

MANUEL DE TOPOGRAPHIE

DESTINÉ aux HYDROTECHNICIENS





Limburgstraat 62

B - 9000 Gent

tel: 09 / 225 27 93

fax: 09 / 225 66 07

e-m: protosbe@xs4all.be

En 1977, un groupe d'industriels, d'assistants universitaires et de jeunes diplômés prit l'initiative de constituer une nouvelle asbl, PROTOS, qui avait comme but de contribuer au progrès humain dans les pays du Tiers Monde.

Actuellement, PROTOS soutient, dans quatre régions du Sud (Haïti, Equateur, Afrique de l'Ouest et Afrique Centrale), différents projets qui cherchent à améliorer les conditions de vie de la population locale mais également d'augmenter leur expertise et leurs capacités organisationnelles.

Les fonds investis dans ces régions concernent principalement le secteur de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement.

De plus, PROTOS veut également contribuer à une meilleure conscientisation de la population de Flandre aux menaces et défis dans le domaine de la gestion de l'eau au niveau mondial.

PROTOS est une organisation indépendante, elle n'est pas liée structurellement à des tendances philosophiques ou à des organisations politiques ou sociales. L'a.s.b.l. est dirigée par un conseil d'administration constitué d'entrepreneurs, cadres, professeurs d'universités et experts en développement motivés et engagés. Le secrétariat permanent à Gand est le point d'appui des activités. Dans chacune des régions partenaires, un bureau régional accompagne les organisations locales dans la préparation, l'exécution et la gestion de projets de développement.

Dans ces bureaux régionaux, un ou deux ingénieurs européens expérimentés apportent leur soutien à l'équipe locale.

Forte de son expérience sur le terrain dans diverses régions du Sud, PROTOS a été chargée de la conception et la rédaction du présent ouvrage, destiné aux différents intervenants dans la conception et la réalisation de projets d'eau potable.

PROTOS souhaite remercier vivement
la Direction Générale à la Coopération Internationale (DGCI-DGIS)
pour son appui financier dans la réalisation de cet ouvrage.

De plus, plusieurs partenaires et coopérants de PROTOS
ont lu les premiers textes et émis de précieux commentaires
qui ont permis de finaliser ce document.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	1
1.1. But et public	1
1.2. Méthodologie	1
1.3. Contenu	1
1.4. Quelques conventions	2

PARTIE 1 : GENERALITES

2. Rappel théorique et terminologie	3
2.1. Les formules goniométriques de base	3
2.2. Les termes	5
2.3. Notations	10
2.4. Unités de mesure	11
2.5. Précision / Chiffres significatifs / Arrondissement	12
2.6. Fautes et erreurs	14
3. Instruments	19
3.1. Choix de l'instrument	19
3.2. Les instruments simples	21
3.2.a. l'altimètre	21
3.2.b. le mètre ruban	21
3.2.c. le niveau à bulle règle	22
3.2.d. le niveau d'eau	23
3.2.e. autres	25
3.3. Accessoires	25
3.3.a. le fil à plomb	25
3.3.b. le niveau à bulle	25
3.3.c. le jalon	26
3.3.d. la mire	27
3.3.e. le piquet	28
3.3.f. le cadre-A (ou niveau A)	29
3.3.g. les planches en «T»	31
3.3.h. les chaises de nivellement	32
3.4. Les instruments courants (le niveau à lunette et le théodolite)	33
3.4.a. les principaux organes communs	33
la lunette	33
l' objectif	34
l' oculaire	34
le réticule	34

le dispositif de mise au point.....	34
le réglage de la lunette	35
la lecture de la mire.....	35
la nivelle	36
le nivelle tubulaire	36
le nivelle sphérique	37
la sensibilité.....	37
le nivelle réversible.....	38
le nivelle cavalière	38
le nivelle à bulle coupée.....	38
le dispositif de lecture des angles	39
le microscope de lecture des angles.....	39
le vernier.....	41
le trépied / vis calantes	43
3.4.b. le niveau à lunette (le niveau)	45
le niveau à lunette fixe	46
réglage	46
le niveau automatique	49
le niveau à collier ou niveau de collimation.....	50
le niveau à bascule ou niveau articulé.....	50
le niveau à lunette réversible.....	51
le niveau géodésique	51
3.4.c. le théodolite	52
composantes	52
théodolites directionnels	54
théodolites cumulateurs	54
le réglage de l'appareil.....	54
la mesure	59
lecture des hauteurs sur la mire.....	59
la mesure des angles verticaux.....	59
la mesure des angles horizontaux	59
3.5. les instruments avancés.....	61
3.5.a. la station totale.....	61
introduction	61
principes de base.....	61
l'appareil intégré ou la station totale.....	62
3.5.b. le GPS	63
introduction	62
définition du GPS	63
le décodage	63
l'appareil	64
le levé topographique.....	64
quelques difficultés	65
le traitement des données	65
le coût des récepteurs GPS	66

PARTIE 2 : METHODES TOPOGRAPHIQUES

4. Le levé topographique	67
4.0. Introduction.....	67
4.1. Les techniques simples	68
4.1.a. la détermination simple de dénivellation.....	68
le niveau bulle avec règle.....	68
le niveau d'eau	70
l'altimètre.....	71
4.1.b. la détermination simple de distances.....	72
la mesure directe de distances	72
la mesure de petites distances	72
la mesure de longues distances	72
la mesure de distance au-dessus de végétation haute	73
4.2. La mesure indirecte des distances (stadimétrie).....	73
4.2.a. la mesure indirecte à l'aide d'un niveau à lunette.....	74
4.2.b. la mesure indirecte à l'aide d'un théodolite.....	75
4.3. Le nivellement à l'aide d'un niveau à lunette.....	78
4.3.a. méthode 1: le nivellement par rayonnement.....	78
4.3.b. méthode 2: le nivellement du milieu.....	80
4.3.c. méthode 3: le nivellement excentrique.....	81
4.3.d. méthode 4: le nivellement de l'extérieur de la ligne	81
4.3.e. méthode 5: le nivellement cheminé.....	82
4.3.f. le nivellement cheminé – méthode améliorée	84
le nivellement fermé.....	84
le nivellement répété.....	85
le nivellement parallèle.....	87
4.3.g. remarques générales sur le nivellement.....	88
4.4. Nivellement à l'aide d'un théodolite.....	89
4.4.a. méthode 1: le nivellement par rayonnement.....	89
4.4.b. méthode 2: le nivellement du milieu.....	90
4.4.c. méthode 3: le nivellement cheminé.....	93
4.5. Le calcul des coordonnées	97
4.6. Un réseau de nivellements	100
5. Le jalonnement	101
5.1. Les techniques simples	101
5.1.a. le jalonnement d'un angle droit	101
la méthode appelée «3-4-5»	101
la méthode de la corde avec un point qui n'est pas sur la ligne de base.....	102
la méthode de la corde avec un point qui se trouve sur la ligne de base....	104
planche et clous	105
5.1.b. le jalonnement d'une ligne droite	105
5.1.c. le jalonnement d'une intersection	107

5.1.d. le jalonnement de courbes de niveau.....	108
le cadre-A	108
les planches en «T».....	109
le niveau d'eau.....	112
5.1.e. le jalonnement de lignes à pente constante	113
le cadre-A	113
les planches en «T».....	114
le niveau d'eau.....	115
5.2. Les techniques à l'aide d'un niveau à lunette ou d'un théodolite	116
5.2.a. jalonner une courbe de niveau.....	116
5.2.b. jalonner un canal horizontal	116
5.2.c. jalonner un canal à pente constante	117

PARTIE 3 : LA TOPOGRAPHIE APPLIQUEE AUX PROJETS D'EAU POTABLE

6. Organisation pratique.....	119
6.1. Levé topographique.....	118
6.1.a. la préparation.....	118
6.1.b. l'équipe.....	120
6.1.c. les notes.....	121
6.1.d. les croquis.....	122
6.2. Le jalonnement.....	124
6.2.a. la préparation.....	124
6.2.b. l'équipe.....	124
6.2.c. les plans.....	124
7. Plans.....	125
7.1. Généralités.....	125
7.2. La situation existante.....	127
7.2.a. le plan de situation.....	127
7.2.b. le profil en long.....	128
7.3. Les plans de projet.....	130
7.3.a. le profil en long.....	130
7.3.b. le plan de situation.....	130
7.4. Les plans de recollement.....	131
8. Applications.....	133
8.0. Introduction.....	133
8.1. Le levé topographique.....	134
8.1.a. le levé topographique d'une zone de sources.....	135
8.1.b. le levé topographique d'une ligne d'alimentation.....	138
8.1.c. le levé topographique d'un réseau de distribution.....	140
8.1.d. la mesure d'une construction.....	141
8.1.e. la mesure d'un terrain.....	142
8.1.f. le levé topographique d'une rivière.....	144
8.2. Le jalonnement.....	146
8.2.a. l'implantation d'une chambre de départ, d'un réservoir, d'une chambre d'équilibre.....	146
8.2.b. le jalonnement des dimensions d'un réservoir (ou d'un autre ouvrage).....	147
8.2.c. le jalonnement d'une ligne d'alimentation.....	149

Index

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1. BUT ET PUBLIC

Le présent ouvrage prétend servir de document de référence pour des travaux de topographie dans le cadre de projet d'eau potable dans le Sud.

Il s'adresse aux ingénieurs, topographes ou équivalents d'organisations, institutions de l'Etat, entreprises privées, ... actives dans l'étude ou l'exécution de tels projets. Il exige donc que les utilisateurs aient suivi une formation de base en topographie.

Ce livre n'a pas été conçu pour former les gens; cependant, il peut servir à la formation de topographes dans le Sud.

1.2. METHODOLOGIE

Ce livre s'est construit en plusieurs niveaux :

- connaissances générales: nécessaires pour l'exécution d'une mission topographique.

Il est conseillé à chacun de relire ces parties pour :

- se rappeler les connaissances déjà acquises
- disposer d'un complément nécessaire des connaissances déjà acquises, surtout dans le domaine des projets d'eau potable

- informations sur le fond : ces informations, souvent mathématiques, donnent au lecteur une meilleure vue sur la théorie sous-jacente. Ces connaissances ne sont pas strictement nécessaires au topographe, mais elles vont sûrement contribuer à la bonne fin de missions topographiques. A la première lecture, ces parties peuvent éventuellement être laissées de côté.

Ce livre est un ouvrage de référence et peut être lu à la carte par le lecteur, suivant les connaissances de base de celui-ci.

On trouvera plus loin une liste de mots clés qui renvoie aux paragraphes où l'on traite de ces mots clés.

1.3. CONTENU

Le livre est divisé en trois parties :

partie 1 : généralités, dans lesquelles on a traité :

- généralités sur la topographie
- instruments.

partie 2 : méthodes, où l'on traite :

- mesures topographiques
- jalonnement
- mise en page de plans.

partie 3 : applications :

- organisation d'une mission topographique
- description d'une série de mission topographique.

A la fin de ce livre se trouve un index avec les mots clés avec le chapitre dans lequel ils son traités.

1.4. QUELQUES CONVENTIONS

Chaque chapitre est structuré comme suit:

- un court aperçu des points traités dans le chapitre
- une description générale
- un court résumé ou une conclusion avec une série de conseils, parfois
- quelques exercices, parfois.

Dans les cadres "*! théorie complémentaire !*" et "*! information complémentaire!*", on trouvera des informations de fond, qui ne doivent pas nécessairement être lues pour pouvoir exécuter une mission topographique.

Dans les cadres "*! tuyau !*" et "*! recommandation !*", on trouvera des astuces qui sont utiles pour la réalisation de missions topographiques. Elles sont souvent déjà traitées dans le texte général mais sont reprises là à cause de leur importance.

Les cadres "*! remarque !*" accentuent un sujet important et doivent être lus pour avoir une meilleure compréhension du texte.

Les résumés et les conclusions se trouvent dans les cadres "*! résumé !*" et "*! conclusion !*".

Pour illustrer le texte général, les cadres "*! exemple !*" reprennent quelques applications pratiques.

Les mots en *italique* figurent également dans l'index, à la fin de ce livre.

PARTIE 1

GENERALITES

CHAPITRE 2 RAPPEL THEORIQUE ET TERMINOLOGIE

Dans ce chapitre :

- les formules goniométriques de base, sur lesquelles la topographie est basée
- les termes utilisés dans la topographie et dans ce livre
- les notations utilisées dans ce livre
- le Système International d'unités (SI)
- une explication sur la précision, les chiffres significatifs et les règles d'arrondissement
- les fautes et les erreurs d'une mesure, la précision d'un instrument et comment vérifier le résultat d'une campagne de mesures.

La *géométrie* est la discipline qui englobe toutes les méthodes d'acquisition et de traitement des dimensions physiques de la terre et de son entourage.

Deux éléments de la géométrie sont la *topométrie* et la *topographie*.

La *topométrie* est l'ensemble des travaux effectués sur le terrain pour procéder aux relevés métriques nécessaires à l'établissement d'une carte ou d'un plan de terrain.

La *topographie* est la technique du levé de ces cartes et de ces plans de terrain.

Cependant, on fait rarement la distinction entre la topométrie et la topographie, et on parle uniquement de la topographie. Dans ce cas, la topographie contient aussi les travaux d'acquisition des dimensions physiques sur le terrain.

Cette terminologie est suivie dans ce livre. Le mot topométrie n'est pas utilisé.

2.1. LES FORMULES GONIOMETRIQUES DE BASE

Les calculs de la topographie sont basés sur les *formules goniométriques*.

Pour comprendre la théorie de la topographie, il faut maîtriser ces formules de base :

$$a^2 + b^2 = c^2 \text{ (théorème de Pythagore)}$$

$$\sin \alpha = a / c$$

$$\cos \alpha = b / c$$

$$\text{tang } \alpha = a / b$$

$$\text{cotg } \alpha = b / a$$

$$\text{cosec } \alpha = c / a$$

$$\text{sec } \alpha = c / b$$

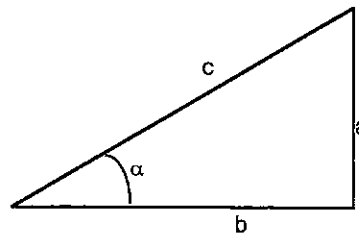


figure 2.1

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\text{tang } \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha = \text{sec } \alpha / \text{cosec } \alpha$$

$$\text{cotg } \alpha = \text{tang}^{-1} \alpha = \cos \alpha / \sin \alpha = \text{cosec } \alpha / \text{sec } \alpha$$

$$1 + \text{tang}^2 \alpha = \text{sec}^2 \alpha$$

$$1 + \text{cotg}^2 \alpha = \text{cosec}^2 \alpha$$

$$\sin \alpha \cdot \text{cosec } \alpha = 1$$

$$\text{tang } \alpha \cdot \text{cot } \alpha = 1$$

Généralement, les angles sont donnés selon le *système sexagésimal*, dans lequel un cercle complet est divisé en 360° (*degrés*), ou selon le *système centésimal*, qui divise un cercle complet en 400 *grades*, ou selon le *système des radians*, qui divise un cercle complet en 2Π *radians*.

Donc :

$360^\circ = 400 \text{ grades}$ (on écrit 400^g) = 2Π *radians*.

Un angle droit mesure donc 90° ou 100^g ou $1/2 \Pi$ *radians*.

! attention !

Le plus souvent, la topographie utilise le *système centésimal* (400^g), cependant les autres systèmes sont aussi appliqués.
L'usager d'un instrument, d'un plan ou d'une carte doit donc toujours vérifier quel système est appliqué.

! attention !

2.2. LES TERMES

Ligne

Dans ce texte, on appelle *ligne* la droite qui passe par deux points donnés.

Angle

L'*angle* est la figure formée par deux lignes droites ou deux surfaces qui se coupent. Un angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre est appelé *angle à droite*, tandis qu'un angle mesuré dans le sens contraire est appelé *angle à gauche*.

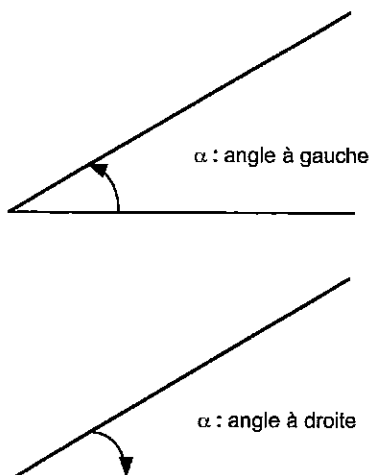


figure 2.2

Direction

La *direction* d'une ligne est l'angle que celle-ci forme avec une autre ligne. Toutes les lignes parallèles ont la même direction.

Hauteur

Pour éviter toute confusion entre *altitude* et *hauteur*, nous nous utilisons le terme *hauteur* uniquement pour un point visé sur une mire. La hauteur d'un point visé sur la mire est la distance entre ce point et le pied de la mire, à condition que la mire soit tenue verticalement.

En général, la hauteur d'un point est donc la distance verticale entre ce point et le sol.

Altitude (ou cote)

L'*altitude* d'un point est sa hauteur au-dessus du niveau moyen de la mer, ou la *dénivellation* entre ce point et le niveau moyen de la mer. On peut également définir l'altitude comme la hauteur au-dessus du niveau d'un point de référence.

Dans ce cas, on parle de *l'altitude arbitraire* (il faut toujours mentionner le point de référence avec son altitude).

Dénivellation

La *dénivellation* entre deux points est la différence d'altitude de ces deux points.

La dénivellation entre le point A et le point B (ΔH_{AB}) est l'altitude du point B (H_B) moins l'altitude du point A (H_A) :

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A$$

Si ΔH_{AB} est positif, le terrain monte du point A au point B. Si ΔH_{AB} est négatif, le terrain descend du point A au point B.

Pente

La *pente* est une ligne ou une surface qui fait un angle avec l'horizontale.

On peut exprimer une pente en degrés, mais la plupart du temps, on l'exprime en pourcentage.

Elle est alors définie comme la différence de hauteur (ou dénivellation) divisée par la distance horizontale et multipliée par 100.

Elle peut également être notée comme la relation entre la différence de hauteur sur la distance horizontale. (la distance horizontale entre deux points est la distance entre les projections de ces points dans un plan horizontal).

! exemple !

une pente de $45^\circ = 100\% = 1/1$

une pente de $30^\circ = \pm 58\% = \pm 1/2$

! exemple !

remarque : la pente en % = $100 \cdot \tan \varphi$, avec φ = l'angle de la pente avec l'horizontale.

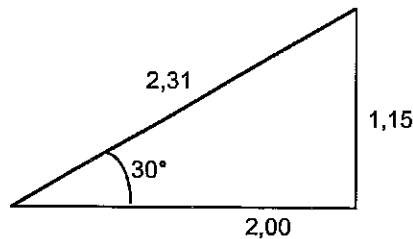


figure 2.3

! exemple !

La distance horizontale entre 2 points est de 45 m, la dénivellation est de 8,90 m.

La pente est de :

$$(8,90 \times 100) / 45 = 19,77\% = \pm 1 / 5$$

! exemple !

Longueur

La *longueur* d'une ligne est la distance entre les deux points extrêmes de cette ligne.

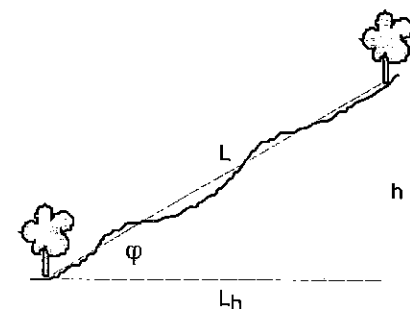
La *longueur horizontale* est la longueur de cette ligne dans un plan horizontal, donc la distance horizontale. La longueur réelle sur une pente peut être convertie en longueur horizontale en utilisant

$$L_H = L \cos \varphi$$

ou à l'aide du théorème de Pythagore :

$$L^2 = L_H^2 + h^2$$

Avec : L = distance oblique
 L_H = longueur horizontale



h = différence de hauteur

figure 2.4

Courbe de niveau

C'est la courbe qui relie tous les points ayant la même altitude.

Point de repère ou point de référence

Le *point de repère* ou *point de référence* est un point fixe dans la région, dont l'**altitude** et la position (les **coordonnées**) sont exactement connues.

Les mesures sont prises par rapport à ce point, c'est-à-dire qu'on compare les mesures qu'on a prises avec l'altitude et la position de ce point.

Le *point de repère* peut être un *repère officiel*, dont la position et l'altitude exactes sont données par une institution étatique.

S'il n'y a pas de tels points, on peut prendre n'importe quel point fixe (p.e. le seuil d'une maison, le coin d'une maison, le coin d'une dalle d'un réservoir). Il est important que ce point soit immobile. On note l'**altitude arbitraire** (ou celle obtenue par exemple à l'aide d'un altimètre) et la position de ce point : par exemple le nord de la maison. En cas d'altitude arbitraire, elle sera telle que les altitudes de tous les autres points soient positives.

Station

C'est l'endroit où l'on installe son instrument topographique. A partir de cette *station*, plusieurs points sur le tracé ou dans les environs peuvent être mesurés. Un levé topographique passe d'une station à une autre, chaque nouvelle station étant un des points mesurés à partir de la station précédente afin de pouvoir assurer la *fermeture horizontale* du levé.

Direction visée

La *direction visée* est la direction de la ligne imaginaire qui part de l'œil de l'observateur au point à mesurer (voir fig. 2.5). Cette direction visée dépend uniquement de la position de l'œil et du point à mesurer, et pas du calage de l'instrument.

Ligne de visée

Chaque instrument à lunette (niveau, théodolite) dispose d'un **diaphragme** et d'un **objectif**. La ligne de visée est la ligne qui coupe les lignes transversales du diaphragme (ou **réticule**) et le centre de l'objectif d'une lunette (voir fig. 2.5). Cette ligne est indépendante de l'observateur ou du point à mesurer, mais est une caractéristique de l'appareil.

Pour mesurer, la direction visée (entre l'œil et le point à mesurer) doit coïncider avec la ligne de visée (ligne dépendante de l'appareil), de sorte que l'appareil et l'œil visent le même point. Pour cela il faut caler l'appareil ou utiliser une "bonne" méthode de mesure qui permette de compenser l'erreur.

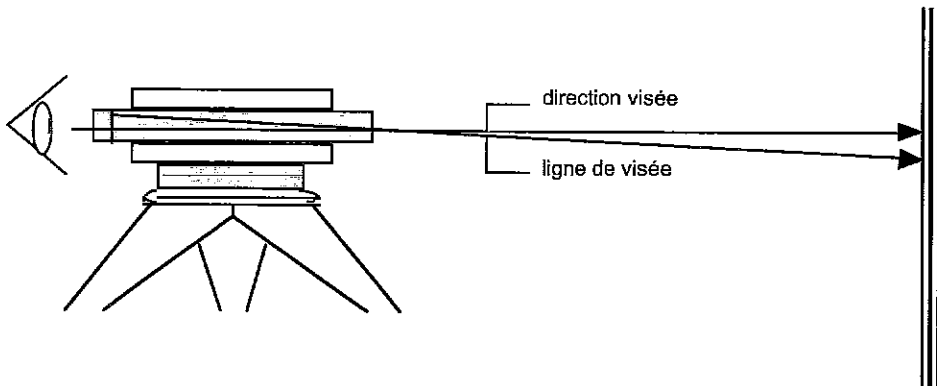


figure 2.5

Azimuth

L'angle formé par une certaine direction avec la direction du nord, mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre.

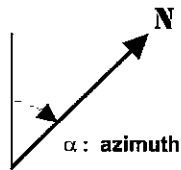


figure 2.6

Zénith

Le point de la sphère céleste situé sur la verticale ascendante de l'observateur.

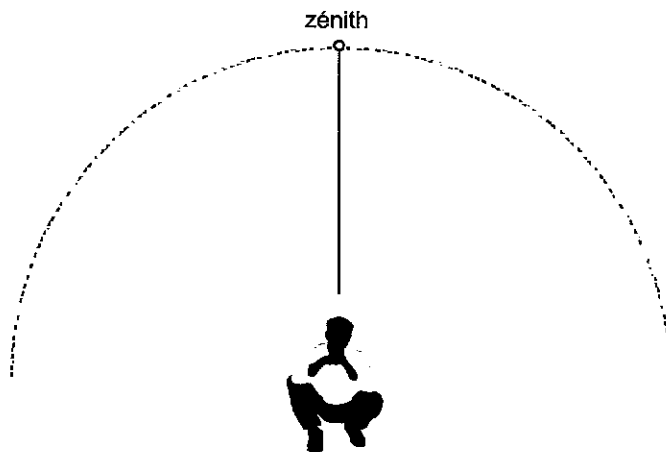


figure 2.7

Coordonnées

Les *coordonnées* d'un point sont un ensemble de nombres qui décrivent d'une façon explicite sa position dans un espace ou dans un plan muni d'un système de référence. Dans ce livre on ne traite que des *coordonnées cartésiennes*.

Dans le plan, le système de référence est déterminé par deux lignes perpendiculaires, (axe X et axe Y) qui se coupent en un point O, appelé l'origine.

Les coordonnées d'un point sont les distances entre l'origine O et la projection perpendiculaire de ce point sur les axes :

- la distance entre l'origine O et la projection sur l'axe X donne la coordonnée X
- la distance entre l'origine O et la projection sur l'axe Y donne la coordonnée Y.

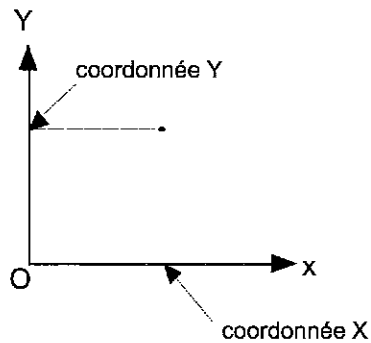


figure 2.8

Faute

Une *faute* est l'inexactitude d'une mesure qui est due à l'*opérateur*.

Erreur

Une *erreur* est l'inexactitude d'une mesure qui est due à l'*instrument*.

2.3. NOTATIONS

Dans ce livre les notations suivantes sont utilisées :

- "H": *altitude*. L'altitude (ou la cote) du point A est H_A
- "h": *hauteur*. La hauteur visée sur la mire en A est h_A
- " α ": *angle horizontal*, un angle mesuré dans un plan horizontal
- " φ ": *angle vertical*, un angle mesuré dans un plan vertical
- "L" : *longueur*, la distance entre deux points (voir fig. 2.9)
- " L_h " : *longueur horizontale*, la distance entre les projections verticales de deux points sur un plan horizontal (voir fig. 2.9)
- " L_t " : *longueur du terrain*, la distance mesurée parallèlement au terrain entre les projections verticales de deux points sur le terrain (voir fig. 2.9)
- "l" : la *distance* entre les hauteurs sur la mire qui coïncident avec les *lignes stadimétriques* de l'appareil

Pour la multiplication: "x" ou ".". Donc "a x b" égale "a .b".
Ces deux formes de notation sont utilisées pour améliorer la lecture.

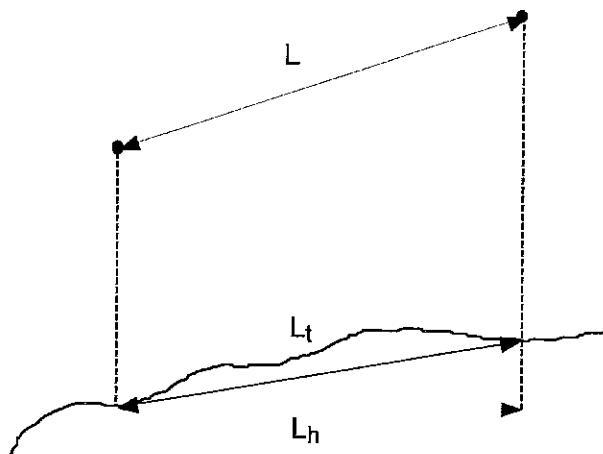


figure 2.9

2.4. UNITES DE MESURE

Quant aux unités de mesure, on suit le *Système International d'unités* (SI). L'avantage de ce système est la simplicité de transformation, basée sur la numération décimale (contrairement à l'usage d'unités comme le pouce, le pied ...). Pour effectuer les calculs il suffit bien souvent de déplacer la marque décimale.

Les unités de base du SI, utilisées dans la topographie sont :

- pour la distance : le mètre (m)
- pour la superficie : le mètre carré (m²)
- pour le volume : le mètre cube (m³)
- pour les angles : le radian.

Également utilisées dans le SI (et dans la topographie) sont les unités dérivées :

- pour la distance : le décamètre (1 dam = 10 m)
le kilomètre (1 km = 1.000 m)
- pour la superficie : l'hectare (1 ha = 10.000 m²).

Il existe encore des unités, qui n'appartiennent pas au système SI, mais qui sont souvent utilisées :

- pour les angles : le degré (°)
le grade. (180° = Π = 200°).

2.5. PRECISION / CHIFFRES SIGNIFICATIFS / ARRONDISSEMENT

Si l'on détermine la distance entre deux points, en employant un mètre pliant avec indication en mm, on peut, par exemple, trouver 1,453 m. Cependant, il y a toujours une différence entre la distance réelle et la lecture. Vu que la *précision* de lecture est limitée par la précision du mètre pliant, on ne peut pas déterminer la distance réelle. Mais on sait que la distance réelle se trouve entre 1,4525 m et 1,4535 m. La lecture a donc une précision d'un demi-millimètre. La lecture peut être écrite comme: $1,453 \pm 0,005$ mm (lecture \pm précision). Donc, chaque lecture a sa propre précision, et cette précision dépend de l'instrument utilisé.

Dans le cas de la lecture décrite ci-dessus, quelqu'un aurait pu écrire 1,4530 mm. Mais cela aurait donné une fausse impression de la précision. On limite toujours le nombre de chiffres à la précision de la lecture. Une autre raison, c'est que plus de chiffres entraîneraient une perte de temps dans les calculs. Le résultat de la lecture est donc écrit avec 4 chiffres (1,453). Les trois premiers chiffres sont certains (1,45), le dernier est une approximation ($\pm 0,5$ mm). On dit qu'il y a 4 *chiffres significatifs*.

! exemple !

Si le résultat d'une lecture est :

1,450 m, (4 chiffres significatifs) la longueur réelle se trouve entre 1,4495 m et 1,4505 m;

1,4500 m, (5 chiffres significatifs) la longueur réelle se trouve entre 1,44995 m et 1,45005 m ;

1,45 m, (3 chiffres significatifs) la longueur réelle se trouve entre 1,445 m et 1,455 m.

! exemple !

Donc le nombre de chiffres significatifs est une indication de la précision de la mesure. Et les zéros, placés à droite de la marque décimale sont toujours significatifs. Par contre, notons que 0,00145 km comporte aussi 3 chiffres significatifs.

Dans un projet d'approvisionnement en eau potable, il n'est pas nécessaire de connaître la longueur d'une ligne d'alimentation avec une précision d'un centimètre. Pourtant, les différentes mesures de distances entre le départ et la fin de cette ligne ont chacune une précision d'un centimètre. Pour connaître la longueur totale, on va donc arrondir le résultat.

Les *règles d'arrondissement* sont les suivantes :

- 1) si le chiffre à considérer est plus petit que 5, on le laisse tomber.
- 2) si le chiffre est plus grand ou égal à 5, on inscrit l'unité supérieure pour le chiffre précédent.
- 3) l'arrondissement se fait en une étape.
- 4) l'arrondissement se fait sur la somme et pas sur chaque terme.

! exemple !

règle 1

5,994 devient 5,99

règle 2

5,995 devient 6,00

règle 3

12,446 devient 12,4 et pas 12,446 => 12,45 => 12,5

règle 4

distance 1 :	30,13 m	
distance 2 :	50,66 m	
distance 3 :	76,54 m	
total :	157,33 m	=> 157 m arrondi.

Si on arrondit chaque terme, on trouve :

distance 1 :	30 m	
distance 2 :	51 m	
distance 3 :	77 m	
total :	158 m	il y a donc une différence d'un mètre.

! exemple !

