}} = 175,4557 + 1346,855 + 4(200).$$

$$G^t_{B-M \text{ observé}} = 175,4557 + 2146,855$$

$$G^t_{B-M \text{ observé}} = \mathbf{2322,3107 \text{ gr}}.$$

On retranche successivement 400 gr à la valeur de $G^t_{B-M \text{ observé}}$ jusqu'à ce que l'on obtienne un angle intérieur à 400 gr. On aura: $G^t_{B-M \text{ observé}} = \mathbf{322,3107 \text{ gr}}$.

- **On retranche 200 gr à la quantité ($G^t_{i-1} + \alpha_{i-1}$) quand celle-ci est supérieure à 200 gr. On ajoute 200 gr à la quantité ($G^t_{i-1} + \alpha_{i-1}$) quand celle-ci est inférieure à 200 gr.**

- **On ajoute α_{i-1} à la quantité G^t_{i-1} si l'angle topographique mesuré sur le terrain est de gauche et on le retranche à la quantité G^t_{i-1} s'il est mesuré à droite.**

Considérant les résultats obtenus précédemment, on peut calculer les gisements des côtés du cheminement (A-1-2-3-B) de la figure I.10 :

- On sait que $G^t_{L-A} = 375,4557$ gr.

- Après les calculs, on obtient :

- $G^t_{A-1} = G^t_{L-A} + \hat{A} \pm 200 \text{ gr} = 375,4557 + 343,360 \pm 200 = 718,8157 - 200$

$$G^t_{A-1} = 718,8157 - 200 = \mathbf{518,8157 \text{ gr}}$$

- $G^t_{1-2} = G^t_{A-1} + \hat{1} \pm 200 \text{ gr} = 518,8157 + 177,695 \pm 200 = 718,8157 - 200$

$$G^t_{1-2} = 718,8157 - 200 = \mathbf{518,8157 \text{ gr}}$$

- $G^t_{2-3} = G^t_{1-2} + \hat{2} \pm 200 \text{ gr} = 518,8157 + 201,990 \pm 200 = 718,8157 - 200$

$$G^t_{2-3} = 718,8157 - 200 = \mathbf{518,8157 \text{ gr}}$$

- $G^t_{3-B} = G^t_{2-3} + \hat{3} \pm 200 \text{ gr} = 518,8157 + 313,420 \pm 200 = 832,2357 - 200$

$$G^t_{3-B} = 832,2357 - 200 = \mathbf{632,2357 \text{ gr}}$$

- $G^t_{B-M} = G^t_{3-B} + \hat{B} \pm 200 \text{ gr} + 211,9207 + 310,300 \pm 200 = 832,2357 - 200$

$$G^t_{B-M} = 832,2357 - 200 = \mathbf{632,2357 \text{ gr}} = G^t_{B-M} \text{ observé}$$

I.5.2 Fermeture angulaire (fa) et de la tolérance de fermeture angulaire

-Fermeture angulaire (fa)

En raison de l'**imprécision** du gisement de départ et des angles topographiques observés sur le terrain, le résultat du calcul du gisement d'arrivée observé **diffère légèrement** de la valeur du gisement d'arrivée exact. La valeur de cet écart s'appelle **fermeture angulaire (fa)**.

$$\mathbf{fa = G^t_{arrivé observé} - G^t_{arrivée exact} \quad (I.3)}$$

c'est-à-dire :

$$\mathbf{fa = G^t_{B-M observé} - G^t_{B-M exact}}$$

Considérant les résultats obtenus précédemment, on peut calculer la fermeture angulaire (fa) du cheminement (A-1-2-3-B) :

$$G^t_{B-M \text{ exact}} = 322,3092 \text{ gr}$$

$$G^t_{B-M \text{ observé}} = 322,3107 \text{ gr}$$

Donc :

$$fa = G^t_{B-M \text{ observé}} - G^t_{B-M \text{ exact}}$$

$$fa = 322,3107 - 322,3092 + 15 \text{ dmgr}$$

$$\mathbf{fa = +15 \text{ dmgr..}}$$

-Tolérance de fermeture angulaire ($T\alpha$)

La tolérance de fermeture angulaire ($T\alpha$) est la valeur maximale que la fermeture angulaire ne doit pas dépasser pour que l'on puisse considérer que les mesures sont exactes. Dans le cas contraire, il faut refaire les observations angulaires sur le terrain. Ainsi il faut que :

$$\mathbf{fa \leq T\alpha}$$

Si σ_α est la précision de la mesure de l'angle et n le nombre de côtés du cheminement, la tolérance ($T\alpha$) est donnée par la formule suivante:

$$\mathbf{T\alpha = 2.7 \times \sigma_\alpha \times \sqrt{n + 1} \text{ (I.4)}}$$

dans laquelle 2,7 est un coefficient constant.

Le calcul de la tolérance après l'observation du cheminement (A-1-2-3-B) donne :

$$Sa = 0,544 \text{ gr}, n = 4$$

Donc:

$$T\alpha = 2.7 \times \sigma_\alpha \times \sqrt{n + 1}$$

$$T\alpha = 2.7 \times 0.544 \times \sqrt{4 + 1}$$

$$T\alpha = 2.7 \times 0.544 \times \sqrt{5}$$

$$\mathbf{T\alpha = 3,284 \text{ gr.}}$$

Comme la fermeture angulaire calculée précédemment est inférieure à la valeur $T\alpha$ on peut continuer les calculs.

1.5.3 Compensation des gisements

En général, l'opérateur cherche à obtenir des côtés sensiblement de même longueur et à mesurer les angles avec la même précision. C'est pourquoi il doit répartir l'écart de fermeture angulaire (erreur angulaire mesurée) entre tous les gisements qui composent le cheminement. C'est ce que l'on appelle la compensation des gisements. Pour compenser les gisements, on adopte la solution simple suivante:

L'écart de fermeture angulaire (fa) est réparti uniformément entre tous les gisements à

l'exception des deux gisements connus G^t_{A-L} départ et G^t_{B-M} exact .

La compensation (C_{α}) a pour valeur :

$$C_{\alpha 1} = -\frac{fa}{n+1} \text{ pour le 1}^{\text{er}} \text{ gisement.}$$

$$C_{\alpha 2} = -\frac{2 \times fa}{n+1} \text{ pour le 2}^{\text{e}} \text{ gisement.}$$

$$C_{\alpha 3} = -\frac{3 \times fa}{n+1} \text{ pour le 3}^{\text{e}} \text{ gisement.}$$

$$C_{\alpha(n+1)} = -\frac{(n+1) \times fa}{n+1} = -fa \text{ (compensation affectée au gisement d'arrivée pour le contrôle).}$$

Les gisements ainsi compensés correspondent aux formules suivantes :

$$G^t_{A-1 \text{ comp}} = G^t_{A-1} + C_{\alpha 1} = G^t_{A-1} + \left(-\frac{fa}{n+1}\right)$$

$$G^t_{1-2 \text{ comp}} = G^t_{1-2} + C_{\alpha 2} = G^t_{1-2} + \left(-\frac{2 \times fa}{n+1}\right)$$

$$G^t_{2-3 \text{ comp}} = G^t_{2-3} + C_{\alpha 3} = G^t_{2-3} + \left(-\frac{3 \times fa}{n+1}\right)$$

$$G^t_{n-B \text{ comp}} = G^t_{n-B} + C_{\alpha n} = G^t_{n-B} + \left(-\frac{n \times fa}{n+1}\right) \quad (I.5)$$

En considérant les résultats obtenus précédemment, calculons les gisements compensés de chacun des côtés du cheminement (A-1-2-3-B) de la figure 1.10:

$$G^t_{A-1 \text{ comp}} = G^t_{A-1} + \left(-\frac{fa}{n+1}\right) = 118,8157 \text{ gr} + \left(-\frac{15 \text{ dmgr}}{5}\right) = 118,8157 \text{ gr} - 3 \text{ dmgr}$$

$$G^t_{A-1 \text{ comp}} = 118,8157 - 0,0003 = \mathbf{118,8154 \text{ gr.}}$$

$$G^t_{1-2 \text{ comp}} = G^t_{1-2} + \left(-\frac{2 \times fa}{n+1}\right) = 96,5107 \text{ gr} + \left(-\frac{2 \times 15 \text{ dmgr}}{5}\right) = 96,5107 \text{ gr} - 6 \text{ dmgr}$$

$$G^t_{1-2 \text{ comp}} = 96,5107 - 0,0006 = \mathbf{96,5101 \text{ gr}}$$

$$G^t_{2-3 \text{ comp}} = G^t_{2-3} + \left(-\frac{3 \times fa}{n+1}\right) = 98,5007 \text{ gr} + \left(-\frac{3 \times 15 \text{ dmgr}}{5}\right) = 98,5007 \text{ gr} - 9 \text{ dmgr}$$

$$G^t_{2-3 \text{ comp}} = 98,5007 \text{ gr} - 0,0009 = \mathbf{98,4998 \text{ gr}}$$

$$G^t_{3-B \text{ comp}} = G^t_{3-B} + \left(-\frac{4 \times fa}{n+1}\right) = 211,9207 \text{ gr} + \left(-\frac{4 \times 15 \text{ dmgr}}{5}\right) = 211,9207 \text{ gr} - 12 \text{ dmgr}$$

$$G^t_{3-B \text{ comp}} = 211,9207 - 0,0012 = \mathbf{211,9195 \text{ gr}}$$

Contrôle:

$$G^t_{B-M \text{ comp}} = G^t_{B-M \text{ observée}} + \left(-\frac{5 \times fa}{5}\right) = 322,3107 \text{ gr} + \left(-\frac{5 \times 15 \text{ dmgr}}{5}\right) = 322,3107 - 0,0015$$

$$\text{On obtient : } G^t_{B-M \text{ comp}} = \mathbf{322,3092 \text{ gr}} = G^t_{B-M \text{ exact}}$$

1.5.4 Coordonnées relatives

Le calcul des coordonnées **relatives (ou approchées)** se traduit par une transformation des coordonnées polaires (distance et gisement) en coordonnées rectangulaires par rapport au point d'observation, qu'on appellera AX pour les coordonnées en abscisse et AY pour les coordonnées en ordonnée. Elles sont données par les formules suivantes :

$$\Delta X = D \times \sin G^t_{\text{compensé}}$$

$$\Delta Y = D \times \cos G^t_{\text{compensé}} \quad (\text{I.6})$$

Dans lesquelles :

D : Distance horizontale mesurée entre deux points

G^t : Gisement compensé de la direction formée par ces deux points

A partir de la figure 1.8, on peut déduire les coordonnées relatives suivantes :

- En abscisse :

$$\Delta X_{A-1} = D_{A-1} \times \sin G^t_{A-1 \text{ comp}}$$

$$\Delta X_{1-2} = D_{1-2} \times \sin G^t_{1-2 \text{ comp}}$$

$$\Delta X_{2-3} = D_{2-3} \times \sin G^t_{2-3 \text{ comp}}$$

$$\Delta X_{n-B} = D_{n-B} \times \sin G^t_{n-B \text{ comp}}$$

- En ordonnée :

$$\Delta Y_{A-1} = D_{A-1} \times \cos G^t_{A-1 \text{ comp}}$$

$$\Delta Y_{1-2} = D_{1-2} \times \cos G^t_{1-2 \text{ comp}}$$

$$\Delta Y_{2-3} = D_{2-3} \times \cos G^t_{2-3 \text{ comp}}$$

$$\Delta Y_{n-B} = D_{n-B} \times \cos G^t_{n-B \text{ comp}}$$

Considérant les résultats obtenus précédemment, on peut calculer les coordonnées relatives du cheminement (A-1-2-3-B) :

- Le calcul des coordonnées relatives en abscisse donne :

$$\bullet \Delta X_1 = 34,30 \times \sin 118,8154 = +\mathbf{32,81 \text{ m}}$$

$$\bullet \Delta X_2 = 31,70 \times \sin 96,5101 = +\mathbf{31,65 \text{ m}}$$

$$\bullet \Delta X_3 = 38,50 \times \sin 98,4998 = +\mathbf{38,49 \text{ m}}$$

$$\bullet \Delta X_4 = 49,50 \times \sin 211,9195 = -\mathbf{09,21 \text{ m}}$$

- Le calcul des coordonnées relatives en ordonnée donne :

$$\bullet \Delta Y_1 = 34,30 \times \cos 118,8154 = -\mathbf{09,99 \text{ m}}$$

$$\bullet \Delta Y_2 = 31,70 \times \cos 96,5101 = +\mathbf{01,74 \text{ m}}$$

$$\bullet \Delta Y_3 = 38,50 \times \cos 98,4998 = +\mathbf{00,91 \text{ m}}$$

$$\bullet \Delta Y_4 = 49,50 \times \cos 211,9195 = -\mathbf{48,63 \text{ m}}$$

1.5.5 Écarts de fermeture planimétriques (fx et fy) et la tolérance planimétrique***- Écarts de fermeture planimétriques (fx et fy)***

L'expérience a prouvé qu'après le calcul des coordonnées des points de station, on ne ferme pas sur les coordonnées exactes du point d'arrivée X_B et Y_B . On obtient des coordonnées X'_B et Y'_B légèrement différentes de X_B et Y_B . Cette différence de valeur s'appelle écart de fermeture planimétrique. Elle est composée de l'écart de fermeture planimétrique en abscisse (fx) et de l'écart de fermeture planimétrique en ordonnée (fy). La composition quadratique de ces deux écarts est le vecteur de fermeture (F) :

$$F = \sqrt{fx^2 + fy^2}$$

Sachant que X_A et Y_A , sont les coordonnées du point de départ et que X_B et Y_B sont les coordonnées exactes du point d'arrivée, on a :

$$\begin{aligned} fx &= (X_A + \sum \Delta X) - X_B \\ fy &= (Y_A + \sum \Delta Y) - Y_B \end{aligned} \quad (1.7)$$

À titre d'exemple, si l'on considère les résultats obtenus précédemment, on peut calculer les écarts de fermeture planimétriques fx et fy . On obtient ainsi :

- la somme des ΔX : $\sum \Delta X = +93,74 \text{ m}$

- la somme des ΔY : $\sum \Delta Y = -55,97 \text{ m}$

Donc:

$$fx = (5000,000 + 93,74) - 5093,850 = 5093,74 - 5093,850$$

$$fx = -0,11 \text{ m} = -110 \text{ mm}$$

$$fy = 2000,000 + (-55,97) - 1944,250$$

$$fy = 1944,03 - 1944,250$$

$$fy = -0,22 \text{ m} = -220 \text{ mm.}$$

- Tolérances planimétriques en direction (Td_m) et en longueur (TL_m)

Les tolérances planimétriques en direction (Td_m) et en longueur (TL_m) sont les erreurs maximales admises. Leur composition quadratique forme le vecteur de tolérance de fermeture planimétrique (T_F).

$$T_F = \sqrt{TL_m^2 + Td_m^2} \quad (1.8)$$

Pour s'assurer de l'exactitude des mesures sur le terrain et de celle des calculs, il faut que le vecteur de fermeture planimétrique (F) soit inférieur ou égal au vecteur de tolérance de fermeture planimétrique (T_F) en valeur absolue.

C'est-à-dire : $F \leq T_F$

$$\sqrt{fx^2 + fy^2} \leq \sqrt{TL_m^2 + Td_m^2}$$

La tolérance planimétrique en direction (T_{d_m}) est donnée par l'équation suivante :

$$T_{d_m} = 2.7 \times L_m \times \sigma_\alpha \times \sqrt{n/3}$$

dans laquelle:

L_m = Longueur totale du cheminement

σ_α = Précision de la mesure de l'angle (σ_α, doit être convertie en radians.)

n = Nombre de côtés du cheminement

La tolérance planimétrique en longueur (TL_m) est donnée par l'équation suivante :

$$TL_m = 2.7 \times \sigma_l \times \sqrt{n}$$

dans laquelle : σ_l = Précision de la mesure d'un côté

n = Nombre de côtés

À titre d'exemple, on peut calculer la valeur de T_{d_m} et de TL_m en s'appuyant sur les résultats obtenus précédemment :

Calcul de T_{d_m} :

$$T_{d_m} = 2.7 \times L_m \times \sigma_\alpha \times \sqrt{n/3}$$

$$L_m = \sum Di = 154 \text{ m.}$$

$$\sigma_\alpha = \frac{0.544 \times 3.14}{200} = 0,0085408 \text{ rad}$$

Donc:

$$T_{d_m} = 2.7 \times 154 \times 0,0085408 \times \sqrt{4/3}$$

On obtient :

$$T_{d_m} = 3,55126464 \times 1. 154700538$$

$$\mathbf{T_{d_m} = 4,10 \text{ m}}$$

Calcul de TL_m :

$$TL_m = 2.7 \times \sigma_l \times \sqrt{n}$$

$$TL_m = 2.7 \times 2.8 \text{ cm} \times \sqrt{4} = 15.12 \text{ cm}$$

$$\mathbf{TL_m = 15,12 \text{ cm}}$$

1.5.6 Ajustement planimétrique (compensation des AX et des AY)

Pour procéder à l'ajustement planimétrique, on répartit les écarts de fermetures planimétriques f_x et f_y entre les coordonnées relatives. On doit alors retrouver rigoureusement les coordonnées du point d'arrivée exact XB. YB

Il existe plusieurs méthodes d'ajustement planimétrique, mais aucune d'elles n'est pleinement satisfaisante. On adopte alors la plus simple: **les parallèles proportionnelles**. Cette méthode consiste à ajuster les ΔX et les ΔY d'une valeur proportionnelle à la longueur des côtés.

-Ajustement planimétrique en abscisse

L'ajustement planimétrique en abscisse (C_x) est calculé en fonction de la longueur de chaque côté et de la longueur totale du cheminement.