Remarque : quand on calcule la moyenne d'une série, on peut éventuellement ajouter un chiffre significatif, si la série est composée de plus de 10 mesures.

Par exemple :

12,3 + 12,4 + 12,6 + 12,5 + 12,4 + 12,2 + 12,3 + 12,5 + 12,8 + 12,2 => 12,4 ou 12,42

Si la série est composée de plus de 20 mesures, on peut ajouter deux chiffres significatifs, etc.

2.6. FAUTES ET ERREURS

Chaque mesure est sujette aux erreurs et aux fautes.

Une **faute** est définie comme l'inexactitude qui est due à *l'opérateur*; p.e. lire 23 au lieu de 32, un mauvais calage de l'instrument ... Il s'agit de l'incompétence ou d'une faiblesse de l'opérateur. Ces fautes peuvent être éliminées par une bonne vérification des résultats obtenus.

Une **erreur** est l'inexactitude qui est due à *l'instrument*. Chaque instrument a ses propres imperfections inévitables. Ils existent deux types d'erreurs :

- **L'erreur systématique** : Chaque instrument donnera des erreurs dues aux *imperfections de construction*. Par exemple : un mètre pliant peut donner une lecture supérieure à la distance réelle, à cause des imperfections des graduations de ce mètre. Ces erreurs ont toujours le même signe : toujours positive ou toujours négative. Ces erreurs ne peuvent pas être corrigées par un *calage* de l'instrument. Les erreurs systématiques peuvent être neutralisées par des méthodes de mesure. (p.e. dans le cas d'un théodolite: *méthode du double retournement*).
- **L'erreur aléatoire** : l'erreur aléatoire est une erreur due à la *limitation de l'appareil*. Un mètre pliant permet une lecture avec une précision de $\pm 0,5$ mm. Donc l'erreur varie entre $+ 0,5$ mm et $- 0,5$ mm. On a vu que la moyenne d'une série de mesures est considérée comme la valeur la plus probable d'une mesure. Les erreurs aléatoires peuvent donc être neutralisées par la répétition des mesures. Contrairement aux erreurs systématiques : vu que la mesure est toujours supérieure (ou toujours inférieure) à la valeur réelle, la moyenne sera aussi supérieure (ou inférieure) à la valeur réelle.

Vu que, même si l'opérateur ne commet pas de fautes, il reste l'imprécision, les erreurs de l'appareil, on n'obtiendra jamais le résultat réel. La mesure est toujours une approximation de la réalité. Il y aura toujours une différence entre la mesure et la réalité. Parce que la valeur réelle reste toujours inconnue, on prendra plusieurs mesures.

On accepte que la moyenne de ces résultats soit la valeur la plus probable, et la plus proche de la valeur exacte. La **moyenne** est calculée comme la somme de tous les résultats, divisée par le nombre de mesures (n). Le résultat d'une campagne de mesures est donc la moyenne des résultats individuels.

! exemple !

Nous développons ici l'exemple d'une campagne de mesures avec un mètre ruban, où nous prenons trois mesures de la même distance :

mesure 1 : 12,322 m

mesure 2 : 12,353 m

mesure 3 : 12,304 m

moyenne : $(12,322 + 12,353 + 12,304) / 3 = 12,326$ m

Le résultat est donc 12,326 m

! exemple !

Pour vérifier si le résultat d'une campagne de mesures est acceptable, il faut comparer l'**erreur moyenne quadratique** de ces mesures à la *précision* de l'instrument avec lequel on a effectué les mesures. L'erreur moyenne quadratique doit être inférieure à cette précision. Très souvent, une campagne de mesures consiste en deux mesures.

Dans ce cas, l'erreur moyenne quadratique est :

$$\frac{|A-B|}{\sqrt{2}}$$

A = résultat de la première mesure.

B = résultat de la deuxième mesure.

! exemple !

On verra que la précision d'un mètre ruban est égale à $4 \text{ mm} \times \sqrt{L}$.

On mesure une distance deux fois :

Première résultat : 18,410 m

Deuxième résultat : 18,418 m

La moyenne : $(18,410 + 18,418) / 2 = 18,414 \text{ m}$

L'erreur moyenne quadratique: $\sqrt{18,410 - 18,418} \sqrt{2} = 0,0057 \text{ m} = 5,7 \text{ mm}$

La précision de l'instrument = $4 \times \sqrt{L} = 4 \times \sqrt{18,414} = 17,2 \text{ mm}$

Le résultat est acceptable.

! exemple !

La théorie pour une campagne de plusieurs mesures se trouve dans le cadre "théorie complémentaire", à la fin de ce paragraphe.

Chaque type d'instrument a sa propre *précision* :

instrument	précision	remarque
mètre ruban (distance)	$4 \text{ mm} \times \sqrt{L}$	(L en m)
mètre pliant (distance)	$2 \text{ mm} \times \sqrt{L}$	(L en m)
niveau à lunette (dénivellation)	$16 \text{ mm} \times \sqrt{L}$ $32 \text{ mm} \times \sqrt{L}$	(L en km) mesures de précision (L en km) mesures normales
niveau à lunette (distance)	$1 \text{ à } 3 \text{ mm} \times \sqrt{L}$	(L en m) (précision dépendante de l'appareil)
théodolite (dénivellation)	$40 \text{ mm} \times \sqrt{L}$	(L en km)
théodolite (distance)	$1 \text{ à } 3 \text{ mm} \times \sqrt{L}$	(L en m) (précision dépendante de l'appareil)

(ces précisions peuvent être utilisées pour une seule mesure mais également pour un résultat qui est la somme d'un nombre de mesures, p.e. le levé topographique).

Ces précisions dépendent uniquement de l'appareil. Un théodolite bien calé permet d'obtenir une précision de moins de $40 \text{ mm} \times \sqrt{L}$ dans des conditions optimales, c'est-à-dire des *conditions climatologiques* et des *conditions de terrain* optimales.

La visibilité dépend fortement de ces *conditions climatologiques*. Trop de soleil, trop de nuages, de la pluie, ... sont des facteurs qui empêchent une bonne lecture. Si on permet de travailler dans ces conditions, les exigences de précision doivent être inférieures à la possibilité de l'appareil. Vu qu'on ne peut pas influencer les conditions climatologiques, on sera obligé de remettre les mesures jusqu'à ce que ces conditions s'améliorent.

Ceci est aussi vrai pour les *conditions de terrain*. D'un côté il y a la visibilité, déterminée par le terrain (il est plus difficile de mesurer dans un champ de maïs que dans une rue), d'un autre côté, il y a la stabilité du sol. Un sol instable (p.e. boueux) mènera à des résultats imprécis. Dans certains cas, on peut prendre des mesures pour améliorer ces conditions de terrain, par exemple stabiliser le sol où on pose la mire et l'instrument (avec des pierres, piquets, ..). On peut aussi augmenter la visibilité, par exemple couper les obstructions. Mais ici aussi, si on permet de mesurer dans de mauvaises conditions, on ne peut pas s'attendre à un bon résultat.

En ce qui concerne le mètre ruban et le mètre pliant, on ne parle pas de visibilité mais d'*accessibilité*. Le problème reste le même.

Une accessibilité optimale permet d'effectuer une mesure précise. Il faut donc relativiser ces précisions d'appareil. La précision d'un résultat est directement liée aux conditions dans lesquelles on travaille. De même, dans des conditions spécifiques, on doit obtenir une certaine précision afin que le résultat soit acceptable. Dans des conditions optimales (très bonne visibilité, sol stable), une grande précision (= la précision de l'instrument) peut être acquise, une précision moyenne est possible dans des conditions normales (visibilité ordinaire et sol stable), de mauvaises conditions (mauvaise visibilité ou sol instable) ne permettent qu'une précision inférieure. Pour chaque mesure, il faut se demander quelle précision est requise. Si les conditions ne permettent pas d'obtenir cette précision, il faut soit améliorer ces conditions, soit remettre le travail à plus tard.

Le tableau suivant donne un aperçu des précisions en relation avec les conditions de travail :

instrument	conditions optimales	conditions ordinaires	mauvaises conditions
mètre ruban	4 mm x \sqrt{L}	10 mm x \sqrt{L}	25 mm x \sqrt{L}
mètre pliant	2 mm x \sqrt{L}	5 mm x \sqrt{L}	12,5 mm x \sqrt{L}
niveau à lunette (dénivellation)	16 mm x \sqrt{L} 32 mm x \sqrt{L}	40 mm x \sqrt{L} 80 mm x \sqrt{L}	100 mm x \sqrt{L} 200 mm x \sqrt{L}
niveau à lunette (distance)	1 à 3 mm x \sqrt{L}	3 à 8 mm x \sqrt{L}	6 à 20 mm x \sqrt{L}
théodolite (dénivellation)	40 mm x \sqrt{L}	100 mm x \sqrt{L}	250 mm x \sqrt{L}
théodolite (distance)	1 à 3 mm x \sqrt{L}	3 à 8 mm x \sqrt{L}	6 à 20 mm x \sqrt{L}

On peut aussi décider d'accepter le résultat, si l'erreur résiduelle est plus élevée que la précision mentionnée ci-dessus. Ceci dépend de la précision demandée pour une certaine mesure.

Une précision plus grande exige plus de temps, et n'est pas toujours nécessaire.

! exemple !

Dans un avant-projet, on veut connaître la distance entre deux points avec une précision de 5 m. La distance moyenne, mesurée à trois reprises avec un mètre ruban donne 625 m. On travaille dans de bonnes conditions.

*La précision selon le tableau ci-dessus dans ces conditions accepte une **erreur moyenne quadratique** de 0,25 mètres (10 mm x $\sqrt{625} = 10 \text{ mm} \times 25$).*

Même si l'erreur moyenne quadratique de notre mesure était de 3 m, le résultat serait acceptable (vu que le travail ne nécessite qu'une précision de 5 m)

! exemple !

! conclusion !

- dans chaque mesure, il y a des fautes / erreurs dues à l'opérateur, l'appareil ou des phénomènes naturels (le vent, le soleil...)
- une seule mesure ne donne aucune certitude quant au résultat; on doit toujours prendre plusieurs mesures, les comparer et vérifier
- la précision dépend des conditions dans lesquelles on travaille. Certaines mesures demandent une grande précision, donc des conditions optimales
- la précision nécessaire d'une mesure dépend du but de la mesure; une grande précision exige plus de travail et de temps et n'est pas toujours recherchée.

! conclusion !

! théorie complémentaire !

L'**erreur moyenne quadratique** de mesures nous donne une idée de la qualité des mesures.
L'erreur moyenne quadratique est calculée sur base d'erreurs résiduelles.

L'**erreur résiduelle** est la valeur absolue de la différence entre le résultat de chaque mesure et la moyenne sur l'ensemble des mesures.

Nous développons ici l'exemple d'une mesure avec un mètre ruban, où nous prenons trois mesures de la même distance :

mesure 1 : 12,322 m
mesure 2 : 12,353 m
mesure 3 : 12,304 m

moyenne : $(12,322 + 12,353 + 12,304) / 3 = 12,326$ m
erreur résiduelle 1 : $| 12,322 - 12,326 | = 0,004$ m
erreur résiduelle 2 : $| 12,353 - 12,326 | = 0,027$ m
erreur résiduelle 3 : $| 12,304 - 12,326 | = 0,022$ m

L'**erreur moyenne quadratique** est la racine carrée de la somme des carrés des erreurs résiduelles, divisée par le nombre de mesures moins un:

Dans l'exemple, la faute moyenne est de :

$$\sqrt{(0,004^2 + 0,027^2 + 0,022^2) / (3 - 1)} = 0,018 \text{ m}$$

Cette erreur moyenne quadratique est comparée à la précision de l'appareil.

Dans l'exemple, la précision du mètre ruban est $= 4 \text{ mm} \times \sqrt{L}$
avec $L =$ distance mesurée en m. (circonstances optimales)
Donc, l'erreur admissible pour la mesure décrite ci-dessus
(longueur de 12,32 m) est de :

$$4 \times \sqrt{12,326} = 14 \text{ mm.}$$

L'erreur moyenne quadratique était de 18 mm.

La mesure n'est donc pas acceptable.

Ceci montre qu'il y a eu des fautes dans les mesures
(donc des inexactitudes, dues à l'opérateur).

! théorie complémentaire !

CHAPITRE 3 INSTRUMENTS

Dans ce chapitre :

- une explication sur le choix d'un instrument
- une description d'instruments topographiques :
 - construction, réglage, utilisation et types pour :
 - les instruments simples :
l'altimètre, le mètre ruban, le niveau à bulle avec règle et le niveau d'eau
 - les accessoires :
le fil à plomb, le niveau à bulle, le jalon, la mire, le piquet, les planches en "T" et le cadre-A (ou niveau-A)
 - les instruments courants :
le niveau à lunette et le théodolite (construction, réglage et utilisation)
 - les instruments avancés :
une brève description de la station totale et du GPS.

3.1. CHOIX DE L'INSTRUMENT

Afin de collecter des données sur les dimensions sur le terrain, on se sert des instruments topographiques. Ces instruments ont tous leurs propres *caractéristiques* et leurs propres *applications*.

Avant d'entamer un travail, il faut choisir l'instrument le plus adapté.

Ce choix pourrait être basé sur plusieurs critères :

- complexité de construction d'un instrument
- facilité d'emploi
- précision
- fragilité
- coût d'un instrument
- nature du travail à effectuer.

Souvent, on choisit l'instrument le plus *compliqué*, parce qu'on a l'impression que les instruments compliqués sont également les plus précis.

Si on compare la précision d'un niveau avec la précision d'un théodolite :

- niveau à lunette (dénivellation) : $32 \text{ mm} \times \sqrt{L}$ (L en km)
- théodolite (dénivellation) : $40 \text{ mm} \times \sqrt{L}$ (L en km)

On constate que le niveau à lunette est plus précis que le théodolite.

Cependant, le niveau est moins compliqué.

La complexité en soi ne peut donc jamais être un critère de sélection.

La *facilité d'emploi* d'un instrument dépend très fort de sa complexité de construction. Les instruments "simples" (mètres, altimètre) ne nécessitent presque pas de formation. Par contre, l'opérateur d'un appareil "compliqué" doit suivre une formation intense avant qu'il puisse effectuer des travaux topographiques. Ceci n'exclut pas que, même pour les instruments simples, les opérateurs doivent *maîtriser les techniques et les procédures d'arpentage* et de *jalonnement*, qui sont plus compliquées que l'utilisation de l'instrument.

Les instruments les plus compliqués sont en général aussi les instruments les plus *fragiles*. Même si, à première vue, ces instruments donnent l'impression de fonctionner, ils souffrent souvent d'un dérèglement. Le calage de ces instruments exige une connaissance souvent peu maîtrisée par les opérateurs. Les erreurs qu'on fait avec un instrument décalé donne un levé topographique inutilisable.

Il est évident que les mètres rubans n'exigent pas de réglage. Il faut noter que le *calage* d'un théodolite est plus difficile que celui d'un niveau à lunette.

Les instruments les plus compliqués sont aussi les instruments les plus chers.

Les *prix* ci-dessous sont donnés à titre d'information (il y a de grandes variations selon le constructeur) :

- altimètre :	± 200 \$
- niveau à lunette :	
- <i>niveau automatique</i> (ou niveau avec <i>compensateur</i>) :	± 550 \$
(les autres types de niveau ne sont plus fabriqués)	
- théodolite :	
- un théodolite <i>de base</i> :	± 2.100 \$
- un théodolite <i>avec nivelle sur la lunette</i> :	± 2.200 \$
- un théodolite <i>avec compensateur</i> :	± 4.100 \$

Un théodolite de base ne permet pas de niveler avec une grande précision contrairement au théodolite avec nivelle sur la lunette.

Le théodolite avec compensateur est un instrument qui se pose presque automatiquement dans une position horizontale, ce qui facilite l'emploi.

Le critère le plus important sur lequel on se base pour employer un instrument est la *nature du travail* à effectuer. Il est évident qu'un mètre pliant n'est pas adapté pour mesurer de longues distances. A l'inverse, les distances de quelques mètres demandent un mètre pliant ou mètre ruban comme outil. Moins évident est le choix entre le niveau à lunette ou le théodolite pour un nivellement dans un terrain assez plat.

Les deux pourraient être utilisés. Dans ce cas, la précision des deux appareils donne la réponse. Le niveau à lunette est plus précis que le théodolite, donc on préfère le niveau. Dans un terrain accidenté on donne la préférence au théodolite, car cet appareil, contrairement au niveau, permet d'y effectuer de longues visées et donc de procéder plus vite. Si on utilisait un niveau à lunette pour réaliser un levé topographique dans un terrain accidenté, l'erreur sur le résultat serait plus élevée que l'erreur sur un levé avec un théodolite, à cause du grand nombre de déplacements de la mire. On risque donc d'augmenter l'erreur si on emploie un instrument inadapté à un certain travail.

Le tableau suivant donne un aperçu du champ d'application de chaque instrument :

instrument	distance	dénivellation
mètre pliant	courtes distances (<5 m)	-
mètre ruban	distances moyennes (> 5 m et < 100 m)	-
altimètre	-	pré-étude
niveau à lunette	longues distances (> 100 m)	terrain plat
théodolite	longues distances (> 100 m)	terrain accidenté

Il existe encore un nombre d'instruments simples, comme le *cadre A* et le *niveau d'eau*. Ces instruments sont très faciles à employer et donnent un résultat satisfaisant pour les travaux où la précision ne joue pas un très grand rôle, comme le traçage de canaux de drainage, murs de soutènement, ...

Ils ne peuvent pas être utilisés dans les cas qui demandent une grande précision comme la localisation d'une chambre de départ, d'un réservoir, ...

3.2. LES INSTRUMENTS SIMPLES

Certains problèmes topographiques ne demandent pas une très grande précision, et peuvent être résolus avec des *instruments simples*. Certains de ces instruments peuvent être fabriqués par l'utilisateur.

3.2.A. L'ALTIMÈTRE

L'*altimètre* est l'instrument le plus simple des instruments topographiques. L'*altimètre* peut déterminer les *altitudes* et les *dénivellations*. L'altitude d'un point est sa hauteur au-dessus du niveau moyen de la mer, ou sa cote. On peut également définir l'altitude comme la hauteur au-dessus du niveau d'un point de référence. Dans ce cas, on parle de l'altitude arbitraire. La dénivellation est la différence d'altitude entre deux points.

L'*altimètre* est utilisé pour mener des *études préalables*. Lors de cette étude, il faut déterminer les altitudes des sources, des points de distribution, des points hauts et bas du réseau à construire. Les dénivellations entre les différents points peuvent nous donner une idée de la faisabilité d'une alimentation en eau (éventuellement par gravité).

Le principe de l'*altimètre* est basé sur la mesure de la *pression atmosphérique*. Cette pression baisse au fur et à mesure qu'on s'éloigne du niveau de la mer. Cependant, la pression atmosphérique peut également changer en fonction des conditions atmosphériques, p. e. la température de l'air. Comme les conditions atmosphériques changent dans le temps, on n'obtient pas directement l'altitude. C'est pourquoi on peut trouver, en utilisant un *altimètre*, des altitudes différentes pour un même point au cours de la même journée. La différence peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. Puisque dans un projet d'approvisionnement en eau, la pression statique maximale admissible est limitée (environ 100 à 150 mètres d'eau en fonction du type de tuyau utilisé), il est évident que, pour mener à bien une *étude d'avant-projet*, un *altimètre* précis est indispensable. Un projet dans une région peu accidentée peut être classé non faisable à cause d'une erreur de mesure d'altitude. Une erreur de quelques dizaines de mètres dans la mesure de l'altitude peut avoir une influence sur la conception technique d'un projet.

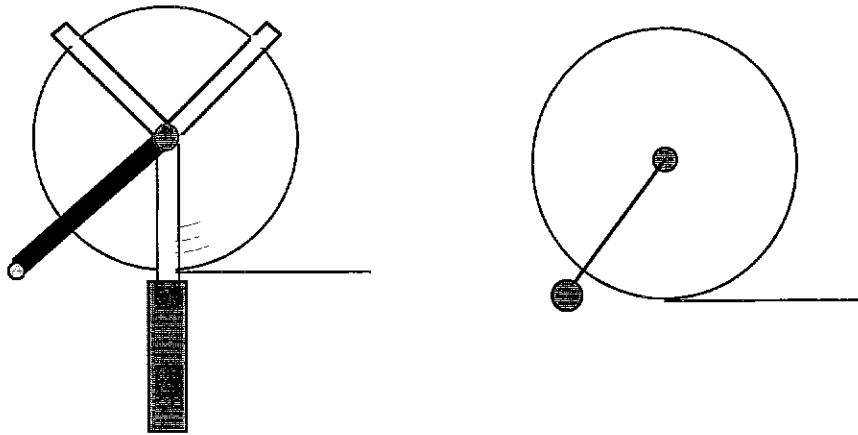
Les *altimètres de précision* sont sensibles aux faibles variations de pression atmosphérique et donnent des lectures à $\pm 0,5$ m. Il s'agit ici du résultat d'une mesure de pression atmosphérique. Cette pression atmosphérique peut varier pour un point donné. La précision de mesure d'altitude dépend donc principalement de cette variation de pression. La précision de mesure d'altitude n'est que de 10 m.

Presque tous les *altimètres* sont munis d'un bouton qui permet de calibrer la lecture de l'*altimètre* à l'altitude d'un point connu. Pour tout autre point, on aura donc directement l'altitude pourvu que les lectures soient prises dans un temps assez court et que les conditions atmosphériques soient relativement stables. (voir aussi 4.1.a.)

3.2.B. LE MÈTRE RUBAN

Le mètre ruban sert à mesurer des distances. Il est en métal ou en fibre de verre. Ces derniers sont légèrement moins précis, mais beaucoup moins fragiles et donc souvent à préférer. On en trouve de 20, 30 ou de 50 m.

Il y en a deux types : - un qui est ouvert, qu'on appelle "*chaîne*"
- un qui s'enroule dans un boîtier, qu'on appelle "*galon*"
La longueur maximale du *galon* est de 30 m.



chaîne

figure 3.1

galon

Le *mètre ruban* dispose souvent d'un anneau.

Le point zéro du mètre peut se trouver à l'extrémité de l'anneau ou à l'extrémité du ruban. La graduation est normalement en mètre, décimètre, centimètre et millimètre.

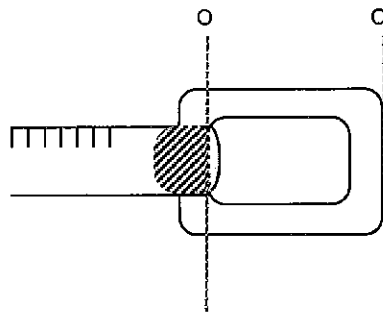


figure 3.2

3.2.C. LE NIVEAU A BULLE AVEC REGLE

Cet appareil peut être utilisé pour déterminer des *dénivellations*.
Il peut être fabriqué sur place.

Matériel nécessaire :

- règle de ± 4 m de long, sur environ 20 cm de large et 3 cm d'épaisseur
- niveau à bulle
- piquets et marteau.

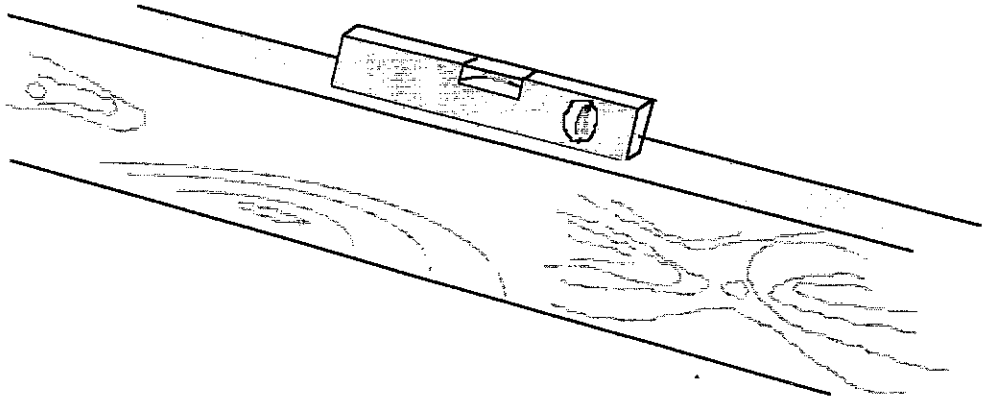


figure 3.3

Le dessous de la planche doit être suffisamment plat. Attachez le *niveau à bulle* sur le dessus, à peu près au milieu, soit avec du ruban adhésif, soit en fixant deux piquets sur les côtés de la planche, de façon à pouvoir ajuster le niveau entre eux. Il est alors important que le niveau soit toujours posé de la même façon sur la planche. Il faut contrôler l'horizontalité de l'appareil à l'aide de deux points ayant la même cote, et/ou contrôler une mesure en retournant la règle.

3.2.D. LE NIVEAU D'EAU

Le niveau d'eau peut être utilisé pour mesurer la *dénivellation* (et aussi pour le *jalonement des courbes de niveau*, voir 5.1.e). Il peut être fabriqué sur place.

Matériel nécessaire :

- tuyau souple transparent de 15 à 25 m de long, d'un diamètre maximal de 1 cm
- 2 lattes de 2 m x 10 cm x 2 cm qui servent de jalons, avec une graduation
- morceaux de chambre à air
- clous en U (cavaliers) et marteau.

Les extrémités du tuyau sont attachées au jalon, par exemple au moyen d'une chambre à air fixée avec des cavaliers. On peut ainsi faire glisser le tuyau légèrement vers le haut ou vers le bas quand c'est nécessaire au cours des mesures.

Les extrémités supérieures du tuyau doivent dépasser les lattes d'environ 15 cm pour qu'on puisse le remplir plus facilement. Avant le premier remplissage, le tuyau doit être rincé avec de l'eau savonneuse pour éviter les bulles d'air au moment de l'utilisation.

Si nécessaire, il faut répéter cette opération.

Quelquefois, une corde de 10 m de long ou plus est fixée aux lattes pour limiter la distance entre les lattes.

Cette corde, plus courte que le tuyau, permet d'éviter d'endommager celui-ci.

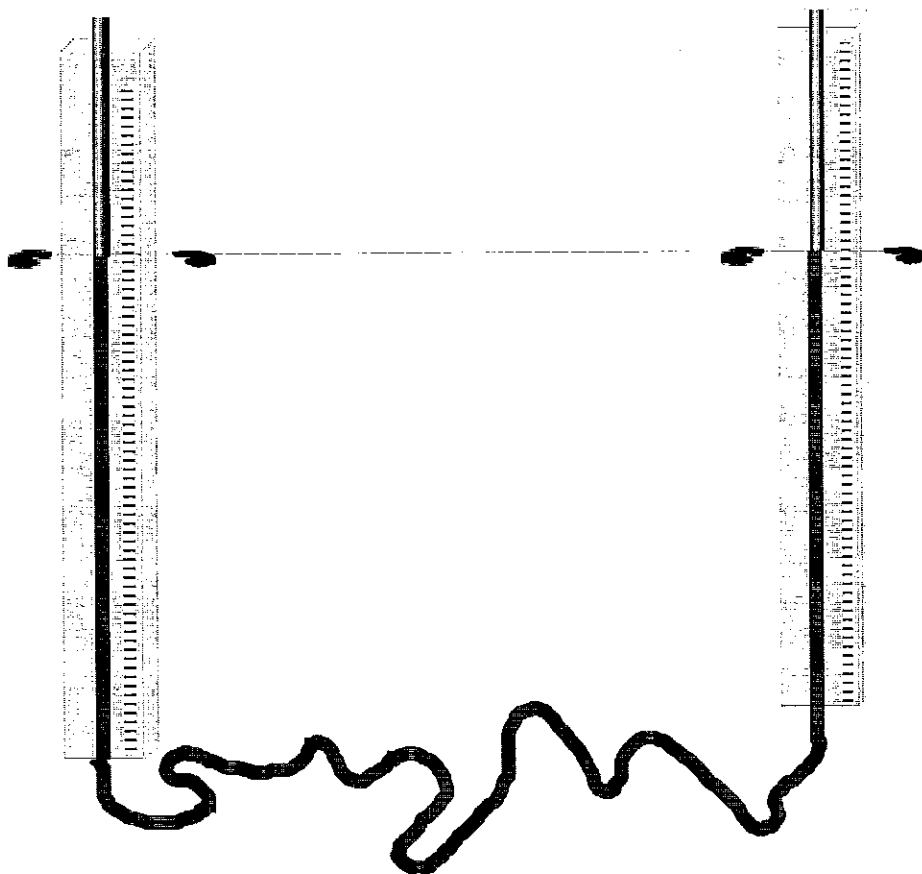


figure 3.4

Remarques :

- Pour le transport, fermez les extrémités du tuyau en plastique au moyen d'un bouchon de liège ou de papier. N'oubliez pas de les enlever avant l'utilisation !
- Les bulles d'air qui persistent doivent être enlevées. Pour cela, remplissez à nouveau le tuyau ou rincez-le avec de l'eau savonneuse. Les petites bulles d'air qui mesurent moins de la moitié du diamètre intérieur du tuyau ne gêneront pas la lecture.
- Vérifiez toujours la fiabilité de l'instrument avant l'utilisation. Placez les deux lattes l'une à côté de l'autre à la même hauteur. Le niveau d'eau doit être le même des deux côtés.
- La partie inférieure de la surface concave de l'eau est considérée comme le niveau de lecture.

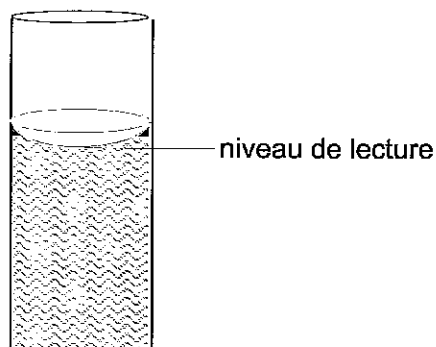


figure 3.5

3.2.E. AUTRES

À côté de ces instruments, il existe encore un certain nombre d'appareils moins utilisés comme les équerres, le sextant, le goniographe, la boussole, le télémètre, le clinomètre... La description de ces appareils ne fait pas partie de ce livre.

3.3. ACCESSOIRES

3.3.A. LE FIL A PLOMB

Le *fil à plomb* est un objet lourd (généralement en laiton et se terminant de préférence en pointe) qui pend au bout d'une ficelle. À cause du poids (entre 150 et 500 g), la ficelle pendra verticalement. Le poids doit être suffisant pour résister au vent.

On peut utiliser le fil à plomb pour :

- la pose verticale des *jalons*
- placer un instrument perpendiculairement au-dessus d'un point donné
- transférer un point d'une certaine *altitude* à une autre altitude sur une verticale.



figure 3.6

3.3.B. LE NIVEAU A BULLE

Le *niveau à bulle* sert à vérifier l'horizontalité ou la verticalité d'objets. Il contient un ou plusieurs tube(s) de lecture. Parfois, les nivelles sont munies d'une graduation, qui donne une indication de la *pente* de l'objet.

Le niveau à bulle, utilisé dans la topographie, dispose de deux faces plates, tandis que le niveau de maçon n'a qu'une seule face plate.