Soit :

L: Longueur totale du cheminement et

$D_1, D_2, D_3, D_4 \dots D_n$: Longueur des côtés successifs

On a :

$$C_{x1} = -f_x \times \frac{D_1}{L}$$

$$C_{x2} = -f_x \times \frac{D_2}{L}$$

$$C_{x3} = -f_x \times \frac{D_3}{L}$$

$$C_{xn} = -f_x \times \frac{D_n}{L}$$

Après le calcul des C_x , on compense les coordonnées relatives en abscisse, ce qui donne:

$$\Delta X_{A-1 \text{ comp}} = \Delta X_{A-1} + \left(-f_x \times \frac{D_{A-1}}{L}\right)$$

$$\Delta X_{1-2 \text{ comp}} = \Delta X_{1-2} + \left(-f_x \times \frac{D_{1-2}}{L}\right)$$

$$\Delta X_{2-3 \text{ comp}} = \Delta X_{2-3} + \left(-f_x \times \frac{D_{2-3}}{L}\right)$$

$$\Delta X_{n-B \text{ comp}} = \Delta X_{n-B} + \left(-f_x \times \frac{D_{n-B}}{L}\right) \quad (I.9)$$

-Ajustement planimétrique en ordonnée

L'ajustement planimétrique en ordonnée (C_y) est calculé de la même manière que celui en abscisse. On obtient ainsi :

$$C_{y1} = -f_y \times \frac{D_1}{L}$$

$$C_{y2} = -f_y \times \frac{D_2}{L}$$

$$C_{y3} = -fy \times \frac{D3}{L}$$

$$C_{yn} = -fy \times \frac{Dn}{L}$$

Après le calcul des C_y , on compense les coordonnées relatives en ordonnée, ce qui donne:

$$\Delta Y_{A-1 \text{ comp}} = \Delta Y_{A-1} + (-fy \times \frac{DA-1}{L})$$

$$\Delta Y_{1-2 \text{ comp}} = \Delta Y_{1-2} + (-fy \times \frac{D1-2}{L})$$

$$\Delta Y_{2-3 \text{ comp}} = \Delta Y_{2-3} + (-fy \times \frac{D2-3}{L})$$

$$\Delta Y_{n-B \text{ comp}} = \Delta Y_{n-B} + (-fy \times \frac{Dn-B}{L}) \quad (I.10)$$

En s'appuyant sur les résultats obtenus précédemment, on peut calculer par exemple les valeurs ΔX et ΔY compensées du cheminement (A-1-2-3-B). En premier lieu, le calcul des C_x et des C_y donne les résultats suivants :

$$C_{x1} = -(-110\text{mm} \times \frac{34.30}{154}) = + (110 \text{ mm} \times 0,223 \text{ m}) = +\mathbf{24 \text{ mm}}$$

$$C_{x2} = -fx \times \frac{D2}{L} = -(-110\text{mm} \times \frac{31.70 \text{ m}}{154}) = + (110 \text{ mm} \times 0,206 \text{ m}) = +\mathbf{23 \text{ mm}}$$

$$C_{x3} = -fx \times \frac{D3}{L} = -(-110\text{mm} \times \frac{38.50 \text{ m}}{154}) = + (110 \text{ mm} \times 0,250 \text{ m}) = +\mathbf{27 \text{ mm}}$$

$$C_{x4} = -fx \times \frac{D4}{L} = -(-110\text{mm} \times \frac{49.50 \text{ m}}{154}) = + (110 \text{ mm} \times 0,321 \text{ m}) = +\mathbf{35\text{mm.}}$$

$$C_{y1} = -(-220\text{mm} \times \frac{34.30}{154}) = + (220 \text{ mm} \times 0,223 \text{ m}) = +\mathbf{49 \text{ mm}}$$

$$C_{y2} = -(-220\text{mm} \times \frac{31.70 \text{ m}}{154}) = + (220 \text{ mm} \times 0,206 \text{ m}) = +\mathbf{45 \text{ mm}}$$

$$C_{y3} = -(-220\text{mm} \times \frac{38.50 \text{ m}}{154}) = + (220 \text{ mm} \times 0,250 \text{ m}) = +\mathbf{55 \text{ mm}}$$

$$C_{y4} = -(-220\text{mm} \times \frac{49.50 \text{ m}}{154}) = + (220 \text{ mm} \times 0,321 \text{ m}) = +\mathbf{71\text{mm.}}$$

Connaissant les résultats des C_x et des C_y , on calcule les valeurs ΔX et ΔY compensées, ce qui donne:

$$\Delta X_{A-1 \text{ comp}} = 32.81 + 0.024 = +\mathbf{32.834 \text{ m}}$$

$$\Delta X_{1-2 \text{ comp}} = 31.65 + 0.023 = \mathbf{31.673 \text{ m}}$$

$$\Delta X_{2-3 \text{ comp}} = 38.49 + 0.027 = +\mathbf{38.517 \text{ m}}$$

$$\Delta X_{3-B \text{ comp}} = -09.21 + 0.035 = -\mathbf{09.175 \text{ m}}$$

Et

$$\Delta Y_{A-1 \text{ comp}} = -09.99 + 0.049 = -\mathbf{9.941 \text{ m}}$$

$$\Delta Y_{1-2 \text{ comp}} = 01.74 + 0.045 = +\mathbf{1.785 \text{ m}}$$

$$\Delta Y_{2-3 \text{ comp}} = 00.91 + 0.055 = +\mathbf{0.965 \text{ m}}$$

$$\Delta Y_{3-B \text{ comp}} = -48.63 + 0.071 = -\mathbf{48.559 \text{ m}}$$

I.5.7 Coordonnées définitives

Étant donné que les coordonnées relatives en abscisse et en ordonnée sont compensées, il devient maintenant aisé de calculer **les coordonnées définitives** des points 1, 2, 3... (n-1), n. La méthode consiste à calculer les coordonnées d'un point en s'appuyant sur les coordonnées du point qui le précède, auxquelles on ajoute les coordonnées relatives compensées. Donc, on peut écrire :

$$\begin{aligned} X_n &= X_{n-1} + \Delta X_{n\text{comp}} \\ Y_n &= Y_{n-1} + \Delta Y_{n\text{comp}} \end{aligned} \quad (\text{I.11})$$

Les coordonnées définitives ainsi obtenues correspondent aux équations suivantes :

En abscisse :

$$X_1 = X_A + \Delta X_{A-1\text{comp}}$$

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{A-1\text{comp}}$$

$$X_n = X_{n-1} + \Delta X_{(n-1)\text{comp}}$$

$$X_B = X_n + \Delta X_{n-B\text{comp}} = X_B \text{ (arrivée exact)}$$

En ordonnée :

$$Y_1 = Y_A + \Delta Y_{A-1\text{comp}}$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{A-1\text{comp}}$$

$$Y_n = Y_{n-1} + \Delta Y_{(n-1)\text{comp}}$$

$$Y_B = Y_n + \Delta Y_{n-B\text{comp}} = Y_B \text{ (arrivée exact)}$$

Comme dernier exemple, on peut calculer les coordonnées définitives des points du cheminement (A-1-2-3-B) en s'appuyant sur les résultats obtenus précédemment :

- Les coordonnées du point de départ A sont :

$$X_A = 5000,000 \text{ m et } Y_A = 2000,000 \text{ m}$$

- Donc les abscisses définitives des points 1, 2, 3 et B sont :

$$\bullet X_1 = 5000,000 + 32,834 = \mathbf{5032,834 \text{ m}}$$

$$\bullet X_2 = 5032,834 + 31,673 = \mathbf{5064,507 \text{ m}}$$

$$\bullet X_3 = 5064,507 + 38,517 = \mathbf{5103,024 \text{ m}}$$

$$\bullet X_B = 5103,024 - 09,175 = \mathbf{5093,849 \text{ m}} = \mathbf{5093,850 \text{ m}} = X_{B\text{exact}}$$

- Les ordonnées définitives des points 1, 2, 3 et B sont :

$$\bullet Y_1 = 2000,000 + (-9,941) = \mathbf{1990,059 \text{ m}}$$

$$\bullet Y_2 = 1990,059 + 1,785 = \mathbf{1991,844 \text{ m}}$$

$$\bullet Y_3 = 1991,844 + 0,965 = \mathbf{1992,809 \text{ m}}$$

$$\bullet Y_B = 1992,809 + (-48,559) = \mathbf{1944,250 \text{ m}} = Y_{\text{Bexact}}$$

I.6 Calcul d'un cheminement fermé

Bien qu'il ne soit pas d'une grande précision, le cheminement fermé est souvent employé lorsque la surface à lever est peu étendue. Son calcul se fait en plusieurs étapes, qui sont similaires à celles du cheminement tendu. Elles se résument comme suit:

1. Détermination du gisement de départ
 2. Somme théorique des angles topographiques
 3. Somme pratique des angles topographiques
 4. Détermination de la fermeture angulaire et de la tolérance de fermeture angulaire
 5. Compensation angulaire
 6. Compensation des angles topographiques
 7. Compensation des gisements
 8. Calcul des coordonnées relatives ΔX et ΔY
 9. Détermination des écarts de fermeture planimétriques f_x et f_y
 10. Calcul de la tolérance planimétrique
 11. Ajustement planimétrique
 12. Calcul des coordonnées définitives
- Pour illustrer chacune des étapes de calcul du cheminement fermé, on s'appuiera sur l'exemple de la figure I.11.

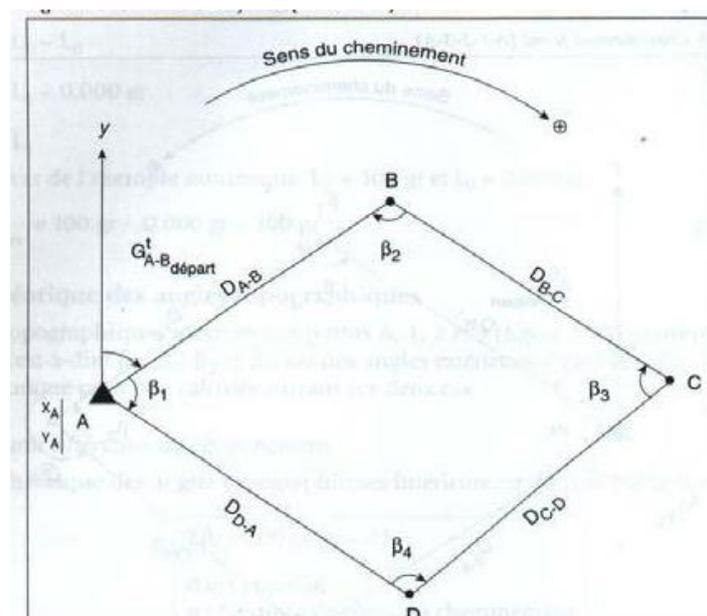


Figure I.11 Cheminement fermé (A-B-C-D).

Exemple

Le cheminement (A-B-C-D-A) a été observé avec un théodolite dont la précision de la mesure de l'angle σ_α est de 0,05 gr. Le gisement de départ G_{A-B}^t est égal à 100 gr. Les angles topographiques intérieurs (β_i) et les distances horizontales (D_i) mesurées sont les suivants :

$\beta_1 = 176,9400\text{gr}$; $\beta_2 = 62,4400\text{gr}$; $\beta_3 = 92,32009\text{ gr}$; $\beta_4 = 68,4200\text{gr}$

$D_{A-B} = 43,210\text{ m}$; $D_{B-C} = 65,818\text{ m}$; $D_{C-D} = 60,778\text{ m}$; $D_{D-A} = 42,225\text{ m}$

Les coordonnées du point de départ A sont: $X_A = 100,355\text{ m}$; $Y_A = 550,397\text{ m}$.

I.6.1 Gisement de départ

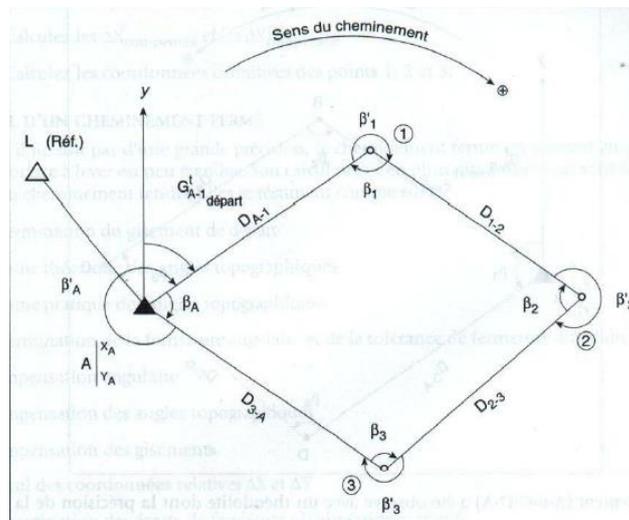


Figure I.12 Cheminement fermé (A-1-2-3-A).

A : point de départ et d'arrivée de coordonnées connues

L : point de référence de coordonnées connues

$\beta_A, \beta_1, \beta_2, \beta_3$: angles topographiques intérieurs mesurés

$\beta'_A, \beta'_1, \beta'_2, \beta'_3$: angles topographiques extérieurs mesurés

$D_{A-B}, D_{B-C}, D_{C-D}, D_{D-A}$: distances horizontales mesurés

Le gisement de départ G_{A-1}^t est le gisement du côté A-1 (figure I.12). Il est souvent donné par une boussole. On l'appelle alors gisement de départ magnétique. Pour le mesurer sur le terrain, on procède de la manière suivante :

1. Bloquer le cercle horizontal de l'appareil topographique sur la valeur $L_0 = 0,000\text{ gr}$.
2. Débloquer la boussole et tourner l'appareil topographique jusqu'à ce que l'aiguille de la boussole indique la direction du nord magnétique.
3. Libérer le cercle horizontal et tourner l'appareil jusqu'à ce que le trait vertical du réticule coïncide avec le point 1.
4. Lire la lecture L, qui s'affiche sur le cadran des angles horizontaux.

5. Dédurre le gisement de départ magnétique G_{A-1}^t comme suit :

$$G_{A-1}^t = L_1 - L_0$$

$$G_{A-1}^t = L_1 - 0.000 \text{ gr}$$

$$G_{A-1}^t = L_1$$

Dans le cas de l'exemple numérique, $L_1 = 100 \text{ gr}$ et $L_0 = 0,000 \text{ gr} := 100 \text{ gr}$

$$G_{A-1}^t = 100 \text{ gr} - 0,000 \text{ gr} = \mathbf{100 \text{ gr}}$$

1.6.2 Somme théorique des angles topographiques

Les angles topographiques mesurés aux points A, 1, 2 et 3 (figure I.12) peuvent être des angles intérieurs, c'est-à-dire $\beta_A, \beta_1, \beta_2$ et β_3 , ou des angles extérieurs, c'est-à-dire $\beta'_A, \beta'_1, \beta'_2$ et β'_3 . Leur somme théorique peut être calculée suivant ces deux cas.

Angles mesurés intérieurs au cheminement

La somme		théorique des	
angles	$\sum \beta_i = 200 \text{ gr } (n - 2) \quad (\text{I.12})$ Dans laquelle : n: Nombre de côtés du cheminement	topographiques	
intérieurs		est	donnée par la
formule			suivante :

Angles mesurés extérieurs au cheminement

La somme théorique des angles topographiques extérieurs est donnée par la formule qui suit :

$$\sum \beta_i = 200 \text{ gr } (n + 2) \quad (\text{I.13})$$

Dans laquelle:
 n: Nombre de côtés du cheminement

1.6.3 Somme pratique des angles topographiques

La somme pratique des angles topographiques est la somme des angles topographiques (intérieurs ou extérieurs) mesurés sur le terrain. Si l'on se base sur les données de l'exemple numérique (figure I.12), le calcul des sommes théorique et pratique donne :

- Somme théorique = $\sum \beta_i = 200 \text{ gr } (n - 2)$ avec $n = 4$

$$\sum \beta_{i \text{ théorique}} = 200 (4 - 2)$$

$$\sum \beta_{i \text{ théorique}} = 200 \times 2$$

$$\sum \beta i_{\text{théorique}} = 400 \text{ gr}$$

$$\text{- Somme pratique} = \sum \beta i_{\text{pratique}} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4$$

$$\sum \beta i_{\text{pratique}} = 176,94 + 62,44 + 92,32 + 68,42 = 400,12 \text{ g.}$$

$$\sum \beta i_{\text{pratique}} = 400,12 \text{ gr .}$$

1.6.4 Détermination de la fermeture angulaire et de la tolérance de fermeture angulaire ***-Fermeture angulaire***

La fermeture angulaire (fa) est l'écart qui résulte de l'imprécision des mesures angulaires faite sur le terrain. C'est la différence entre la somme théorique des angles mesurés sur le terrain et la somme pratique des angles mesurés sur le terrain. Elle est donnée par la formule suivante:

$$\mathbf{fa} = \sum \beta i_{\text{pratique}} - \sum \beta i_{\text{théorique}} \quad (\text{I.14})$$

Considérant les résultats obtenus précédemment, calculons par exemple la fermeture angulaire (fa) du cheminement (A-B-C-D-A). Les angles topographiques mesurés sur le terrain étant intérieurs, on obtient :

$$fa = \sum \beta i_{\text{pratique}} - \sum \beta i_{\text{théorique}}$$

$$fa = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4) - 200 \text{ gr } (n - 2)$$

$$fa = 400,12 - 400 = 0,12 \text{ gr}$$

$$\mathbf{fa = 0,12 \text{ gr}}$$

-Tolérance de fermeture angulaire

La tolérance de fermeture angulaire (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 angulaires sur le terrain. Ainsi, il faut que :

$$\mathbf{fa \leq T_\alpha}$$

Si σ_α est la précision de la mesure de l'angle et n le nombre de côtés du cheminement, la tolérance de fermeture angulaire est donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{T_\alpha = 2,7 \times \sigma_\alpha \times \sqrt{n} \text{ avec } 2,7: \text{ Coefficient constant}}$$

Le calcul de la tolérance de fermeture angulaire après l'observation du cheminement (A-B-C-D- A) de la figure I.12 donne :

$$\sigma_{\alpha} = 0,05 \text{ gr}, n = 4$$

Donc :

$$T_{\alpha} = 2,7 \times \sigma_{\alpha} \times \sqrt{n} = 2,7 \times 0,05 \times \sqrt{4} \quad T_{\alpha} = 2,7 \times 0,05 \times 2$$

$$\mathbf{T_{\alpha} = 0,27 \text{ gr}}$$

On remarque que $f_{\alpha} < T_{\alpha}$ ($0,12 \text{ gr} < 0,27 \text{ gr}$). On continue les calculs.

1.6.5 Compensation angulaire

Dans le cas du cheminement fermé, on répartit l'écart de fermeture angulaire (f_{α}) entre les angles topographiques mesurés sur le terrain. A cet effet, on adopte la solution simple suivante:

On divise ($-f_{\alpha}$) par le nombre de côtés (n). On obtient ainsi la valeur de la compensation (C_{α}) qu'on affectera à chaque angle. Donc, on aura : $C_{\alpha} = \frac{-f_{\alpha}}{n}$

- La compensation (C_{α}) est toujours de signe contraire à celui de f_{α} .