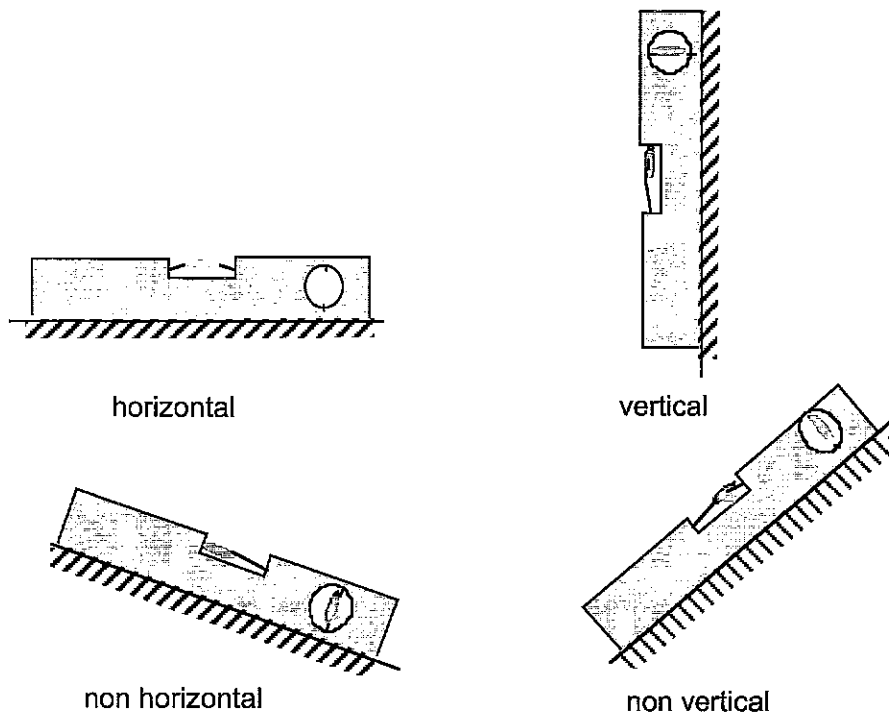


figure 3.7

3.3.C. LE JALON

Les *jalons* sont des bâtons droits et ronds, de 3 ou 4 cm de diamètre et de 1,5 à 3 m de longueur. Ils sont en bois (avec une pointe métallique) ou en métal, parfois en plastique. Pour améliorer la visibilité, ils sont peints en blanc et rouge ou en blanc et noir.

Ils aident à délimiter des surfaces, à tracer des *lignes droites* sur le terrain, et à matérialiser les points à lever.

On peut également fabriquer des jalons soi-même, avec des bambous rigides très droits ou des branches d'arbres. Les jalons ne peuvent pas être courbés.

Ils doivent être placés verticalement, au moyen d'un fil à plomb ou plutôt d'un niveau à bulle.

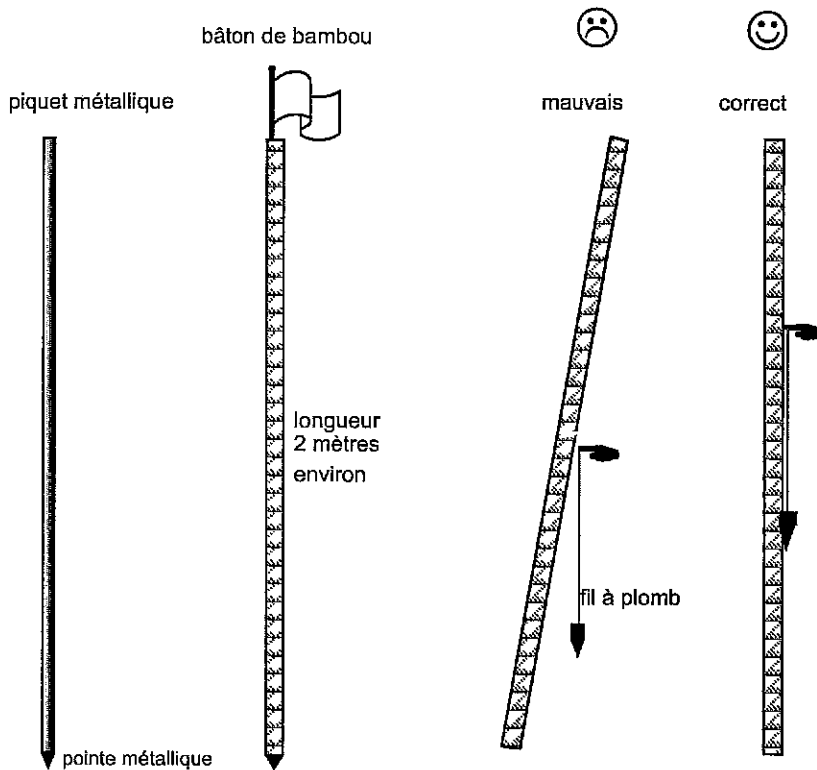


figure 3.8

3.3.D. LA MIRE

La *mire* est une latte en bois, en métal ou en fibre de verre, pliable ou coulissante de 2 à 5 m de longueur. Elle est graduée en centimètres, avec numérotation des décimètres. Parfois, les chiffres sur la mire sont à l'envers. En effet, dans certains instruments de topographie, l'image est renversée. Quand les chiffres de la mire sont écrits à l'envers, on peut alors les lire à l'endroit dans l'instrument (*il est important que la mire et l'instrument soient adaptés l'un à l'autre*). Pour la pose de la mire, le zéro doit toujours être au niveau du sol. Elle doit également être tenue rigoureusement verticale au moment de la lecture. Dans ce but, la mire est souvent munie d'une *nivelle sphérique*. (voir 3.4.a)

Si la mire ne dispose pas de nivelle, il est recommandé d'utiliser un *niveau à bulle*, tenu contre la mire, pour assurer la verticalité.

Dans des circonstances où le sol n'est pas stable (p.ex. sol boueux) on peut utiliser un socle pour mire (p.ex. une planche en bois ou un piquet).

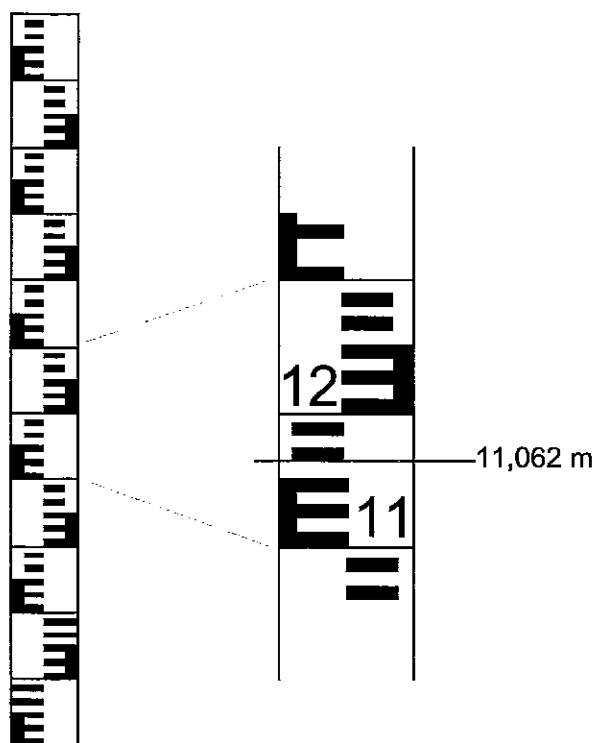


figure 3.9

3.3.E. LE PIQUET

De petits *piquets* en bois (± 50 cm) taillés en pointe servent à localiser temporairement un point, pendant le métrage (p. e. pour indiquer la localisation d'une *station*), ou pendant le *tracé*.

Avec un piquet, on peut bien indiquer de nouvelles hauteurs, en gardant une hauteur standard par rapport au sommet du piquet (par exemple 15 cm).

Les piquets doivent être enfoncés tout à fait verticalement dans le sol et leur sommet doit être bien visible.

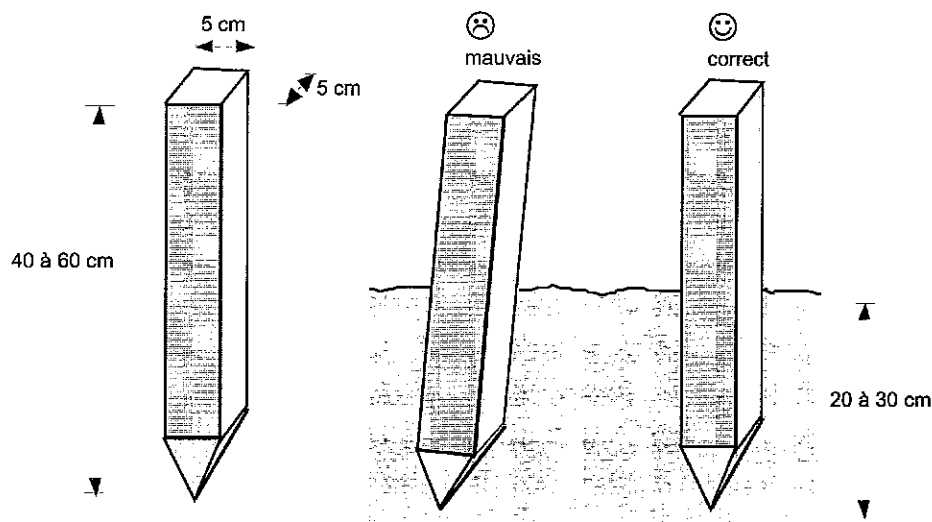


figure 3.10

3.3.F. LE CADRE - A (OU NIVEAU - A)

Le cadre - A est l'un des instruments les plus simples pour déterminer les *courbes de niveau* et des *lignes à pente constante*, mais par sa simplicité, l'instrument est loin d'être précis. Le cadre-A n'est pas un instrument de mesure mais sert uniquement à *jalonner* des lignes à pente constante (ou à pente nulle).

Matériel nécessaire :

- 3 bâtons de ± 2 m de long
- des ficelles et/ou des clous
- une corde de 2 m de long environ
- une pierre (ou un autre objet d'un certain poids).

Construction :

- Avec la ficelle ou les clous, on attache deux bâtons d'une même longueur l'un à l'autre, à environ 15 cm de leur extrémité supérieure.
- Le troisième bâton est fixé à environ 20 cm de l'extrémité inférieure des deux autres bâtons, de façon à former un "A".

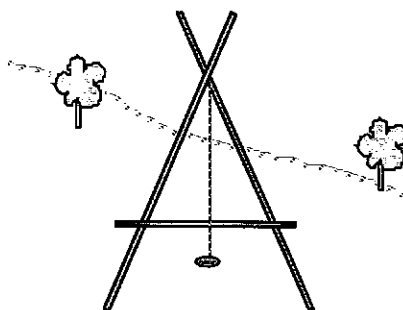


figure 3.11

- La partie mobile consiste en une pierre solidement attachée au bout d'une corde (ou un fil à plomb). L'autre bout de la corde est fixé au sommet du triangle, là où les deux pieds du "A" se croisent. La corde doit être suffisamment longue pour que la pierre puisse balancer librement en dessous de la barre transversale, mais sans toucher le sol.
- Avant de pouvoir utiliser l'instrument, il faut d'abord l'*étalonner*. Cet étalonnage se réalise en fixant un index sur la barre transversale à l'endroit où la corde, munie de la pierre, touche la barre quand les deux pieds de l'instrument sont de niveau.

Pour connaître cet endroit précis, on procède de la façon suivante :

- Vous dressez l'instrument. Pendant que votre collaborateur le maintient, vous enfoncez un petit piquet dans le sol, juste à côté de l'un des pieds du "A". Puis vous enfoncez un autre piquet à côté de l'autre pied. Quand la pierre attachée à la corde ne balance plus et qu'elle est tout à fait immobile, vous marquez avec un stylo ou un crayon l'endroit exact où la corde touche la barre transversale.
- Soulevez maintenant l'instrument et inversez sa position. Reposez-le en plaçant chacun des pieds à côté de l'autre piquet que celui à côté duquel il se trouvait précédemment. Quand la pierre est immobile, marquez de nouveau l'endroit précis où la corde touche la barre transversale.
- Si cette deuxième marque est au même endroit que la première, cela implique que le "A" se trouvait déjà dans une position à niveau. La marque unique sera votre point de repère.
Si les deux marques ne coïncident pas, notez la distance entre elles et faites une troisième marque exactement au milieu. Cette troisième marque sera maintenant votre repère.
- Chaque fois que l'instrument est mis de niveau, la corde touchera la marque - repère.

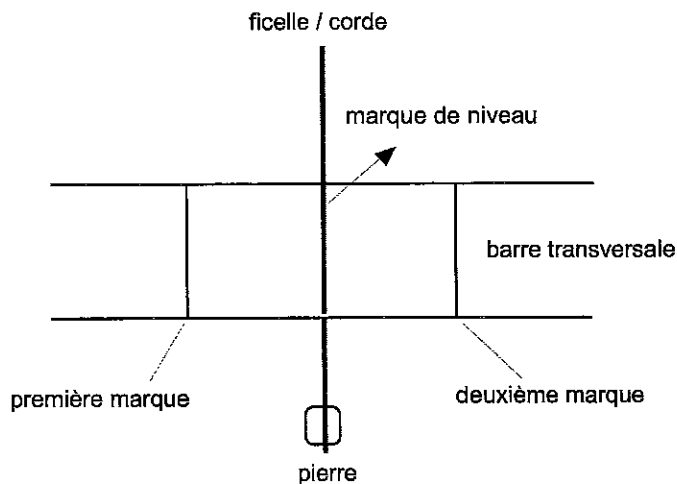


figure 3.12

- Gomez maintenant toutes les marques, sauf la marque - repère. Il serait peut-être bien de la graver de façon permanente par une petite encoche. Cependant, veuillez à ne pas la faire trop profonde, parce que la corde pourrait s'y coincer, et cette corde doit toujours pouvoir balancer librement le long de la barre transversale.
- Pour éviter l'accumulation d'erreurs dues à l'appareil, on pivote le cadre-A au lieu de le déplacer. Si l'étalonnage du cadre-A n'est pas tout à fait exact, le pivotement élimine cette erreur (voir fig. 5.1.d.).

3.3.G. LES PLANCHES EN "T"

Les *planches en "T"* sont utilisées pour déterminer des *lignes horizontales* ou des *lignes à pente constante*, en particulier pour les travaux *d'excavation de canaux*. Elles permettent de *jalonner* rapidement une plus grande distance.

Les planches en "T" ne sont pas des instruments de mesure mais servent uniquement à jalonner des *lignes à pente constante* (ou à pente nulle).

Matériel nécessaire :

- 3 à 4 lattes de 100 x 10 x 2 cm
- 2 à 3 lattes de 50 x 10 x 2 cm
- 1 latte de 50 x 20 x 2 cm
- des clous et un marteau
- de la peinture (deux couleurs bien discernables)

Les planches en "T" ont une hauteur de 100 cm, et la latte transversale mesure 50 x 10 cm. Il est important que toutes les planches en "T" aient exactement la même hauteur. La dernière planche en "T" est la seule qui ait une latte transversale de 50 x 20 cm. Cette latte transversale est divisée en deux parties de 50 x 10 cm avec de la peinture rouge et blanche (ou rouge et noire).

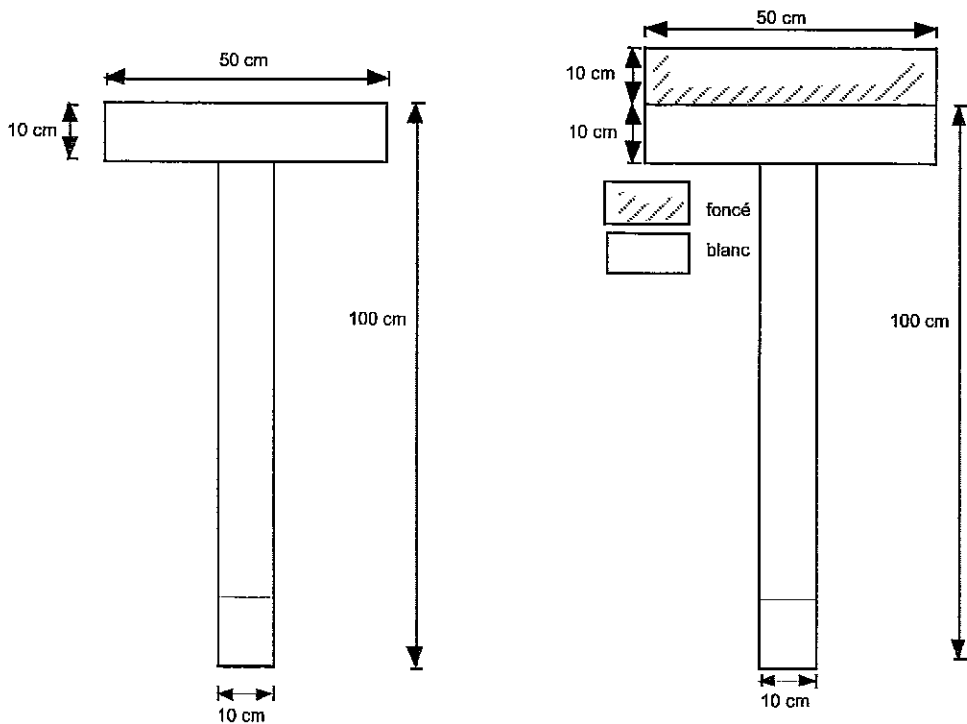


figure 3.13

3.3.H. LES CHAISES DE NIVELLEMENT

Les chaises de nivellement sont utilisées pour vérifier la profondeur d'une excavation (conduite, réservoir enterré), pour jalonner un canal horizontal ou à pente constante, ... Tout comme les planches en "T", ce ne sont pas des instruments de mesure. Lors de leur utilisation, elles sont placées à cheval sur l'excavation (voir fig. 3.13b)

Matériel nécessaire :

- 3 à 4 planches de 10 x 2 cm de section et d'une longueur (L) supérieure à la largeur (l) de l'excavation ($L = l + 50$ cm au moins)
- 6 à 8 piquets de 100 x 5 x 5 cm
- des clous et un marteau.

Fixez un piquet à chaque extrémité des planches, perpendiculairement à celles-ci.

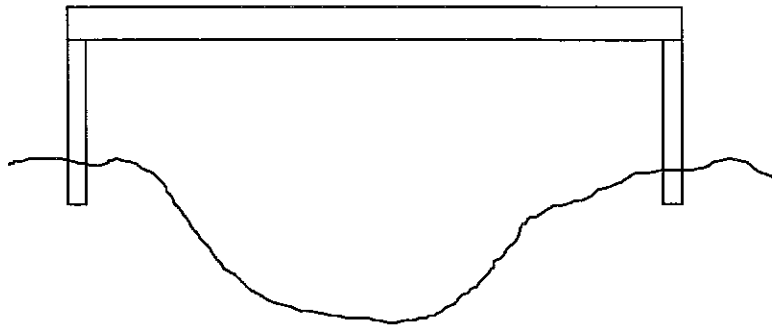


figure 3.13.b

3.4. LES INSTRUMENTS COURANTS (LE NIVEAU A LUNETTE ET LE THEODOLITE)

Le *théodolite* et le *niveau à lunette* disposent d'un nombre d'organes communs. Pour simplifier la description, nous décrivons d'abord ces éléments communs du niveau à lunette et du théodolite.

! recommandation !

Si le lecteur dispose d'un niveau à lunette ou d'un théodolite, la lecture sera facilitée s'il parcourt le texte en étudiant l'instrument sur base du texte avec l'instrument à la main. Il est évident que, certainement pendant une première lecture, le lecteur ne doit lire que les sujets qui concernent son propre instrument et peut sauter les autres.

! recommandation !

3.4.A. LES PRINCIPAUX ORGANES COMMUNS

Tous les *théodolites* et *niveaux à lunette* disposent de :

- une *lunette*
- une ou plusieurs *nivelles*
- un *dispositif de lecture*
- un dispositif pour *placer* et *caler* l'appareil (le *trépied* et les *vis calantes*).

La lunette

La lunette employée en topométrie est une lunette astronomique (presque toujours munie d'un équipement qui donne une image droite) (fig. 3.14 et 3.15), composée principalement d'un :

- *objectif* (a)
- *oculaire* (b)
- *dispositif de mise au point* (c)
- *réticule* (d)

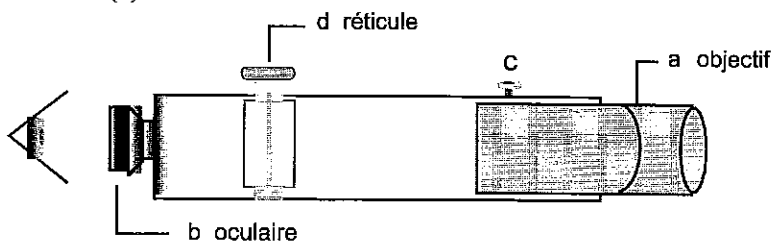


figure 3.14

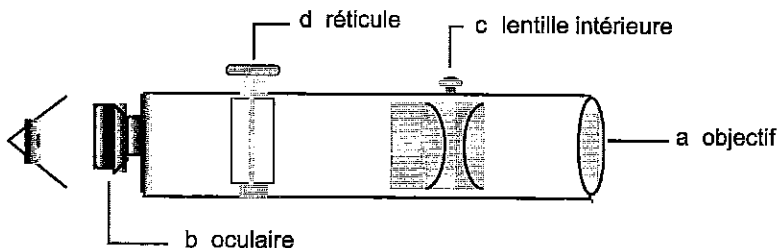


figure 3.15

Les lunettes sont de deux types : à mise au point interne (fig. 3.14) et à mise au point externe (fig. 3.15).

L'objectif

L'*objectif* (a) est un système optique convergent à grande distance focale, donnant dans le plan du *réticule* (d) une petite image réelle, mais renversée, de l'objet, appelée "image intermédiaire". Cette image est trop petite pour être visible à l'œil nu.

L'oculaire

L'*oculaire* (b), composé de plusieurs lentilles convergentes, est situé près de l'œil de l'observateur. L'oculaire fonctionne à la façon d'une loupe et donne de l'image intermédiaire une image finale qui est agrandie, pour être visible à l'œil nu, et souvent droite (pour faciliter l'observation).

Le réticule

Le *réticule* (d) est une monture placée perpendiculairement à l'axe de la lunette, dans le plan de l'image de son objectif. Il porte un système de fils ou lignes gravées.

La ligne qui coupe ces lignes transversales du réticule et le centre de l'objectif est appelée la *ligne de visée*.

On peut ajouter d'autres lignes, appelées *fils de stadia* (*traits stadimétriques*), à égale distance du croisement des premières, ils permettent une détermination indirecte des distances.

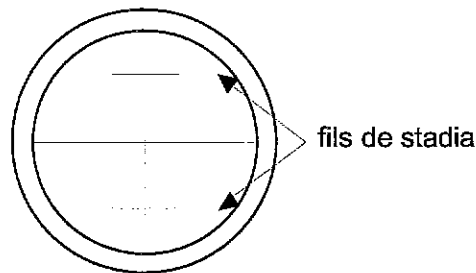


figure 3.16

Le dispositif de mise au point

Afin d'amener l'image de l'objet dans le plan du réticule, la lunette est munie d'un *dispositif* (c) qui sert à déplacer l'*objectif* (fig. 3.14) ou une *lentille intérieure* entre l'objectif et le réticule (fig. 3.15).

Dans les anciens modèles (fig. 3.14), il fallait déplacer l'objectif pour amener l'image intermédiaire dans le plan du réticule. Pour ce faire, l'objectif est fixé à l'extrémité d'un second tube qui, à l'aide d'une vis, se déplace vers l'intérieur ou vers l'extérieur du tube principal de la lunette. Ces appareils présentent un inconvénient : ils manquent d'étanchéité.

Dans les appareils modernes, le tube principal est fermé pour éviter ce problème. En déplaçant une lentille intérieure, on peut placer l'image intermédiaire dans le plan du réticule.

Le réglage de la lunette

Le réglage de la lunette se fait en trois étapes :

a) réglage de l'oculaire : Il dépend de l'observateur (qui enlève ses lunettes pour l'occasion). On règle l'oculaire jusqu'au moment où les fils du réticule apparaissent très clairs. On tient les deux yeux ouverts pour éviter l'accommodation. Pour une même personne, le réglage de l'oculaire donne une distance fixe entre l'oculaire et le réticule et ne doit plus être adapté pendant le levé topographique. Chaque fois qu'une autre personne veut utiliser l'appareil, l'oculaire doit être réajusté. Ceci est dû au fait que les yeux de chaque individu sont différents.

b) réglage de l'objectif (ou de la lentille intérieure) : Ce réglage dépend de la position de l'objet observé, il faut le refaire à chaque visée d'un nouveau point. Il s'agit maintenant d'amener l'image dans le plan d'observation, c. à. d. dans le plan du réticule. Cela se fait à l'aide du dispositif de mise au point (c) (fig. 3.14 et 3.15), jusqu'à ce que l'image soit très claire.

c) contrôle de parallaxe : Afin de s'assurer que la mise au point est correcte, l'opérateur pourra vérifier s'il n'y a pas de parallaxe en hochant la tête de gauche à droite. Si les fils semblent se déplacer par rapport à l'image, il y a de parallaxe : le plan de l'observation de l'oculaire ne coïncide pas avec le plan de l'image intermédiaire de l'objectif (voir fig. 3.14 et 3.15).

On supprime la parallaxe en affinant la mise au point, c. à. d. le réglage de l'oculaire (cas a, si les fils du réticule n'étaient pas nets) ou le réglage de l'objectif (cas b). Il faudra, en outre, à chaque nouvelle visée, s'assurer de l'absence de parallaxe.

! résumé !

réglage de la lunette

L'opérateur fait en début de levé un réglage de l'oculaire; à chaque station, pour chaque objet (la mire, en général) observé, il règle l'objectif et vérifie le résultat par un contrôle de parallaxe. Une lunette dérégulée peut mener à de grandes erreurs dans les résultats !

! résumé !

La lecture de la mire

Quand on lit sur la mire à travers l'objectif du niveau, on doit noter trois hauteurs, celle qui correspond à l'intersection des traits vertical et horizontal (trait central) ainsi que celles qui correspondent aux traits stadimétriques (traits supérieur et inférieur). Cette lecture doit se faire au millimètre près, comme dans l'exemple de la figure ci-après.

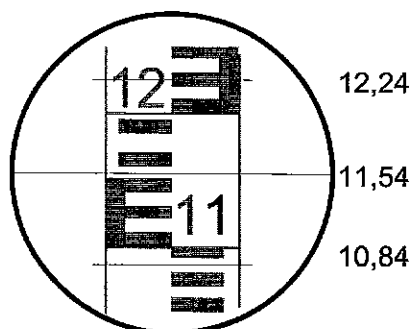


figure 3.17

La nivelle

La *nivelle* est un instrument servant à vérifier l'horizontalité d'une ligne ou d'un plan (le niveau de maçon comporte une nivelle tubulaire).

Elle consiste en une *fiolle*, qui peut avoir la forme d'un tonneau ou d'un tore de révolution et qui est presque entièrement remplie d'alcool ou d'éther.

La bulle d'air (couramment appelée la *bulle*) prend la position du point le plus haut.

La face extérieure du tube porte généralement une graduation uniforme de 2 mm.

La tangente imaginaire au centre de la nivelle est appelée *la directrice de la nivelle*.
Si la bulle se trouve au milieu de la nivelle, la directrice de la nivelle est horizontale.

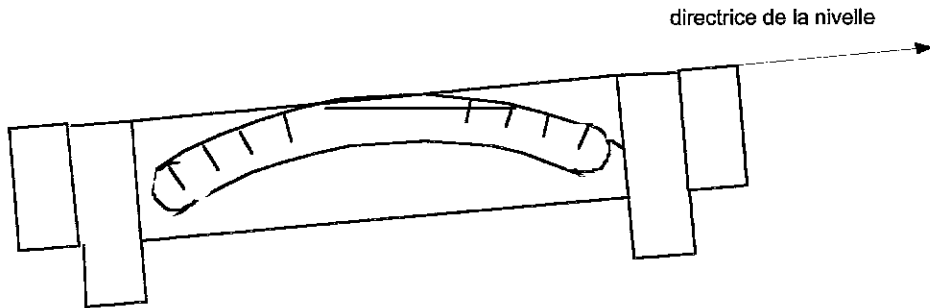


figure 3.18

Les nivelles les plus courantes sont la *nivelle tubulaire* et la *nivelle sphérique*.

La nivelle tubulaire

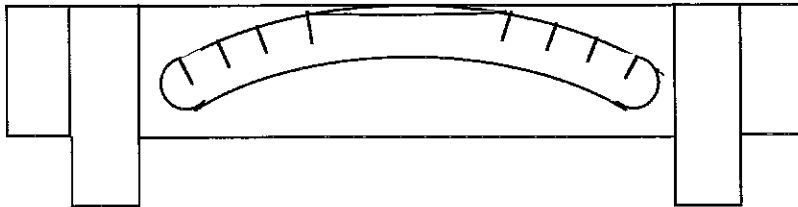


figure 3.19

La fiolle de la nivelle tubulaire est en forme de tore de révolution (comme une banane). Son rayon de courbure, plus ou moins grand, est fonction de la sensibilité décidée par le fabricant.

La nivelle sphérique

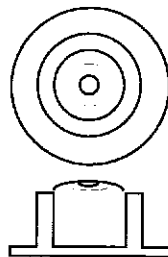


figure 3.20

La *nivelle sphérique* est constituée d'une fiole dont la partie supérieure, en forme de calotte sphérique, comporte un repère circulaire. Elle n'est pas très sensible et est souvent utilisée pour un premier calage.

La sensibilité

La *sensibilité* d'une nivelle est donnée par l'angle dont il faut la basculer pour que la bulle se déplace d'une division ou d'une distance unitaire.

Plus une nivelle est sensible, plus il est difficile de la caler : pour le moindre basculement, la bulle passe rapidement d'un bout à l'autre de la fiole.

On dit qu'elle est folle.

Le choix de la nivelle par le constructeur influence considérablement la précision de l'appareil.

! information complémentaire !

Ils existent d'autres nivelles, mais moins courantes.

La nivelle réversible

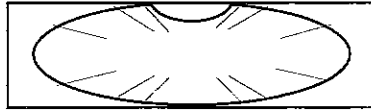


figure 3.21

La *nivelle réversible* consiste en une fiole en forme d'un tonneau et portant des graduations sur deux faces opposées.

La nivelle cavalière

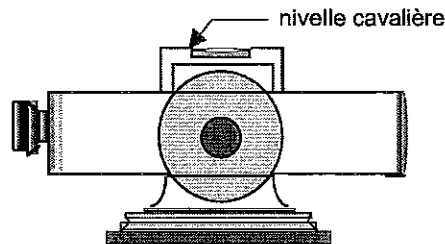


figure 3.22

La *nivelle cavalière* est une nivelle que l'on dépose sur les tourillons d'une lunette pour en assurer l'*horizontalité* (utilisée pour *calibrer un niveau* et un *théodolite*). Elle est libre de tourner bout par bout. Elle est généralement très sensible.

La nivelle à bulle coupée

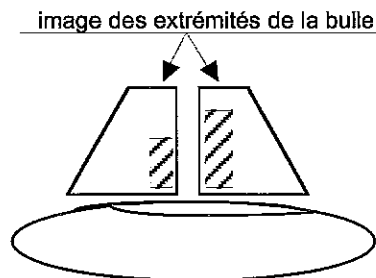


figure 3.23

La *nivelle à bulle coupée* est une nivelle tubulaire munie d'un système optique d'observation à prismes qui permet de voir simultanément les deux extrémités de la bulle.

Il s'agit de faire coïncider les deux demi-bulles ainsi obtenues. C'est une nivelle très précise.

! information complémentaire !

Le dispositif de lecture des angles

La *mesure d'un angle* avec la précision demandée en topographie ne peut généralement pas s'effectuer en une seule étape.

On effectue d'abord une *lecture générale* et puis une *lecture de précision*.

Par exemple, si l'angle à mesurer s'élève à $2^{\circ}42'20''$, la lecture générale donnera $2^{\circ}42'$ comme résultat. La lecture de précision (l'appoint) donnera $20''$ comme résultat.

Le résultat de la lecture globale sera donc de $2^{\circ}42'20''$. Une lecture qui ne contient pas de lecture de précision n'est généralement pas acceptable.

La *lecture générale* est effectuée avec un dispositif qui ne nécessite pas de réglage.

Certains instruments disposent d'une échelle principale circulaire sur laquelle on peut lire l'angle horizontal ou vertical.

D'autres ont une fenêtre dans laquelle on peut lire l'angle horizontal et vertical.

L'utilisation de ces dispositifs ne nécessite pas d'explication.

Pour mesurer des angles avec précision (c'est-à-dire la lecture de précision), il faut doter les instruments topographiques d'un des dispositifs suivants :

- ou le *vernier*
- ou le *microscope de lecture*.

Le microscope de lecture des angles

Le *vernier* n'est presque plus utilisé car son utilisation a plusieurs désavantages :

- la précision est limitée;
- le risque de fautes est assez grand;
- le temps de lecture est assez grand; les conditions d'éclairage sont importantes (reflets, manque de contraste etc.).

Ceux qui ont un instrument muni d'un vernier peuvent trouver l'explication dans le cadre "information complémentaire".

Pour éviter ces inconvénients, on utilise des dispositifs optiques. La graduation est gravée sur des plaques de verre donnant des traits plus fins que la gravure sur le métal (argent). Les lectures du limbe et de l'appoint sont faites directement, ce qui réduit les possibilités de fautes. Les appareils modernes sont équipés d'un tel système.

Plusieurs types sont utilisés, on présente ici les plus courants :

microscope à échelle :

L'angle peut être lu directement dans un microscope, qui est muni d'une échelle.

L'objectif de ce microscope se trouve souvent à côté de l'objectif de la lunette.

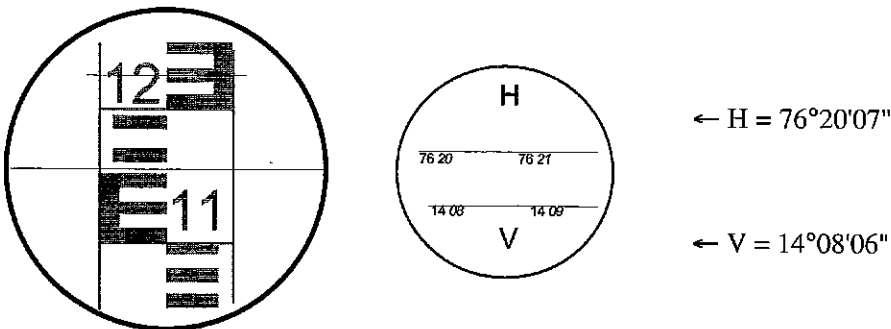


figure 3.24

micromètre optique :

Le microscope dispose de trois fenêtres :

- une pour les *angles horizontaux*, avec un index central
- une pour les *angles verticaux*, avec un index central
- une pour les sous-divisions (ou lecture de précision) des angles horizontaux ou verticaux.

Pour lire l'angle horizontal, on tourne la vis micrométrique pour centrer une division dans la fenêtre des angles horizontaux sur l'index, et on lit l'appoint dans la fenêtre des sous-divisions. (fig. 3.25 b)

La lecture des angles verticaux se fait de la même manière, mais on centre une division dans la fenêtre des angles verticaux. (Fig. 3.25 c)

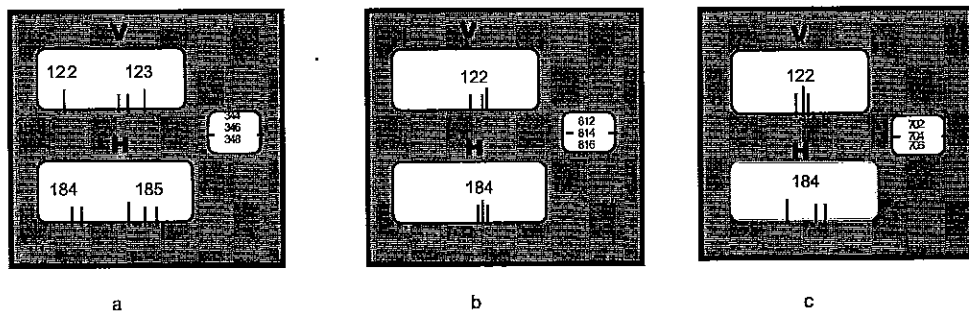


figure 3.25

Dans l'exemple (figure 3.25) où l'on utilise un système centésimal :

- l'angle horizontal est de 184,814 grades
- l'angle vertical est de 122,704 grades

! information complémentaire !

Le vernier

Le *vernier* est une échelle circulaire, concentrique à l'échelle principale et avec le même rayon que l'échelle principale.

Il est divisé en "n" parties égales, qui sont un peu plus petites que les divisions (D) de l'échelle principale, de sorte que "n" parties du vernier ont la même longueur que "n-1" parties de l'échelle principale.

La différence entre la division (D) de l'échelle principale et la division (d) du vernier est le *degré d'appréciation* d'un vernier.

Ainsi, pour "n" divisions du vernier, nous pouvons écrire :

$$n.d = (n-1).D$$

$$n.d = n.D - D$$

$$n.D - n.d = D$$

$$D-d = D/n$$

qui est le *degré d'appréciation* du vernier et qui est donc égal à une division de l'échelle principale divisée par le nombre de divisions du vernier. L'appréciation du vernier est également la précision de la lecture.

L'exemple suivant explique l'utilisation du vernier (voir aussi fig. 3.26).

La valeur de l'angle est de $3^{\circ}20'a_0$ avec a_0 inconnu.

On remarque que les distances $a_0, a_1, a_2 \dots$ deviennent de plus en plus petites de sorte qu'on doit trouver $a_m = 0$.

Dans le dessin :

$$a_m = 0$$

$$a_{m-1} = D - d = D/n$$

$$a_{m-2} = 2D - 2d = 2 D/n$$

....

$$a_1 = (m-1).D - (m-1).d = (m-1).D/n$$

$$a_0 = m.D - m.d = m D/n$$

Donc, le vernier est utilisé de la façon suivante :

- prenez l'index (M) de l'échelle principale qui précède l'index O du vernier;
- cherchez l'index (m) du vernier qui coïncide avec un index de l'échelle principale, et multipliez par l'appréciation du vernier. La lecture est : $M + m.D/n$

La précision de la lecture est égale à l'appréciation ou D/n .

Dans le dessin :

$$M = 3^{\circ}20'$$

$$m = 6$$

$$D = 20'$$

$$n = 60$$

$$\text{donc } 3^{\circ}20' + 6 \cdot 20'/60 = 3^{\circ}22'00'' \pm 20''$$

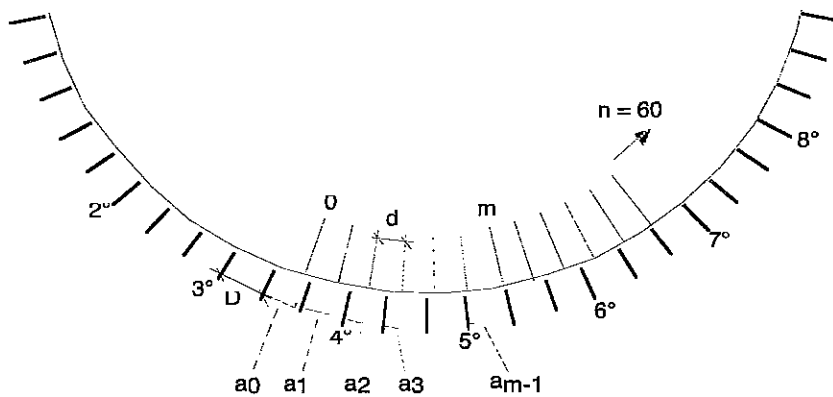


figure 3.26

! information complémentaire !

Le trépied / vis calantes

La plupart des instruments topographiques doivent être placés au niveau de l'œil de l'opérateur.

Dans ce but, on les installe sur un *trépied*. Les trépieds sont de deux types :

- à jambes fixes
- à jambes télescopiques, bloquées à l'aide de trois vis papillon.

Les premiers sont moins intéressants à utiliser puisqu'ils sont difficiles pour le réglage. L'opérateur doit déjà être très attentif à l'emplacement de sa station et au positionnement de son trépied de façon à pouvoir mettre son appareil à niveau, uniquement avec le dispositif de réglage de l'appareil même.

Les trépieds à jambes télescopiques permettent un premier réglage au niveau des pieds du trépied avant de finaliser la mise à niveau avec les dispositifs sur l'instrument même (généralement les vis calantes).

L'instrument topographique est installé sur le plateau du trépied avec *une vis de centrage*, qui s'accroche dans le filetage femelle de la platine de *l'embase* de l'appareil (partie inférieure de l'appareil, voir fig. 3.32). L'ensemble permet encore une translation limitée de l'instrument, qui facilitera le centrage de l'appareil.

Pour fixer l'appareil sur le trépied : tenez l'instrument d'une main et vissez la vis de centrage dans le filetage femelle de la platine de l'embase.

La *mise en station* consiste à placer l'instrument à la verticale de la station et puis à le caler :

- dévissez les trois vis papillon du trépied
- enfoncez les pointes de jambes du trépied dans le sol et montez la tête du trépied jusqu'au niveau du menton. Puis resserrez les vis papillon. Il faut éviter qu'une des jambes de l'instrument ne soit dans la direction de l'alignement, afin de ne pas gêner l'opérateur durant le mesurage.
- placez les jambes du trépied de façon à ce que la tête du trépied soit approximativement de niveau et que les pointes des jambes du trépied soient fermement fixées dans le sol. Sur sol mou, mettez une planche de bois sur le sol pour supporter les jambes de trépied.

Le calage de l'instrument se fait à l'aide de trois ou quatre petites pattes appelées vis calantes.

Vu que le système à 4 vis est plutôt exceptionnel, on se limite ici au système à 3 vis : On oriente l'instrument pour qu'une nivelle soit parallèle à la droite qui joint deux vis, et on tourne ces dernières dans des sens opposés l'un à l'autre (fig. 3.27 a).

La bulle se déplace toujours dans le *sens du pouce gauche* à condition qu'on ne tourne pas la vis opposée ou qu'on la tourne dans le sens opposé. Cette règle est appelée la *règle du pouce gauche*. Cette action continue jusqu'au moment où la bulle se trouve au centre de notre nivelle (fig. 3.27 b).

On fait pivoter l'instrument pour qu'il soit perpendiculaire à la première position et on tourne la troisième vis. On applique la *règle du pouce gauche*. (voir fig. 3.27.c).

On tourne l'instrument. Si la bulle est encore hors centre, on recommence.

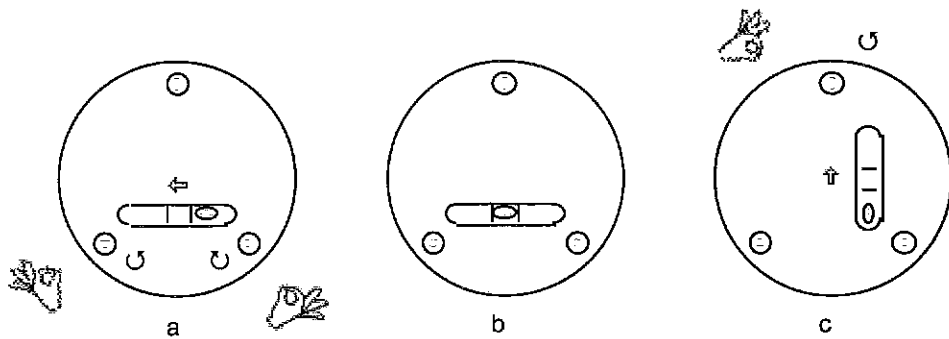


figure 3.27

Remarque :

L'appareil est souvent muni d'une nivelle sphérique; elle fonctionne autrement. Si l'on tourne les deux vis dans des sens opposés l'un par rapport à l'autre, la bulle se déplace dans la direction des deux vis. Si une seule vis est tournée, la bulle se déplace perpendiculairement aux deux autres vis.

3.4.B. LE NIVEAU A LUNETTE (LE NIVEAU)

Le *niveau à lunette*, couramment appelé *niveau*, convient au *jalonement des courbes de niveau* et des faibles pentes, au *nivellement de surface* et également à la *mesure de dénivellations et de distances*.

En général, le niveau est composé d'une *lunette*, d'une *nivelles* et d'un *dispositif de lecture*. Le tout est mobile autour d'un axe vertical (axe de rotation ou axe principal). La lunette, une fois placée horizontalement, donne un plan horizontal en tournant autour de cet axe principal, à condition qu'il soit vertical. L'horizontalité de la lunette est généralement réglée au moyen d'une nivelles fixée sur la lunette. L'axe de la lunette est parallèle à la direction de cette nivelles. L'exigence principale pour un bon fonctionnement de l'appareil est donc la suivante : la *ligne de visée* de la lunette doit être parallèle à la directrice de la nivelles ce qui impose que le réticule soit correctement positionné.

La plupart des instruments à niveau ont une graduation horizontale qui définit la position de l'instrument et celle du point à mesurer. Elle permet alors de mesurer des *angles horizontaux*. La graduation est en degrés (360) ou en grades (400).

Ils existent plusieurs types de niveaux à lunettes :

- le *niveau à collier ou niveau de collimation*
- le *niveau à lunette fixe*
- le *niveau à bascule ou niveau articulé*
- le *niveau à lunette réversible*
- le *niveau automatique*
- le *niveau géodésique*.

Le niveau sert principalement à la *lecture des hauteurs sur une mire*.

Dans ce but, la lunette est munie d'un système de fils ou de traits gravés sur le réticule. Après avoir réglé et calé l'instrument, on vise la lunette sur la mire et on lit les hauteurs qui coïncident avec:

- le *fil ou trait supérieur*
- le *fil ou trait central*
- le *fil ou trait inférieur*

Ces hauteurs servent à calculer la *dénivellation* et la *distance* entre le point où se trouve l'instrument et le point où se trouve la mire.

Actuellement, les instruments les plus courants sont le *niveau à lunette fixe* et le *niveau automatique*. Les autres ne sont presque plus fabriqués. Mais vu qu'ils sont toujours employés, on les traite dans le cadre "information complémentaire".

Avant chaque utilisation, les instruments doivent être réglés et certaines fonctions doivent être vérifiées. Les paragraphes suivants présentent les méthodes qui permettent *le réglage de ces instruments*.

L'utilisation même des appareils sera traitée aux chapitres 4 et 5.

! recommandation !

Il est conseillé au lecteur de lire ce paragraphe avec son niveau à lunette à la main, pour mieux comprendre le réglage de cet appareil.

! recommandation !

Le niveau à lunette fixe

Le niveau à lunette fixe a une lunette qui est solidaire du support. La nivelle y est fixée sur le support même, ou bien sur la lunette.

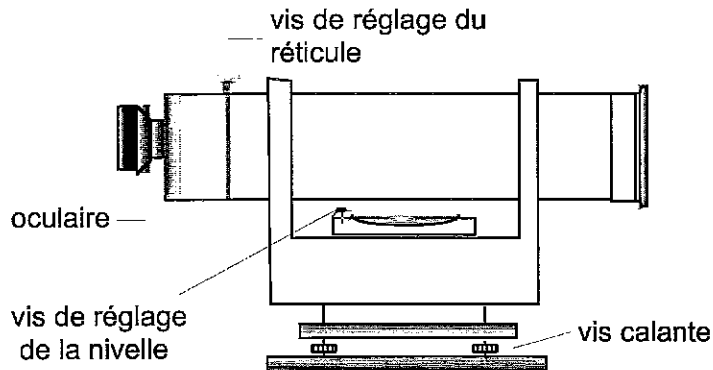


figure 3.28

Le niveau dispose de *trois vis calantes*, une *vis de réglage de la nivelle* et une *vis de réglage du réticule*.

Réglage

Le *réglage* est réalisé en deux étapes :

a) L'*axe principal* (l'axe vertical) de l'appareil doit être vertical.

La vérification se fait de la façon suivante :

- on installe et ajuste l'appareil (voir mise au point du trépied et de la lunette).
La bulle de la nivelle doit se trouver au milieu, c. à. d. entre les repères de la nivelle
- on tourne la lunette de 180° (ou 200 grades) autour de son axe vertical
- si la bulle revient entre les repères, elle est bien réglée, sinon on doit la caler.

Le déplacement de la bulle par rapport à sa position de niveau initiale est pour la moitié dû à l'erreur du calage de l'appareil sur le trépied, et pour la moitié au calage de la nivelle.

Pour corriger la nivelle et la verticalité de l'axe, on procède de la manière suivante :

- on corrige la nivelle de la moitié de l'erreur à l'aide de la *vis de réglage* de la nivelle
- on centre de nouveau la bulle à l'aide des *vis calantes*
- on tourne la lunette de 180° autour de son axe vertical, et répète la vérification.

Éventuellement, on recommence jusqu'à ce que la bulle reste entre ses repères.

Parfois, on ne peut pas corriger la nivelle, parfois on ne veut pas.

Dans ce cas, on cale la nivelle pour chaque visée, donc pour chaque mesure, même si on reste à la même station (il est donc vivement conseillé de réaliser le réglage si on a plusieurs mesures à effectuer).

Cette méthode n'est permise qu'à la condition que la *directrice* soit parallèle à la ligne de visée.

b) La *ligne de visée* doit être horizontale quand la bulle est centrée. Cette étape doit être réalisée même si la première a été effectuée mais alors il suffira de la réaliser une seule fois de temps en temps (un appareil se dérègle).

Ce réglage est généralement connu sous le nom de *réglage à deux piquets* ou *réglage de la collimation*. Cet ajustement est d'une importance primordiale, parce qu'il conditionne toute mise à niveau. Deux piquets A et B sont placés à environ 100 m l'un de l'autre, sur un sol pratiquement plat, et l'instrument est placé à mi-distance entre les deux, au point X, et ajusté (voir mise au point du trépied et de la lunette).

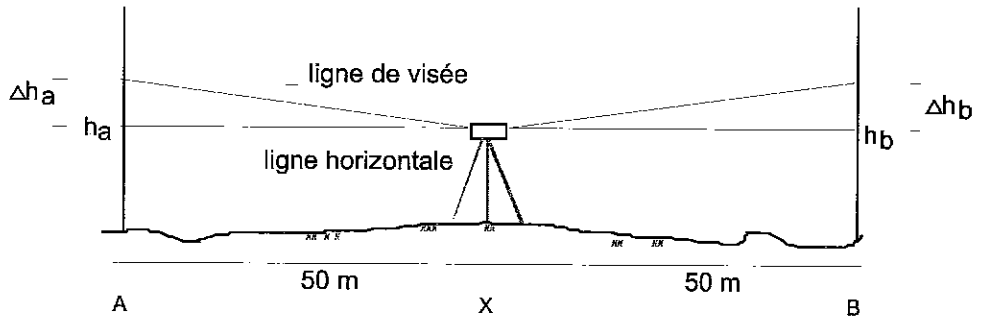


figure 3.29

Des visées sont effectuées sur la mire à chaque piquet. Assurez-vous que, à chaque lecture, la bulle est centrée. Comme la ligne de visée n'est pas horizontale, l'erreur sur la lecture " h_a " est de " Δh_a " et l'erreur sur la lecture " h_b " est de " Δh_b ".

Du fait que l'angle d'erreur de lecture sera le même pour les deux lectures et que les distances sont égales, l'erreur Δh_a sera égale à l'erreur Δh_b ($\Delta h_a = \Delta h_b$).

La différence de niveau entre les deux piquets Δh_1 est de :

$$\Delta h_1 = (h_a + \Delta h_a) - (h_b + \Delta h_b) \quad (1)$$

$$\text{et avec } \Delta h_a = \Delta h_b$$

$$\Delta h_1 = h_a - h_b \quad (2)$$

La différence entre les deux visées (2) sera la différence réelle entre les niveaux des deux piquets (1).

L'instrument est alors transporté jusqu'à la position Z, dans le prolongement de la ligne AB et 3m environ derrière l'un d'eux, puis ajusté (dans la figure 3.30, à 3 m du point B).

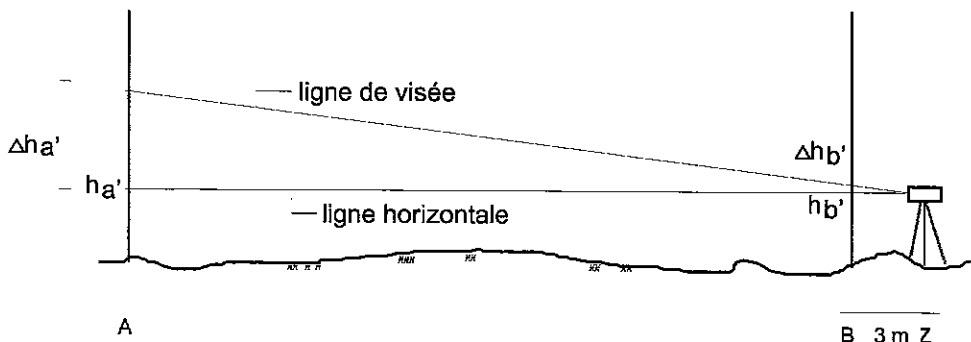


figure 3.30

On effectue les visées sur les mires à A et B et on calcule la dénivellation entre les deux piquets :

$$\Delta h_2 = (h_a + \Delta h_a) - (h_b + \Delta h_b).$$

Si elle correspond à la dénivellation réelle calculée auparavant ($\Delta h_1 = \Delta h_2$), on peut conclure que l'instrument est bien réglé.

Sinon, l'erreur totale doit être maintenant dans la lecture de la mire A ($h_a + \Delta h_a$), du fait que la courte distance jusqu'à B donnera une erreur négligeable ($\Delta h_b \approx 0$).

La dénivellation réelle est de Δh_1 , donc :

- prenez la lecture h_b
- additionnez la dénivellation réelle : $h_b + \Delta h_1$
- déplacez verticalement le réticule jusqu'à ce qu'on obtienne la lecture de correction sur la mire en A (lecture = $h_a + \Delta h_1$). Pour déplacer le *réticule*, on desserre les vis et on les resserre après avoir effectué le déplacement. Ce deuxième réglage terminé, la lunette est prête à l'emploi.

Remarque : mais si on ne veut / peut pas corriger le réticule, on peut procéder de la façon suivante :

- on détermine l'erreur de collimation verticale (Δh_2)
- on détermine la longueur de la portée entre les points A et B (L)
- on détermine l'erreur de collimation :

$$\text{tang } \varphi = (\Delta h_1 - \Delta h_2) / L$$
- on corrige chaque lecture ou la somme algébrique des lectures en fonction de la longueur des portées, en multipliant la tangente ($\text{tang } \alpha$) par la longueur entre l'instrument et la mire. Si la lecture est H et la longueur est L', la lecture corrigée est :

$$H_{\text{corrigé}} = H - (\text{tang } \varphi \cdot L').$$

! exemple !

Nous prenons deux piquets et les mettons à une distance de 97 mètres. Pour une première lecture, nous posons l'appareil entre les deux piquets A et B, à 48,5 mètres de chacun des piquets.

La lecture sur les mires nous donne respectivement :

lecture A : 1,543 m

lecture B : 1,423 m

la dénivellation réelle entre les points A et B est alors : $\Delta h_1 = 0,120$ m

Pour une deuxième lecture, nous posons l'appareil dans le prolongement de la ligne AB, à environ 3 mètres du point B.

Maintenant, la lecture sur les mires nous donne :

lecture A : 1,643 m

lecture B : 1,428 m

la dénivellation ainsi obtenue serait de $\Delta h_2 = 0,215$ m

Ou bien on vise sur la mire en A sur $1,428 + 0,120 = 1,548$ m, et on règle le réticule jusqu'à ce que la ligne de visée soit fixée sur 1,548 m.

Ou bien on corrige les hauteurs mesurées :

on mesure la distance entre les points A et B, dans ce cas 97 m

$\text{tang } \varphi = (0,120 - 0,215) / 97 = -0,000979$

pour A, la lecture corrigée est donc $1,428 - (-0,000979) \times 97 = 1,548$ m

! exemple !

Si on ne peut pas corriger l'appareil, on peut neutraliser l'erreur de collimation en posant l'appareil au milieu entre les deux points à mesurer. Ainsi, la différence entre les deux visées sera la différence réelle entre les niveaux des deux points.

! recommandation !

Il existe des techniques pour neutraliser les erreurs dues au fait que :

- l'axe principal n'est pas vertical
- la ligne de visée n'est pas horizontale quand la bulle est centrée.

Néanmoins, il est vivement conseillé de réaliser le réglage si on a plusieurs mesures à effectuer.

Si on ne peut pas le faire soi-même, il faut faire appel à quelqu'un qui maîtrise le réglage de l'instrument.

! recommandation !

Le niveau automatique

Ce type de niveau dispose d'un *compensateur* dans la lunette. La ligne de visée devient horizontale, si l'axe de l'instrument est presque vertical, à la suite d'un calage sommaire à l'aide d'une nivelle sphérique. Cet instrument présente les avantages suivants : facilité et rapidité. Cependant, le coût est relativement élevé et l'appareil est assez fragile.

Les vérifications consistent en :

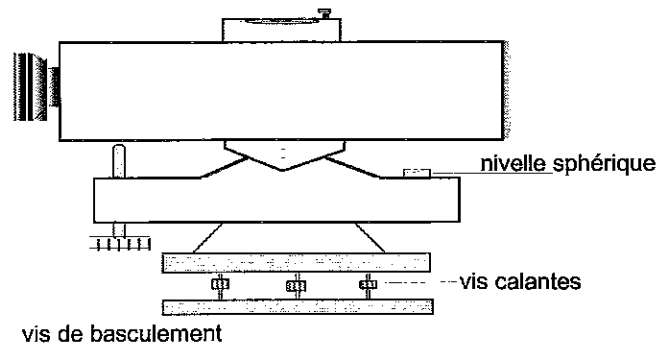
- la directrice de la nivelle sphérique doit être perpendiculaire à l'axe vertical (avec les vis calantes)
- la ligne de visée doit être horizontale lorsque l'instrument est calé (réglage de collimation avec réglage sur le réticule, voir niveau à lunette fixe).

! information complémentaire !

Le niveau à collier ou niveau de collimation

Ce type de niveau, qui est un instrument de base très simple, n'est plus utilisé et est remplacé aujourd'hui par les autres types de niveaux.

Le niveau à bascule ou niveau articulé



Le *niveau à bascule* se distingue du niveau à la lunette fixe par le fait que la lunette est reliée au support par une articulation autour de laquelle elle peut basculer (basculer autour d'un axe horizontal au moyen d'une vis de réglage). La nivelle est solidaire de la lunette.

figure 3.31

Cette articulation a un double but :

- on dépend moins de la direction de la lunette par rapport aux vis calantes pour positionner la bulle entre ses repères
- la vis de basculement permet un calage de la bulle plus précis que les trois vis calantes.

Le réglage se fait de la façon suivante (en deux étapes) :

a) La verticalité de l'axe principal de l'appareil

On vérifie que la nivelle de la lunette soit perpendiculaire à l'axe vertical de l'appareil en tournant l'instrument de 180° autour de son axe vertical (de la même façon que pour le niveau à lunette fixe).

On contrôle les positions de la bulle de cette nivelle, et éventuellement on ajuste le niveau de la même manière que pour le niveau à lunette fixe.

Au lieu d'utiliser la vis de correction de la nivelle, on utilise la vis de basculement.

Les pas sont les suivants :

- on corrige la nivelle de la moitié de l'erreur à l'aide de la vis de basculement;
- on centre de nouveau la nivelle à l'aide des vis calantes;
- on tourne la lunette de 180° autour de son axe vertical, et répète la vérification. Éventuellement, on recommence jusqu'à ce que la bulle reste entre ses repères.

Après, on guide la bulle de la nivelle sphérique dans sa position centrale avec les vis de correction de cette nivelle.

b) *L'horizontalité de la ligne de visée*

Ce réglage se fait de la même façon que pour le niveau à lunette fixe (réglage de la collimation).

Au lieu de corriger le réticule, on utilise la vis de basculement.

Après, on cale la nivelle de la lunette avec ses vis de correction jusqu'à ce que la bulle se trouve à sa position centrale.

Une fois l'instrument réglé, on peut procéder dans une nouvelle station de la façon suivante :

- on règle l'appareil à l'aide de la nivelle sphérique d'une manière approximative;
- on ramène la bulle de la nivelle de la lunette à sa position centrale avec la vis de basculement (étape a)

Le niveau à lunette réversible

Ce niveau dispose d'une lunette qui peut tourner autour de son propre axe longitudinal. La nivelle de réversion est fixée à la lunette. La possibilité de tourner la lunette permet une lecture en lunette droite et une en lecture renversée. Le résultat est la moyenne, annulant ainsi certaines erreurs de l'instrument. Cet instrument est assez rare.

Le niveau géodésique

Ce niveau est un instrument de précision et donc très rarement utilisé.

Ce livre ne traite pas ce type de niveau.

! information complémentaire !

3.4.C. LE THEODOLITE

Le *théodolite* est l'instrument le plus important et le plus utilisé en topographie. Cet appareil sert à mesurer des *angles horizontaux* et des *angles verticaux* (et permet indirectement de calculer des dénivellations et des distances). Le levé topographique se fait de préférence en utilisant un théodolite. Ceci est vrai surtout dans des *régions à relief accidenté* où les pentes sont souvent trop fortes pour viser la mire avec un niveau à lunette (qui ne peut pas observer des angles verticaux).

! recommandation !

Il est conseillé au lecteur de lire ce paragraphe avec son théodolite à la main, pour mieux comprendre les composantes et le réglage de cet appareil.

! recommandation !

Composantes

Ci-après, nous donnons une illustration d'un théodolite avec indication de toutes les pièces décrites dans le texte ci-dessous.

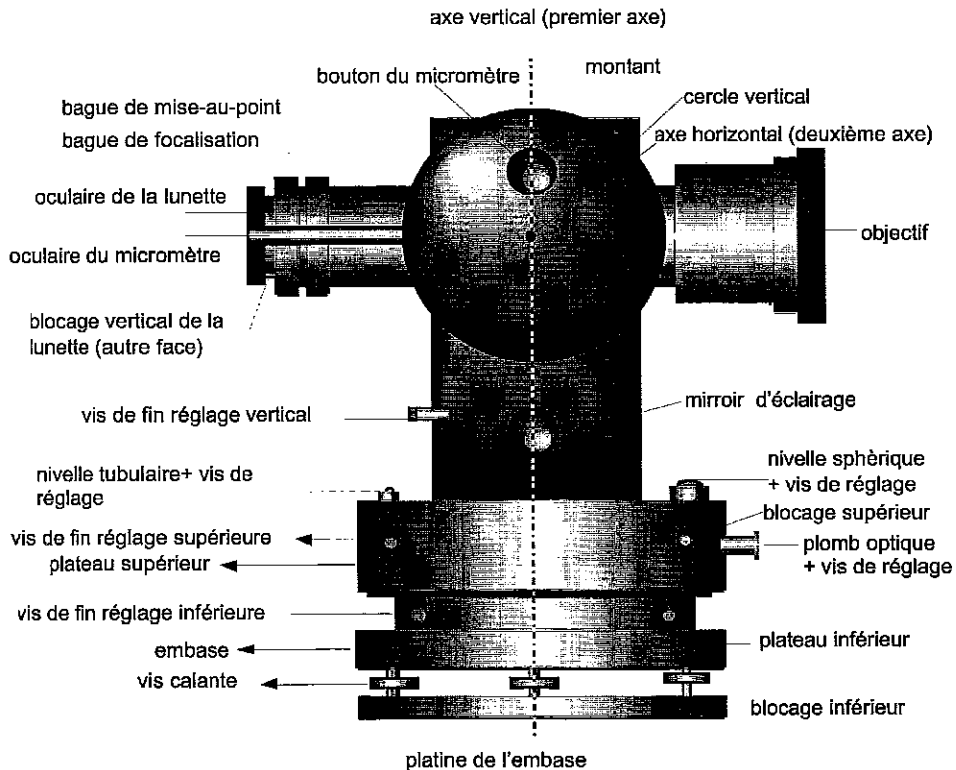


figure 3.32

Le *théodolite* consiste généralement en :

- Une *lunette* qui peut basculer autour d'un axe horizontal (appelé le *deuxième axe*).
- Un *cercle horizontal* qui est composé de deux plateaux concentriques :
 - le *plateau inférieur*, qui porte le limbe, et qui peut, pour certains instruments, être calé par l'opérateur
 - le *plateau supérieur* qui porte un repère de lecture et qui est solidaire de la lunette.