Les angles topographiques ainsi compensés correspondent aux formules suivantes :

$$\begin{aligned} \beta_{A \text{ compensé}} &= \beta_A + \frac{-f_{\alpha}}{n} \\ \beta_{1 \text{ compensé}} &= \beta_1 + \frac{-f_{\alpha}}{n} \\ \beta_{2 \text{ compensé}} &= \beta_2 + \frac{-f_{\alpha}}{n} \\ \beta_{3 \text{ compensé}} &= \beta_3 + \frac{-f_{\alpha}}{n} \end{aligned} \quad (\text{I.15})$$

En considérant les résultats obtenus précédemment, calculons les angles topographiques compensés du cheminement (A-B-C-D-A) de la figure 1.12.

$$\beta_{1 \text{ compensé}} = \beta_1 + \frac{-f_{\alpha}}{n} = 176,9400 + \left(\frac{-0,12}{4}\right) = 176,9400 - 0,03$$

$$\mathbf{\beta_{1 \text{ compensé}} = 176.9100 \text{ gr}}$$

$$\beta_{2 \text{ compensé}} = \beta_2 + \frac{-f_{\alpha}}{n} = 62,4400 + \left(\frac{-0,12}{4}\right) = 62,4400 - 0,03$$

$$\mathbf{\beta_{2 \text{ compensé}} = 62.4100 \text{ gr.}}$$

$$\beta_{3 \text{ compensé}} = \beta_3 + \frac{-f_{\alpha}}{n} = 92,3200 + \left(\frac{-0,12}{4}\right) = 92,3200 - 0,03$$

$$\mathbf{\beta_{3 \text{ compensé}} = 92.2900 \text{ gr}}$$

$$\beta_{4 \text{ compensé}} = \beta_4 + \frac{-f_{\alpha}}{n} = 68,4200 + \left(\frac{-0,12}{4}\right) = 68,4200 - 0,03$$

$$\beta_{4 \text{ compensé}} = 68.3900 \text{ gr}$$

1.6.6 Compensation des gisements

La compensation des gisements consiste à calculer les gisements des côtés du cheminement $G_{1-2}^t G_{2-3}^t G_{3-A}^t$ et G_{A-1}^t (figure I.13) à partir du gisement de départ connu G_{A-1}^t , et des angles topographiques compensés.

La formule générale appliquée est la suivante :

$$G_{n+1}^t = G_n^t \pm \beta_{i \text{ compensé}} \pm 200 \text{ gr (I.16)}$$

avec n variant de 1 jusqu'à 4 et $i = 1, 2, 3, A$

- On ajoute $\beta_{i \text{ compensé}}$ à la quantité G_n^t , si l'angle topographique mesuré sur le terrain est extérieur au cheminement et on le retranche à la quantité G_n^t si l'angle topographique mesuré est intérieur au cheminement.

- On ajoute 200 gr à la quantité $(G_n^t \pm \beta_i)$ si n est pair et on retranche 200 gr à la quantité $(G_n^t \pm \beta_i)$ si n est impair.

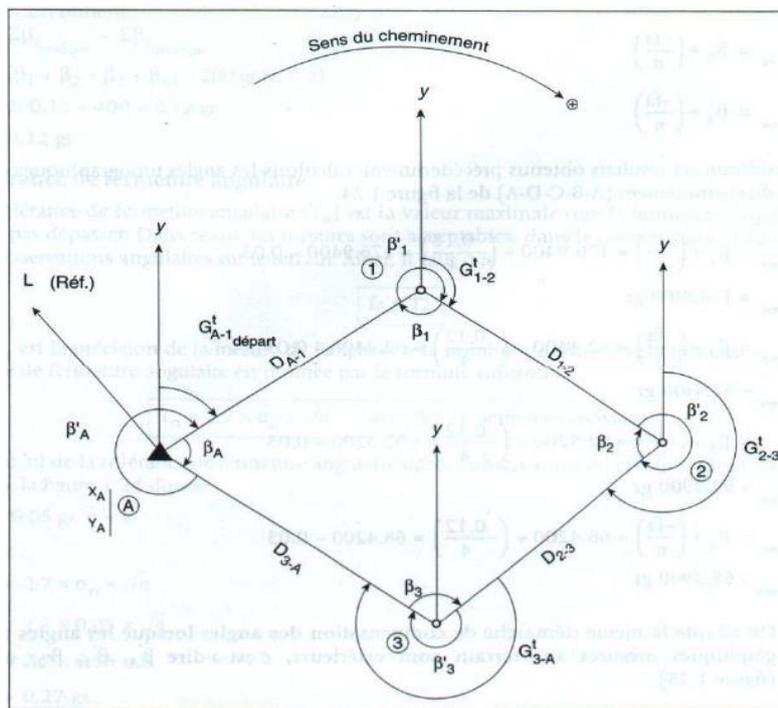


Figure I.13 Cheminement fermé (A-1-2-3-A)

Les gisements ainsi compensés correspondent aux formules suivantes ;

- Angles intérieurs et n pair :

- $G_{A-1}^t =$ gisement de départ
- $G_{1-2}^t = G_{A-1}^t - \beta_{1 \text{ compensé}} + 200 \text{ gr}$
- $G_{2-3}^t = G_{1-2}^t - \beta_{2 \text{ compensé}} + 200 \text{ gr}$

- $G_{3-A}^t = G_{2-3}^t - \beta_{3\text{compensé}} + 200 \text{ gr}$
- $G_{A-1}^t = G_{3-A}^t - \beta_{A\text{compensé}} + 200 \text{ gr} = G_{A-1\text{départ}}^t$
- Angles extérieurs et n pair :
- $G_{A-1}^t = \text{gisement de départ}$
- $G_{1-2}^t = G_{A-1}^t - \beta_{1\text{compensé}} + 200 \text{ gr}$
- $G_{2-3}^t = G_{1-2}^t - \beta_{2\text{compensé}} + 200 \text{ gr}$
- $G_{3-A}^t = G_{2-3}^t - \beta_{3\text{compensé}} + 200 \text{ gr}$
- $G_{A-1}^t = G_{3-A}^t - \beta_{A\text{compensé}} + 200 \text{ gr} = G_{A-1\text{départ}}^t$

En considérant les résultats obtenus précédemment, calculent les gisements compensés du cheminement (A-B-C-D-A) de la figure I.13

$$G_{A-B \text{ départ}}^t = 100 \text{ gr et } n = 4 \text{ (pair)}$$

Donc :

$$G_{B-C}^t = G_{A-B}^t - \beta_{2\text{compensé}} + 200 \text{ gr} = 100 - 62,4100 + 200 = \mathbf{237,5900 \text{ gr.}}$$

$$G_{C-D}^t = G_{B-C}^t - \beta_{3\text{compensé}} + 200 \text{ gr} = 237,5900 - 92,2900 + 200 = \mathbf{345,300 \text{ gr}}$$

$$G_{D-A}^t = G_{C-D}^t - \beta_{4\text{compensé}} + 200 \text{ gr} = 345,300 - 68,3900 + 200 = 476,91 \text{ gr} = \mathbf{76,91 \text{ gr}}$$

$$G_{A-B}^t = G_{D-A}^t - \beta_{1\text{compensé}} + 200 \text{ gr} = 76,91 - 176,9100 + 200 = \mathbf{100 \text{ gr}} = G_{A-B\text{départ}}^t$$

1.6.7 Coordonnées relatives

Le calcul des coordonnées relatives consiste à transformer les coordonnées polaires (distance et gisement) en coordonnées rectangulaires, qu'on appellera ΔX pour les coordonnées en abscisse et ΔY pour les coordonnées en ordonnée. Elles sont données par les formules suivantes:

$$\begin{aligned} \Delta X &= D \times \sin G_{\text{comp}}^t \\ \Delta Y &= D \times \cos G_{\text{comp}}^t. \end{aligned} \quad (\text{I.17})$$

Dans lesquelles :

D : Distance horizontale mesurée entre deux points

G^t : Gisement compensé de la direction formée par ces deux points

À partir de la figure I.13, on peut déduire les coordonnées relatives suivantes :

- En abscisse :

- $\Delta X_{A-1} = D_{A-1} \times \sin G_{A-1 \text{ comp}}^t$
- $\Delta X_{1-2} = D_{1-2} \times \sin G_{1-2 \text{ comp}}^t$

- $\Delta X_{2-3} = D_{2-3} \times \sin G_{2-3}^t \text{ comp}$
- $\Delta X_{3-A} = D_{3-A} \times \sin G_{3-A}^t \text{ comp}$
- En ordonnée:
- $\Delta Y_{A-1} = D_{A-1} \times \cos G_{A-1}^t \text{ comp}$
- $\Delta Y_{1-2} = D_{1-2} \times \cos G_{1-2}^t \text{ comp}$
- $\Delta Y_{2-3} = D_{2-3} \times \cos G_{2-3}^t \text{ comp}$
- $\Delta Y_{3-A} = D_{3-A} \times \cos G_{3-A}^t \text{ comp}$

En se reportant aux résultats obtenus précédemment, on peut calculer les coordonnées relatives du cheminement (A-B-C-D-A) de la figure I.13 :

- En abscisse :

- $\Delta X_{A-B} = 43,210 \times \sin 100 = +\mathbf{43,210 \text{ m}}$
- $\Delta X_{B-C} = 65,818 \times \sin 237,5900 = -36,6438 \text{ m} = -\mathbf{36,644 \text{ m}}$
- $\Delta X_{C-D} = 60,778 \times \sin 345,300 = -\mathbf{46,029 \text{ m}}$
- $\Delta X_{D-A} = 42,225 \times \sin 76,91 = +39,4779 \text{ m} = +\mathbf{39,478 \text{ m}}$

- En ordonnée :

- $\Delta Y_{A-B} = 43,210 \times \cos 100 = \mathbf{0 \text{ m}}$.
- $\Delta Y_{B-C} = 65,818 \times \cos 237,5900 = -54,6739 \text{ m} = -\mathbf{54,674 \text{ m}}$
- $\Delta Y_{C-D} = 60,778 \times \cos 345,300 = +\mathbf{39,689 \text{ m}}$
- $\Delta Y_{D-A} = 42,225 \times \cos 76,91 = +\mathbf{14,981 \text{ m}}$

I.6.8 Écarts de fermeture planimétriques fx et fy

En raison de l'imprécision des différentes mesures effectuées sur le terrain (angles topographiques et distances), le calcul des coordonnées des points de station aboutit généralement sur des coordonnées du point de départ (et d'arrivée) X'_A et Y'_A légèrement différentes des coordonnées exactes X_A et Y_A du point A. Cette différence de valeur s'appelle écart de fermeture planimétrique. Elle est composée de l'écart de fermeture planimétrique en abscisse (fx) et de celui en ordonnée (fy).

La composition quadratique de ces deux écarts est le vecteur de fermeture (F) soit :

$$F = \sqrt{fx^2 + fy^2}$$

Pour le calcul de fx et de fy , on utilise la formule de calcul ayant servi dans le cas du cheminement tendu.

$$fx = \sum \Delta X = \Delta X_{A-1} + \Delta X_{1-2} + \Delta X_{2-3} + \Delta X_{3-A}$$

$$fy = \sum \Delta Y = \Delta Y_{A-1} + \Delta Y_{1-2} + \Delta Y_{2-3} + \Delta Y_{3-A} \text{ (I.18)}$$

À la lumière des résultats obtenus précédemment, on peut calculer, par exemple, les écarts de fermeture fx et fy du cheminement (A-B-C-D-A). On obtient ainsi :

$$fx = \sum \Delta X = \Delta X_{A-B} + \Delta X_{B-C} + \Delta X_{C-D} + \Delta X_{D-A} = (+43,210) + (-36,644) + (-46,029) + (+39,478)$$

$$\sum \Delta X = +0,015 \text{ m Donc : } fx = \sum \Delta X = +0,015 \text{ m}$$

$$fx = +15 \text{ mm}$$

$$fy = \sum \Delta Y = \Delta Y_{A-B} + \Delta Y_{B-C} + \Delta Y_{C-D} + \Delta Y_{D-A} = (0) + (-54,674) + (39,689) + (14,981)$$

$$\sum \Delta Y = -0,004 \text{ m}$$

Donc :

$$fy = \sum \Delta Y = -0.004 \text{ m}$$

$$fy = 4 \text{ mm}$$

1.6.9 Tolérance planimétrique

En raison de la faible précision du cheminement fermé et des limites de son champ d'application (levé local), on adopte, pour le calcul de la tolérance planimétrique, la formule simple suivante:

$$T = \frac{\sum Di}{2000} \text{ (I.19)}$$

Dans laquelle :

$\sum Di$ = Longueur totale du cheminement (A-1-2-3-A) (figure 1.13)

2000 = Coefficient constant

Pour s'assurer de l'exactitude des mesures sur le terrain et des calculs, il faut que le vecteur de fermeture (F) soit inférieur ou égal à la tolérance planimétrique T en valeur absolue, c'est-à-dire

$$\sqrt{fx^2 + fy^2} \leq \frac{\sum Di}{2000}$$

$$T = \frac{\sum Di}{2000} = D_{A-B} + D_{B-C} + D_{C-D} + D_{D-A} / 2000 = 43.210 + 65.818 + 60.778 + 42.225 / 2000 = 212.031 / 2000$$

$$T = 0.106 \text{ m} = \mathbf{106 \text{ mm}}$$

On sait que : $f_x = +15 \text{ mm}$

$f_y = -4 \text{ mm}$

$$F = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{15^2 + (-4)^2} = \sqrt{241}$$

F = 15.52 mm On conclut que $F < T$.

1.6.10 Ajustement planimétrique

L'ajustement planimétrique est l'opération qui consiste à ajuster les coordonnées relatives ΔX

-Ajustement planimétrique en abscisse

L'ajustement planimétrique en abscisse est donné par les formules suivantes :

$$C_{x1} = -f_x \times \frac{D_{A-1}}{L}$$

$$C_{x2} = -f_x \times \frac{D_{1-2}}{L}$$

$$C_{x3} = -f_x \times \frac{D_{2-3}}{L}$$

$$C_{x4} = -f_x \times \frac{D_{3-A}}{L}$$

Dans lesquelles :

L = Longueur totale du cheminement

D_{A-1} , D_{1-2} , D_{2-3} , D_{3-A} : Longueur des côtés successifs

Après le calcul des C_x , on compense les coordonnées relatives en abscisse, ce qui donne:

$$\Delta X_{A-1 \text{ comp}} = \Delta X_{A-1} + \left(-f_x \times \frac{D_{A-1}}{L}\right)$$

$$\Delta X_{1-2 \text{ comp}} = \Delta X_{1-2} + \left(-f_x \times \frac{D_{1-2}}{L}\right) \quad (\text{I.20})$$

$$\Delta X_{2-3 \text{ comp}} = \Delta X_{2-3} + \left(-f_x \times \frac{D_{2-3}}{L}\right)$$

$$\Delta X_{3-A \text{ comp}} = \Delta X_{3-A} + \left(-f_x \times \frac{D_{3-A}}{L}\right)$$

-Ajustement planimétrique en ordonnée

L'ajustement planimétrique en ordonnée (C_y) est calculé de la même manière que celui en abscisse. On obtient ainsi :

$$C_{y1} = -f_y \times \frac{D_{A-1}}{L}$$

$$C_{y2} = -f_y \times \frac{D_{1-2}}{L}$$

$$C_{y3} = -f_y \times \frac{D_{2-3}}{L}$$

$$C_{y4} = -f_y \times \frac{D_{3-A}}{L}$$

Après le calcul des C_y , on compense les coordonnées relatives en ordonnée, ce qui donne:

$$\Delta Y_{A-1 \text{ comp}} = \Delta Y_{A-1} + (-fy \times \frac{DA-1}{L})$$

$$\Delta Y_{1-2 \text{ comp}} = \Delta Y_{1-2} + (-fy \times \frac{D1-2}{L}) \quad (I.21)$$

$$\Delta Y_{2-3 \text{ comp}} = \Delta Y_{2-3} + (-fy \times \frac{D2-3}{L})$$

$$\Delta Y_{3-A \text{ comp}} = \Delta Y_{3-A} + (-fy \times \frac{D3-A}{L})$$

Pour les Cx

$$fx / L = 15\text{mm}/212.031\text{m} = 0.015/212.031 = \mathbf{-0.00007 \text{ m.}}$$

donc :

$$C_{x1} = (-0.00007) \times 43.210 = \mathbf{-0.003 \text{ m}}$$

$$C_{x2} = (-0.00007) \times 65.818 = \mathbf{-0.005 \text{ m}}$$

$$C_{x3} = (-0.00007) \times 60.778 = \mathbf{-0.004 \text{ m}}$$

$$C_{x4} = (-0.00007) \times 42, 225 = \mathbf{-0.003 \text{ m}}$$

Pour les Cy

$$fy / L = -4 \text{ mm}/212.031\text{m} = 0.004/212.031 = \mathbf{+0.00002 \text{ m.}}$$

donc :

$$C_{y1} = (-0.00002) \times 43.210 = \mathbf{+0.0009 \text{ m}}$$

$$C_{y2} = (-0.00002) \times 65.818 = \mathbf{+0.001 \text{ m}}$$

$$C_{y3} = (-0.00002) \times 60.778 = \mathbf{+0.001 \text{ m}}$$

$$C_{y4} = (-0.00002) \times 42, 225 = \mathbf{+0.0008 \text{ m}}$$

Connaissant les valeurs des Cx et Cy on calcule les valeurs ΔX et ΔY compensées, ce qui donne :

$$\Delta X_{A-B \text{ comp}} = (+43.210) + (-0.003) = \mathbf{+ 43.207\text{m}}$$

$$\Delta X_{B-C \text{ comp}} = (-36.644) + (-0.005) = \mathbf{-36.649\text{m}}$$

$$\Delta X_{C-D \text{ comp}} = (-46.029) + (-0.004) = \mathbf{-46.033\text{m}}$$

$$\Delta X_{D-A \text{ comp}} = (+39.478) + (-0.003) = \mathbf{+ 39.475\text{m.}}$$

Et

$$\Delta Y_{A-B \text{ comp}} = (0) + (0.0009) = \mathbf{0 \text{ m}}$$

$$\Delta Y_{B-C \text{ comp}} = (-54.674) + (0.001) = \mathbf{-54.673 \text{ m}}$$

$$\Delta Y_{C-D \text{ comp}} = (+39.689) + (0.001) = \mathbf{+39.690\text{m}}$$

$$\Delta Y_{D-A \text{ comp}} = (+14.981) + (0.0008) = \mathbf{+ 14.9818\text{m} = +14.982 \text{ m.}}$$

1.6.11 Coordonnées définitives

Etant donné que les coordonnées relatives ΔX et ΔY sont compensées, on calcule les coordonnées définitives des points 1, 2 et 3. La méthode consiste à calculer les coordonnées d'un point en s'appuyant sur les coordonnées du point qui le précède, auxquelles on ajoute les coordonnées relatives compensées. Donc, on peut écrire :

$$\begin{aligned} X_n &= X_{n-1} + \Delta X_{n\text{comp}} \\ Y_n &= Y_{n-1} + \Delta Y_{n\text{comp}} \quad (\text{I.22}) \end{aligned}$$

Les coordonnées définitives ainsi obtenues correspondent aux formules suivantes :

- En abscisse :

- X_A = Point de départ
- $X_1 = X_A + \Delta X_{A-1 \text{ comp}}$
- $X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2 \text{ comp}}$
- $X_3 = X_2 + \Delta X_{2-3 \text{ comp}}$
- $X_A = X_3 + \Delta X_{3-4 \text{ comp}} = X_{Ad'arrivée \text{ et de départ}}$

- En ordonnée:

Y_A = Point de départ

- $Y_1 = Y_A + \Delta Y_{A-1 \text{ comp}}$
- $Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2 \text{ comp}}$
- $Y_3 = Y_2 + \Delta Y_{2-3 \text{ comp}}$
- $Y_A = Y_3 + \Delta Y_{3-4 \text{ comp}} = Y_{Ad'arrivée \text{ et de départ}}$

Pour terminer l'exemple, on peut calculer les coordonnées définitives des points du cheminement (A-B-C-D-A) de la figure 1.13 en s'appuyant sur les résultats obtenus précédemment.