Cet ensemble permet de lire les *angles horizontaux*. Dans les appareils modernes, ces plateaux n'existent plus comme tels, mais le principe reste.

- Un *cercle vertical*, dont le centre se trouve sur l'*axe horizontal (deuxième axe)* et qui ressemble dans sa conception au cercle horizontal.

La position du cercle vertical est cependant permanente, et doit être calée à l'aide d'une nivelle.

Les appareils modernes disposent d'un équipement pour corriger automatiquement l'erreur de la collimation verticale.

L'ensemble de la lunette et des cercles est appelé l'*alidade*. Elle peut tourner autour d'un *axe vertical*, appelé le *premier axe*.

En outre, l'appareil est muni de l'équipement suivant pour faciliter le *calage* et la *lecture*:

- Un *dispositif de lecture* qui permet de faire la lecture des angles horizontaux et verticaux avec précision.
- Les *vis de blocage* :
 - une qui permet le blocage de la lunette dans le plan vertical
 - une qui permet le blocage de la lunette dans le plan horizontal
 - une qui permet le blocage du plateau inférieur du cercle horizontal au plateau supérieur.
- Les *vis de fin réglage* (vertical et horizontal) : grâce au pas des vis de fin réglage, on peut obtenir une meilleure maîtrise de l'instrument. Ces vis permettent également de mettre l'appareil à zéro ou à des repères plus précis.
- Un *dispositif de centrage*, qui permet un déplacement horizontal de l'instrument pendant son centrage.
- Une *embase*, qui est la partie inférieure de l'appareil, et qui est reliée à son trépied.
- Les *vis calantes*, qui permettent de régler la verticalité de l'appareil.

Le théodolite sert principalement à :

- lire des *hauteurs* sur une mire
- mesurer l'*angle horizontal* entre deux lignes qui se croisent dans l'axe vertical du théodolite
- mesurer l'*angle vertical* entre la ligne de visée et la verticale, ou entre la ligne de visée et l'horizontale (dépendant de l'appareil).

L'angle vertical et les hauteurs servent à calculer la distance et la dénivellation entre le point où se trouve le théodolite et le point où se trouve la mire.

Il y a deux types de théodolites :

Théodolites directionnels

Les *théodolites directionnels* ne disposent pas de vis de blocage qui permette de solidariser les deux plateaux du cercle horizontal. Seul le plateau supérieur peut se déplacer. La lecture sur l'instrument est déterminée par la position du plateau supérieur par rapport au plateau inférieur, qui est fixé. Pour obtenir un angle horizontal entre deux points, on prend simplement la différence entre deux lectures.

Théodolites cumulateurs

Cet instrument est muni d'une vis de blocage qui permet de solidariser les deux plateaux du cercle horizontal. Le plateau inférieur peut également être déplacé. Ceci permet de mettre l'instrument à zéro en visant n'importe quel point. Le point choisi peut alors servir de point de direction (ou direction de référence) pour les mesures suivantes. Cet instrument permet aussi de mesurer des angles cumulés.

Le réglage de l'appareil

! remarque !

Le double retournement

La plupart des erreurs peuvent être éliminées par une méthode appelée "le double retournement".

Pour une meilleure compréhension du texte, cette méthode est d'abord expliquée :

- on vise un point sur la mire et mesure l'angle et la distance en lunette droite
- on fait pivoter l'appareil de 180° (ou 200 grades) autour de son axe vertical, et la lunette de 180° (200 grades) autour de son axe horizontal (en lunette renversée)
- on vise le même point sur la mire et mesure l'angle et la distance en lunette renversée
- le résultat (angle et distance) est la moyenne de ces deux lectures.

! remarque !

Le réglage du théodolite consiste en six étapes :

1. vérifier si le *fil du réticule* se trouve dans le plan perpendiculaire à l'axe secondaire (voir fig.3.33)

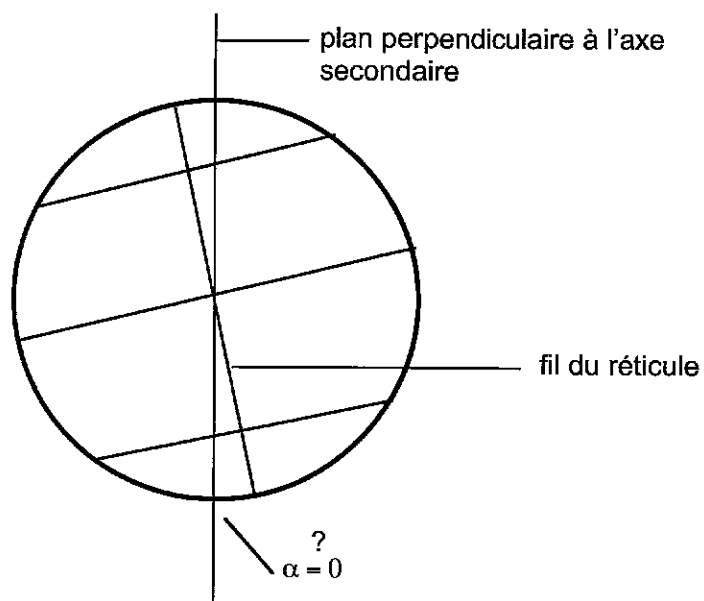


figure 3.33

2. vérifier si la *directrice de la nivelle* du plateau horizontal est perpendiculaire à l'axe vertical (voir fig.3.34.)

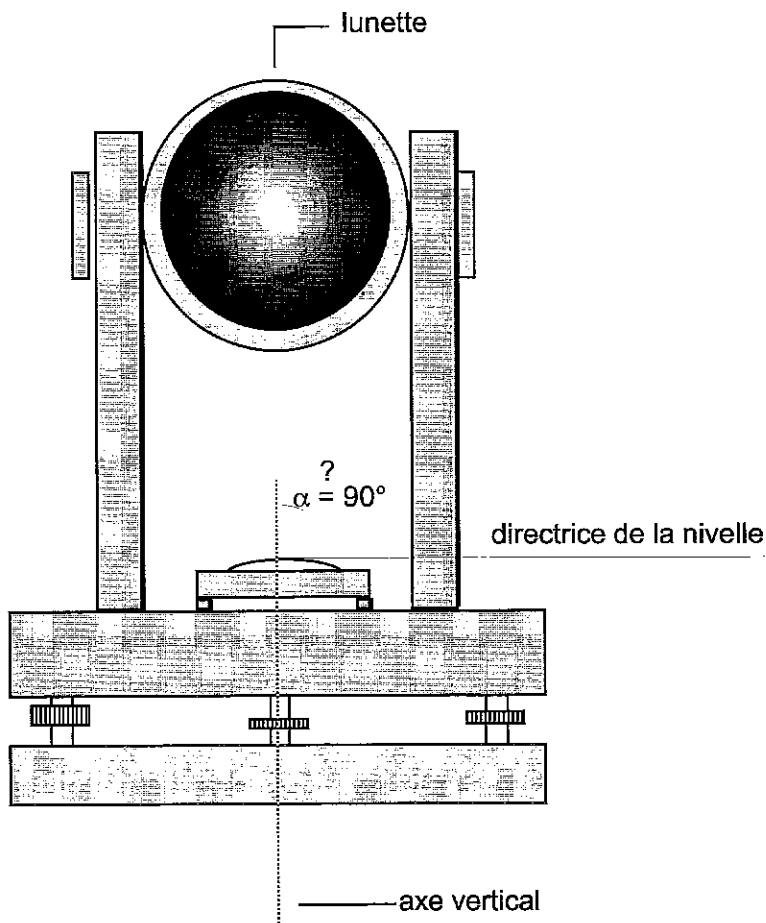


figure 3.34

3. vérifier si la *ligne de visée* est perpendiculaire à l'axe horizontal
 4. vérifier si l'*axe secondaire* est perpendiculaire à l'axe principal
 5. vérifier si la *nivelle de la lunette* est parallèle à la ligne de visée
 6. vérifier si l'*angle vertical* est égal à zéro lorsque la ligne de visée est horizontale.
1. Vérifier si le *fil du réticule* se trouve dans le plan perpendiculaire à l'axe secondaire.
 - On installe l'instrument et on choisit un point bien défini qui coïncide avec le fil horizontal
 - On fait tourner lentement la lunette autour de l'axe principal (à l'aide de la vis de réglage fin)
 - Si le point sort du fil horizontal, le réticule doit être réglé avec les vis de réglage du réticule
 2. Vérifier si la / les *directrice(s) de la/des nivelles* du plateau horizontal est / sont perpendiculaire(s) à l'axe vertical (l'axe principal) (voir également le réglage de la nivelle 3.4.b. étape a).

3. Vérifier si la *ligne de visée* est perpendiculaire à l'axe horizontal (l'axe secondaire).
- On vise un point A en lunette droite sur une distance d'environ 100 m
 - On fait pivoter la lunette autour de son axe secondaire (horizontal) et on regarde un point B à une même altitude et même distance que A
 - Toujours en lunette renversée, on vise de nouveau le point A
 - On fait de nouveau pivoter la lunette autour de l'axe vertical (l'axe principal). La visée devrait passer par le point B, sinon la ligne de visée n'est pas perpendiculaire à l'axe secondaire et on vise alors un autre point C. L'écart BC donne 4 fois l'erreur.
 - On place un point D sur une distance de $1/4 BC$ de C entre les points B et C
 - On ramène la ligne de visée sur D en déplaçant le réticule horizontalement.

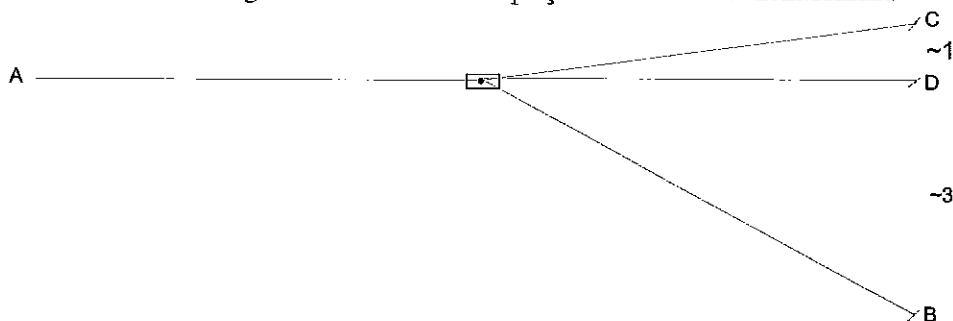


figure 3.35

Si l'on ne veut / peut pas corriger le réticule on peut éliminer l'erreur par le double retournement.

4. Vérifier si l'*axe secondaire* est perpendiculaire à l'axe principal.
- On vise un point A bien défini et suffisamment élevé (p. e. sommet d'une tour)
 - On bascule la lunette vers le bas et on marque un point B à une hauteur inférieure, qui coïncide avec les fils du diaphragme
 - On vise de nouveau sur le point A en lunette renversée
 - On bascule de nouveau la lunette vers le bas et on vérifie si la ligne de visée passe par le point B (si le point B coïncide avec le fil vertical du diaphragme). Sinon, l'axe secondaire n'est pas perpendiculaire à l'axe principal et on marque un autre point C à la hauteur du point B, qui coïncide avec le fil vertical du diaphragme
 - On place un point D au milieu de l'écart BC et on vise ce point D
 - On bascule la lunette vers le haut et effectue la correction sur un des deux tourillons afin que la ligne de visée passe par le point A
 - On vise de nouveau sur le point D et on bascule vers le haut et, éventuellement, on corrige l'appareil à l'aide des tourillons
 - On continue ce processus jusqu'à ce qu'il ne soit plus nécessaire de faire de correction.

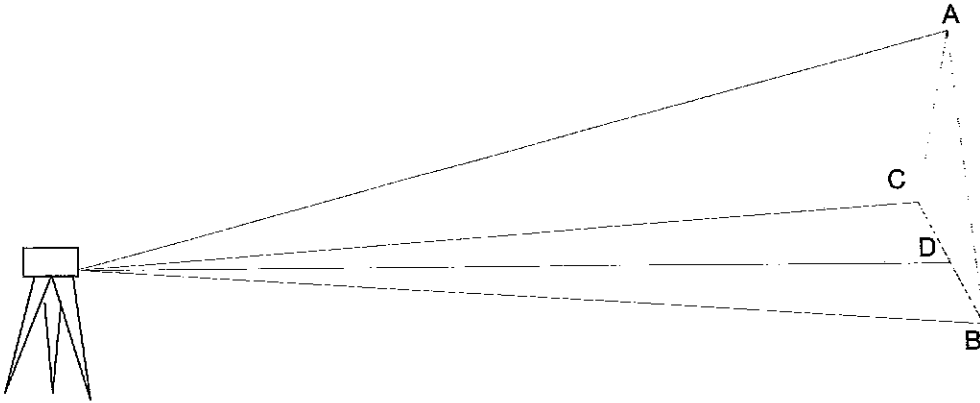


figure 3.36

Si l'on ne veut / peut pas corriger le réticule on peut éliminer l'erreur par le double retournement.

5. Vérifier si la *nivellement de la lunette* est parallèle à la ligne de visée (voir 3.4.b. étape b) Dans le cas contraire, on corrige sur la nivellement et non pas sur le réticule !

6. Vérification si l'*angle vertical* est égal à zéro lorsque la ligne de visée est horizontale (90° ou 270° pour des angles zénithaux dans un système en degrés; 100 ou 300 grades pour les angles zénithaux dans un système centésimal).
On rend la ligne de visée horizontale en utilisant le réglage de la collimation (voir 3.2.).
On vérifie si l'angle est à zéro. Sinon, l'appareil doit être réglé.

Le réglage dépend du type de théodolite :

- si l'appareil dispose d'un index ou vernier fixe, on déplace l'index ou le vernier afin de ramener la lecture à zéro
- si l'appareil dispose d'un index ou vernier mobile à nivellement, on ramène la lecture à zéro au moyen de la vis de fin réglage; on corrige l'erreur sur la nivellement en calant celle-ci à l'aide de la vis de réglage de la nivellement
- s'il s'agit d'un appareil à collimation verticale automatique, il faut ramener la lecture à zéro en déplaçant le cercle vertical.

Si l'on ne veut / peut pas corriger le réticule on peut éliminer l'erreur par le double retournement.

! recommandation !

La plupart des erreurs peuvent être éliminées par le double retournement.
Cette méthode est donc très recommandée, même pour un théodolite réglé !

! recommandation !

La mesure

Lecture des hauteurs sur la mire

On procède de même façon que pour le niveau (voir 3.4.a et 3.4.b)

La mesure des angles verticaux

- le limbe vertical est fixé à l'aide de la vis de blocage, et puis corrigé à l'aide de la vis de fin réglage
- la lecture est effectuée directement dans le dispositif de lecture.

Les appareils peuvent donner *l'angle zénithal*, c. à. d. l'angle entre le point visé et la verticale, ou l'angle entre le point visé et l'horizontale. Ceci dépend de l'appareil et doit être vérifié au préalable. Le plus souvent, l'angle vertical est donné à partir de l'horizon : positif vers le haut et négatif vers le bas.

La mesure des angles horizontaux

Avec un *théodolite directionnel* :

- le plateau supérieur du cercle horizontal est libéré, et la lunette est dirigée vers le premier point
- après avoir bloqué le plateau supérieur, la visée est complétée à l'aide de la vis de fin réglage
- la lecture est faite dans cette première direction
- le plateau supérieur est libéré, et la lunette est dirigée vers le deuxième point
- après avoir bloqué le plateau supérieur, la visée est complétée à l'aide de la vis de fin réglage
- la lecture est faite dans cette deuxième direction
- la différence entre ces deux lectures donne l'angle horizontal entre ces deux points.

Avec un *théodolite cumulateur*:

- le plateau inférieur est bloqué, le plateau supérieur est libéré
- l'index (le plateau supérieur) est placé à zéro et bloqué; pour améliorer la mise à zéro, on utilise la vis de fin réglage
- le plateau inférieur est libéré pendant que le plateau supérieur reste fixé sur le plateau inférieur
- la lunette est dirigée vers le premier point, entraînant les deux plateaux
- le plateau inférieur est bloqué, et le pointé est affiné à l'aide de la vis de fin réglage du plateau inférieur
- le plateau supérieur est libéré, et la lunette est alors dirigée vers le second point
- le plateau supérieur est bloqué, et le pointé est affiné à l'aide de la vis de fin réglage du plateau supérieur
- la lecture est faite à l'aide du dispositif de lecture.

Si l'on veut mesurer un autre point, on recommence par libérer le plateau supérieur, diriger la lunette, bloquer le plateau supérieur, effectuer le fin réglage et faire la lecture. Ainsi, l'angle entre ce nouveau point et le premier point est connu. La différence entre la lecture du deuxième et troisième point donne l'angle entre ces deux points.

Pour augmenter la précision de métrage et éliminer certaines erreurs dues à l'instrument, on peut :

- *mesurer l'angle deux fois (par double retournement).*

On mesure l'angle de la façon décrite ci-dessus (*en lunette droite*). Puis on fait pivoter l'appareil de 180° (ou 200 grades) autour de son axe vertical, et la lunette de 180° (200 grades) autour de son axe horizontal (*en lunette renversée*).

On fait la mesure de la même façon. L'angle est la moyenne de ces deux mesures.

- mesurer l'angle plusieurs fois (par accumulation).

Ceci ne peut être fait qu'à l'aide d'un théodolite cumulateur. On effectue les mesures de la façon expliquée ci-dessus pour un théodolite cumulateur, et on procède une deuxième, troisième, fois de la façon suivante :

- la lunette est de nouveau dirigée vers le premier point, entraînant les deux plateaux (le plateau supérieur reste bloqué)
- le plateau inférieur est bloqué, et le pointé est affiné à l'aide de la vis de fin réglage du plateau inférieur
- le plateau supérieur est libéré, et la lunette est alors dirigée vers le second point
- le plateau supérieur est bloqué, et le pointé est affiné à l'aide de la vis de fin réglage du plateau supérieur
- la lecture est faite à l'aide du dispositif de lecture
- on recommence.

Chaque fois on ajoute la valeur de l'angle. Il suffit ensuite de diviser la lecture finale par le nombre de fois "n" que l'angle a été mesuré. Pour améliorer cette méthode, on peut la combiner avec la méthode du double retournement :

- "n" mesures en lunette droite, l'angle accumulé est " α_1 "
- "n" mesures en lunette renversée, l'angle accumulé est " α_2 "
- l'angle cherché est alors : $(\alpha_1 + \alpha_2) / (2.n)$

Remarque : l'accumulation peut être plus grande que 360° , ce qui n'est pas indiqué dans le dispositif de lecture. On doit donc noter le nombre de tours de l'appareil et ajouter ce nombre, multiplié par 360° ou 400 grades, à l'angle lu.

! recommandation !

Pour augmenter la précision des mesures :

- on mesure les angles deux fois, par double retournement
- ou
- on mesure les angles plusieurs fois par accumulation

! recommandation !

3.5. LES INSTRUMENTS AVANCÉS

3.5.A. LA STATION TOTALE

Introduction

Les dernières années, on a développé des instruments électroniques pour mesurer des distances et des angles. Une présentation exhaustive de ces appareils dépasse l'objectif de ce livre. Cependant, ces appareils sont de plus en plus utilisés, raison pour laquelle nous donnons une brève introduction. Ceux qui voudraient se renseigner davantage sur ce sujet, peuvent consulter de la documentation plus spécialisée.

Principes de base

Le fonctionnement de ces appareils est basé sur les propriétés des ondes.

Les appareils disposent d'un dispositif électronique qui *émet des ondes*.

Au lieu d'utiliser une mire, on emploie un *réflecteur* sur statif, qui renvoie l'onde émise par l'appareil. L'appareil capte l'onde renvoyée, et compare la phase entre l'émission de l'onde et sa réception après sa réflexion à l'autre extrémité de la ligne à mesurer.

Chaque onde sinusoïdale est caractérisée par son *amplitude* et sa *longueur L* (voir fig. 3.37). Dans cette figure, on voit que la distance entre le point A (où se trouve l'appareil) et le point B (où se trouve le réflecteur) est égale à 5 longueurs d'onde ($5.L$).

L'onde et sa réflexion doivent donc parcourir une distance de 10 longueurs pour aller du point A au point B et retourner au point A.

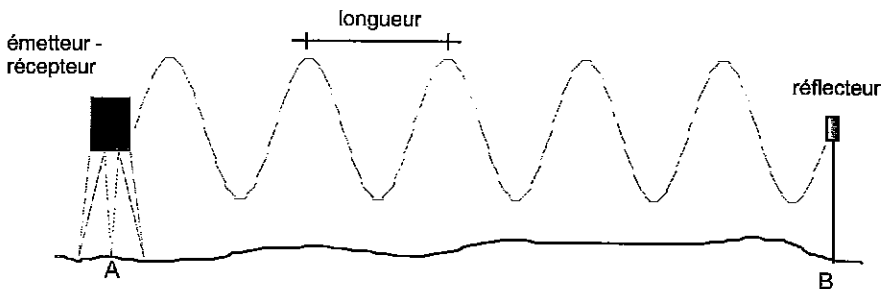


figure 3.37

Dans la figure 3.38, on voit qu'il y a un déphasage entre l'onde originale et l'onde réflétrie, égale à dL . La distance entre A et B est maintenant égale à $4.L + dL/2$.

Généralement, la distance entre deux points est $n.L + dL/2$, où n est le nombre de longueurs de l'onde entre A et B et sa réflexion. L'appareil est capable de mesurer la longueur L et le déphasage dL , mais pas le nombre n de longueurs.

Si le point B, c'est-à-dire le réflecteur, est déplacé d'un nombre entier de $L/2$, la L et le $dL/2$ restent constants.

On contourne ce problème en utilisant plusieurs ondes de fréquences différentes.

En mesurant L et dL pour chaque onde, l'appareil peut calculer le nombre de longueurs de chaque onde entre A et B, et déterminer la distance entre A et B.

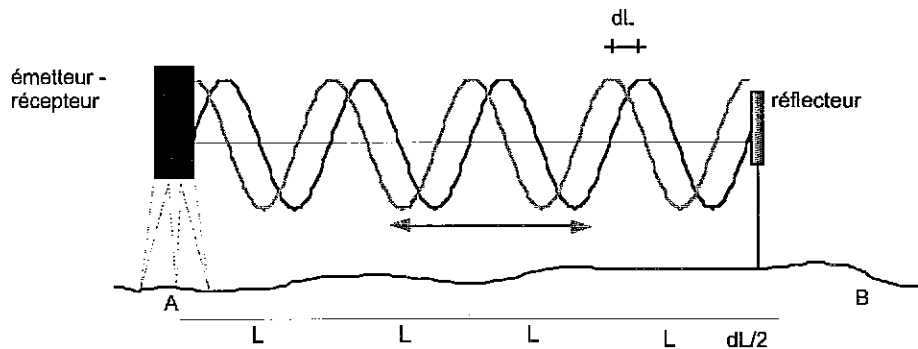


figure 3.38

Les appareils peuvent aussi être munis d'un dispositif qui permette de mesurer l'angle de l'onde émise et réfléchi. Ceci, en combinaison avec la distance mesurée, permet de calculer la dénivellation entre l'appareil et le réflecteur, ou entre les deux points du terrain où l'appareil et le réflecteur se trouvent.

Il y a plusieurs types d'ondes qui sont utilisés dans ces instruments. Souvent, on emploie des ondes lumineuses qui peuvent être soit l'infrarouge, soit le rayon laser. Ces instruments peuvent avoir une portée de 500 m à quelques kilomètres. Les autres ondes sont moins fréquentes dans les appareils topographiques.

L'appareil intégré ou la station totale

Le premier appareil qui consistait en un théodolite électronique, permettant de mesurer des distances et des angles automatiquement et d'un carnet électronique, permettant d'inscrire des notes sur le terrain, était distribué sous le nom 'total station'. Ce nom est utilisé généralement pour cette sorte d'instrument topographique.

Ces appareils sont équipés d'instruments de microprocesseurs et de dispositifs d'embranchement. Les mesures sont enregistrées de façon électronique sur le terrain. Le carnet électronique (avec écran et clavier) permettent d'ajouter des notes, p.e. une description du point mesuré. L'appareil peut être connecté à un ordinateur qui peut traiter ces mesures et ces notes, et qui, si on dispose du logiciel adapté, trace des plans automatiquement.

L'appareil permet aussi d'implanter des points sur des *coordonnées* données. Pour cela il faut introduire deux points de référence et les coordonnées du point à implanter. L'appareil donne la position de ce dernier point par rapport à la position de l'appareil.

La *précision* d'un tel appareil dépend du type. Elle est souvent de l'ordre de 15 mm/km pour les distances, et de 0,5" pour les angles.

3.5.B. LE GPS

Introduction

Ce chapitre décrit les principes fondamentaux et les possibilités du *GPS* pour mieux comprendre de quoi il s'agit. Le chapitre traite aussi la procédure permettant de réaliser un levé avec un appareil GPS, sans entrer dans les détails. Ce livre n'a certainement pas comme objectif de donner une description complète de la technique. La technique est toujours en évolution et de nouvelles méthodes sont constamment élaborées.

Ceux qui voudraient appliquer cette technique sont invités à lire des livres plus spécialisés dans cette matière.

Définition du GPS

Dès la fin des années 70, l'un des principaux soucis du "Department of Defense" américain est de concevoir un système permettant à tous les éléments de l'armée américaine de se positionner de manière précise et quasi instantanée, n'importe quand et n'importe où à la surface de la terre. Le "Global Positioning System" (GPS) a donc été conçu pour répondre à ces impératifs.

Le système est composé d'une constellation de satellites suffisamment nombreux (24 *satellites* et deux supplémentaires, orbitant à 20.000 km d'altitude, répartis sur 6 plans orbitaux). Leur répartition sur 6 orbites différentes a été étudiée afin de couvrir l'ensemble de la surface terrestre de façon optimale.

Chaque satellite émet un *message codé* contenant un certain nombre d'informations, dont sa propre position et l'instant exact de l'émission du signal. Un simple *récepteur* suffit alors pour mesurer le temps écoulé entre émission et réception, et par là en déduire la distance qui le sépare du satellite. En principe, trois mesures sur trois satellites fournissent les trois distances nécessaires à la détermination des trois coordonnées du point : latitude, longitude et altitude. Dans la terminologie GPS, ce type de mesure est connu sous la dénomination "pseudo-distances".

Chacun de ces 26 satellites radiodiffuse donc un signal, qui est constitué de deux codes pseudo-aléatoires à savoir le C/A-code (*code d'approche*) et le P-code (*code précis*), ainsi que d'un code d'information. Ce dernier contient tous les renseignements concernant l'état des satellites (position, horloges,...) utiles aux calculs de positionnement. Les codes pseudo-aléatoires, quant à eux, permettent de calculer instantanément la distance séparant le satellite du navigateur. Pour des raisons d'erreurs, dues au décalage entre l'horloge de réception et les temps de référence des satellites l'usage simultané de minimum 4 satellites est nécessaire pour un positionnement tridimensionnel.

Le décodage

Il y a donc deux types de pseudo-distance qui autorisent des précisions différentes :

- a) le code C/A pour "*Coarse Acquisition*", rendu disponible à tout utilisateur, qui autorise une précision de l'ordre de la centaine de mètres. C'est aussi le code utilisé dans les récepteurs disponibles dans le commerce et utilisés pour la navigation des avions de ligne, des navires marchands, les appareils topographiques, ...
- b) le code P pour "*Precise*", crypté pour empêcher son utilisation par tout autre que l'armée américaine, qui autorise une précision de l'ordre de la dizaine de mètres.

Toujours dans le but d'empêcher le positionnement trop précis d'éventuels "hostiles", le système est pourvu de capacité de diminution de la *précision*. Cet objectif est atteint en dégradant artificiellement la précision d'un certain nombre des informations émises par les satellites. Il s'agit des horloges et de la position du satellite.

En pratique, il est possible de contourner cette difficulté en ayant recours au *GPS différentiel* (voir ci-après).

Le positionnement peut être effectué sur le P-code ou sur le C/A code :

- Le "*Precise Positioning Service*" ou PPS est réalisé sur le P-code. La précision de ce positionnement est de l'ordre de 10 mètres, mais le code est strictement réservé aux militaires américains.
- Le "*Standard Positioning Service*" ou SPS est réalisé sur le C/A code, et permet théoriquement une précision de l'ordre de 30 mètres. Par contre le signal est manipulé afin que la précision soit réduite à 100 mètres sur le plan horizontal et 150 mètres en l'altitude. Donc, à cause de l'imprécision du code C/A, on n'a pas accès directement à la distance qui sépare le satellite de la station (c'est-à-dire l'appareil

GPS), et on ne peut pas connaître la position de la station en même temps. Par contre, après avoir effectué des mesures en continu sur tous les satellites visibles pendant un certain laps de temps, on dispose d'un jeu de données, avec lesquelles la position de la station peut-être calculée à l'aide d'un ordinateur. La technique consiste donc à enregistrer un grand nombre de mesures sur le terrain et traiter ces mesures après pour déterminer la position de la station. La précision dépend du temps durant lequel on a effectué les mesures et on peut l'augmenter en prolongeant le temps de mesure. Il est difficile de déterminer le temps nécessaire en fonction d'une précision donnée, car il dépend du nombre de satellites qui sont passés, la qualité du signal, les conditions climatologiques,

Normalement, l'appareil GPS doit rester sur place pendant une heure pour obtenir une précision de quelques millimètres sur le plan horizontal et en l'altitude.

L'appareil

Chaque constructeur a son propre modèle de GPS. En général, l'appareil consiste en

- un boîtier, qui contient l'électronique
- une antenne
- un écran
- un clavier.

L'ensemble peut être fixé sur un trépied.

Le levé topographique

Le GPS sert principalement à déterminer les coordonnées d'un point sur la terre. On ne mesure donc pas de distance entre deux points, ou de dénivellation entre deux points, mais les *coordonnées* (x, y, z) dans un système de coordonnées (p.e. les coordonnées Lambert). Cependant, le code accessible pour le public est trop imprécis pour déterminer directement les coordonnées d'un point. Pour pallier ce problème, il existe deux méthodes :

1. Méthode différentielle :

Les erreurs du système GPS sont de 2 ordres.

Le premier type d'erreur est d'ordre volontaire: en effet, afin d'empêcher le déploiement opérationnel de récepteurs GPS militaires ou civils non agréés par les États Unis, ces derniers procèdent à une dégradation volontaire des signaux de façon à amener l'erreur moyenne en SPS à près de 100m.

Les erreurs du second type sont dues aux incertitudes intrinsèques du système GPS; elles sont dues principalement aux délais de transmission, à la précision des horloges embarquées, à la position du satellite ainsi qu'au codage.

Cependant, ces 2 types d'erreurs sont hautement corrélés spatialement. C'est-à-dire que 2 récepteurs géographiquement proches l'un de l'autre subiront les mêmes erreurs. Donc, tout se passe comme si la position réelle de chaque récepteur était entachée d'un offset quelconque, aléatoire mais presque identique pour les deux.

On a donc imaginé la méthode suivante pour pallier cela :

- On place un récepteur à un point connu avec grande précision (par des moyens géodésiques conventionnels, ou en mesurant les coordonnées de ce point pendant un laps de temps assez long et en traitant ces données après à l'aide d'un ordinateur)
- On raccorde à ce récepteur un émetteur radio qui envoie la position mesurée
- Le mobile à situer possède lui aussi un récepteur GPS, mais dispose en plus d'un récepteur radio et d'un calculateur
- Le calculateur récupère les données fournies par les 2 GPS, et, connaissant la position réelle du GPS de référence, il en déduit une erreur
- Cette erreur sert ensuite à corriger la position du mobile donnée par le GPS.

2. Le mode pseudo différentiel :

Le système différentiel a l'inconvénient de demander une position de référence précise et bien définie ce qui implique que tout déplacement de la référence doit faire l'objet d'un nouveau levé géodésique.