- Les coordonnées du point de départ sont : $X_A = 100,355 \text{ m}$, $Y_A = 550,397 \text{ m}$.

Les abscisses définitives des points B, C et D sont :

- $X_A = 100,355 \text{ m}$
- $X_B = 100,355 + 43,207 = \mathbf{143,562 \text{ m}}$
- $X_C = 143,562 + (-36,649) = \mathbf{106,913 \text{ m}}$
- $X_D = 106,913 + (-46,033) = \mathbf{60,88 \text{ m}}$.

➤ Les coordonnées définitives des points B, C, D sont :

$Y_A = 550,397 \text{ m}$

- $Y_B = 550,397 + 0 = \mathbf{550,397 \text{ m}}$
- $Y_C = 550,397 + (-54,673) = \mathbf{495,724 \text{ m}}$

- $Y_D = 495,724 + 39,690 = \mathbf{535,414\ m}$

- $Y_A = 535,414 + 14,982 = 550,396\ m = \mathbf{550,397\ m} = Y_A \text{ départ}$

Il est possible de compiler les données du calcul d'un cheminement fermé dans un tableau comme celui utilisé dans le cas d'un cheminement tendu. Néanmoins, pour un cheminement fermé, il est impératif d'apporter quelques modifications au tableau de la figure dans l'annexe. Ces modifications se résument comme suit :

1. **Colonne 1:** Remplacer le point d'arrivée B du cheminement par le point A, qui est en même temps le point de départ et d'arrivée. Remplacer aussi les points de référence L et M par le point de référence du cheminement fermé.

2. **Colonnes 5 et 7:** En bas de ces colonnes, supprimer les cases réservées aux tolérances planimétriques en direction (T_{d_m}) et en longueur (TL_m) parce qu'elles sont inexistantes dans le cas du cheminement fermé.

Chapitre II Tachéométrie

II.1 Introduction

Peut-être avez-vous déjà vu, en circulant dans un quartier, des personnes en train d'utiliser un appareil topographique. Et peut-être vous êtes-vous alors demandé: « Mais que font-ils? » Il s'agissait d'une brigade topographique en train d'effectuer un levé de détails en milieu urbain en se basant sur les points d'appui du système local. Dans ce chapitre, divisé en deux sections, vous acquerrez les connaissances nécessaires pour effectuer des levés planimétriques et altimétriques ainsi que pour interpoler des courbes de niveau.

Le **lever de détails** est l'ensemble des opérations intervenant dans un lever topographique 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**.

II.2 Détails à lever

Le choix des détails dépend essentiellement de deux caractéristiques : leur type et leur taille. Les plans topographiques ont des destinations différentes et des objets nécessaires à certains seront inutiles pour d'autres. Il faut donc effectuer une sélection en fonction du type de plan à élaborer. Par exemple, si le lever d'arbres est obligatoire pour un plan de propriété, il l'est beaucoup moins pour un plan de récolement. La taille minimale des détails à lever est directement liée à l'échelle du plan. On admet en général que le pouvoir séparateur de l'œil humain est d'un dixième de millimètre. Les détails non représentables ne sont pas levés. Pour les plans numériques, susceptibles de générer des plans graphiques à différentes échelles, il faut se référer au cahier des charges.

II.3 Mesures à effectuer

Le principe fondamental de la topographie, qui consiste à aller de l'ensemble vers les détails, doit être strictement respecté : les points de détail seront donc rattachés à un canevas, même si celui-ci se compose uniquement de quelques points, d'une simple ligne d'opération ou, à la limite, d'une façade, par exemple. Un lever correctement mené doit assurer un maximum d'homogénéité entre les différents points de détails. Chacun sera donc rattaché, si possible, par un minimum de mesures courtes et indépendantes, par exemple un angle et une distance,

une distance sur un alignement, deux angles, etc.). On n'oubliera pas d'effectuer des mesures surabondantes de contrôle.

II.4 Croquis de levé

Chaque lever de détails doit s'accompagner d'un croquis de levé aussi précis, soigné et descriptif que possible. Ce croquis est d'une aide précieuse, voire indispensable, lors de l'établissement du plan définitif.

Remarquez qu'une bonne codification peut permettre de ne pas faire de croquis

II.5 Lever par rayonnement

Cette technique s'apparente au lever de détails effectué avec les stations totales : on utilise un théodolite ou un niveau équipé d'un cercle horizontal pour lever la **position angulaire** de chaque point. La **distance horizontale** du point de station au point levé est mesurée au ruban, ou, moins précisément, par stadimétrie sur une mire.

Il est également possible d'obtenir l'altitude du point visé par nivellement direct (niveau) ou indirect (théodolite). Chaque point est alors connu :

l. en planimétrie par ses coordonnées polaires par rapport au point de station et à la référence angulaire choisie ;

l. en altimétrie par rapport à un point de référence connu en altitude.

Le lever s'effectue par **rayonnement** autour du point de station de l'appareil. L'orientation du zéro du cercle horizontal de l'appareil peut être réalisée de manière approximative, avec une boussole pour se rapprocher du nord magnétique et donc du nord Lambert.

Il est également possible de s'orienter de manière plus précise si l'on dispose de deux points connus en coordonnées générales ou locales.

II.6 Report

Le but de tout lever topographique est l'établissement d'un **plan graphique** même si, actuellement, l'étape intermédiaire du **plan numérique** se généralise.

« Un **plan graphique** est la représentation obtenue en reportant les divers éléments descriptifs du terrain sur un support approprié, quel que soit le mode d'établissement.

C'est une représentation du terrain par « dessin du trait », ce qui impose une sélection des détails représentés et une convention dans leur représentation » (définition donnée par *Lecahier des charges techniques générales* : CCTG 50).

« Un **plan numérique** est un fichier comprenant l'enregistrement sur support informatique des coordonnées des points et des éléments descriptifs du terrain quel que soit le mode d'établissement. Ce fichier doit permettre l'établissement de plans graphiques à différentes échelles, leur précision restant au mieux celle de la saisie des données »(définition donnée par *Le cahier des charges techniques générales : CCTG 50*).

Les plans topographiques ont des finalités très diverses ; c'est souvent leur destination qui imposera la précision du lever et le choix des détails.

II.7 Levé tachéométrique

On appelle levé tachéométrique l'ensemble des opérations permettant la mesure des angles, des distances et des dénivelés à l'aide d'un tachéomètre et de ses accessoires (trépied, mire...). Le levé tachéométrique est un type de levé topographique.

- Saviez-vous que... Le mot tachéomètre se compose de deux racines grecques : tachéo-, qui signifie « rapide » et -mètre, qui signifie « mesure ». Cet appareil permet donc d'effectuer des mesures rapides et précises.

II.8 Organisation D'une Brigade

L'équipe qui effectue un levé topographique porte le nom de brigade. Elle compte plusieurs membres, dont les tâches sont bien définies. Ainsi :

- le **chef de brigade** est responsable du travail. C'est lui qui choisit les méthodes à employer;
- le **croquiseur** dessine le croquis de la zone à lever;
- l'**opérateur** dirige l'appareil sur les points à lever et effectue les lectures correspondantes;
- le **teneur de carnet** note les lectures dictées par l'opérateur;
- le ou les **porte-mire**.

II.9 Types de levés

Les levés diffèrent entre eux par :

- l'objet représenté;
- la précision exigée pour le levé;
- l'échelle de représentation;
- la rapidité d'exécution.

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

II.9.1 Levé planimétrique

Lorsque l'on souhaite représenter des éléments tels que des routes, une construction, un cours d'eau ou les limites de propriétés, on fait appel au levé planimétrique. Le levé planimétrique consiste en effet à mesurer les angles et les distances au sol.

Les méthodes de levé planimétrique les plus simples sont :

- le levé par **abscisses et ordonnées**; (voir chapitre 03).
- le levé par **rayonnement**.

-Levé par rayonnement

Le levé par rayonnement s'appuie sur le principe géométrique de la détermination d'un point par coordonnées polaires (figure II.1).

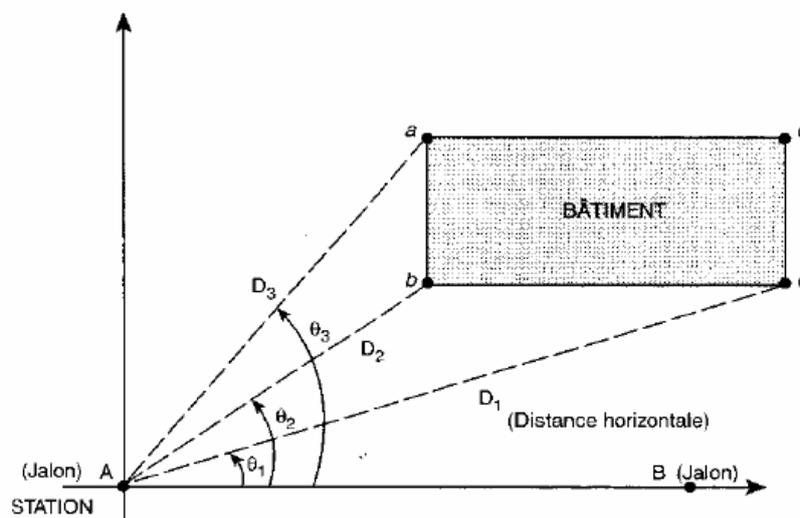


Figure II.1 Levé par rayonnement

Chaque point est défini par :

- l'**angle (θ)**, qui est déterminé depuis la station (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).

La valeur de l'angle horizontal (généralement exprimée en grades) ainsi que celle de la distance (en mètres) forment les coordonnées polaires d'un point (figure II.2).

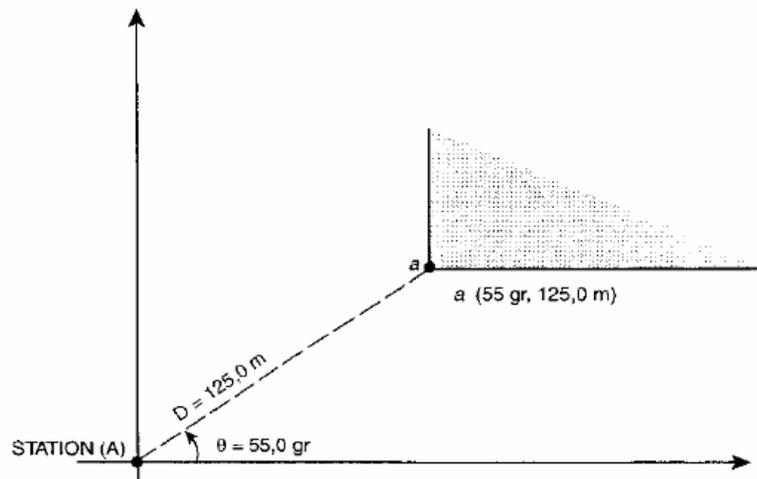


Figure II.2 coordonnées polaires d'un point

La marche à suivre pour effectuer un levé par rayonnement est la suivante:

1. Faire un croquis général du site à lever.
2. Matérialiser la ligne d'opération et les points de détail à l'aide de jalons.
3. Faire la mise en station de l'appareil topographique.
4. Régler la nivelle de l'appareil à l'aide des vis calantes.
5. Viser les points de détail avec la lunette de l'appareil topographique.
6. Noter les valeurs des lectures effectuées dans l'ordre suivant :
 - lecture supérieure (L_{sup});
 - lecture moyenne (L_{moy});
 - lecture inférieure (L_{inf}).
7. Faire la lecture de l'angle vertical (V).
8. Calculer les distances en utilisant la formule suivante :

$$D = 100 (L_{\text{sup}} - L_{\text{inf}}) \times (\sin V)^2$$
9. Faire la lecture de l'angle horizontal (H_z) sur le cercle horizontal de l'appareil pour chaque directions.
10. Calculer les angles horizontaux (α) en utilisant la formule suivante :

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

II.9.2 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 mètres, entre ce point et une surface se trouvant au niveau moyen des mers, qui correspond à la valeur 0 (figure II.3)

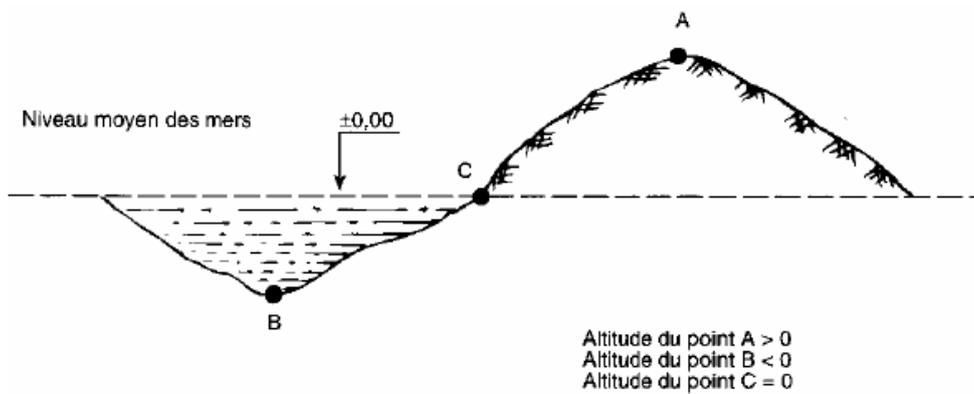


Figure II.3 Altitude d'un point.

La dénivelée représente la différence d'altitude entre deux points, en valeur et en signe (figure II.4).

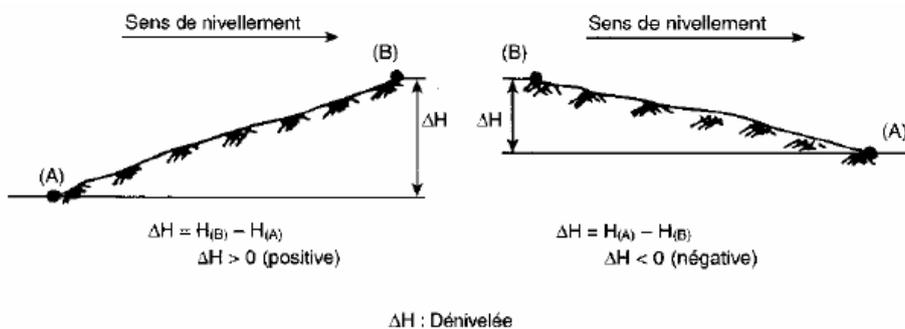


Figure II.4 Dénivelée.

Sur le croquis chaque point doit être exprimé avec l'angle et la distance. Après dans le bureau on prépare le dessin de ce relevé. Sur la feuille on fixe un point pour la station et avec un rapporteur en grades on commence de fixer avec une petite ligne les angles, mesurés sur le terrain. Puis on doit lier chaque petite ligne avec le point de station et sur chaque direction on fixe en échelle choisie la distance, mesurée sur le terrain. C'est la méthode de relever des bâtiments existants sur le terrain. Si ce relevé est pour ajouter ces bâtiments sur le plan de masse on doit fixer sur le terrain certains points communs.

II.9.3 Courbes de niveau

Les résultats des levés (planimétrique et altimétrique) sont employés pour la représentation graphique du relief d'un terrain. Une courbe de niveau est une ligne imaginaire joignant tous les points qui ont la même altitude. Un ensemble de courbes de niveau donne une représentation du relief (figure II.5).

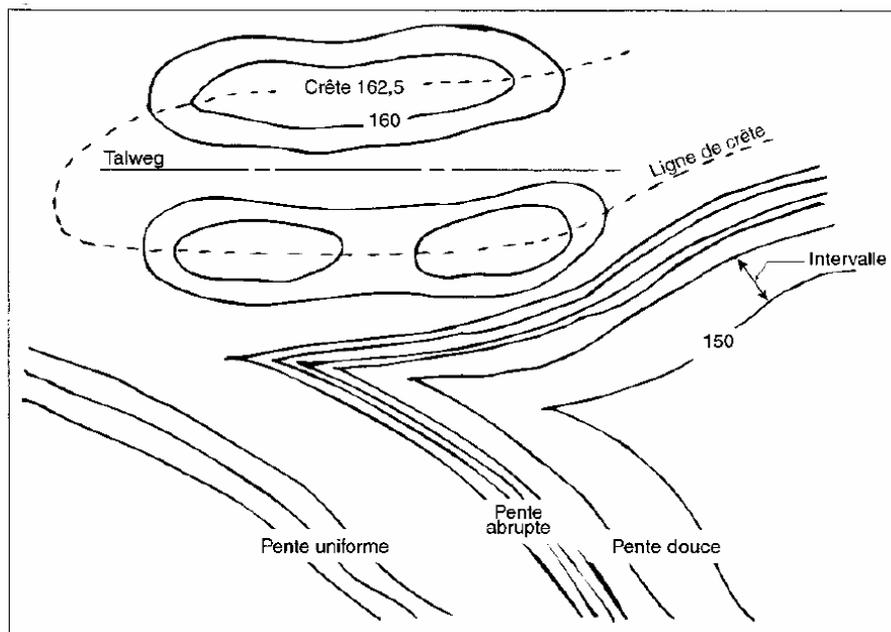


Figure II.5 Courbe de niveau

- Intervalle : Distance horizontale mesurée sur la carte entre deux courbes de niveau.
- Ligne de crête : Endroit où se fait le partage des eaux.
- Talweg : Axe du fond d'une vallée.
- Pente douce : Endroit où les courbes de niveau sont distancées.
- Pente abrupte : Endroit où les courbes de niveau sont rapprochées.
- Pente uniforme : Endroit où les courbes de niveau sont distancées également.

Caractéristiques

Les courbes de niveau possèdent les caractéristiques communes suivantes :

- Tous les points d'une même courbe ont la même altitude.
- Les courbes de niveau sont des lignes fermées, à moins qu'elles ne soient interrompues par les limites de la carte.
- L'intervalle entre les courbes indique la nature de la pente.
- Une courbe de niveau ne peut pas en croiser une autre d'altitude différente.

Interpolation des courbes de niveau

L'interpolation des courbes de niveau a pour but de déterminer l'altitude d'un point situé entre deux courbes de niveau. Ce travail peut s'effectuer à l'aide de deux méthodes :

- la méthode analytique, plus précise;
- la méthode graphique, plus rapide.

1. Méthode analytique

La méthode analytique est basée sur la théorie des triangles semblables (figure II.6).

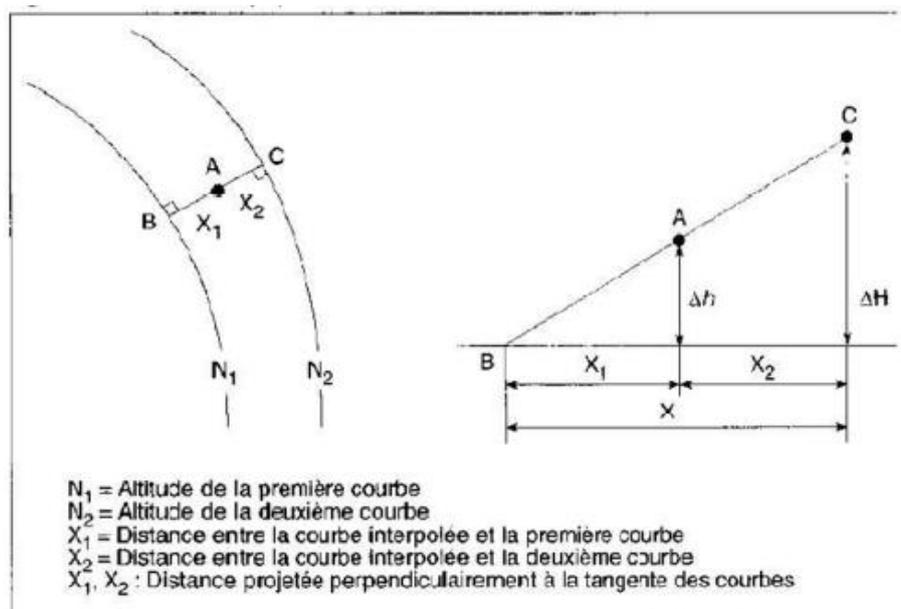


Figure II.6 Méthode analytique.

L'altitude du point A est égale à $N_1 + \Delta h$

Soit:

$$\Delta H = N_2 - N_1$$

$$X = X_1 + X_2$$

D'après la théorie des triangles semblables, on a :

$$\frac{\Delta H}{X} = \frac{\Delta h}{X_1} \text{ d'où } \Delta h = \frac{\Delta H}{X} \times X_1 \text{ (II.1)}$$

Exemple :

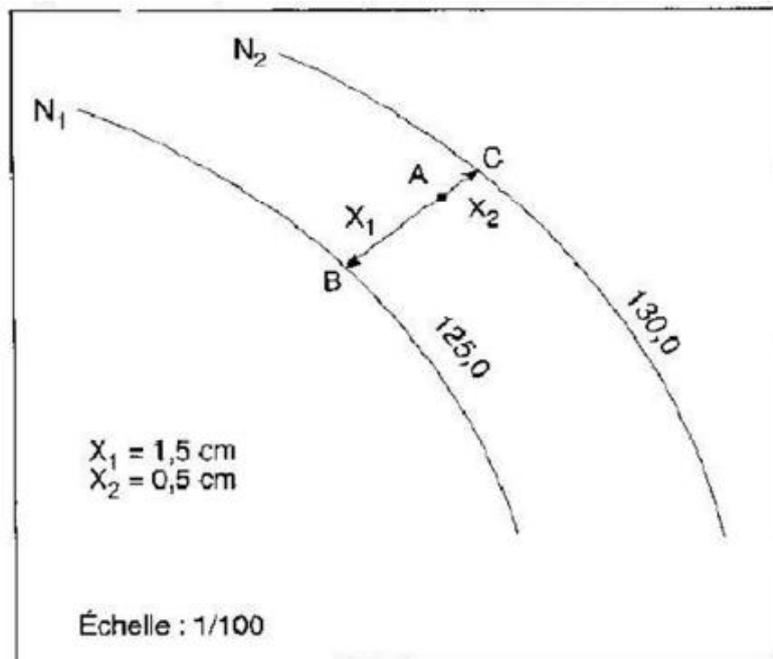


Figure II.7 Exemple de calcul (méthode analytique).

Données ;

- Altitude de la première courbe (N1) : 125,0 m
- Altitude de la deuxième courbe (N2) : 130,0 m
- Distance entre un point de la courbe interpolée et la première courbe (X1) : 1,5 cm
- Distance entre le même point de la courbe interpolée et la deuxième courbe (X2) : 0,5 cm

D'où :

$$\Delta H = N_2 - N_1$$

$$\Delta H = 130 - 125$$

$$\Delta H = 5 \text{ m}$$

Et

$$X = X_1 + X_2$$

$$X = 1.5 + 0.5$$

$$X = 2 \text{ cm}$$

Donc, on a :

$$\frac{\Delta H}{X} = \frac{\Delta h}{X_1}$$

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{X} \times X_1$$

$$\Delta h = \frac{5}{2} \times 1.5$$

$$\Delta h = 3.75 \text{ m.}$$

Enfin, l'altitude du point A est égale à :

$$A = N_1 + \Delta h$$

$$A = 125 + 3.75$$

$$A = 128.75 \text{ m.}$$

2. Méthode graphique

Il existe une méthode graphique plus rapide dont la précision est généralement largement suffisante. L'opérateur dispose d'une feuille A4 sur laquelle il dessine des lignes horizontales régulièrement espacées (fig. II.8.), numérotées par exemple de 0 à 100. Afin de placer la courbe de niveau 129,50 m entre les points 19 et 24 (fig. II.8.), il dispose la feuille A4 de façon que la ligne 129,08 m passe sur le point 24, ce positionnement s'effectue à vue puisque la ligne 129,08 m n'existe pas, et de façon que la ligne 129,82 m passe par le point 19 ; il reste à piquer l'intersection de la droite 19-24 et de la ligne 50 de la feuille A4 pour obtenir un point de passage de la courbe 129,50 m.

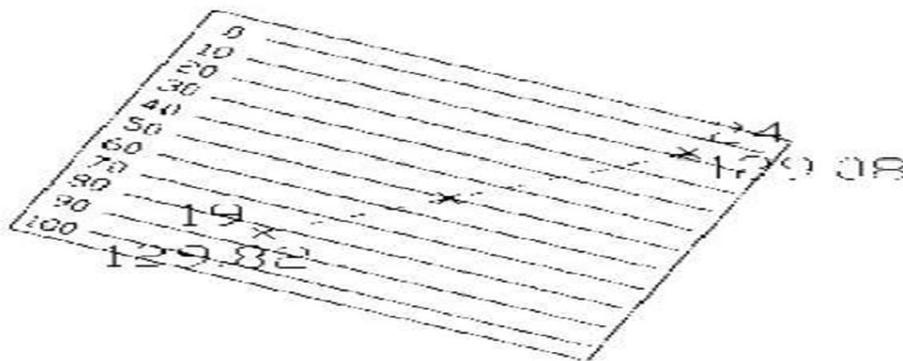


Figure II.8 Outil de report manuel

Chapitre III et IV: Levé par abscisse et ordonnée et quasi-ordonnée/Levé oblique latérale.

III.1 Définition

Levé par abscisses et ordonnées s'effectue à l'aide **d'une équerre optique**, qui permet de déterminer une **direction perpendiculaire** à une autre. Grâce à cet appareil, on détermine l'emplacement des pieds des perpendiculaires (M', N', P') à partir des points à lever (M, N, P) sur une ligne d'opération AB (figure III.1).

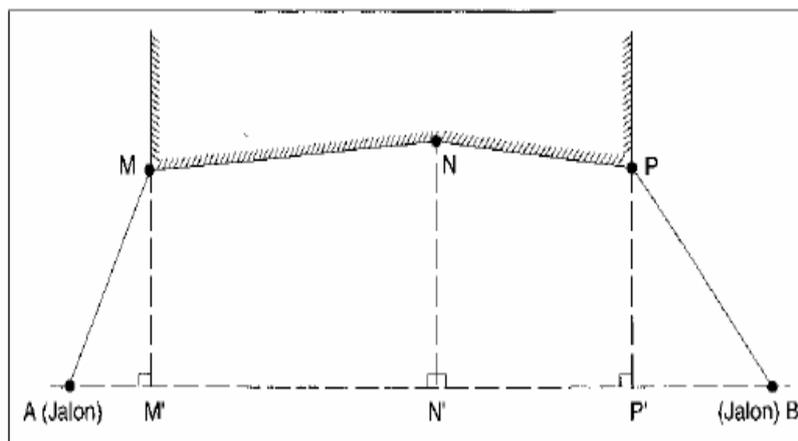


Figure III.1 Levé par abscisses et ordonnées.

La ligne d'opération est matérialisée par deux jalons. On mesure les abscisses en cumulé (AM', AN', AP'...) puis les ordonnées (MM', NN', PP'...). Les mesures doivent être contrôlées par la mesure des diagonales (AM, BP...) en utilisant le théorème de Pythagore (triangle rectangle) : $(AM)^2 = (AM')^2 + (MM')^2$ (III.1)

Pour exécuter un levé par abscisses et ordonnées, on procède aux étapes suivantes :

1. Faire un croquis général du site de travail (à lever).
2. Matérialiser la ligne d'opération à l'aide de jalons.
3. Matérialiser les points de détail à l'aide de jalons
4. Déterminer la projection des points de détail sur la ligne d'opération à l'aide de l'équerre optique.
5. Mesurer les distances entre les points projetés et les points d'appui (abscisses).

6. Mesurer les distances entre la position des points de détail et leur projection sur la ligne d'opération (ordonnées).

7. Tracer un croquis sur lequel figure la position des points de détail.

III.2 Méthode de levé

Lorsque les points de détail à lever sont relativement alignés et le terrain peu accidenté, cette méthode donne des résultats satisfaisants, par exemple, pour le lever de corps de rues. Depuis chaque point, on abaisse, à l'aide d'une équerre optique, des perpendiculaires sur une ligne d'opérations : par exemple un côté du canevas polygonal.

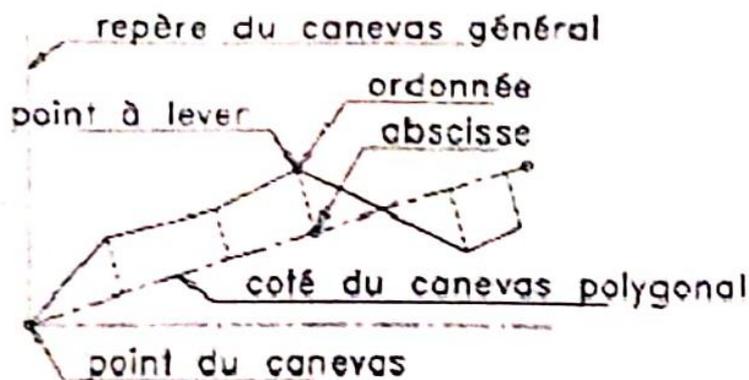


Figure III.2 Abscisses et ordonnées.

On mesure ensuite les abscisses cumulées, les ordonnées de chaque point et, pour contrôle, les distances entre ces points.

Il faut veiller au bon alignement des pieds des perpendiculaires sur la ligne d'opérations : pour cela, il est recommandé d'utiliser un théodolite.

Le report peut se faire directement sur le plan, à partir du canevas ou par coordonnées après traitement numérique. Le calcul consiste alors à effectuer un changement de base pour passer du repère du lever (côté de la polygonale) au repère du canevas générale.

Une variante de cette méthode, le levé par obliques latérales et quasi-ordonnées consiste à abaisser, à vue, les perpendiculaires sur la ligne d'opération. On mesure les abscisses cumulées, les quasi-ordonnées, les façades et les deux côtes de rattachement aux extrémités.

Des formules simples permettent ensuite de calculer les abscisses et ordonnées des différents points. Ce procédé, beaucoup plus rapide que le précédent (perpendiculaires à vue) est également adapté aux levés de corps de rue à grande échelle.

La méthode de levé par abscisses et ordonnées est décrite ci-dessous.

III.2.1 L'équerre optique

Equerre optique est un petit instrument qui permet de construire rapidement des perpendiculaires par l'alignement de jalons. Elle est associée à un fil à plomb ou mieux, à une canne à plomber sur laquelle elle est vissée. (fig.III.3)

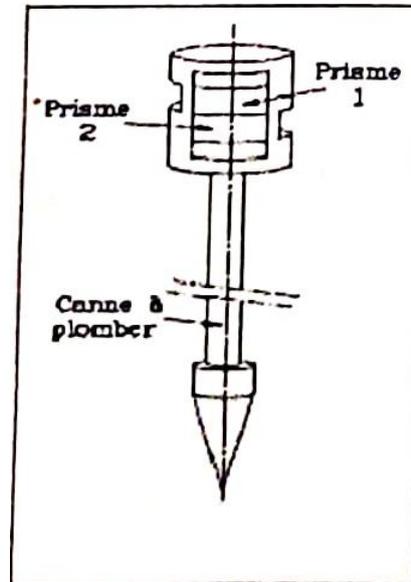


Figure III.3 Equerre optique.

La canne à plomber est le dispositif le plus stable : elle doit être tenue entre pouce et index en partie supérieure, le plus près possible de l'équerre de manière à assurer sa verticalité.

Un bon manipulateur peut obtenir une précision centimétrique, sachant que plus les jalons sont éloignés et plus le positionnement est précis.

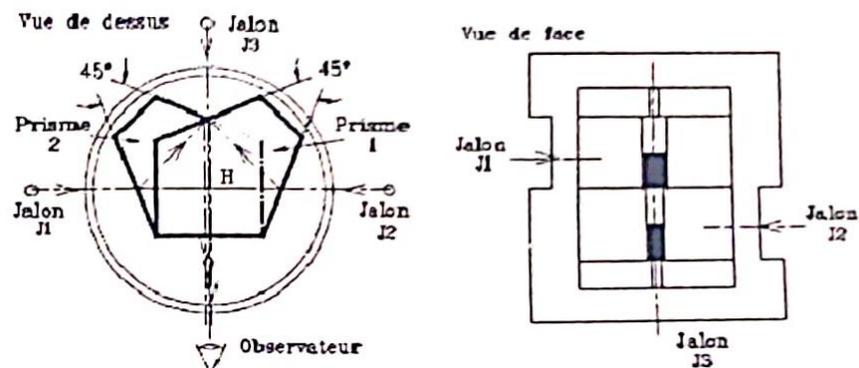


Figure III.4 Equerre optique

III.2.2 Calculs

Le fonctionnement de l'équerre optique est le suivant: deux prismes à 45° renvoient vers l'opérateur l'image de deux jalons placés l'un, J1, à 90° à gauche de l'équerre et l'autre, J2, à 90° à droite. Par une fenêtre située entre les deux prismes (ou au-dessus et au-dessous des prismes), l'opérateur peut voir un troisième jalon J3.

Lorsque les trois jalons sont alignés dans l'œil de l'opérateur cela signifie que la droite J1-J2 est perpendiculaire à la droite H-J3, H étant à la verticale du centre de l'équerre (fig. III.4.).

III.2.3 Mesures effectuées

Pour ce type de lever, l'opérateur matérialise, Par exemple avec deux jalons, une ligne de base qui sert d'axe (x) et pour chaque détail levé, il construit le pied de la perpendiculaire à l'axe (x) en alignant dans l'équerre l'image de l'objet à lever avec les deux jalons matérialisant l'axe (x) (fig. III.5.)

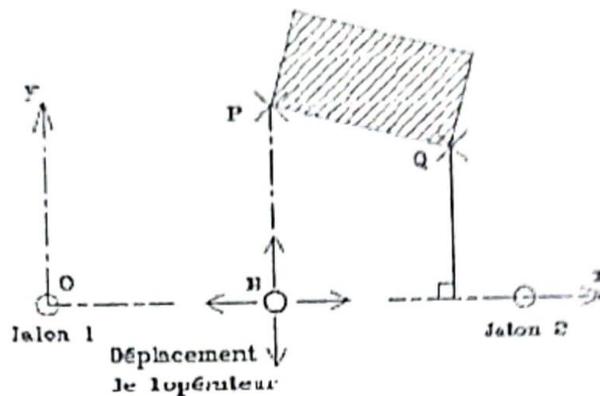


Figure III.5 Levé à l'équerre optique.

Pour un détail au sol, un aide peut y tenir un troisième jalon.

L'opérateur mesure l'abscisse cumulée OH et l'ordonnée HP du point levé qui est donc repéré en coordonnées locales. Il mesure aussi la longueur de la façade PQ (mesure surabondante de contrôle).

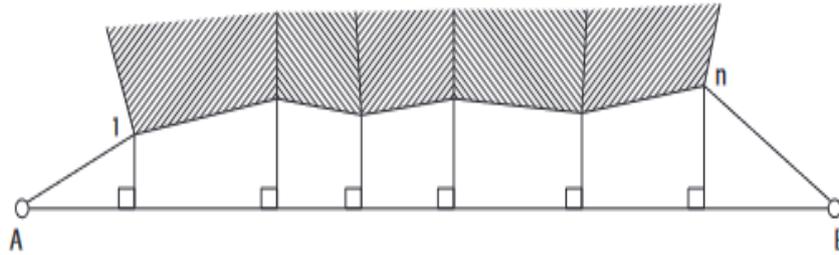


Figure III.6 Abscisses et ordonnées.