Pour les projets où la position géodésique exacte n'a pas d'importance, on peut procéder de la façon suivante :

- On place le GPS de référence à un point que l'on définit comme référence mais dont on ne connaît pas la position exacte
- Le second GPS est équipé du calculateur et du récepteur radio
- Le calculateur n'effectue plus une correction d'après une valeur absolue mais mesure simplement le déplacement d'un GPS par rapport à l'autre (soustraction de position).

On a donc en sortie du calculateur une position donnée, liée aux repères géodésiques locaux. L'erreur est aussi compensée puisque les 2 positions sont entachées de la même erreur, offset élimé lors de la soustraction.

Ce système est ainsi souple puisqu'il ne nécessite pas de position formelle.

Quelques difficultés

- L'appareil GPS doit toujours avoir contact continu avec les satellites. Lorsque certains satellites sont brusquement occultés par un obstacle, il peut y avoir des sauts de coordonnées importants qui sont interprétés par l'appareil GPS comme un déplacement.
- L'appareil GPS de référence ne peut pas être déplacé pendant toute la durée de mesure. Il doit donc se trouver sur un sol stable et rester allumé toute la durée de l'opération.
- Le signal entre le GPS de référence et le deuxième GPS ne peut jamais être perturbé, ce qui n'est pas toujours évident dans une région montagneuse.

Le traitement des données

Les mesures sont sauvegardées dans le mémoire de l'appareil GPS, et peuvent être importées dans un *ordinateur* (souvent en format ASCII).

Le résultat est une liste avec les coordonnées de tous les points mesurés.

Ces coordonnées forment la base des plans de situations, profils en long,...

Vu que ces coordonnées sont disponibles sous format lisible par un ordinateur, ces plans peuvent être dessinés à l'aide d'un ordinateur, si on dispose de logiciel spécifique (sur base de ACAD, MICROSTATION, ...).

Ceci crée un gain de temps énorme, mais demande un investissement important en personnel et équipement.

Le coût des récepteurs GPS

Un récepteur grand public servant à la navigation sera doté uniquement de la capacité de mesure de la pseudo distance non précise sur une seule longueur d'onde.

On trouve de tels récepteurs à partir de 300 USD. A l'opposé, les récepteurs bi-fréquence, dotés des capacités de mesures sur les deux pseudo-distances et sur les deux ondes porteuses, coûtent jusqu'à 30.000 USD. Il existe une catégorie intermédiaire de récepteurs, qui permettent un positionnement relativement précis sans être trop onéreux.

Ce sont les récepteurs mono-fréquence, qui ne mesurent que la pseudo distance et la phase d'une seule des deux ondes GPS.

PARTIE 2

METHODES TOPOGRAPHIQUES

CHAPITRE 4 LE LEVÉ TOPOGRAPHIQUE

Dans ce chapitre :

- **détermination simple de dénivellation et de distance**
- **détermination courante de dénivellation et de distance, à l'aide d'un niveau à nivelle ou à l'aide d'un théodolite. On propose plusieurs méthodes.**
- **calcul des coordonnées.**

4.0. INTRODUCTION

La conception d'un projet hydraulique exige une enquête sur le terrain.

Une partie de cette enquête est le *levé topographique* :

- on veut connaître la distance entre certains points, p.e. pour déterminer le linéaire d'une *ligne d'adduction*, pour calculer la surface d'une parcelle où on veut construire un *réservoir*,...
- on veut connaître la *dénivellation* entre certains points, p.e. pour calculer la pression à un point du *réseau de distribution*, pour déterminer l'endroit d'implantation d'un *bassin de distribution*, par rapport à l'endroit de la source, ...
- on veut connaître la position de certains points dans le plan, p.e. pour dimensionner un *réseau maillé*.

Le *levé topographique* est donc la partie de la topographie dans laquelle on mesure les *coordonnées* d'un point pour les mettre sur papier. (en forme de tableaux, de croquis, de plans,...).

Ci-dessous sont décrites un certain nombre de techniques pour résoudre ces problèmes (distance, dénivellation et position). On fait la distinction entre les techniques simples, qui sont effectuées avec des instruments simples, et des techniques courantes, à l'aide d'un *niveau à lunette* ou d'un *théodolite*. Si on applique les techniques simples, on doit se rendre compte qu'elles sont souvent (pas toujours) moins précises que les techniques courantes. Nous référons au chapitre sur le choix de l'instrument.

4.1. LES TECHNIQUES SIMPLES

Souvent, on doit mesurer une distance, une *dénivellation*, une surface, sans qu'on dispose d'appareils sophistiqués comme le niveau à lunette ou le théodolite. De même, certaines questions topographiques ne demandent pas une très haute *précision*. C'est dans ces cas qu'on peut appliquer des techniques simples. Seulement, on doit toujours se rendre compte de la précision limitée de ces méthodes, et se demander si elles sont adaptées à l'ouvrage en question.

4.1.A. LA DETERMINATION SIMPLE DE DENIVELLATION

En terrain fortement incliné et lorsqu'une grande *précision* n'est pas exigée, il est possible d'utiliser des méthodes simples mais assez fiables pour déterminer les différences de niveau.

Exemples :

- Localisation de l'endroit d'une *fontaine* qui doit se trouver 2 mètres plus bas que le réservoir (niveau du sol).
- Localisation de l'endroit d'une *chambre de collecte* à une dénivellation donnée par rapport aux *chambres de captage*.

Le niveau à bulle avec règle

Le *niveau à bulle* consiste en un niveau à bulle fixé sur une règle de ± 4 m de long. Pour la description complète, voir 3.2.c

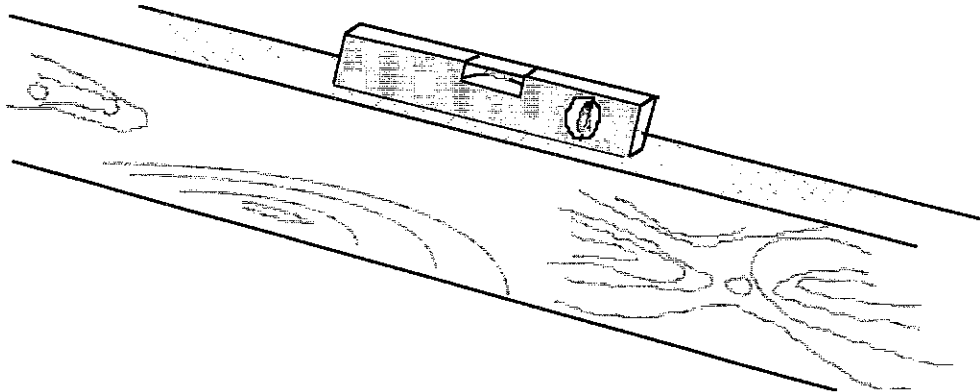


figure 4.1

La différence d'altitude entre deux points rapprochés (A et B) peut être mesurée en utilisant un *niveau à bulle*, une *règle nivelée* et une *mire graduée*. La règle peut être remplacée par une mire de nivellement tenue horizontalement.

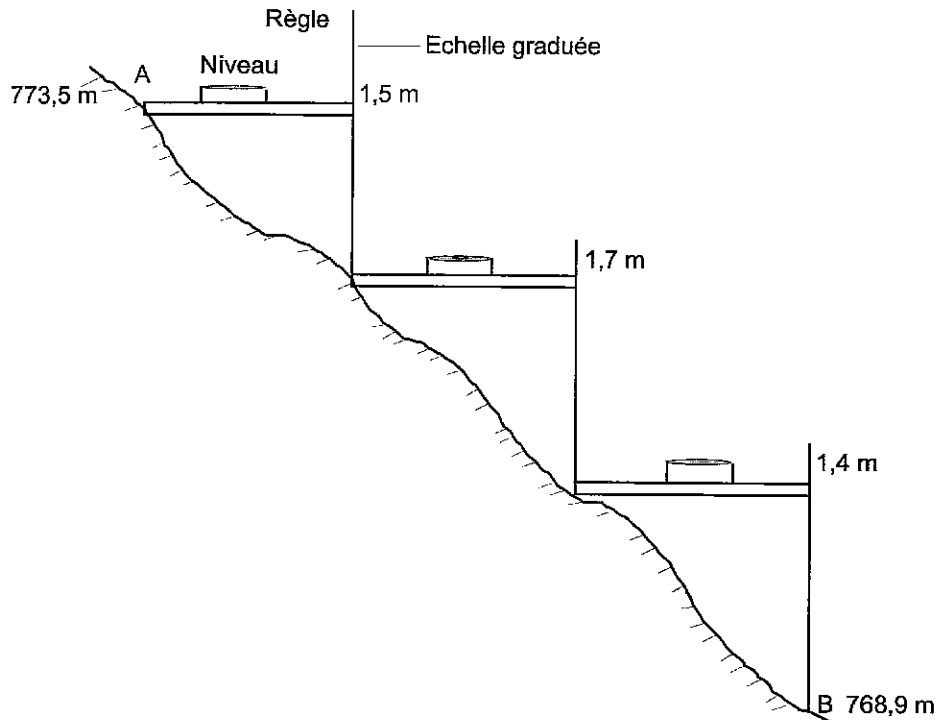


figure 4.2

Si le piquet de départ A a une cote de 773,5 m, le point terminal B aura une cote de

$$H_B = 773,5 - 1,5 - 1,7 - 1,4 = 768,9 \text{ m}$$

Remarque :

La distance horizontale et/ou la distance sur le terrain peuvent être mesurées en utilisant un *mètre ruban*.

Le niveau d'eau

Le *niveau d'eau* consiste en un tuyau souple de 15 à 25 m long fixé à deux lattes de 2 m de longueur, avec une graduation. Pour une description complète, voir 3.2.d.

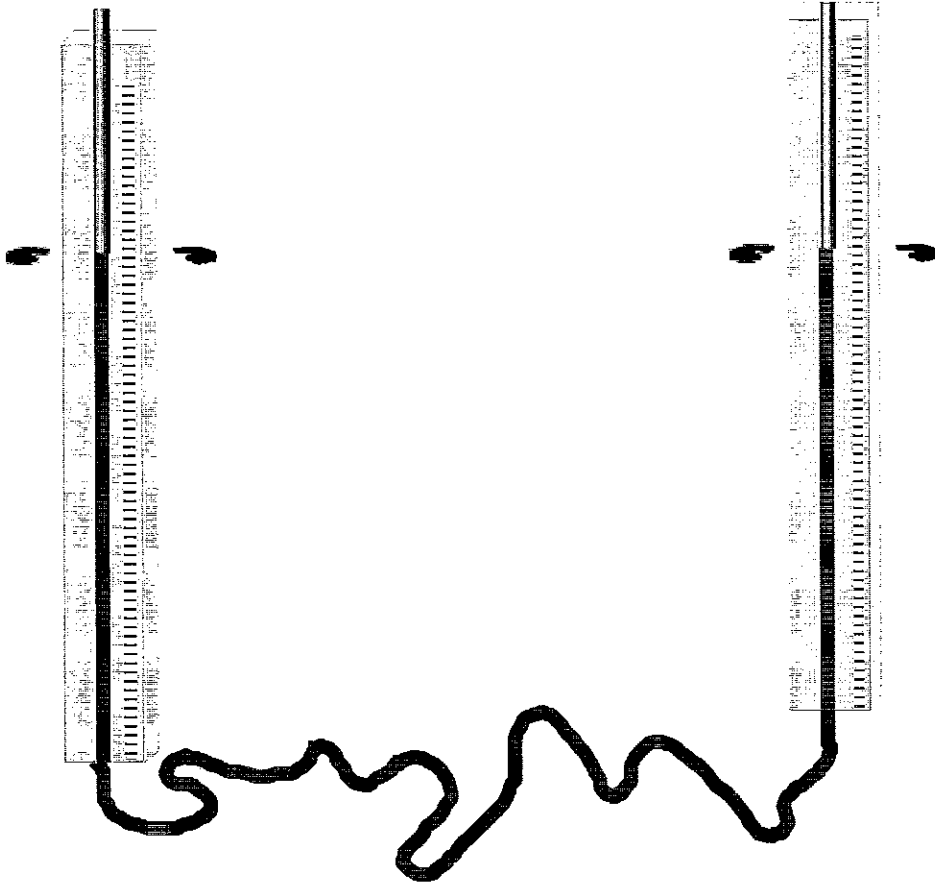


figure 4.3

La différence de niveau peut être mesurée avec ce niveau d'eau. Plantez un bâton au point A et un autre au point B. La différence entre les lectures sur les deux bâtons est la différence de niveau. Si nécessaire, utilisez des points intermédiaires.

On procède de cette façon :

- placez un bâton au point A et un autre au point B et calculez la différence de niveau
- laissez le bâton au point B et déplacez l'autre au point C, calculez la différence de niveau
- laissez le bâton au point C et déplacez l'autre au point D, calculez la différence de niveau
- etc.
- la **dénivellation** totale est la somme de toutes ces dénivellations intermédiaires.

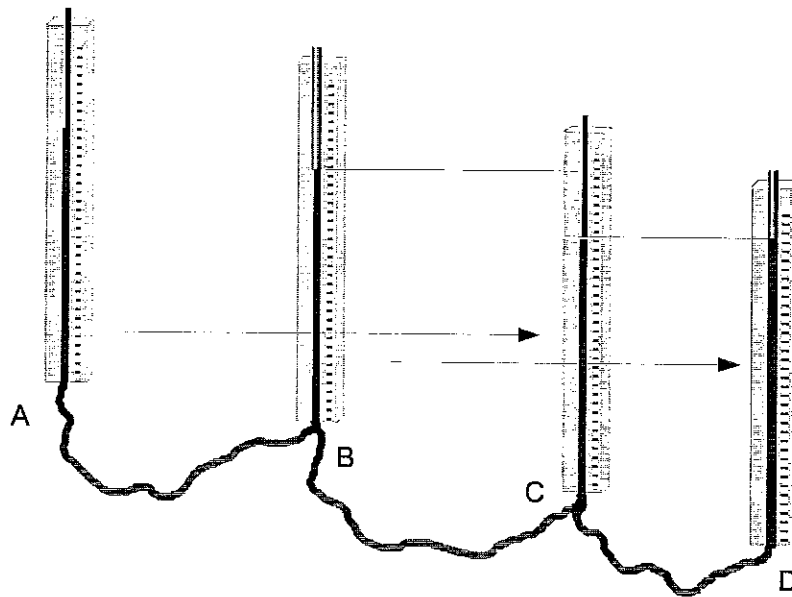


figure 4.4

L'altimètre

L'emploi d'un *altimètre* est très simple, les hauteurs peuvent être lues directement sur l'altimètre.

Presque tous les altimètres sont munis d'un bouton qui permet de *calibrer* la lecture de l'altimètre à l'altitude d'un point connu. Pour tout autre point, on aura donc directement l'altitude pourvu que les lectures soient prises en un temps assez court et que les conditions atmosphériques soient relativement stables. (la précision de cet appareil dépend principalement de ces conditions atmosphériques et est généralement de ± 10 m).

Pour améliorer les mesures et limiter les erreurs, on peut procéder de la façon suivante (2 altimètres sont nécessaires) :

- La personne A se place à un point donné fixe et mesure l'altitude avec son altimètre toutes les 15 ou 30 minutes.
- La personne B suit sommairement le tracé à partir de la source jusqu'aux extrémités de la zone de distribution. Elle note l'altitude et l'heure de mesure au niveau de chaque point important du tracé.
- Les valeurs notées par la personne B peuvent ensuite être modifiées en utilisant les valeurs notées par la personne A.

! exemple !

La personne A reste sur place, la personne B se déplace.

Le tableau ci-dessous donne les lectures de chaque personne et la lecture corrigée de la personne B.

Heure	lecture personne A (en m)	lecture personne B (en m)	lecture corrigée personne B (en m)
1 h 00	99,00	108,0	108,0
1 h 15	102,0	123,0	120,0
1 h 30	97,0	157,0	159,0
1 h 45	95,0	198,0	202,0
2 h 00	98,0	154,0	155,0

! exemple !

! remarque !

Vu le degré limité de précision d'un altimètre, son utilisation n'est permise que dans des circonstances où les exigences en *précision* sont minimales, p. e. dans une étude de faisabilité en terrain montagneux.
Si la dénivellation entre deux points, trouvée avec l'altimètre, est de même grandeur que sa précision (± 10 m), il faut utiliser un instrument plus précis pour déterminer cette dénivellation.

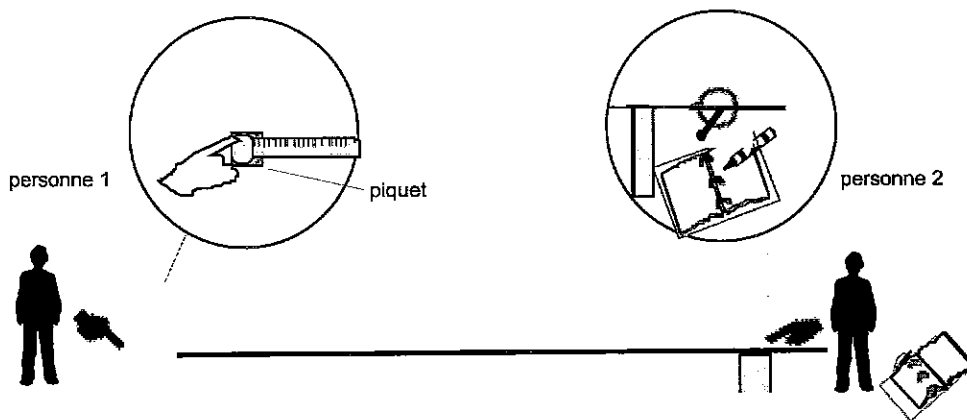
! remarque !**4.1.B. LA DETERMINATION SIMPLE DE DISTANCES****La mesure directe de distances**

Pour mesurer des distances sur le terrain (par exemple la longueur ou la largeur d'un champ), on utilise un *mètre ruban*. On a besoin de deux personnes, une pour tenir le point zéro du mètre, l'autre pour en tenir l'extrémité.

La mesure de petites distances

Marquez le début et la fin de la distance à mesurer avec des *piquets*.

Une personne maintient le point zéro du mètre sur le centre du piquet de départ. L'autre personne tire son extrémité dans la direction du deuxième piquet. Tendre le mètre avant de prendre la mesure.

*figure 4.5***La mesure de longues distances**

Quand la distance à mesurer dépasse la longueur du mètre, on doit tracer une ligne droite, par exemple à l'aide de *jalons* (voir 6.1.e.)

Mesurez les distances le long de cette ligne droite de la même façon que pour les petites distances. Chaque fois que vous arrivez au bout du mètre, vous pouvez planter des marques le long de la ligne pour indiquer l'endroit où il faut recommencer avec le point zéro. Vous pouvez ensuite calculer la longueur totale.

La mesure de distance au-dessus de végétation haute

Pour mesurer des distances quand la végétation est assez haute, on peut attacher un *fil à plomb* aux deux extrémités du mètre, de façon à ce que l'on puisse tenir le mètre au-dessus de la végétation, avec le point zéro et l'autre extrémité juste au-dessus des piquets ou des marques (grâce aux fils à plomb). Procédez ensuite de la même façon que ci-dessus.

4.2. LA MESURE INDIRECTE DES DISTANCES (STADIMÉTRIE)

La mesure d'une distance est indirecte lorsqu'on obtient, sans avoir à la parcourir en son entier, la longueur à mesurer en comptant le nombre de fois que se répète l'unité de mesure.

Un appareil à lunette (*niveau à lunette* et *théodolite*) est presque toujours muni d'un équipement pour mesurer les distances. Le *réticule* de la lunette dispose de deux lignes supplémentaires, horizontalement placées en dessous et au-dessus de la ligne centrale (*lignes stadimétriques* ou *fils de stadia*, voir fig. 3.16). Un tel appareil est appelé une *lunette stadimétrique*. Un *théodolite* à lunette stadimétrique est appelé un *tachymètre*. Vu que presque tous les théodolites disposent d'une lunette stadimétrique, nous ne faisons pas de distinction et utilisons le nom de théodolite tout court au lieu de tachymètre.

La mesure des distances est basée sur les *formules goniométriques* (voir fig. 4.6): en mesurant "l" et en connaissant l'angle "φ", on peut trouver la distance "L":

$$L = l / 2 \cdot \text{tang } \varphi$$

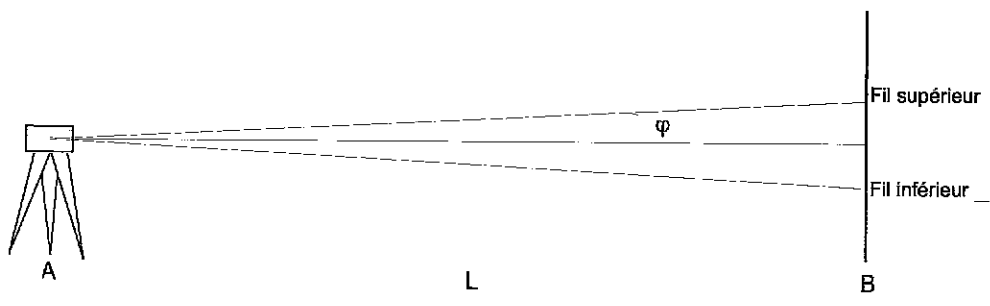


figure 4.6

4.2.A. LA MESURE INDIRECTE A L'AIDE D'UN NIVEAU A LUNETTE

La distance horizontale entre deux points A et B peut être mesurée à l'aide d'un *niveau* et une *mire* (voir fig. 4.6). Mettez la station sur l'un des deux points (par exemple sur le point A) et mettez la mire sur le point B. Visez la mire et lisez les hauteurs qui coïncident avec les lignes stadimétriques :

- hauteur à la *ligne stadimétrique* supérieure : trait supérieur
- hauteur à la *ligne stadimétrique* inférieure : trait inférieur

Calculez la distance $l = \text{trait supérieur} - \text{trait inférieur}$.

La distance horizontale est donnée par :

$$L = l / 2 \cdot \text{tang } \varphi$$

$$L = l \cdot K \text{ avec } K = \text{tang } \varphi / 2$$

Le "K" dépend uniquement de l'appareil (de la distance entre les lignes stadimétriques) et pas de la position de la mire. K est donc constant pour un appareil donné et est souvent égal à 100. Dans ce cas :

la distance $L = 100 \cdot l$

Vu que la *précision* sur la lecture de la mire est de ± 2 mm, la précision sur la distance horizontale est de $100 \cdot \pm 2$ mm ou ± 20 cm.

! exemple !

On vise sur la mire on note les hauteurs qui coïncident avec les traits :

- trait supérieur : 1,681 m

- trait inférieur : 1,419 m

- $l = 1,681 - 1,419 = 0,262$ m

pour un instrument dont $K=100$, $L = 100 \times 0,262 = 26,2$ m

! exemple !

Si "K" n'est pas connu pour un appareil, on peut le déterminer de la façon suivante :

- calculez la distance $l = \text{trait supérieur} - \text{trait inférieur}$
- mesurez la distance L avec un mètre ruban
- $K = L / l$.

Normalement $K = 100, 50$ ou 20 .

! remarque !

Un niveau à lunette mesure toujours la distance horizontale entre deux points.

Si on veut mesurer la distance du terrain il faut également mesurer la dénivellation entre ces deux points et appliquer le théorème de Pythagore :

L_h = distance horizontale

ΔH_{AB} = dénivellation entre points A et B

L_t = distance du terrain

$$L_t = \sqrt{(L_h^2 + \Delta H_{AB}^2)}$$

! remarque !

4.2.B. LA MESURE INDIRECTE A L'AIDE D'UN THEODOLITE

Si la lunette du *théodolite* se trouve dans la position horizontale, on peut procéder de la même manière que pour le *niveau à lunette*.

Si la lunette est inclinée, les formules utilisées sont les suivantes (voir fig. 4.7) :

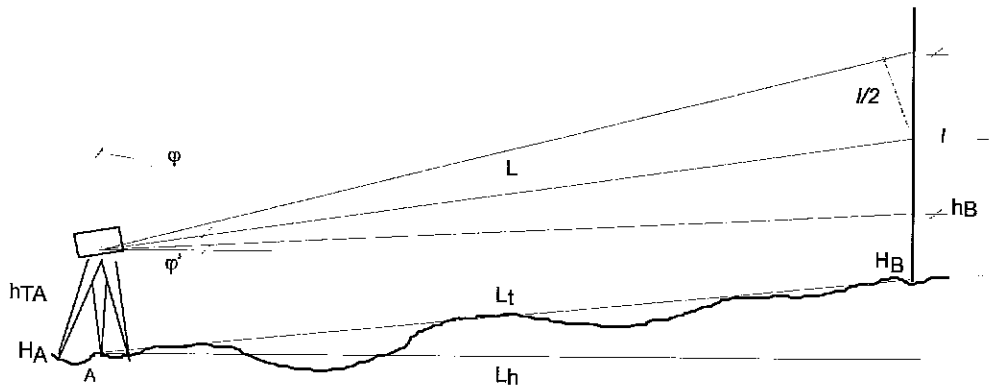


figure 4.7

(il faut faire la distinction entre les différentes distances :

L : la longueur L est la longueur entre le centre de l'appareil et le point visé sur la mire;

L_h : longueur horizontale, la distance horizontale entre le point où se trouve l'appareil et le point où se trouve la mire.

L_t : longueur du terrain, la distance mesurée selon la pente du terrain entre le point où se trouve l'appareil et le point où se trouve la mire)

Pour un théodolite qui mesure l'angle zénithal φ (entre la verticale et la ligne de visée) :

$$L = K \cdot l \cdot \sin \varphi$$

$$L_h = K \cdot l \cdot \sin^2 \varphi$$

dans le cas où $K = 100$:

$$L = 100 \cdot l \cdot \sin \varphi$$

$$L_h = 100 \cdot l \cdot \sin^2 \varphi$$

Pour un théodolite qui mesure l'angle entre l'horizontale et la ligne de visée φ' (on remplace le sin par le cos) :

$$L = K \cdot l \cdot \cos \varphi'$$

$$L_h = K \cdot l \cdot \cos^2 \varphi'$$

dans le cas où $K = 100$:

$$L = 100 \cdot l \cdot \cos \varphi'$$

$$L_h = 100 \cdot l \cdot \cos^2 \varphi'$$

Le plus souvent, on est également intéressé à la *longueur du terrain*. Si la *ligne de visée* est parallèle au terrain, la longueur du terrain est égale à L .

Dans ce cas :

$$L_t = K \cdot l \cdot \cos \varphi \quad \text{ou} \quad L_t = K \cdot l \cdot \sin \varphi'$$

Pour que la *ligne de visée* soit parallèle au terrain, la hauteur visée h_B sur la mire doit être égale à la hauteur de la ligne de visée à l'appareil h_{TA} . (voir fig. 4.8)

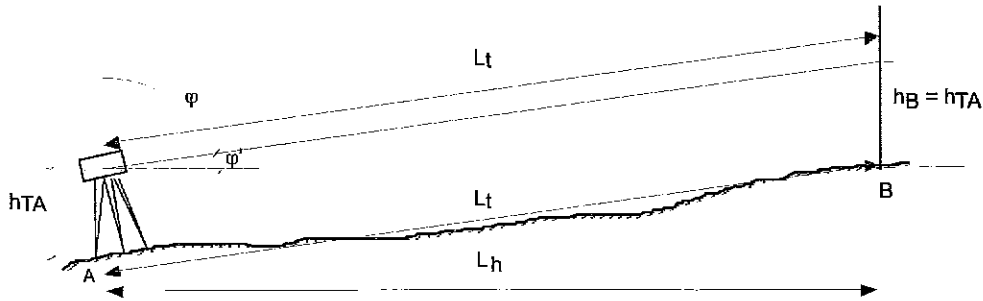


figure 4.8

Il y a deux possibilités pour remplir cette condition :

- 1) Normalement, la hauteur de l'appareil est de 1,40 m à 1,60 m puisque notre *théodolite* se trouve un peu en dessous de la hauteur de nos yeux (donc $h_{TA} = \pm 1,50\text{m}$). Si on vise sur une hauteur de 1,50 m sur la mire, on peut écrire que la *longueur du terrain* est égale à L ou
 $L_t = 100 \cdot l \cdot \sin \varphi'$ (ou $L_t = 100 \cdot l \cdot \cos \varphi$, si φ est mesuré entre la verticale et la *ligne de visée*)
- 2) Si la hauteur de l'appareil ne se trouve pas entre 1,40 m et 1,60 m on peut mesurer la hauteur de l'appareil et viser sur cette hauteur sur la mire.

Sinon, on doit appliquer le théorème de Pythagore :

$$L_t = \sqrt{[L_h^2 + (H_B + h_B - H_A - h_{TA})^2]} = \sqrt{[(K \cdot l \cdot \sin^2 \varphi)^2 + (H_B + h_B - H_A - h_{TA})^2]}$$

(ou $L_t = \sqrt{[L_h^2 + (H_B + h_B - H_A - h_{TA})^2]} = \sqrt{[(K \cdot l \cdot \cos^2 \varphi)^2 + (H_B + h_B - H_A - h_{TA})^2]}$)

avec

H_A	:	la cote du point A
H_B	:	la cote du point B
h_B	:	hauteur visée sur la mire
h_{TA}	:	hauteur du théodolite (à l'axe horizontal)
L_h	:	longueur horizontale
L_t	:	longueur du terrain

! tuyau !

En terrain incliné la différence entre la longueur L et la longueur horizontale peut être importante (voir exemple) et ne peut pas être négligée. Pour simplifier les calculs, on essaie alors de viser sur la hauteur de l'appareil sur la mire.

! tuyau !

! exemple !

Si $h_B \neq h_{TA}$, la faute peut être assez grande

données :

$$h_{TA} = 1,500 \text{ m}$$

$$H_A = 112,68 \text{ m}$$

$$h_B = 2,500 \text{ m}$$

$$H_B = 100,00 \text{ m}$$

$$l = 0,80 \text{ m}$$

$$\sin \varphi = 0,9848 \quad (\varphi = 80^\circ)$$

$$K = 100$$

donc

$$L_h = 100 \cdot l \cdot \sin^2 \beta = 100 \cdot 0,80 \cdot 0,9848^2 = 77,588 \text{ m}$$

$$L_s = \sqrt{L_h^2 + (H_B + h_B - H_A - h_{TA})^2} =$$

$$\sqrt{[77,588^2 + (100,0 + 2,500 - 112,68 - 1,500)^2]} = 78,462 \text{ m}$$

et, en négligeant la différence ($h_B - h_{TA}$)

$$L_s = 100 \cdot l \cdot \sin \varphi = 100 \cdot 0,80 \cdot 0,9848 = 78,784 \text{ m}$$

$$\text{La différence} = 78,784 - 78,462 = 0,322 \text{ m.}$$

*La précision d'un théodolite est de 3 mm $\cdot \sqrt{L}$ (L en m) ou, dans ce cas :
 $3 \times \sqrt{78,462} = 27 \text{ mm}$. L'erreur suite à la négligence de la différence en
 hauteur est donc 12 fois plus grande que la précision de l'appareil.*

!exemple!

4.3. LE NIVELLEMENT A L'AIDE D'UN NIVEAU A LUNETTE

Pour mesurer des différences de niveau *avec précision* et sur de grandes distances, il est nécessaire de définir la ligne de visée à l'aide d'un instrument approprié, le *niveau à lunette*.

Ils existent plusieurs méthodes, qui ont toutes leur propre champ d'application.

4.3.A. METHODE 1 : LE NIVELLEMENT PAR RAYONNEMENT

Cette méthode est souvent appliquée quand on veut réaliser le *levé topographique* d'un terrain.

Mettez le niveau en station sur l'un des deux points, par exemple sur le point A et mesurez la hauteur h_i de l'instrument i , c'est-à-dire la distance entre le point au sol A et le centre de l'*oculaire* ou de l'*objectif* de la *lunette*.