III.3 levés quasi-ordonné

Sur une ligne d'opération AB, qui est souvent un coté de cheminement polygonal; abaisser avec l'équerre optique les perpendiculaires issues des points de détail 1 à n, puis mesurer au ruban, successivement, les abscisses, les ordonnées et enfin les distances entre points consécutifs: cotes de rattachement A-1, n-B et façades.

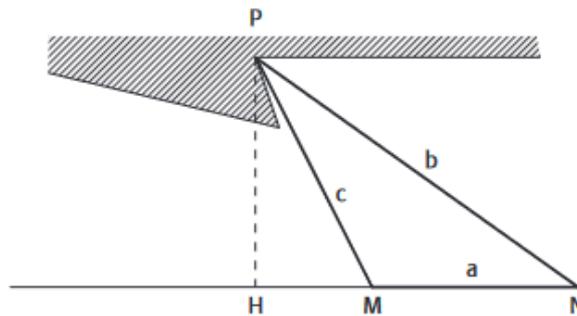


Figure III.7 Bilatération

L'abscisse et ordonnée d'un « rentrant » sont calculées à partir des cotes mesurées a, b, c.

$$NH^2 = b^2 - PH^2$$

$$\rightarrow NH^2 - MH^2 = b^2 - c^2 \rightarrow \frac{NH+MH}{2} = \frac{b^2 - c^2}{2a}$$

$$MH^2 = c^2 - PH^2$$

$$D'où \frac{NH+MH}{2} - \frac{NH-MH}{2} = MH = \frac{b^2 - c^2}{2a} - \frac{a}{2} \rightarrow PH = \sqrt{c^2 + MH^2} \quad (III.2)$$

En levé de corps de rue, établir des lignes d'opération sur chaque trottoir, reliées par des visées d'intersection par exemple la figure ci-dessous.

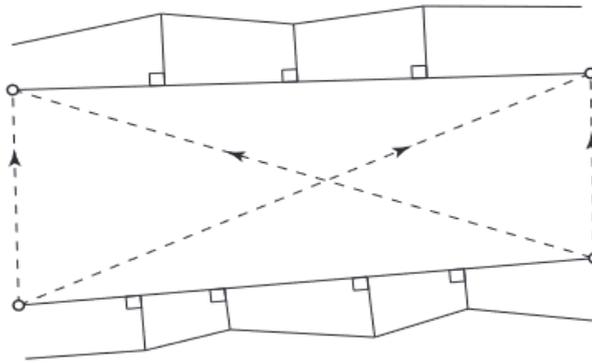


Figure III.8 Lignes d'opération reliée par intersection.

La technique des abscisses et ordonnées est celle de l'arpentage, qui détermine les superficies des parcelles par décomposition en triangles, trapèzes et quadrilatères; mise en œuvre par deux opérateurs, matériel réduit, mesures et contrôles à caractère systématique, saisie des données sur croquis, opérationnelle si les ordonnées sont courtes et le terrain peu accidenté : corps de rue par exemple.

La précision dépend surtout de l'alignement des pieds des perpendiculaires sur la ligne d'opération, que le topographe a tout intérêt à assurer au théodolite

IV.1 Définition et méthode de levé oblique latérale

Adaptation des abscisses et ordonnées, la méthode consiste à abaisser à vue, sans équerre optique, les quasi-ordonnées, en parquant leurs pieds à la craie rigoureusement alignés au théodolite sur une ligne d'opération située le plus souvent au bord du trottoir; cette technique est essentiellement mise en œuvre pour les levés de façades successives (voir la figure ci-dessus). Saisie des données sur croquis.

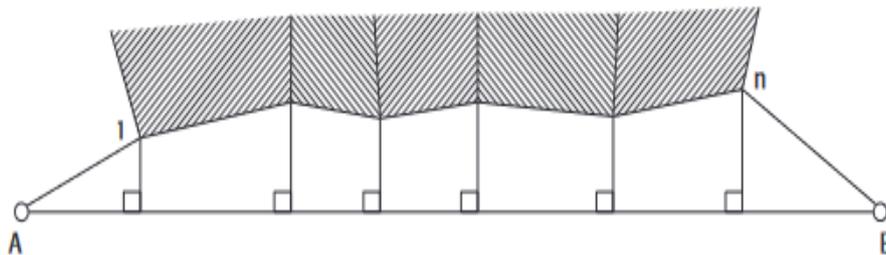


Figure IV.1 Quasi-ordonnées.

IV.2 Calculs

Soit X l'abscisse et Y l'ordonnée du point 1 sur la ligne d'opération AB (voir figure IV.2); les opérateurs mesurent au ruban, au centimètre près, la cote de rattachement a, appelée oblique latérale, et la quasi-ordonnée c.

En pratique, c correspond à la largeur du trottoir soit quelques mètres, a est plus grand que 3c, d'où la double approximation:

$$x \approx \sqrt{a^2 - c^2} \text{ et } y \approx c ; \text{ en effet : } |dx| = \left| -\frac{c}{\sqrt{a^2 - c^2}} dc \right| \text{ Inférieur au centimètre.} \quad (\text{IV.1})$$

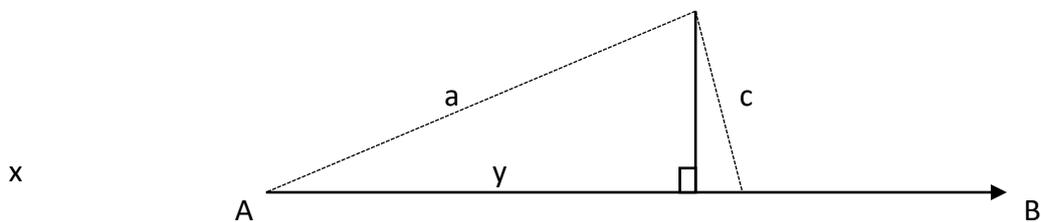


Figure IV.2 Coordonnées et quasi-ordonnée.

Pour une suite de façade, lesquelles jouent le rôle d'obliques latérales, enchaîner les calculs de A à B en ajustant les abscisses partielles à la longueur AB connue ou mesurée.

Report après calcul par abscisses et ordonnées, ou sans calcul par approximations successives, pour un plan graphique à très grande échelle.

Technique plus rapide et plus précise que les abscisses et ordonnées.

Chapitre V Implantation

V.1 Introduction

Le plan d'un ouvrage donne une grande satisfaction à l'architecte qui l'a réalisé, mais sa réalisation sur site lui apportera certainement plus. Avant de construire un ouvrage, il faut l'implanter. C'est-à-dire tracer la forme de l'ouvrage sur le terrain en consultant les plans fournis par l'architecte. En somme, l'implantation représente l'inverse du levé. Dans ce chapitre, divisé en deux sections, vous apprendrez à implanter un point à l'aide de deux méthodes : par abscisses et ordonnées ainsi que par coordonnées polaires (rayonnement). Vous apprendrez également à implanter une courbe circulaire à l'aide des mêmes méthodes.

V.2 Méthodes d'implantation

L'implantation consiste à matérialiser sur un terrain la position exacte d'un ouvrage d'art. D'une construction, de l'axe d'une route, etc. à partir de leur représentation sur le plan fourni.

On utilise surtout deux méthodes pour implanter un point en planimétrie:

- l'implantation par abscisses et ordonnées ;
- l'implantation par coordonnées polaires.

On utilise une méthode pour implanter un point en altimétrie:

- Implantation altimétrique

Le choix de l'une ou l'autre des méthodes dépend de l'appareillage dont on dispose et de la configuration du terrain. Ainsi, on aura recours à la méthode par abscisses et ordonnées si l'on dispose d'une équerre optique et que le terrain est sensiblement plat. En outre, les points d'appui qui constituent la ligne d'opération devront être matérialisés sur le terrain.

En revanche, si l'on utilise un théodolite ou un tachéomètre et que le terrain est accidenté, on utilisera la méthode par coordonnées polaires. Dans ce manuel, on se limitera à l'étude de la méthode d'implantation par rayonnement (coordonnées polaires).

- **L'implantation est une opération délicate et importante dont les erreurs peuvent engendrer de graves conséquences (alignements non respectés, chevauchement sur propriétés voisines, etc.). On doit donc réaliser cette tâche avec soin et précision.**

V.2.1 Implantation par rayonnement (coordonnées polaires)

L'implantation par rayonnement prend le point 1 comme pôle et la ligne 1 2 comme axe polaire (figure V.1).

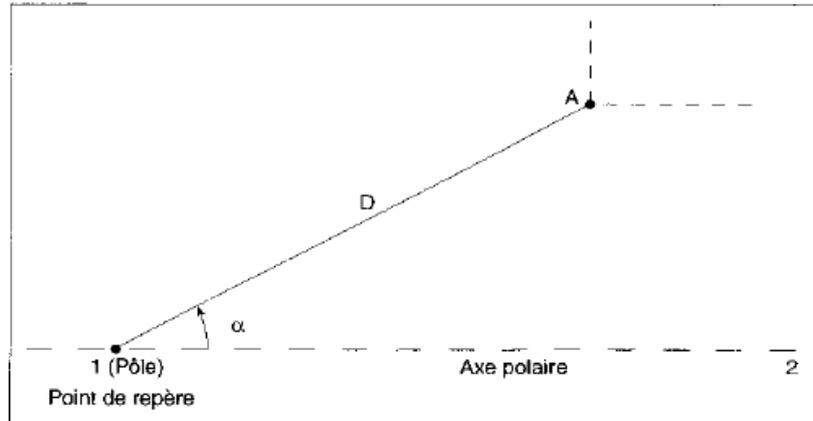


Figure V.1 Implantation par rayonnement.

La position de point A peut alors être implantée à partir du point de repère 1 à l'aide

- de la distance (D),
- de l'angle (α)

Ces deux valeurs (D et α) constituent les coordonnées polaires du point A sur le terrain.

Exemple :

On veut implanter un bâtiment (figure V.2). On dispose d'un tachéomètre pour les mesures angulaires et d'un ruban d'acier pour mesurer les distances. L'une des bornes du bâtiment (A) est définie par les coordonnées polaires suivantes, mesurées à partir d'un point de repère 1 (pôle) - distance (D) = 20 m

- angle (α) = 50 gr

- angle topographique à implanter = 400 - x

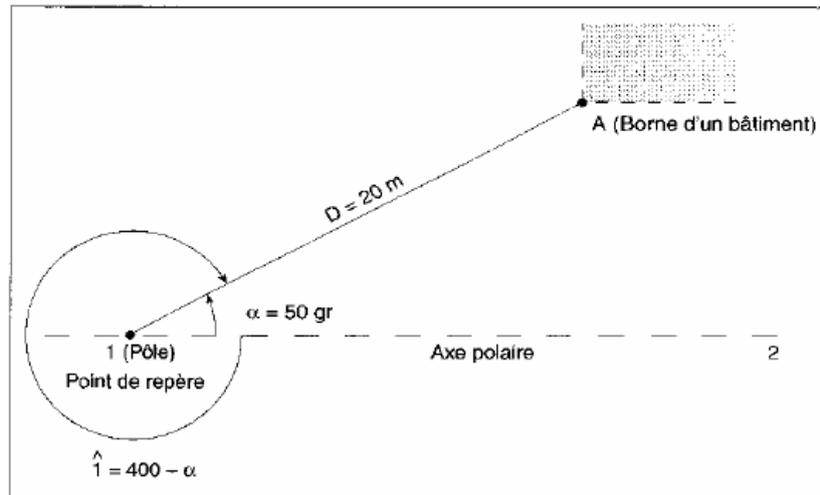


Figure V.2 Exemple d'implantation par rayonnement.

En pratique, on détermine les coordonnées polaires (D et α) comme suit :

1. Faire la mise en station de l'appareil topographique (tachéomètre) au point 1.
2. Bloquer le cercle horizontal sur la valeur $Lg = 0,0000$ gr.
3. Viser le point 2 à l'aide de la lunette de l'appareil.
4. Libérer le cercle horizontal et faire tourner l'appareil jusqu'à ce que la valeur de l'angle 400 gr - α 's'affiche ;
5. Matérialiser la direction à l'aide d'un jalon.
6. Reporter la distance (D) à l'aide d'un ruban d'acier et matérialiser définitivement le point à l'aide d'un piquer.

V.2.2 Implantation par abscisse et ordonnée

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 xP sur AB (point H) puis on trace la perpendiculaire à AB passant par H et on y reporte la cote yP, (fig. 5.3).

On contrôle que $AP^2 = XP^2 + YP^2$.

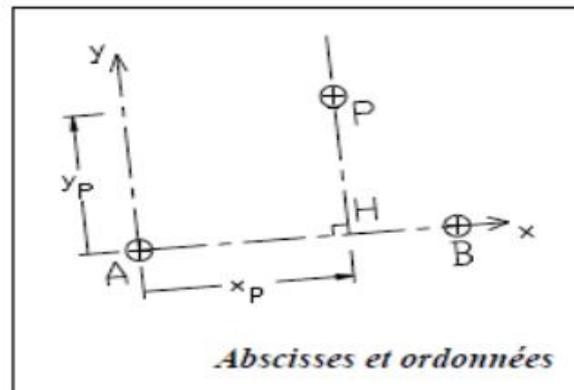


Figure V.3 Implantation par abscisse et ordonnées.

V.2.3 Implantation altimétrique

L'implantation altimétrique consiste à matérialiser sur le terrain des points dont l'altitude est connue sur un plan d'urbanisme ou sur le profil d'un axe (d'une route, d'un chemin de fer, d'un réseau d'égout, etc.)

Voici comment procéder à l'implantation altimétrique d'un point (B) ayant par exemple une altitude $H_B = 1121,00$ m (figure V.4).

1. Mettre l'appareil (tachéomètre) en station sur un point de repère dont l'altitude est connue (par exemple $H_R = 1120,00$ m).
2. Mesurer la hauteur de l'appareil (par exemple $h_a = 1,60$ m) après avoir effectué le réglage nécessaire du tachéomètre.
3. Déterminer l'altitude du plan de nivellement :

$$H_{PN} = \text{Altitude du point de repéré } (H_R) + \text{hauteur de l'appareil } (h_a)$$

$$H_{PN} = 1120 + 1,6$$

$$H_{PN} = \mathbf{1121,60 \text{ m.}}$$

4. Calculer la lecture avant qui doit s'afficher sur la mire afin que son pied suive le profil désiré. Lecture avant = $H_{PN} - H_B$

$$\text{Lecture avant} = 1121,60 - 1121$$

$$\text{Lecture avant} = 0,6 \text{ m}$$

5. Tracer une marque sur un piquet en bois indiquant l'altitude du point désiré (H_B).

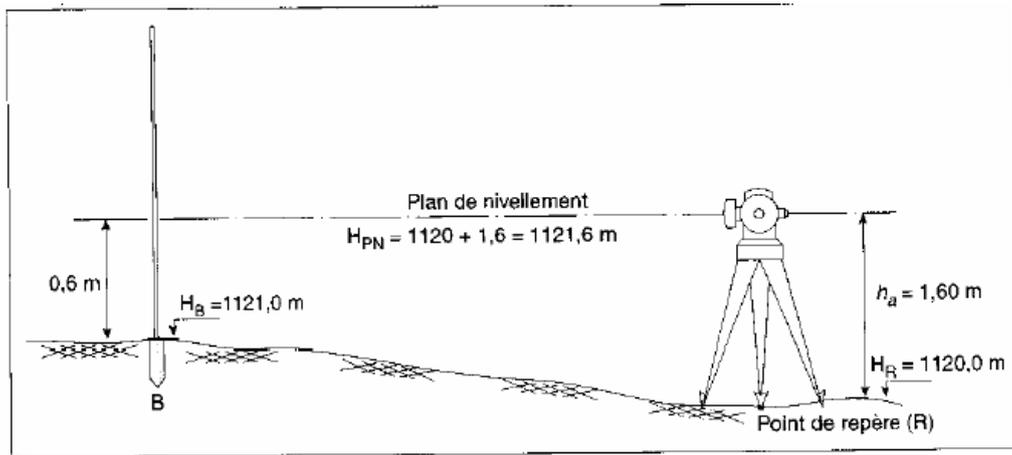
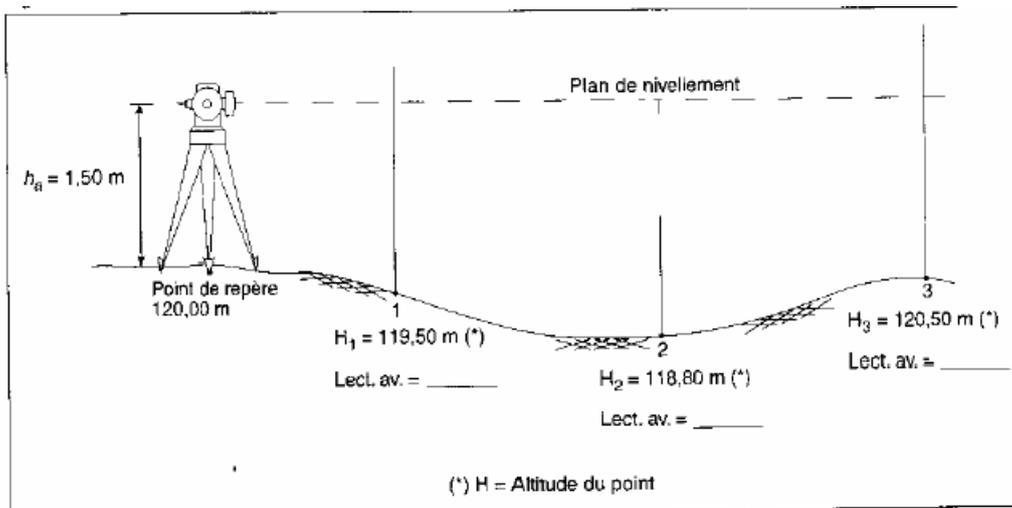


Figure V.4 Implantation altimétrique.

Exercice 1.

Soit à implanter l'altitude des points d'un profil constitué l'axe d'une route par exemple figure ci-dessous



- Décrivez la marche à suivre pour implanter les points de ce profil.
- Calculez les valeurs des lectures avant qui doivent s'afficher sur la mire pour les différents points du profil représenté sur la figure ci-dessus.