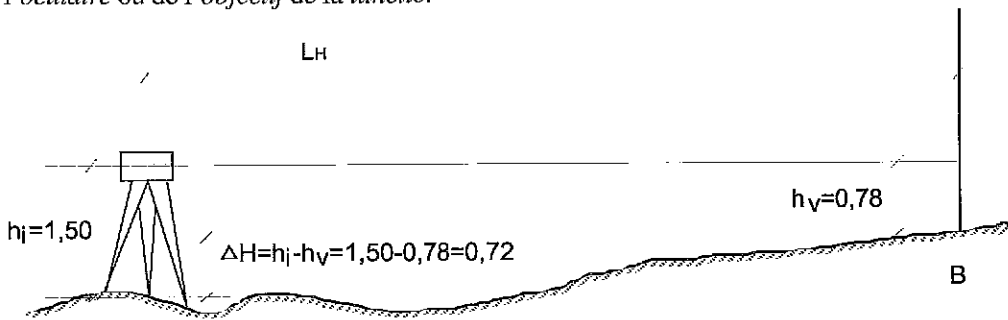


figure 4.9

Visez la *mire* de nivellement placée verticalement au point B.

Quand la bulle est centrée, lisez le trait central (h_v).

On peut contrôler cette lecture en lisant également le trait du haut et celui du bas.

La moyenne de ces deux lectures doit être égale à la lecture du trait central.

La différence de niveau entre A et B est donnée par :

$$\Delta H = h_i - h_v = 1,50 - 0,78 = 0,72 \text{ m}$$

La distance *horizontale* entre deux points A et B peut être mesurée en même temps que la mesure de la dénivellation, en utilisant les *lignes stadimétriques* sur le *réticule de la lunette* (voir 5.2.a.).

De la même façon, on peut déterminer les *altitudes* de différents points par rapport à un repère connu (voir fig. 4.10, repère connu point C).

Dans ce cas on n'est pas obligé de mesurer la hauteur de l'appareil, et on peut se référer à la hauteur du repère.

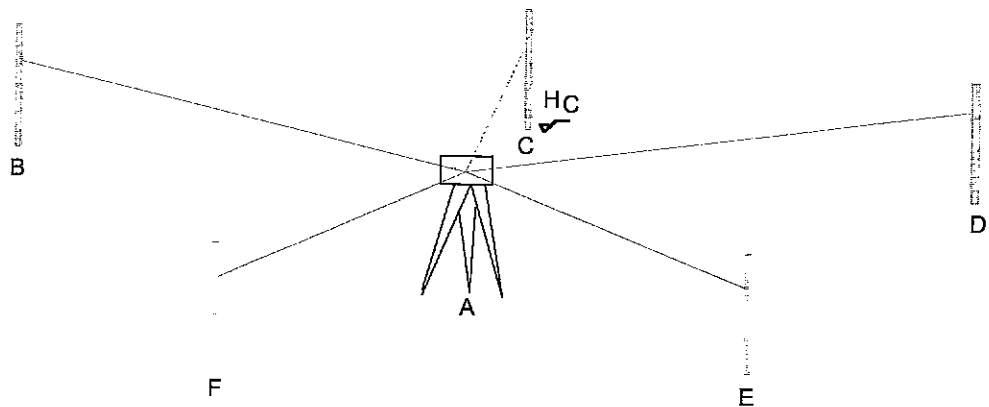


figure 4.10

! exemple !

On veut mesurer l'altitude de 7 points, par rapport à l'altitude du point où se trouve le niveau à lunette. Pour l'altitude de ce dernier point on prend une valeur arbitraire : 1.000 m. La hauteur de l'instrument est mesurée: 1,48 m

Dans le tableau ci-dessous vous trouvez les résultats des mesures et les résultats calculés.

point	trait central (h_v)	$h_i - h_v$	Altitude
1	1,408	0,072	1.00,072
2	2,507	-1,027	998,973
3	1,804	-0,324	999,676
4	3,010	-1,530	998,470
5	1,667	-0,187	999,813
6	1,420	0,060	1.000,060
7	1,310	0,170	1.000,170

! exemple !

On procède de la façon suivante :

- L'instrument est positionné à un endroit d'où on a une vue sur tout le terrain (souvent au milieu du terrain pour éliminer des erreurs dues au fait que la ligne de visée n'est jamais exactement parallèle à la direction visée de la nivellette)
- On divise le terrain en carrés de 5 à 10 m
- La mire est posée sur les coins de ces carrés et les altitudes sont déterminées par rapport à l'altitude du théodolite.

4.3.B. METHODE 2 : LE NIVELLEMENT DU MILIEU

La méthode de 4.3.a., *nivellement par rayonnement*, a les désavantages suivants :

- la mesure de la hauteur de l'appareil est imprécise
- méthode limitée à de courtes distances
- pas d'éliminations d'erreurs d'appareil.

Le premier et le dernier désavantages peuvent être évités par la méthode suivante.

Mettez le niveau en station environ à mi-distance entre les deux points A et B (avec une précision de ± 1 m, ceci pour éliminer des erreurs dues au fait que *la ligne de visée* n'est jamais exactement parallèle à la direction visée de la nivellette).

L'instrument ne doit pas se trouver nécessairement sur l'alignement AB pour déterminer la dénivellation.

Cependant, pour déterminer les distances, il vaut mieux aligner l'instrument avec la ligne AB pour éviter des conversions à faire (voir plus loin 4.3.d).

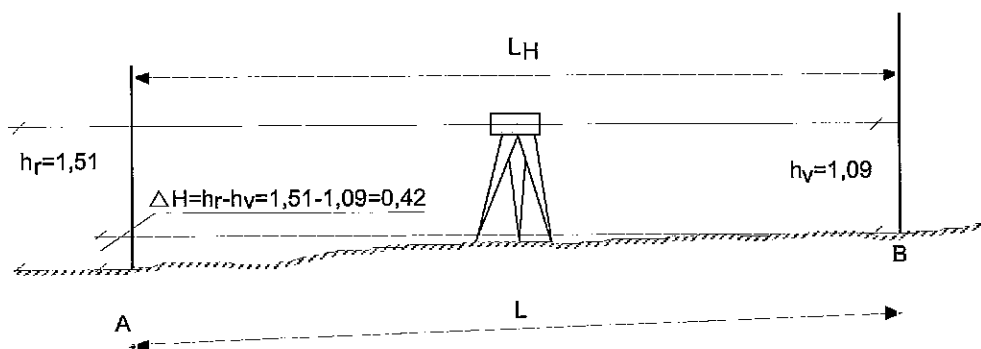


figure 4.11

La distance entre les deux points ne doit pas dépasser 200 m pour éviter les erreurs dues aux vibrations de l'air (quand l'air est très instable, une limite de 100 m doit être respectée).

Visez la mire placée au point A et lisez le trait central (visée arrière h_r). Transportez la mire au point B, tournez le niveau et effectuez la lecture du trait central (visée avant h_v).

La différence de niveau entre A et B est donnée par

$$\Delta H = h_r - h_v = 1,51 - 1,00 = 0,42 \text{ m}$$

Notez que le point A est plus bas et que, de ce fait, la lecture sur la mire A a une valeur plus élevée. Les distances L et L_H entre les points A et B peuvent être calculées comme décrit dans 4.2.a.

! tuyau !

Si les conditions du terrain le permettent, cette méthode est très recommandée pour déterminer la dénivellation entre deux points.

La position de l'instrument au milieu neutralise les erreurs.

! tuyau !

4.3.C. METHODE 3 : LE NIVELLEMENT EXCENTRIQUE

Le niveau ne peut pas toujours être mis en station au milieu des deux points à mesurer. Mettez-le alors en station sur un point C entre A et B.

Faites la lecture h_r (visée arrière) sur la mire au point A et la lecture h_v (visée avant) sur la mire au point B.

Puis mettez le niveau en station sur un point D, de sorte que la distance A-C soit égale à la distance B-D. Faites la lecture h_r (visée arrière) sur la mire au point A et la lecture h_v (visée avant) sur la mire au point B.

La moyenne des deux dénivelées calculées est le résultat à retenir, car les erreurs de l'appareil auront été éliminées.

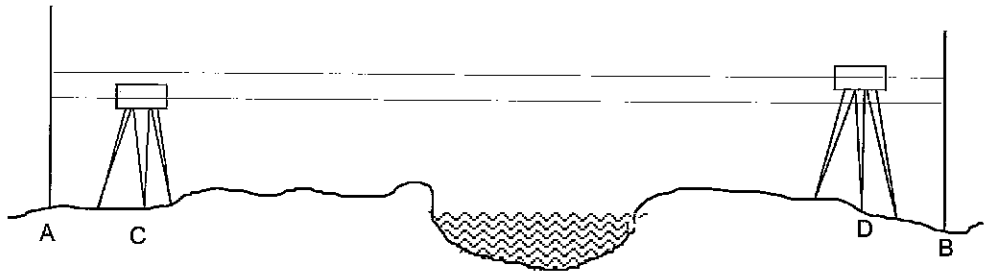


figure 4.12

4.3.D. METHODE 4 : LE NIVELLEMENT DE L'EXTERIEUR DE LA LIGNE

Quelquefois, le niveau ne peut être mis en station ni en A, ni en B, ni entre ces deux points. Mettez-le alors en station derrière le point A sur un point C.

Faites la lecture h_r (visée arrière) sur la mire au point A et la lecture h_v (visée avant) sur la mire au point B.

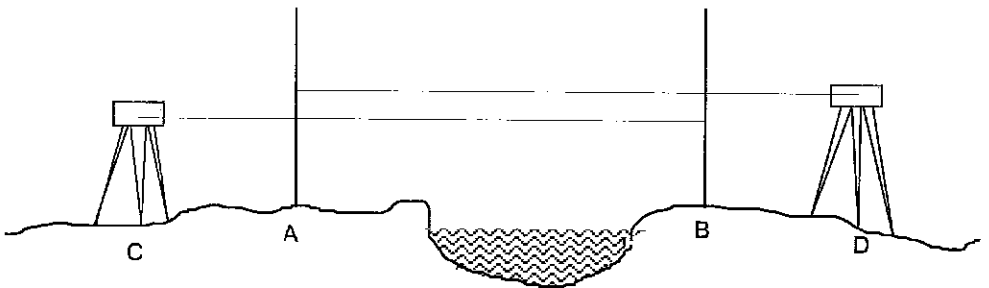


figure 4.13

Afin d'éliminer des erreurs, dues à l'appareil, placez le niveau sur un point D, de telle sorte que la distance A-C soit égale à la distance B-D. Faites la lecture h_r (visée arrière) sur la mire au point A et la lecture h_v (visée avant) sur la mire au point B.

La moyenne des deux dénivelées calculées est le résultat à retenir, car les erreurs de l'appareil auront été éliminées.

! tuyau !

Même si les conditions du terrain ne permettent pas de mettre l'appareil au milieu des deux points à mesurer, il est important d'appliquer des méthodes qui neutralisent des erreurs dues à l'imprécision de l'instrument : nivellement excentrique ou nivellement de l'extérieur de la ligne.

! tuyau !

4.3.E. METHODE 5 : LE NIVELLEMENT CHEMINE

On a vu que lors de la mesure par paliers horizontaux, la règle nivelée doit être déplacée plusieurs fois lorsque la distance entre deux points est supérieure à sa propre longueur ou lorsque la différence de niveau est supérieure à la longueur de l'échelle graduée (4.1.a.i.). Il en est de même pour le nivellement au niveau, si :

- la distance est supérieure à 200 m
- en terrain fortement incliné, où la distance doit être beaucoup plus courte pour pouvoir viser la mire (dans ce cas, il est peut-être mieux d'utiliser le *théodolite* qui permet de mesurer des angles verticaux).

La distance de 200 m est une limite dans des circonstances atmosphériques optimales. On est souvent obligé de diminuer cette distance afin d'obtenir une mesure de précision suffisante.

Si la distance entre deux points est supérieure à 200 m, elle doit être divisée en plusieurs intervalles, et il faut effectuer l'opération décrite ci-dessus (méthode 2) pour chacun de ces intervalles. La différence d'altitude entre les deux points sera égale à la somme des différences d'altitudes mesurées pour les différents intervalles.

Procédé:

- La mire est placée au point d'origine $A = 1$. La station de l'instrument I_1 est choisie de telle sorte que la visée horizontale arrière ne passe pas au-dessus de l'extrémité supérieure de la mire et que la visée avant tombe encore sur la graduation de la mire se trouvant à une distance de visée approximativement identique (nivellement du milieu).

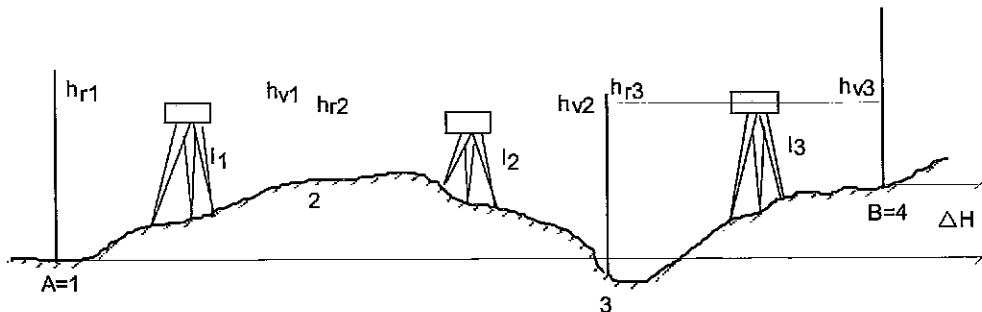


figure 4.14

- Effectuez les lectures arrière h_r et avant h_v comme décrit ci-dessus. Notez en même temps les traits supérieurs et inférieurs pour déterminer les distances *horizontales*. Si vous n'avez qu'une mire, faites d'abord la lecture arrière h_r , puis déplacez la mire au point 2 pour faire la lecture avant.
- Déplacez l'instrument en I_2 . La mire restant au point 2 est tournée avec précaution pour présenter sa graduation vers la nouvelle station d'instrument I_2 .

- Effectuez de la même façon les lectures arrière h_r (point 2) et avant h_v (point 3).
 - Le travail se poursuit ainsi jusqu'à la dernière lecture avant h_v sur le point B = 4.
- Les lectures h_r et h_v sont inscrites sous forme de tableau dans le carnet.

Si on n'a besoin que de la différence de niveau ΔH entre les points A et B, il suffit de soustraire la somme des lectures avant (0,60) de la somme des lectures arrières (2,50) :

$$\Delta H = \Sigma h_r - \Sigma h_v = 2,50 - 0,60 = 1,90 \text{ m}$$

Une valeur positive de ΔH correspond à une montée du terrain de A à B.

Une valeur négative correspond à une descente de A à B.

Fiche de nivellement

Titre du projet :

Date :

Équipe topographique :

Cote du point de départ : 1400 m *

station	point	arrière			avant			ΔH	H	L_h	L cum.
		trait cent.	trait sup.	trait inf.	trait cent.	trait sup.	trait inf.				
A	1	1,382	1,734	1,030					1.400,000	70,4	
	2				1,462	1,822	1,102	- 0,080	1.399,920	72,0	142,2
B	2	1,002	1,389	0,615						77,4	
	3				2,100	2,481	1,719	- 1,098	1.398,822	76,2	296,0
C	3	1,642	2,183	1,101						108,2	
	4				1,222	1,773	0,671	+0,420	1.399,242	110,2	514,4
D	4	1,458	2,013	0,903						111,0	
	5				1,682	2,228	1,136	- 0,224	1.399,018	109,2	734,6

* Cette cote a été choisie arbitrairement

Remarques :

- Les distances calculées ci-dessus sont les distances *horizontales*. Pour déterminer les distances de terrain, il faut utiliser la formule $L^2 = L_h^2 + \Delta H^2$ dans chaque intervalle.
- Pour déterminer la *dénivellation* entre deux points A et B, le niveau ne doit pas se trouver nécessairement sur l'alignement AB.
- D'autre part, pour déterminer les distances comme décrit ci-dessus, l'instrument doit se trouver sur l'alignement AB. Si l'instrument ne se trouve pas sur cette ligne, la distance AB peut être calculée indirectement sur base de l'angle horizontal α . L'angle α peut être déterminé avec le niveau. Si l'instrument se trouve sur le point C, la distance horizontale L_{ABh} est calculée de la façon suivante :

$$L_{ABh} = \sqrt{[L_{ACh}^2 + L_{BCh}^2 - 2 \cdot L_{ACh} \cdot L_{BCh} \cdot \cos \alpha]}$$

avec L_{ABh} , L_{BCh} et L_{ACh} des distances horizontales.

$$\text{La distance de terrain } L_{AB} = \sqrt{(L_{ABh}^2 + \Delta H_{AB}^2)}$$

avec ΔH_{AB} la dénivellation entre A et B.

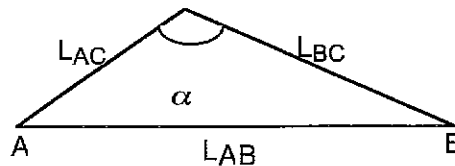


figure 4.15

4.3.F. LE NIVELLEMENT CHEMINÉ - METHODE AMELIOREE

Le nivellement fermé

Le nivellement fermé consiste à fermer sur un point d'altitude connue : soit revenir au point de départ, soit en fermant sur un point connu. Ce procédé permet de trouver l'erreur de fermeture et de vérifier si elle est dans les limites permises.

Si on ferme sur un point connu (et qu'on a commencé d'un point connu), l'erreur de fermeture est la différence entre l'altitude connue et l'altitude mesurée.

Si on ferme sur le point de départ, l'erreur de fermeture est la dénivellation mesurée sur ce point (et qui doit en théorie être = 0). Dans ce cas, les erreurs sur les distances horizontales peuvent aussi être estimées.

Si l'erreur de fermeture n'est pas acceptable (voir 2.6), il faut d'abord vérifier les calculs, et si nécessaire, les travaux sur le terrain. Si l'erreur est acceptable, on peut corriger les altitudes calculées de la façon suivante :

Si :

Δ = erreur de fermeture;

L = longueur totale;

L_1 = distance entre le point 1 et le point de départ;

L_2 = distance entre le point 2 et le point de départ;

...

L_i = distance entre le point i et le point final; (= point connu ou point de départ)

H_1 = altitude du point 1;

H_2 = altitude du point 2;

....

H_i = altitude du point i;

la correction à apporter au niveau de chaque point est :

$$H_{1\text{corrigé}} = H_1 + \Delta \cdot L_1/L$$

$$H_{2\text{corrigé}} = H_2 + \Delta \cdot L_2/L$$

...

$$H_{i\text{corrigé}} = H_i + \Delta \cdot L_i/L$$

! exemple !

Dans cet exemple on parcourt une distance de 734,60 m et on trouve une erreur de fermeture de :

$$1.399,918 - 1.400,00 = -0,082 \text{ m.}$$

L'erreur moyenne quadratique est de $0,082 / \sqrt{2} = 58 \text{ mm}$

L'erreur permise pour un niveau à lunette dans de mauvaises conditions est de $200 \text{ mm} \times \sqrt{L} = 200 \times \sqrt{0,7346} = 171 \text{ mm}$.

L'erreur de fermeture est donc acceptable.

point	cote	distance	correction	cote corrigée
1	1.400,000	0,00	0,000	1.400,000
2	1.402,667	172,60	0,019	1.402,686
3	1.405,841	245,40	0,027	1.405,868
4	1.403,244	431,10	0,048	1.403,292
5	1.401,284	508,70	0,057	1.401,341
6	1.400,945	661,20	0,074	1.401,019
1	1.399,918	734,60	0,082	1.400,000

! exemple !**Le nivellement répété**

Au lieu de fermer sur le même point, ou sur un point connu, on peut effectuer le nivellement du même tracé plusieurs fois. Les points intermédiaires de ces nivellements ne doivent pas être les mêmes. En théorie, on doit trouver la même dénivellation.

En pratique, il y aura des différences. On procède de la façon décrite en 2., en calculant la moyenne, les fautes résiduelles et l'erreur moyenne quadratique.

Si l'erreur moyenne quadratique n'est pas acceptable (voir 2.6.), il faut d'abord vérifier les calculs, et si nécessaire, les travaux sur le terrain. Si l'erreur est acceptable, on peut corriger les altitudes calculées de la même façon que décrite en 4.3.f.

Pour chaque nivellement on calcule l'erreur (Δ_j), qui est la différence entre la moyenne et le résultat de ce nivellement. Chaque altitude est corrigée de la façon suivante :

$$H_{i\text{corrigé}} = H_i + \Delta_j \cdot L_{ij} / L_j$$

avec L_j , la longueur totale de ce nivellement.

Remarque :

Si la longueur du nivellement est de plusieurs kilomètres, il vaut mieux diviser le trajet en plusieurs parties d'une longueur d'un kilomètre, et effectuer le "nivellement répété" pour chaque partie.

! exemple !

Dans cet exemple on parcourt deux fois. La première fois on trouve une dénivellation de 1,016 m et une distance de 802,20 m, la deuxième fois une dénivellation de 1,042 m, et une distance de 803,00 m. On travaille dans des conditions ordinaires.

Le résultat est de :

Pour la distance : $(802,20 + 803,00) / 2 = 802,60 \text{ m}$

Pour la dénivellation : $(1,016 + 1,042) / 2 = 1,029 \text{ m}$

D'abord on contrôle les erreurs de fermeture :

L'erreur de fermeture sur la distance est de $803,00 - 802,20 = 0,80 \text{ m}$.

L'erreur moyenne quadratique est de $0,80 / \sqrt{2} = 0,57 \text{ m}$

L'erreur de fermeture sur la dénivellation est de $1,016 - 1,042 = -0,026 \text{ m}$.

L'erreur moyenne quadratique est de $-0,026 / \sqrt{2} = -0,018 \text{ m}$

L'erreur acceptable pour un niveau à lunette dans de conditions ordinaires est de :

Pour la distance : $8 \times \sqrt{L} = 717 \text{ mm} > 570 \text{ mm}$

Pour la dénivellation : $80 \text{ mm} \times \sqrt{L} = 80 \times \sqrt{0,8026} = 71,7 \text{ mm} > 18 \text{ mm}$.

Les erreurs de fermeture sont donc acceptables.

Les tableaux ci-dessous donnent les cotes mesurées et les cotes corrigées pour chaque passage :

Premier passage :

Pour le point 7, la correction est de $(1401,029 - 1401,016) = 0,013 \text{ m}$.

La correction des autres points est calculée en fonction de leur distance.

point	cote	distance	correction	Cote corrigée
1	1.400,000	0,0	0,000	1.400,000
2	1.399,202	131,1	0,002	1.399,204
3	1.396,108	263,2	0,004	1.396,112
4	1.393,504	390,8	0,006	1.393,510
5	1.395,664	509,2	0,008	1.395,672
6	1.398,285	651,0	0,011	1.398,296
7	1401,016	802,2	0,013	1401,029

Deuxième passage

Pour le point 7, la correction est de $(1401,029 - 1401,042) = -0,013 \text{ m}$.

point	cote	distance	correction	cote corrigée
1	1.400,000	0,00	0,000	1.400,000
2'	1.399,602	128,1	-0,002	1.399,600
3'	1.395,902	254,2	-0,004	1.395,898
4'	1.393,805	378,8	-0,006	1.393,799
5'	1.396,001	519,2	-0,008	1.395,993
6'	1.399,000	642,8	-0,010	1.398,990
7	1401,042	803,0	-0,013	1401,029

Les points 2, 3, 4 ... ne doivent pas coïncider avec les points 2', 3', 4' ...

! exemple !

Le nivellement

Nivellement parallèle

Au lieu de répéter le nivellement, on effectue un deuxième nivellement en parallèle et simultanément avec le premier (voir fig. 4.16). De cette façon, chaque point de changement de station est mesuré deux fois. Pour cette méthode, il vaut mieux utiliser deux mires.

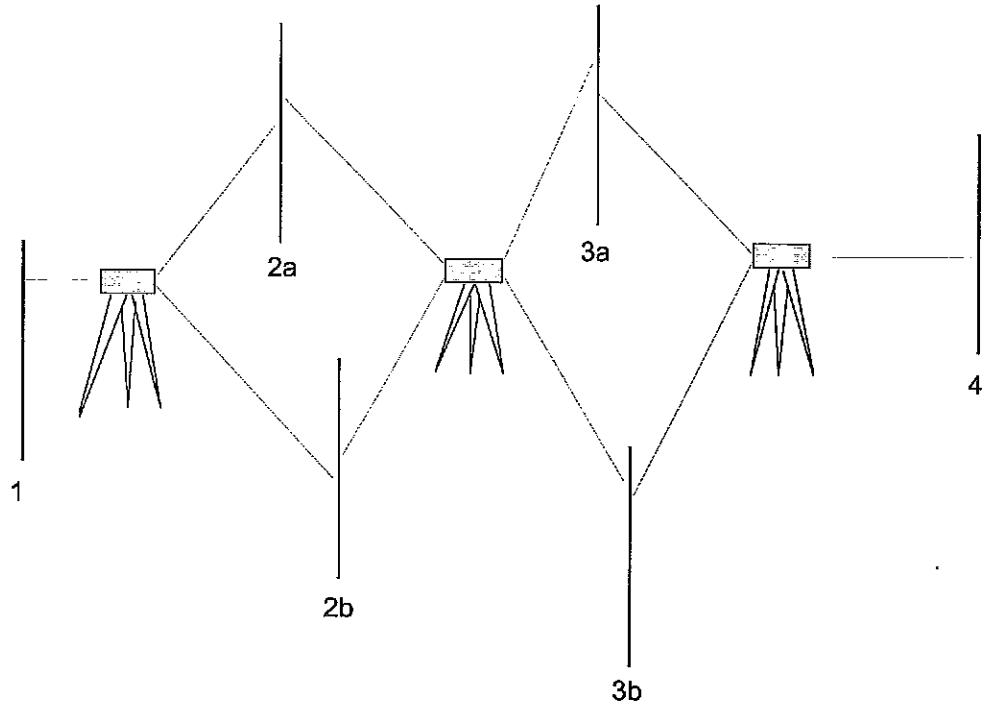


figure 4.16

4.3.G. REMARQUES GENERALES SUR LE NIVELLEMENT

- La mire doit toujours être placée sur un point stable. Éventuellement, on utilise des accessoires comme un *piquet*...
- La mire doit être mise sur le même point lors du changement de station. Pour cette raison, on marque le point avant qu'on y place la mire, ou on utilise un point bien défini.
- La mire doit être tenue verticalement. On utilise un *fil à plomb* ou un *niveau à bulle*. Certaines mires sont munies d'une nivelle sphérique.
Si on ne dispose pas de niveau, on fait balancer la mire dans le plan de la visée (en arrière et en avant). La plus petite lecture correspond à la hauteur. Notons toutefois que cette alternative ne permet pas d'éliminer les erreurs de verticalité dans le plan qui est perpendiculaire au plan de la visée, et que la lecture n'est donc pas forcément correcte.
- La lecture de la mire est effectuée sur le millimètre.
- La nivelle de l'appareil se trouve toujours au centre.
- On élimine la parallaxe optique.
- Vu que les distances entre les points de changement de station sont de 150 à 200 m, on mesure également des points intermédiaires, pour obtenir des informations plus complètes sur le tracé, avec peu de travail. La distance entre ces points varie de 25 à 50 m. Ces points sont uniquement mesurés avec la visée en arrière ou avec la visée en avant. Dans la fiche de nivellement, leur hauteur est écrite dans les colonnes "avant" et "arrière" (voir fig. 4.17 et fiche de nivellement).

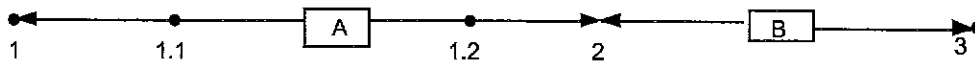


figure 4.17

Fiche de nivellement

Titre du projet:

Date:

Équipe topographique:

Cote du point de départ: 1400 m *

station	point	arrière			avant			ΔH	H	L_h	L cumulée
		trait cent.	trait sup.	trait inf.	trait cent.	trait sup.	trait inf.				
A	1	1,382	1,734	1,030				0,000	1.400,000	70,4	0
	1.1	1,002	1,200	0,804				-0,380	1.400,380	39,6	39,6
	1.2				2,100	2,354	1,846	0,718	1.399,282	50,8	121,2
	2				1,222	1,773	0,671	-0,160	1.400,160	110,2	180,6
B	2	1,458	2,013	0,903						111,0	
	3				1,682	2,228	1,136	0,224	1.399,936	109,2	400,8

* Cette cote a été choisie arbitrairement

4.4. LE NIVELLEMENT A L'AIDE D'UN THEODOLITE

Pour déterminer des différences de niveau *avec précision* et sur de grandes distances dans un terrain accidenté, il est nécessaire de définir la *ligne de visée* à l'aide de l'instrument approprié, *le théodolite*.

Les méthodes proposées sont les mêmes que pour le *niveau à lunette*, il y a une différence au niveau des formules.

! attention !

La détermination de *dénivellations* à l'aide d'un *théodolite* nécessite la mesure des hauteurs sur la *mire*, mais aussi la mesure d'*angles verticaux*.

Etant donné qu'on doit également mesurer ces angles (ce qui amène ses propres imprécisions), le résultat sera moins précis que le résultat de la *dénivellation* à l'aide d'un *niveau*.

Donc, si possible, il faut préférer le *niveau* au *théodolite*.

! attention !

4.4.A. METHODE 1 : LE NIVELLEMENT PAR RAYONNEMENT

De la même façon que pour le *niveau*, on peut installer le *théodolite* sur un point A et mesurer la *dénivellation* entre le point A et un autre point B.

Procédé :

- Visez la mire au point B à une hauteur fixée (p.e. $h_B = 1,5$ m).
- Effectuez la lecture de l'angle vertical φ et des traits supérieurs T_s et inférieurs T_i (la valeur $l = T_s - T_i$).
- Mesurer la hauteur h_T de l'axe horizontal de la lunette du théodolite.
- La *dénivellation* ΔH entre les points A et B est donnée par :

pour un instrument qui donne un *angle zénithal* :

$$\Delta H = L \cdot \cos \varphi + h_T - h_B = K \cdot l \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi + h_T - h_B \text{ (voir fig. 4.18)}$$

pour un instrument qui donne un angle vertical entre l'horizontale et la ligne de visée :

$$\Delta H = L \cdot \sin \varphi' + h_T - h_B = K \cdot l \cdot \cos \varphi' \cdot \sin \varphi' + h_T - h_B \text{ (voir fig. 4.19)}$$

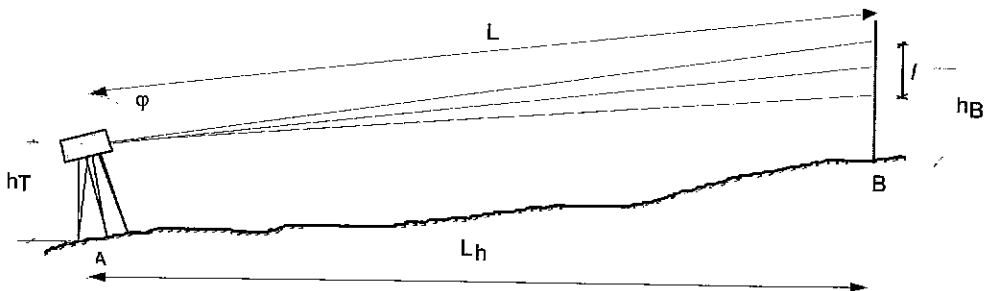


figure 4.18

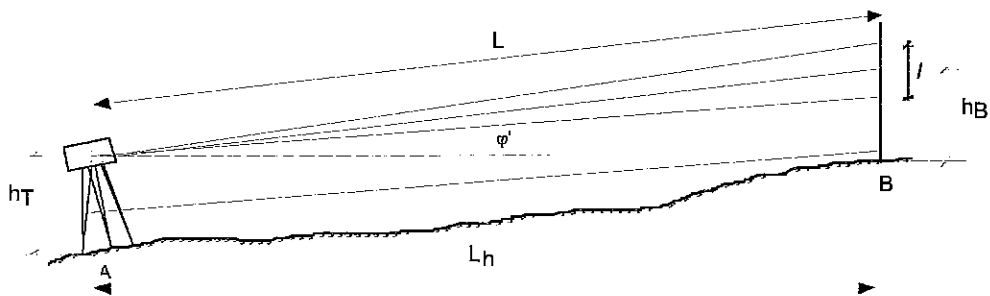


figure 4.19

! exemple !