RESUMÉ

- L'implantation est l'inverse du levé.
- On distingue deux types d'implantations :
 - l'implantation planimétrique ;
 - l'implantation altimétrique.
- **L'implantation planimétrique** par rayonnement et par abscisse et ordonnée est basée sur le choix :
 - d'une station comme pôle ;
 - d'une ligne d'opération comme axe polaire...
- **L'implantation altimétrique** consiste à matérialiser sur le terrain des points dont l'altitude est connue.

V.3 Les techniques d'implantation

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

V.3.1 Implantation d'alignements droits

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

a. Méthode du 3-4-5

Les 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 : $52 = 42 + 32$.

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 « triangle rectangle ». Elle s'applique aussi pour des longueurs quelconques mais nécessite alors l'emploi de la calculatrice. D'autres suites de chiffres possibles sont $10^2 = 8^2 + 6^2$, $15^2 = 12^2 + 9^2$, etc. (multiples de 3, 4 et 5).

Pratiquement, si l'on dispose d'un ruban de 30 m, un aide maintient l'origine du ruban en D, un autre aide maintient l'extrémité du ruban en C et l'opérateur maintient ensemble les graduations 5 m et 26 m du ruban (fig. V.5. à gauche).

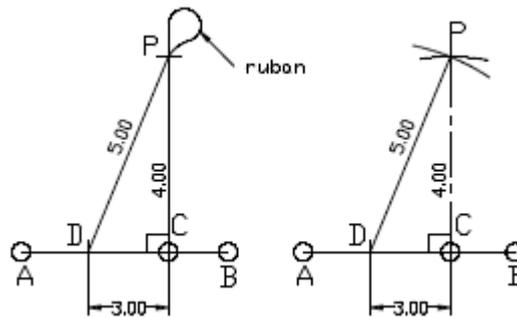


Figure V.5 Méthode du 3.4.5

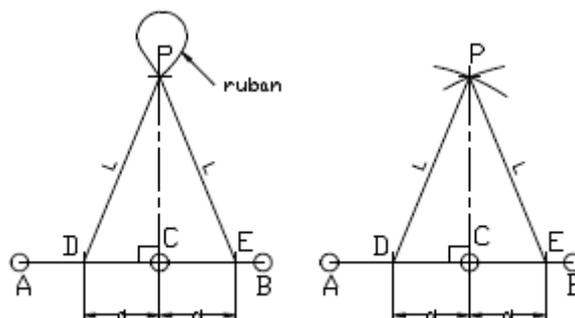
Si l'on ne dispose que d'un seul aide, on peut marquer au sol un arc de cercle de centre D et de 5 m de rayon et prendre l'intersection avec un arc de cercle de 4 m de rayon centré en C (fig. V.5 à droite).

On contrôlera que $AP^2 = AC^2 + CP^2$.

b. Méthode du 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.

Pratiquement, si l'on dispose d'un ruban de 30 m, un aide maintient l'origine du ruban en D, un autre aide maintient l'extrémité du ruban en E et l'opérateur joint les graduations 13 m et 17 m, ou 14 m et 16 m, etc. (fig. V.6. à gauche).



FigureV.6 Tracer une perpendiculaire au ruban.

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 (fig. V.6. à droite).

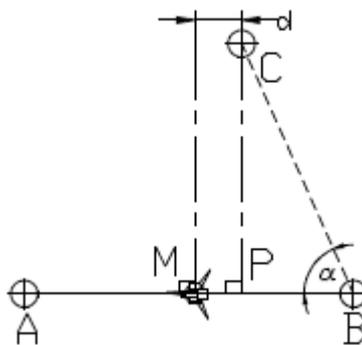
Le **contrôle** est effectué en vérifiant que $BP^2 = BC^2 + CP^2$.

c. Méthode du rayonnement

Pour implanter un point, on peut simplement utiliser une méthode dite du rayonnement (ou de la triangulation), qui consiste à calculer les distances du futur point avec les deux points A et B connus. Cette technique est la plus simple, elle permet de ne pas cumuler d'erreurs en implantant des points à partir d'autres points eux-mêmes déjà implantés à partir d'autres, mais la limite de cette technique est la taille des implantations à faire, car le terrain ne se prête pas forcément à des implantations sur de longues distances (talus, mauvaise qualité de sol, passage d'engins).

Si le point donné C est sur l'alignement AB (fig. V.7), il suffit de stationner C, de viser A (ou B) et de pivoter l'appareil de 100 gon (ou 300 gon).

Si le point C est extérieur à l'alignement AB (fig. V.7), une possibilité consiste à construire une perpendiculaire d'essai en stationnant un point M de l'alignement AB, choisi à vue proche de la perpendiculaire cherchée. L'opérateur mesure la distance d séparant la perpendiculaire d'essai et le point C et construit le point P sur AB en se décalant de la même distance d . Il obtient une précision acceptable en répétant l'opération deux ou trois fois.

**FigureV.7** méthode du rayonnement.

d. Méthode avec une équerre optique

On place un jalon en A et en B (fig.V.8). 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.

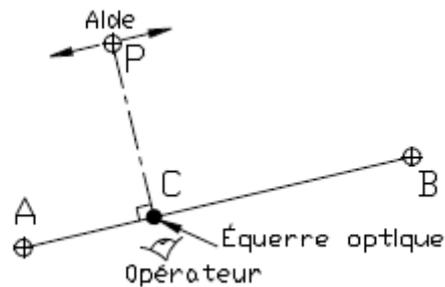


Figure V.8 Equerre optique.

V.3.2 Implantation Des Courbes Circulaires

On sait que le tracé d'une route, comme celui de toute autre voie de communication, se compose d'alignements droits raccordés par des courbes circulaires. Pour implanter un alignement droit, deux points principaux suffisent, entre lesquels il est facile de mettre en place des points intermédiaires. Par contre, pour implanter une courbe, on a besoin de connaître un certain nombre de paramètres (points de tangence, alignements droits et leur point d'intersection, rayon...).

a. Paramètres D'une Courbe Circulaire

Avant d'appliquer les méthodes d'implantation des courbes circulaires, on doit avoir les données de départ suivantes (figure V.9).

- angle au sommet (S) = α , à partir duquel on peut calculer l'angle au centre (β) comme suit :
- angle au centre (C) = $\beta - 200 \text{ gr} - \alpha$.
- rayon de raccordement R;
- points de tangence T et T'

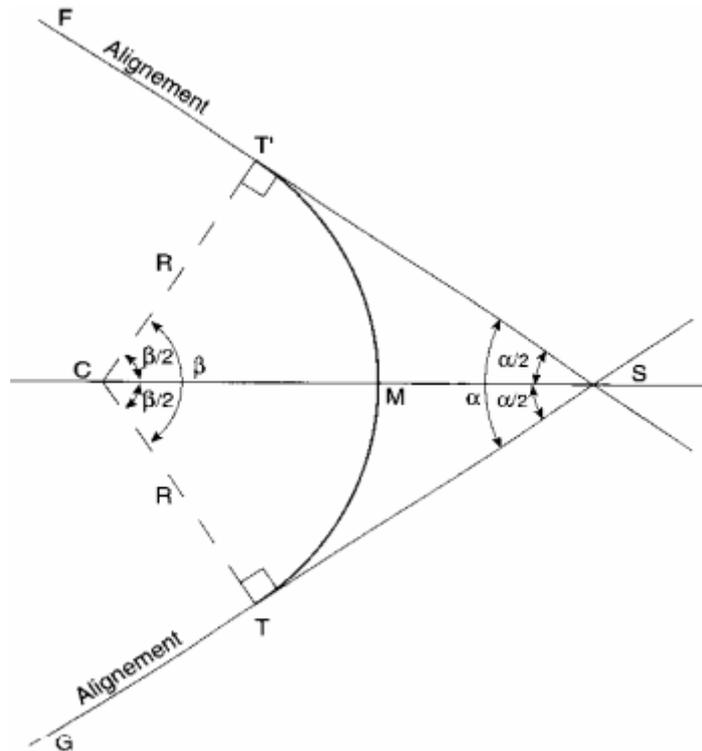


Figure V.9 Paramètre d'une courbe circulaire

b. Calcul des paramètres

Voici comment procéder au calcul des tangentes ST et ST' (position des points de tangence T et T') dans les triangles rectangles STC et ST'C.

On a :

$$\text{Tg} (\beta/2) = \frac{ST}{TC}$$

D'où :

$$\mathbf{ST = TC \operatorname{tg} (\beta/2) = R \operatorname{tg} (\beta/2)} \quad (\text{V.1})$$

De plus, $ST = ST'$. (Les deux triangles, STC et ST'C, sont semblables.)

Pour implanter la courbe, on doit aussi procéder au calcul de SM (position du point M), de telle sorte que ce point soit situé au milieu de la courbe TT'. Pour ce faire, on applique la formule suivante:

$$\text{Sin} (\alpha/2) = \frac{R}{R+SM}$$

D'où :

$$R+SM = \frac{R}{\text{SIN} (\frac{\alpha}{2})}$$

donc :

$$SM = \frac{R}{\text{SIN} (\frac{\alpha}{2})} - R$$

Exemple :

On doit calculer la position des points de tangence T et T' d'une courbe circulaire ainsi que la position du point M, situé au milieu de cette courbe. On dispose des données suivantes :

- Angle au sommet (S): $\alpha = 100$ gr
- Angle au centre (C) - $\beta = 200 - \alpha$
 $\beta = 200 - 100$
 $\beta = 100$ gr
- Rayon de raccordement (R) = 200 m

Calcul des paramètres

- a) Calcul des tangentes ST et ST' (position des points de tangence T et T')

$$ST = ST' = R \operatorname{tg} (\beta/2)$$

$$ST = ST' = 200 \operatorname{tg} (100/2)$$

$$ST = ST' = 200 \operatorname{tg} (50)$$

$$ST = ST' = 200 \times 1$$

$$\mathbf{ST = ST' = 200 \text{ m}}$$

- b) Calcul de SM (position du point M)

$$SM = \frac{R}{\operatorname{SIN} \left(\frac{\alpha}{2} \right)} - R$$

$$SM = \frac{200}{\operatorname{SIN} \left(\frac{100}{2} \right)} - 200$$

$$SM = \frac{200}{\operatorname{SIN} 50} - 200$$

$$SM = \frac{200}{0.707} - 200$$

$$\mathbf{SM = 82,84 \text{ m}}$$

V.3.3 Méthodes D'implantation Des Courbes Circulaires

Il existe plusieurs procédés d'implantation des courbes circulaires, dont les plus courants sont

- l'implantation **par abscisses et ordonnées** sur la tangente ;
- l'implantation par **coordonnées polaires** (rayonnement).

a. Implantation d'une courbe circulaire par abscisses et ordonnées

Pour implanter une courbe circulaire par abscisses et ordonnées, on doit connaître les données suivantes (figure V.10) :

- alignements droits GT'et FT';
- points de tangence Tet T';
- rayon (R).

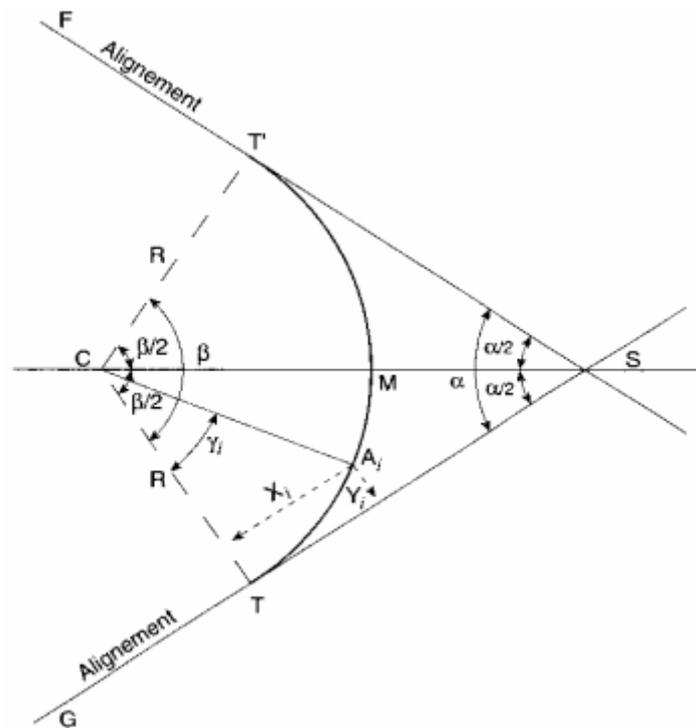


Figure V.10 Implantation d'une courbe circulaire par abscisses et ordonnées

L'alignement TS est considéré comme l'axe des abscisses. Pour implanter les points de la courbe (A_i) par abscisses et ordonnées sur la droite TS, il est indispensable de calculer les coordonnées (X_i, Y_i) de ces points :

$$X_i = 1, 2, 3... n = R \sin \gamma_i$$

$$Y_i = 1, 2, 3...n = R (1 - \cos \gamma_i) \quad (V.2)$$

Pour calculer les coordonnées (X_i, Y_i) du point $A_i = 1, 2, 3... n$, on adoptera pour l'angle ($\gamma_i = 1, 2, 3...n$) des valeurs rondes et successives habituellement des multiples de 10 gr (10gr, 20gr, 30gr, etc.).

- **Sur le terrain, il suffit de prolonger l'alignement GT avec un appareil topographique et d'implanter le point A; par abscisses et ordonnées.**

Pour implanter une courbe circulaire par abscisses et ordonnées, on utilise la méthode décrite dans l'exemple suivant :

Soit à implanter les points de la courbe dont le rayon $R = 300$ m et l'angle au sommet $\alpha = 73.89$ gr.

1. Déduire la valeur de l'angle $\beta/2$:

$$\beta = 200 \text{ gr} - \alpha \text{ (rappelons que } \beta + \alpha = 200 \text{ gr)}$$

$$\beta = 200 - 73,89$$

$$\beta = 126,11 \text{ gr}$$

$$\beta/2 = 126,11/2 = \mathbf{63,05 \text{ gr}}$$

2. Diviser $\beta/2$ par des angles γ_i multiples de 10 gr ($i = 1, 2, \dots, 7$). Ainsi, $\gamma_1 = 10$ gr. $\gamma_2 = 20$ gr. $\gamma_3 = 30$ gr, $\gamma_7 = \beta/2 = 63.05$ gr.

Les coordonnées des points de la courbe à implanter sont indiquées dans le tableau V.1

Tableau V.1 Coordonnées (X_i, Y_i) des points de la courbe à implanter

Points A_i $I = 1, 2, \dots, 7$	Angle γ_i (gr)	$X_i = R \sin \gamma_i$ (m)	$Y_i = R (1 - \cos \gamma_i)$ (m)
A1	10	46.93	3.69
A2	20	92.70	14.68
A3	30	136.19	32.69
A4	40	176.33	57.29
A5	50	212.13	87.86
A6	60	242.70	123.66
A7	63.05 ($\beta/2$)	250.87	135.49

1. Procéder de la même façon pour l'autre côte (T'M) en utilisant T'' comme origine. La solution au problème précédent apparaît à la figure V.7

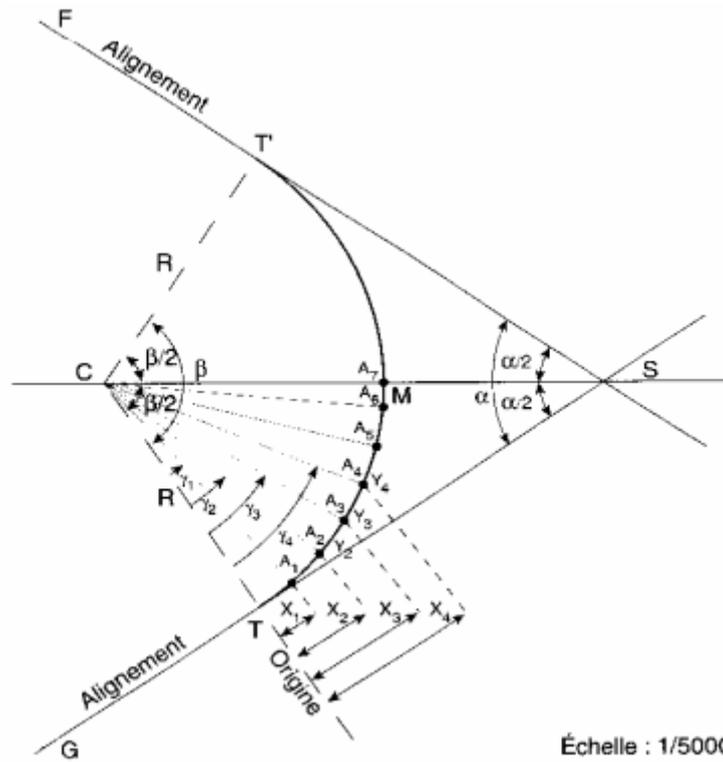


Figure V.11 Implantation d'une courbe circulaire par des abscisse et ordonnées.

b. Implantation d'une courbe circulaire par rayonnement

Pour implanter une courbe circulaire par rayonnement on doit disposer des données (figure V.12):

- alignements droits GT et FT'
- Rayon (R)

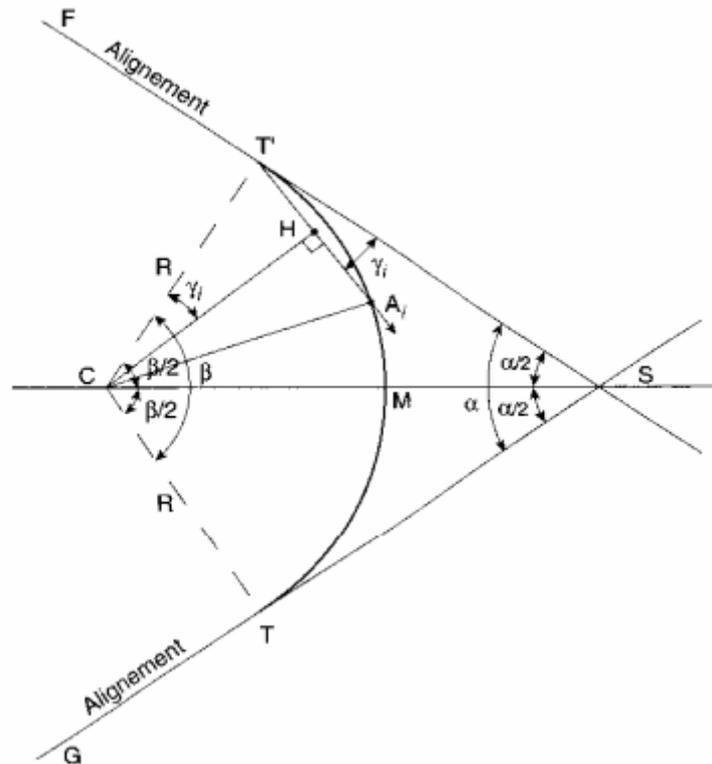


Figure V.12 Implantation d'une courbe circulaire Par rayonnement

On procède comme suit :

Dans le triangle isocèle $CT'A_i$, la hauteur CH coupe la corde $T'A_i$, en son milieu. L'angle (\widehat{TCH}) et l'angle $(\widehat{STA_i})$, dont les cotés sont perpendiculaires sont égaux : $\widehat{STA_i} = \widehat{TCH} = \gamma_i$

D'autre part :

$$TH = HA_i = l/2 - R \sin \gamma_i \quad (V.3)$$

dans laquelle : l : longueur de la corde $T'A_i$,

$$D'où : T'A_i = l = 2R \sin \gamma_i,$$

En prenant T comme point d'origine et avec des valeurs de l'angle γ et de la corde $T'A_i$, on peut implanter les différents points de la courbe $T'MT$.

- **Selon la densité des points à implanter sur la courbe circulaire, on choisit un angle γ arbitraire, généralement 10 gr, et ses multiples $2\gamma, 3\gamma$, etc.**

Exemple :

Soit à implanter par rayonnement les points d'une courbe circulaire dont les paramètres sont les suivants :

- Rayon (R) - 300 m;

- angle au sommet (α) = 73,89 gr.

On procède de la manière suivante :

1. Calculer l'angle au centre (β) :

$$\beta = 200 - \alpha$$

$$\beta = 200 - 73,89$$

$$\beta = 126,11 \text{ gr}$$

$$\text{Donc: } \beta/2 = 126,11/2 = \mathbf{63,05 \text{ gr}}$$

2. Adopter pour l'angle γ_i , des valeurs rondes et successives multiples de 10 gr (10 gr, 20 gr, 30 gr, 40 gr, 50 gr, 60 gr, 63,05 gr).

3. Calculer la valeur de la corde T'A, pour chaque valeur de l'angle γ , en utilisant la formule suivante : $T'A = 2R \sin \gamma_i$: (figure V.17)

Tableau V.2 Résultats des valeurs de la corde

Angle γ_i (gr)	Longueur de la corde $TA = 2R \sin \gamma_i$ (m)
10	93.86
20	185.41
30	272.39
40	352.67
50	424.26
60	485.41
63.05	501.74

2. Prendre T' comme point d'origine et, avec les différentes valeurs de l'angle γ et de la corde T'A, implanter les différents points de la courbe T'MT (figure V.13).

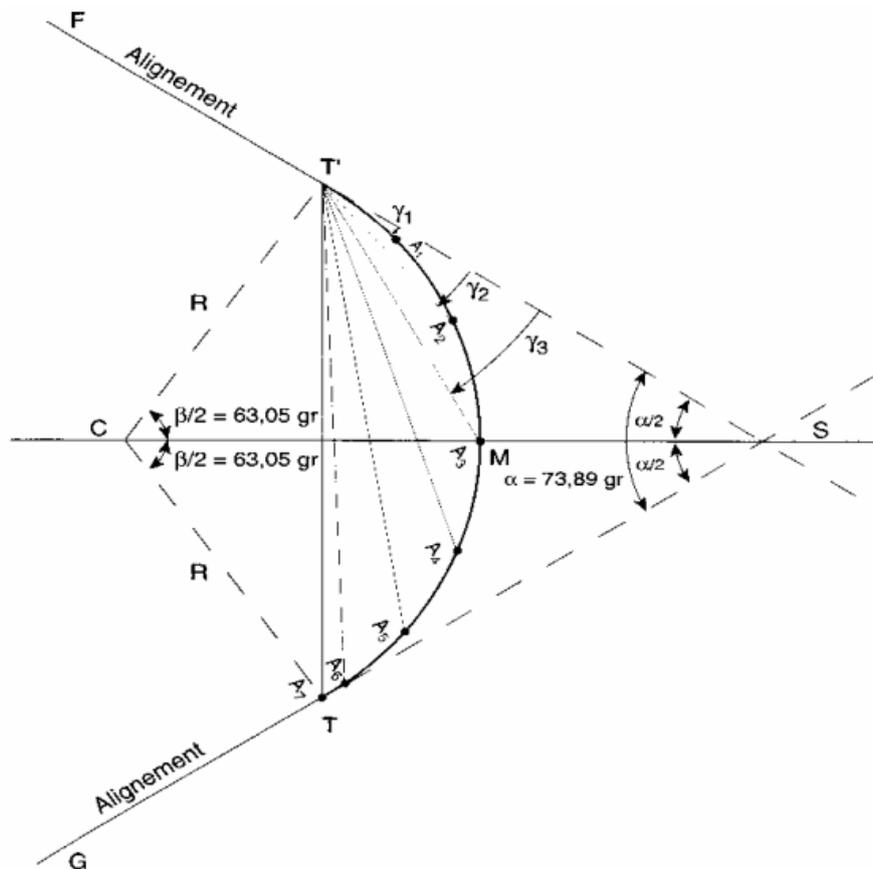


Figure V.13 exemple d'implantation par rayonnement.

Résumé

- Pour implanter une courbe circulaire, on a besoin de connaître un certain nombre de paramètres (points de tangence, alignements droits et leur point d'intersection, rayon).
- Il existe deux procédés d'implantation des courbes circulaires :
 - l'implantation par abscisses et ordonnées;
 - l'implantation par rayonnement.....

V.4 Implantation d'un bâtiment

Pour effectuer une implantation d'un bâtiment sur le terrain on doit regarder le plan de masse ou ce bâtiment est présenté avec les coordonnées X et Y dans les coins aux diagonales de la construction. Puis on doit matérialiser ces coordonnées sur le terrain avec des piquets en bois ou en fer. On peut faire cette opération avec le théodolite quand on sorte d'une borne en béton existante du système de coordonnées du chantier. On doit faire les mesures pour les distances obligatoire avec la roulette car l'exactitude des mesures des distances optique n'est pas suffisante. Quand les coins sont déjà matérialisés avec les piquets on doit prendre le plan de la fouille du bâtiment pour voir les talus. Les talus dépendent du sol et du sous-sol, s'il ya dans la construction du bâtiment. Ça nous montre à quelle distance on doit transmettre les piquets pour les garder pendant le déblai et comment on eut les restaurer plus tard. Sur cette position des piquets on fait une construction en bois qui entoure la fouille et sur laquelle avec des clous sont fixés les axes et les rangs du bâtiment. Cette construction porte le nom la chaise. Quand on sait le déplacement on poser le théodolite sur les clous de la chaise et de restaurer chaque axe ou rang pendant le travail.

Quand il n'y a pas un plan de masse on doit faire les mêmes opérations en sortant des distances fixées des autres bâtiments, existants sur le terrain.

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.

V.4.1 Piquetage de l'emprise des terrassements

On matérialise cette emprise par les limites extérieures des terrassements, axes AA', BB', CC', etc. de la figure 5.14., les piquets étant placés en dehors de la zone à terrasser.

Pratiquement, le piquetage est réalisé par les méthodes traitées au paragraphe 1 et 2 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.

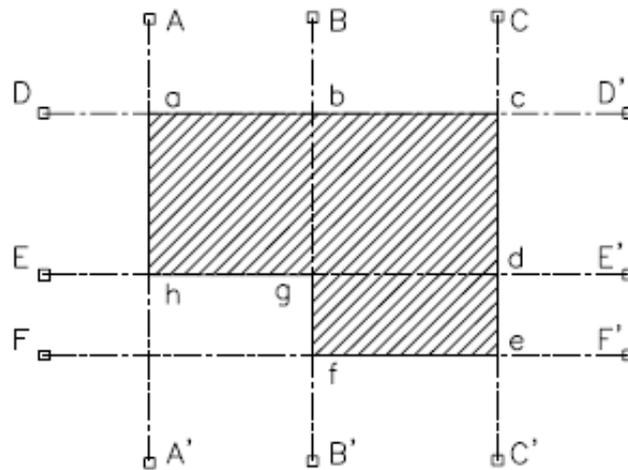


Figure V.14 Piquetage d'un terrassement.

V.4.2 Positionnement des chaises d'implantation

Une chaise d'implantation (fig. V.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 (fig. V.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.

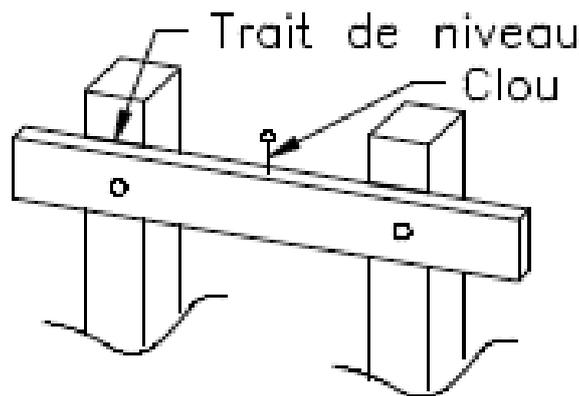


Figure V.15 Chaise d'implantation

Les chaises matérialisent en général l'axe longitudinal du bâtiment, l'axe des fondations ou des murs à planter (fig. V.16.). Elles sont plantées en retrait de la zone de travaux (1 à 2 m)

et les cordons ou fils de fer tendus entre les chaises représentent les axes à implanter (fig. V.16. et V.17.).

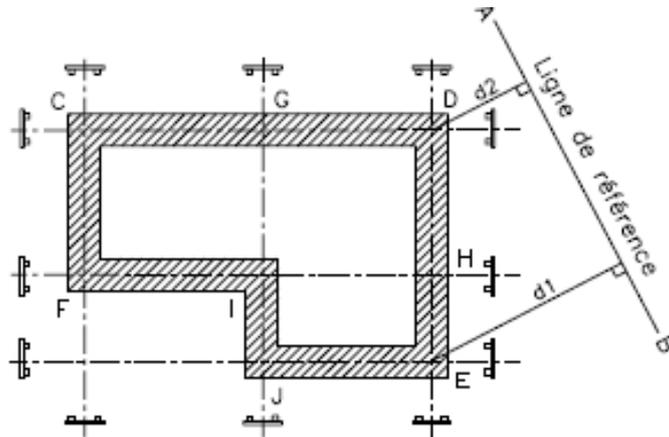


Figure V.16 Position des chaises d'implantation

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 (fig. V.16.) 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.

V.4.3 Report des points d'axe en fond de fouilles

Les points d'axe sont reportés au sol sur le béton de propreté en fixant un fil à plomb à l'un des cordons. Les points d'intersection des axes sont obtenus de même en faisant coulisser le fil à plomb attaché à un cordon jusqu'à ce qu'il touche un cordon perpendiculaire (fig. V.17).

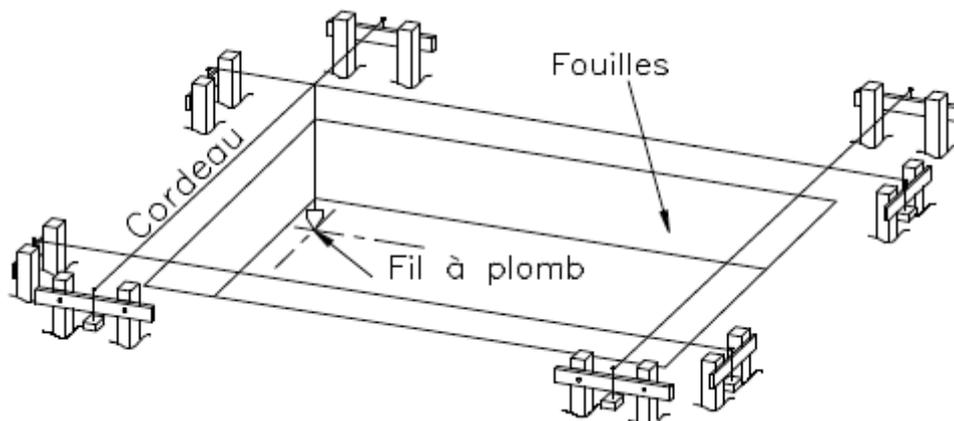


Figure V.17 Report de point d'axe en fond de fouille

V.4.4 Exemple d'implantation

Le plan de masse de la construction (fig. V.18.) précise le retrait d_1 du bâtiment par rapport à l'alignement public (route) ; d_1 doit être supérieur à une valeur minimale fixée par les services publics. Le plan de masse précise aussi la distance d_2 à la limite de propriété voisine ; d_2 est, elle aussi, supérieure à une valeur minimale. Il fixe en outre l'orientation du bâtiment par l'angle α entre son axe longitudinal et l'alignement public servant de référence.

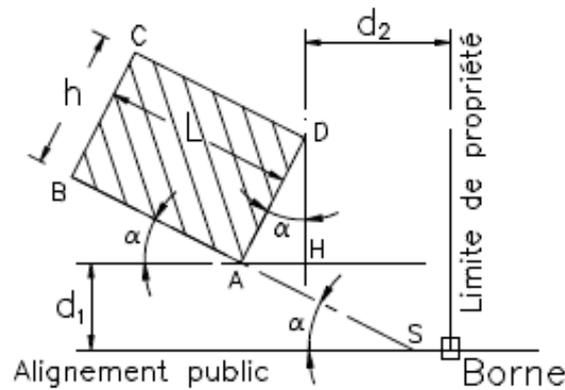


Figure V. 18 Exemple général

Plusieurs méthodes sont possibles :

1 - Sur un terrain régulier et à peu près horizontal, construisez avec un ruban et des jalons l'alignement DH parallèle à la limite de propriété à la distance d_2 . Construisez l'alignement AH parallèle à l'alignement public à la distance d_1 , puis déduisez en le point H d'intersection de ces alignements. Reportez la distance $h \cdot \sin \alpha$ depuis H vers le point A et la distance $h \cdot \cos \alpha$ vers le point D. Construisez ensuite l'alignement BA en implantant l'angle α depuis l'alignement AH. BC et CD sont enfin parallèles à AD et AB à des distances L et h .

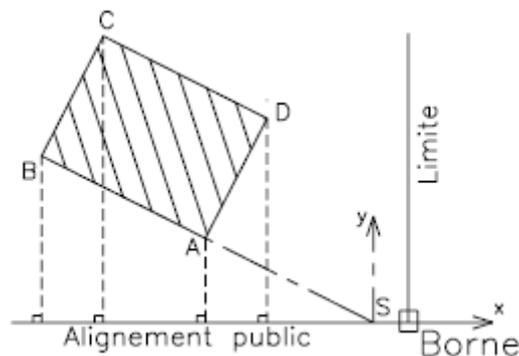


Figure V.19 Repère local d'implantation

2 - En terrain plus accidenté il est préférable de procéder avec un ruban et une équerre optique : calculez les coordonnées rectangulaires des points A, B, C et D dans le repère (S,x,y) (fig. V.19) et implantez ces points par abscisses et ordonnées.

Il faut d'abord positionner S à partir de la borne B :

$$D_{SB} = d_2 + h.\sin\alpha - d_1.\cotan\alpha. \quad (V.4)$$

Les coordonnées des points à implanter sont les suivantes :

$$A (-d_1.\cotan\alpha ; d_1)$$

$$B (-d_1.\cotan\alpha - L.\cos\alpha ; d_1 + L.\sin\alpha)$$

$$C (-d_2 - L.\cos\alpha ; d_1 + h.\cos\alpha + L.\sin\alpha)$$

$$D (-d_2 ; d_1 + h.\cos\alpha)$$

3 - En terrain très accidenté, il vaut mieux utiliser un théodolite et un ruban ou un distancemètre: à partir des coordonnées de A, B, C et D dans le repère (S,x,y), implanter en coordonnées polaires depuis une station en S, référence en B.

Remarque

Si le terrain présente des dénivelées importantes par rapport aux distances horizontales à implanter, il faut en tenir compte dans les distances à reporter : pour cela, on reporte la distance suivant la pente $D_p = \sqrt{(Dh)^2 + (\Delta H)^2}$, la dénivelée DH étant mesurée par nivellement direct ou indirect.

Dans tous les cas, **il faut contrôler les cotes extérieures du bâtiment et les diagonales...**

Références bibliographiques

1. A.G.Heerbrugg, "Topographie et navigation, laica - wild GPS system", gosystems 1992
2. L. Lapointe, G. Meyer "Topographie appliquée aux travaux publics, bâtiment et levés urbains", Eyrolles, Paris, 1986.
3. R. D'hollander, "Topographie générales, tome 1 et 2", Eyrolles, Paris, 1970.
4. M. Brabant, "Maîtriser la topographie", Eyrolles, Paris, 2003.
5. S. Milles, J. Lagofun, "Topographie et topométrie modernes". Tome 1 et Tome 2. Eyrolles, Paris, 1999.
6. L.R. Ngouajio M. « Cours de Technologie Topographique et Calculs Topométrie ». Module 3 : Notion de topométrie et Topométrie, 2015.
7. G. Durbec. « Méthodes de Levés-Altimétrie », 1985.
8. B. Dubusson, « Cours Elémentaire de Topographie », 1974.
9. E. P. Lauzon et R. Duquette, « Topometrie Générale », 1980.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)		
point	Angles (gr)	Gisements (gr)	Distances (m)	ΔX brut (m)	Cx (mm)	ΔY brut (m)	Σ (mm)	Cordonnées relatives Compensées		Coordonnées définitive		point
								AX(m)	ΔY (m)	X(m)	Y(m)	
L	60.6208	189.6292										L
A												
1	219.7500	2620	102.20	72.56	+17	71.97	+0	72.577	71.970			
		0240										
2	227.6700		98.40	87.69	+16	44.64	+0	87.706	44.640			2
B	177.8200		140.50	140.41	+23	05.06	+1	140.433	05.061	1307,117	927,171	B
M												M

		Fa=0.048	$\Sigma=341,1$	$\Sigma = 300.66$	$\Sigma = 121.67$					
		T α = 0,1512		$fx = -0,057$	$f_y = -0,001$					
		T α > fa		$\sigma_x = 0.057$						
				$\sigma_{d_x} = 0.405$	$\sigma_{d_y} = 0.093$					TF>F
				$\sigma_{d_{xy}} = 0.415$						

Tableau A : Tableau de calcul du cheminement tendu (A-1-2-B).