On veut mesurer l'altitude de 7 points, par rapport à l'altitude du point où se trouve le théodolite. Pour l'altitude de ce dernier point, on prend une valeur arbitraire : 1.000 m. La hauteur de l'instrument est mesurée : $h_T = 1,48$ m et $K = 100$. Dans le tableau ci-dessous vous trouvez les résultats des mesures et les résultats calculés. (angles zénithaux, en degrés)

point	trait supérieur	trait inférieur	trait central	angle vertical φ	ΔH	Altitude
1	1,804	1,196	1,500	99,67	0,295	1.000,295
2	2,104	0,860	1,500	103,44	-6,923	993,077
3	1,702	1,298	1,500	120,18	-11,985	988,015
4	2,504	0,496	1,500	144,15	-54,349	945,651
5	2,001	0,999	1,500	132,08	-42,388	957,612
6	2,680	0,320	1,500	110,13	-36,942	963,058
7	2,408	0,592	1,500	98,68	3,744	1.003,744

! exemple !

4.4.B. METHODE 2 : LE NIVELLEMENT DU MILIEU

On procède de la même façon qu'en 4.3.b.

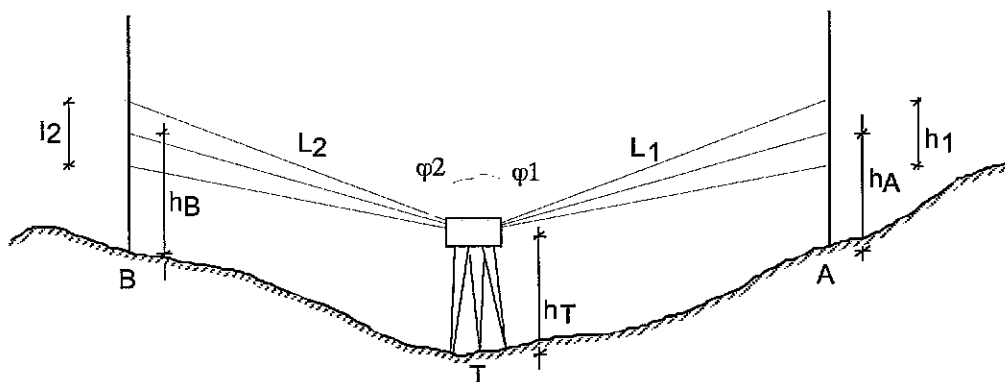


figure 4.20

Les formules générales pour le nivellement du milieu sont (*angles zénithaux*) :

- pour la dénivellation entre les points A et B :

$$\Delta H = H_A - H_B = K \cdot (l_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 - l_2 \cdot \sin \varphi_2 \cdot \cos \varphi_2) - (h_A - h_B)$$

- pour les longueurs entre les points A et B :

$$L_h = K \cdot l_1 \sin^2 \varphi_1 + K \cdot l_2 \cdot \sin^2 \varphi_2 \text{ (longueur horizontale)}$$

$$L_r = \sqrt{[(K \cdot l_1 \sin^2 \varphi_1)^2 + (H_A + h_A - H_T - h_T)^2]} + \sqrt{[(K \cdot l_2 \sin^2 \varphi_2)^2 + (H_B + h_B - H_T - h_T)^2]}$$

(distance réelle)

avec H_A = cote du point A

avec H_B = cote du point B;

avec H_T = cote du point T, cote de la position du théodolite.

(Si le *théodolite* mesure l'angle entre l'horizontale et la *ligne de visée*, on remplace le sin par le cos et le cos par le sin)

Une valeur positive de ΔH correspond à une descente du terrain de A à B (ou $H_A > H_B$).

Une valeur négative correspond à une montée de A à B (ou $H_A < H_B$).

Ces formules sont très rarement utilisées car elles peuvent être simplifiées en appliquant la méthode suivante :

- Pour faciliter les calculs et pour réduire le risque de fautes, on essaie souvent de viser la même hauteur sur la mire en avant et en arrière que la hauteur de l'appareil ($h_A = h_B = h_T$). Dans ce cas, mais exclusivement dans ce cas, la formule se simplifie et la *dénivellation* et la distance sont données par (*angles zénithaux*) :

$$\Delta H = H_A - H_B = K \cdot (l_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 - l_2 \cdot \sin \varphi_2 \cdot \cos \varphi_2)$$

$$L_h = K \cdot l_1 \sin^2 \varphi_1 + K \cdot l_2 \cdot \sin^2 \varphi_2 \text{ (longueur horizontale)}$$

$$L_r = K \cdot l_1 \cdot \sin \varphi_1 + K \cdot l_2 \cdot \sin \varphi_2 \text{ (distance réelle)}$$

Si le *théodolite* mesure l'angle entre l'horizontale et la *ligne de visée*, on remplace le sin par le cos et le cos par le sin :

$$\Delta H = H_A - H_B = K \cdot (l_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_1 - l_2 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin \varphi_2)$$

$$L_h = K \cdot l_1 \cos^2 \varphi_1 + K \cdot l_2 \cdot \cos^2 \varphi_2 \text{ (longueur horizontale)}$$

$$L_r = K \cdot l_1 \cdot \cos \varphi_1 + K \cdot l_2 \cdot \cos \varphi_2 \text{ (distance réelle)}$$

! tuyau !

Normalement, la hauteur de l'appareil est de 1,40 m à 1,60 m puisque notre *théodolite* se trouve un peu en dessous de la hauteur de nos yeux (donc $h_T = \pm 1,50$ m). Si on vise sur une hauteur de 1,50 m sur les mires, on peut également appliquer les formules simplifiées.

Dans les autres cas, on facilitera les calculs en mesurant la hauteur de l'appareil et en visant sur la même hauteur sur les mires.

! tuyau !

! théorie complémentaire !

Pour un *théodolite* qui mesure des *angles zénithaux* :

La *dénivellation* entre le point A et le théodolite est donnée par:

$$\Delta H_1 = H_A - H_T = L_1 \cdot \cos \varphi_1 + h_T - h_A = K \cdot l_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 + h_T - h_A$$

La *dénivellation* entre le point B et le théodolite est donnée par:

$$\Delta H_2 = H_B - H_T = L_2 \cdot \cos \varphi_2 + h_T - h_B = K \cdot l_2 \cdot \sin \varphi_2 \cdot \cos \varphi_2 + h_T - h_B$$

La *dénivellation* entre les points A et B est donnée par:

$$\Delta H = H_A - H_B = \Delta H_1 - \Delta H_2 = K \cdot (l_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 - l_2 \cdot \sin \varphi_2 \cdot \cos \varphi_2) - (h_A - h_B)$$

Si on vise la même hauteur en avant et en arrière, $h_A = h_B$, et

$$\Delta H = H_A - H_B = \Delta H_1 - \Delta H_2 = K \cdot (l_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 - l_2 \cdot \sin \varphi_2 \cdot \cos \varphi_2)$$

La *longueur horizontale* entre A et B est donnée par :

$$L_h = K \cdot l_1 \sin^2 \varphi_1 + K \cdot l_2 \sin^2 \varphi_2$$

La distance réelle (L_t) entre les points A et B est donnée par :

$$L_t = \sqrt{[(K \cdot l_1 \sin^2 \varphi_1)^2 + (H_A + h_A - H_T - h_T)^2]} + \sqrt{[(K \cdot l_2 \sin^2 \varphi_2)^2 + (H_B + h_B - H_T - h_T)^2]}$$

avec H_A = cote du point A

avec H_B = cote du point B

avec H_T = cote du point T, cote de la position du théodolite.

Si on vise sur la même hauteur sur les mires que la hauteur de l'appareil ($h_A = h_B = h_T$), la formule peut être simplifiée :

$$L_t = K \cdot l_1 \cdot \sin \varphi_1 + K \cdot l_2 \cdot \sin \varphi_2$$

Si le théodolite mesure l'angle entre l'horizontale et la *ligne de visée*, on remplace le sin par le cos et le cos par le sin :

$$\Delta H_1 = H_A - H_T = L_1 \cdot \sin \varphi_1 + h_T - h_A = K \cdot l_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_1 + h_T - h_A$$

$$\Delta H_2 = H_B - H_T = L_2 \cdot \sin \varphi_2 + h_T - h_B = K \cdot l_2 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin \varphi_2 + h_T - h_B$$

$$\Delta H = H_A - H_B = \Delta H_1 - \Delta H_2 = K \cdot (l_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_1 - l_2 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin \varphi_2) - (h_A - h_B)$$

si $h_A = h_B$:

$$\Delta H = H_A - H_B = \Delta H_1 - \Delta H_2 = K \cdot (l_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_1 - l_2 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin \varphi_2)$$

$$L_h = K \cdot l_1 \cos^2 \varphi_1 + K \cdot l_2 \cos^2 \varphi_2$$

$$L_t = \sqrt{[(K \cdot l_1 \cos^2 \varphi_1)^2 + (H_A + h_A - H_T - h_T)^2]} + \sqrt{[(K \cdot l_2 \cos^2 \varphi_2)^2 + (H_B + h_B - H_T - h_T)^2]}$$

si $h_A = h_B = h_T$:

$$L_t = K \cdot l_1 \cdot \cos \varphi_1 + K \cdot l_2 \cdot \cos \varphi_2$$

! théorie complémentaire !

4.4.C. METHODE 3 : LE NIVELLEMENT CHEMINE

On a vu que lors du nivellement au *niveau à lunette* en terrain fortement incliné, la distance entre deux points est quelques fois très courte ou trop longue pour pouvoir viser la mire. En effet, la *ligne de visée* doit se trouver entre le pied et la tête de la mire. (voir fig. 4.21 et 4.22)

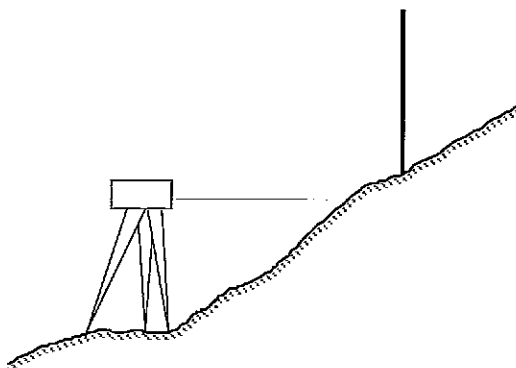


figure 4.21

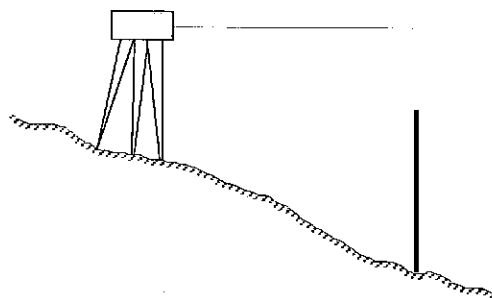


figure 4.22

Ceci n'est plus le cas en utilisant un *théodolite*. Avec cet instrument, nous avons vu qu'il est possible de mesurer des *angles verticaux*. La détermination des distances et des *dénivellations* se fait à partir de la mesure de l'*angle vertical*.

Il est évident que le *nivellement cheminé* dans des régions inclinées se fera beaucoup plus vite en utilisant le *théodolite*. De préférence, cet instrument est alors utilisé pour déterminer le tracé (profil en long et plan de situation) d'une adduction d'eau.

Si la distance entre deux points est supérieure à 200 m, elle doit être divisée en plusieurs intervalles, et il faut effectuer l'opération décrite ci-dessus (cfr. 4.4.b) pour chacun de ces intervalles. La différence d'altitude entre les deux points sera égale à la somme des différences d'altitudes mesurées pour les différents intervalles.

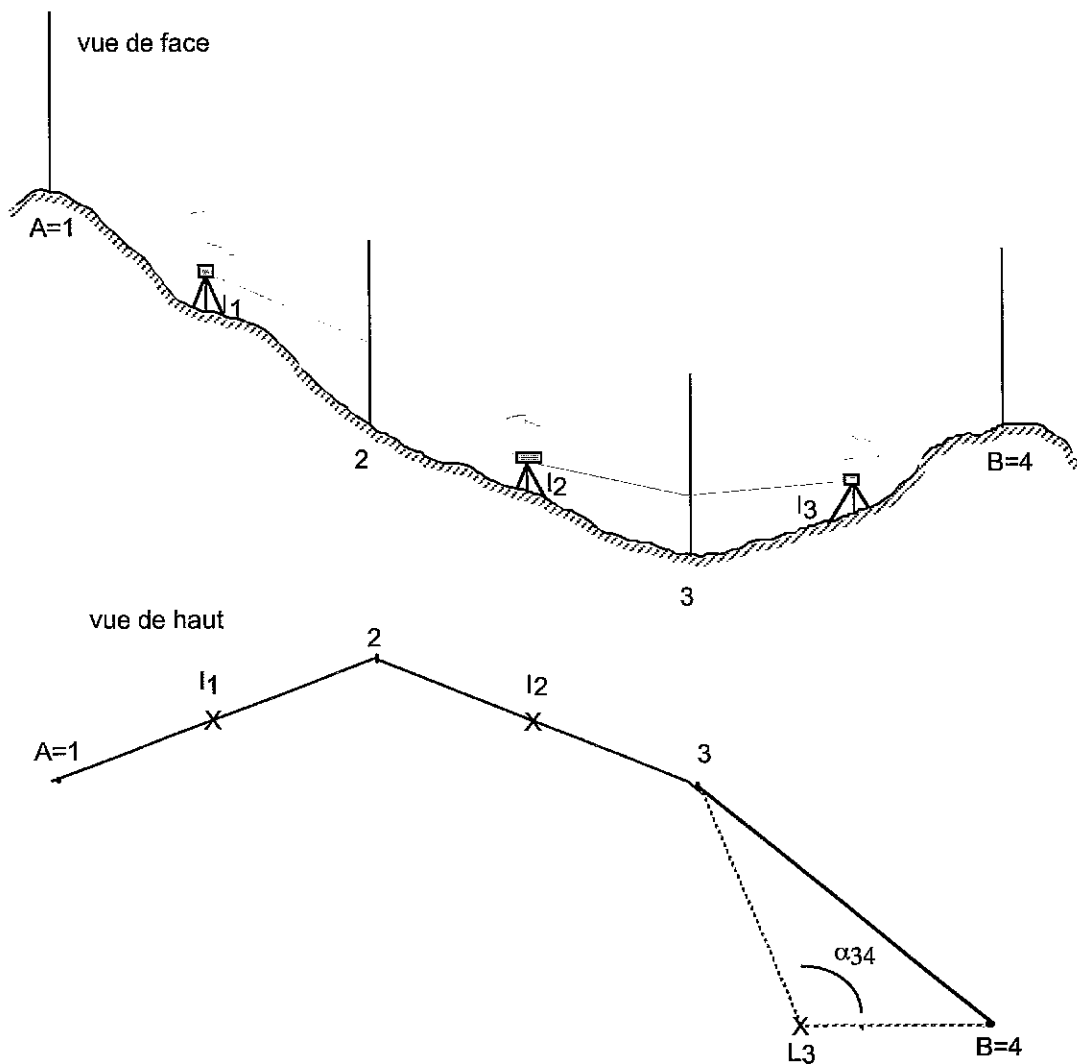


figure 4.23

Procédé :

- La mire est placée au point d'origine $A = 1$. Une deuxième mire se trouve au point 2. Si vous n'avez qu'une seule mire, faites d'abord la lecture arrière (point 1), puis déplacez la mire au point 2 et faites la lecture avant. Visez les mires à une hauteur fixe h (p.e. $h = 1,5$ m). La station de l'instrument I_1 se trouve au milieu entre le point 1 et 2 (nivellement du milieu).
- Effectuez la lecture arrière, c'est-à-dire l'angle vertical φ_1 et les traits supérieurs et inférieurs. Notez les valeurs sur la fiche topographique.
- Si le théodolite n'est pas aligné sur la ligne 1-2, il faut mesurer l'angle horizontal α entre la direction du point 1 et celle du point 2. Notez la valeur α sur la fiche topographique.
- Effectuez la lecture avant, c'est-à-dire l'angle vertical φ_2 et les traits supérieurs et inférieurs. Notez les valeurs sur la fiche topographique.
- Déplacez l'instrument en I_2 . La mire restant au point 2 est tournée avec précaution pour présenter sa graduation vers la nouvelle station d'instrument I_2 .
- Effectuez de la même façon les lectures arrière h_2 (point 2) et avant h_3 (point 3).
- Le travail se poursuit jusqu'à la dernière lecture avant h_n sur le point $B = 4$. Les lectures h_1 et h_n sont inscrites sous forme de tableau dans le carnet.

- Complétez la fiche topographique à partir des mesures faites en utilisant les formules du paragraphe 4.4.b. Pour augmenter le degré de précision, on appliquera les techniques de correction du paragraphe 4.3.e. et on prêtera attention aux précautions formulées en § 4.3.f. La *précision* requise est de $\pm 40 \text{ mm} \sqrt{L}$ avec L = longueur totale en km (voir 2.6.) La précision est donc moins élevée que celle d'un nivellement à niveau.

! Remarque !

Cette fiche ne peut être employée que si on vise sur les mires la hauteur du théodolite, et pour un instrument qui mesure les angles zénithaux.

! Remarque !**! tuyau !**

Pour augmenter la précision des mesures, on peut effectuer chaque visée en lunette droite et en lunette renversée (double retournement).

La hauteur est alors la moyenne des deux lectures.

Vu que normalement on calcule la dénivellation et les distances sur le terrain, cette méthode donne un contrôle direct des résultats.

Cette technique est très recommandée !

! tuyau !

Fiches topographiques - angles zénithaux

Titre du projet:

Date:

Équipe topographique:

Cote du point de départ: 1400 m *

station	point	arrière		angle vert. φ	avant			ΔH	H	L_i	L_i cum.
		trait sup.	trait inf.		trait sup.	trait inf.	angle vert. φ				
A	1	2.314	1.686	49,608					1.400,000	44,132	
	2				2.298	1.702	131,302		1.343,797	52,540	96,672
B	2	2.336	1.664	63,516						56,463	
	3				2.238	1.672	116,626		1.296,817	63,376	216,511
C	3	2.302	1.698	104,112						60,274	
	4				2.316	1.684	48,336		1.332,264	43,506	311,171
D	4										
	5										

4.5. LE CALCUL DES COORDONNÉES

Le levé topographique complet ne concerne pas seulement les dénivellations et les distances, mais aussi les changements de direction du tracé.

L'élaboration d'un *plan de situation* du tracé n'est pas indispensable pour le calcul hydraulique d'un petit *projet d'adduction d'eau*. Cependant, il devient indispensable lors d'une étude d'un *système maillé*. La *précision* exigée dans ce cas n'est pas très grande, donc nous pouvons nous limiter ici à donner le procédé de base pour entamer ces mesures.

Le *calcul des coordonnées* se fait normalement par rapport à une *direction de référence*. Souvent, on choisit la direction du nord comme direction de référence. L'angle entre une direction donnée et la direction du nord est appelé l'*azimut*. Cet angle est mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre de 0° à 360° (ou de 0° à 400°).

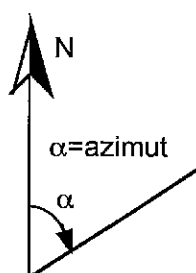


figure 4.24

On pourrait également choisir une autre direction de référence. Cette direction sera définie par deux points qui doivent être bien décrits par l'arpenteur dans ses notes et puis sur le plan. Il est toutefois recommandé de prendre la direction du nord.

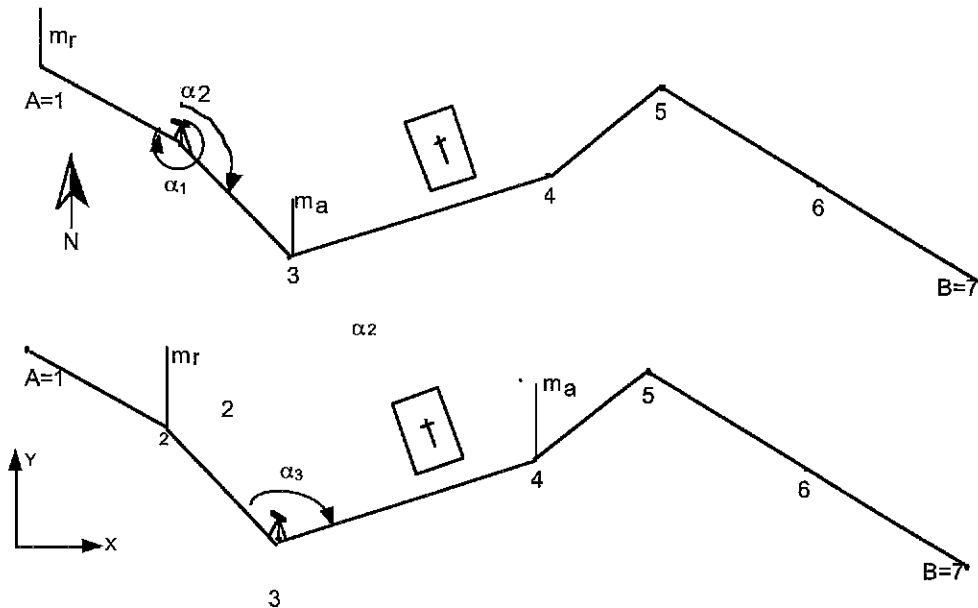


figure 4.25

Procédé :

- Positionnez le théodolite au point 2. Visez sur le nord à l'aide d'un compas (boussole) et mettez l'index de l'angle horizontal sur $0,000^\circ$ (ou $0,000g$).
- Visez la mire m_r au point 1 et lisez l'angle horizontal α_1 (azimut).
- Visez la mire m_a au point 3 (visée avant) et lisez l'angle horizontal α_2 .
- Déplacez la mire m_r vers le point 2.
- Déplacez le théodolite vers le point 3.
- Déplacez la mire m_a vers le point 4.
- Visez la mire m_2 au point 4 (visée arrière) et lisez l'angle horizontal α_3 .
- Répétez les étapes précédentes pour déterminer l'angle α_4 .
- Continuez de la même façon jusqu'au point B = 7.
- Note : On peut faire quelques mesures d'azimut le long du tracé et vérifier la concordance avec les azimuts calculés.

On calcule d'abord l'azimut de chaque direction.

Remarques :

- si l'azimut d'une ligne a-b est de α , l'azimut de la ligne b-a sera de $\alpha - 180^\circ$ (ou $\alpha - 200^g$).
- l'azimut ne peut jamais être négatif. Éventuellement, il faut ajouter n fois 360° à l'angle calculé pour le rendre positif.

L'azimut de chaque direction peut être calculé comme suit:

$$\alpha_{z1-2} = \alpha_1 - 180^\circ$$

$$\alpha_{z2-3} = \alpha_2$$

$$\alpha_{z3-4} = \alpha_{z2-3} - (180 - \alpha_3)$$

$$\alpha_{z4-5} = \alpha_{z3-4} - (180 - \alpha_4)$$

...

$$\alpha_{z6-7} = \alpha_{z5-6} - (180 - \alpha_6)$$

Puis on calcule les coordonnées cartésiennes de chaque point.

Afin d'avoir des coordonnées positives pour chaque point, on prend $X_1 = 50.000,00$ m et $Y_1 = 50.000,00$ m pour le point 1. Les coordonnées du point 2 sont alors données par :

$$X_2 = X_1 + L_{h12} \sin \alpha_{z12}$$

$$Y_2 = Y_1 + L_{h12} \cos \alpha_{z12}$$

Les coordonnées du point 3 sont données par

$$X_3 = X_2 + L_{h23} \sin \alpha_{z23}$$

$$Y_3 = Y_2 + L_{h23} \cos \alpha_{z23}$$

jusqu'au point 7.

L'usage de *coordonnées cartésiennes* simplifie le dessin du plan et évite la multiplication d'erreurs pendant le dessin.

Pour faciliter les calculs, on utilise un ordinateur. Les angles et distances sont introduits dans un tableur, qui donne les coordonnées, et éventuellement aussi le plan.

Si on veut étendre le plan établi à partir d'une série de points dont on connaît les coordonnées cartésiennes, on procède de la façon suivante :

- mettez l'appareil sur un point 1 (avec coordonnées connues : X_1, Y_1 selon la mesure précédente)
- visez la mire sur un point 2 (avec coordonnées connues : X_2, Y_2 selon la mesure précédente) : visée avant et mettez l'index de l'angle horizontal sur $0,000^\circ$
- visez la mire m_2 au point 3 (nouveau point) : visée arrière et lisez l'angle horizontal α_3 .

Les coordonnées de ce point et de tous les suivants sont calculées de la façon décrite ci-dessus.

Il existe aussi des techniques de correction pour le calcul des coordonnées, mais elles ne font pas partie de l'objet de ce livre.

point	Lh	α mesuré	α az	X	Y
1				50.000,00	50.000,00
2	30,51	283	103	50.029,73	49.993,14
3	20,28	138	138	50.043,30	49.978,07
4	36,75	118	76	50.078,96	49.986,96
5	19,82	161	57	50.095,58	49.997,75
6	31,15	238	115	50.123,81	49.984,59
7	29,82	179	114	50.151,05	49.972,46

figure 4.26

4.6. UN RESEAU DE NIVELLEMENTS

Un *réseau de nivellements* est composé de plusieurs circuits (voir fig. 4.27). Ces nivellements peuvent être effectués à l'aide d'un *niveau* ou à l'aide d'un *théodolite*. Dans l'exemple ci-dessous, on a d'abord mesuré le circuit 1, puis 2 et finalement 3.

On pourra alors calculer et corriger les cotes des différents points sur le circuit 1 de la façon décrite en 4.3.f.

On calcule et corrige par la suite la ligne 2, et puis les autres lignes dans l'ordre où elles ont été mesurées.

Il est important de corriger chaque ligne d'un ordre moindre d'abord, afin d'éviter une multiplication de fautes. De cette manière on a une bonne base pour calculer les lignes suivantes.

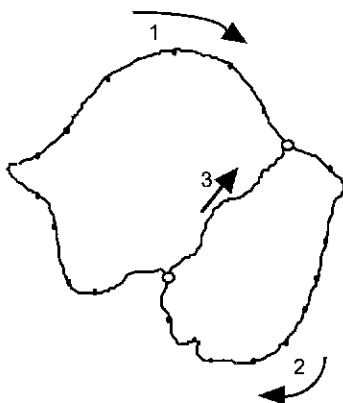


figure 4.27

CHAPITRE 5 LE JALONNEMENT

Dans ce chapitre :

- les techniques simples pour jalonner un angle droit, une ligne droite, une intersection, des courbes de niveau, des lignes à pente constante
- le jalonnement d'une courbe de niveau et d'un canal à pente constante avec un niveau à lunette ou un théodolite.

5.1. LES TECHNIQUES SIMPLES

Les techniques décrites dans ce paragraphe sont des techniques qui ne nécessitent pas d'appareils complexes. Par conséquent, leur précision est parfois assez limitée. L'application dépend donc de la précision voulue.

Ces techniques peuvent être appliquées pendant la phase de préparation d'un projet : *jalonnement* d'un tracé, localiser les stations d'arpentage,...

Elles servent également pendant la phase de l'exécution: jalonnement d'un tracé, jalonnement d'une construction ... Elles ne sont pas adaptées au levé précis d'un projet global.

Elles ont cependant les atouts suivants :

- rapides et simples
- peuvent être réalisées par une personne non formée en arpentage
- n'exigent pas d'appareils complexes.

5.1.A. LE JALONNEMENT D'UN ANGLE DROIT

Le *jalonnement d'angles droits* (angle de 90°) et de perpendiculaires est nécessaire pour la mesure et la délimitation de parcelles, par exemple pour l'implantation de *réservoirs* rectangulaires.

La méthode appelée "3-4-5"

Cette méthode s'appuie sur le principe qui veut qu'un triangle dont les côtés mesurent respectivement 3, 4 et 5 m a toujours un angle de 90° entre le côté de 3 m et celui de 4 m. Utilisez une corde d'un peu plus de 12 m de long, faites des nœuds aux distances nommées, et nouez les extrémités. Quand elle est bien tendue, elle donne un angle droit.

Le même résultat peut être obtenu à l'aide d'un ruban de 20 m. Un point C est pris à 6 m du point A. On met les deux extrémités du ruban sur les points A et C, et ensuite on tient ensemble les graduations 8 m et 10 m, donnant le point B et ainsi un angle droit. (Pour un ruban de 30 m : point C se trouve à 9 m de A ; on tient 12 et 15 m du ruban pour le point B).

Si on dispose d'une petite machine à calculer, on peut utiliser la règle de Pythagore. Par ex., si on doit construire un réservoir de $4,80 \times 3,60$ m la diagonale doit mesurer $\sqrt{(4,80^2 + 3,60^2)} = 6,00$ m. On utilise un ruban. Utilisez une corde, faites des nœuds aux distances 3,60 m, 4,80 m et 6,00 m et nouez les extrémités. Quand elle est bien tendue, on trouve trois coins du réservoir.

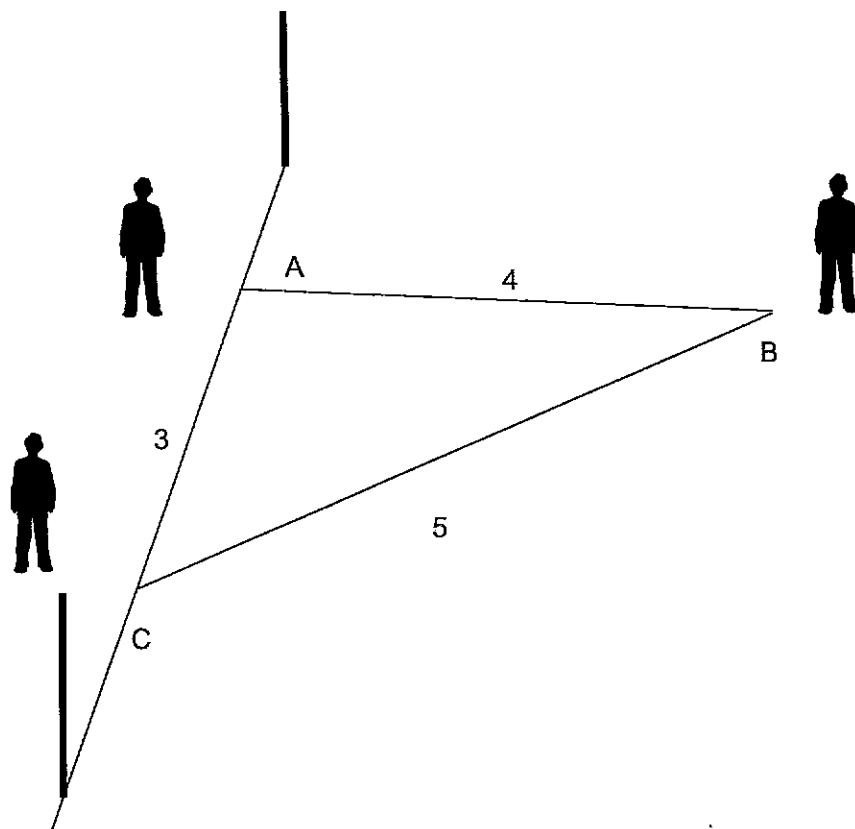


figure 5.1

La méthode de la corde avec un point qui n'est pas sur la ligne de base

Une ligne qui passe par le piquet A doit être tracée perpendiculairement à la ligne de base. Le piquet A n'est pas situé sur la ligne de base.

Matériel nécessaire :

- une longue corde avec une boucle à chaque extrémité. La corde doit être un peu plus longue que la distance du piquet A à la ligne de base
- un mètre à ruban ou un décimètre
- des piquets et un marteau ou une pierre.

Procédé :

- Une boucle de la corde est placée autour du piquet A. Glissez un piquet dans l'autre boucle et faites un cercle sur le sol en maintenant la corde tendue. Ce cercle croise deux fois la ligne de base. Placez les piquets B et C aux endroits où le cercle croise la ligne de base.

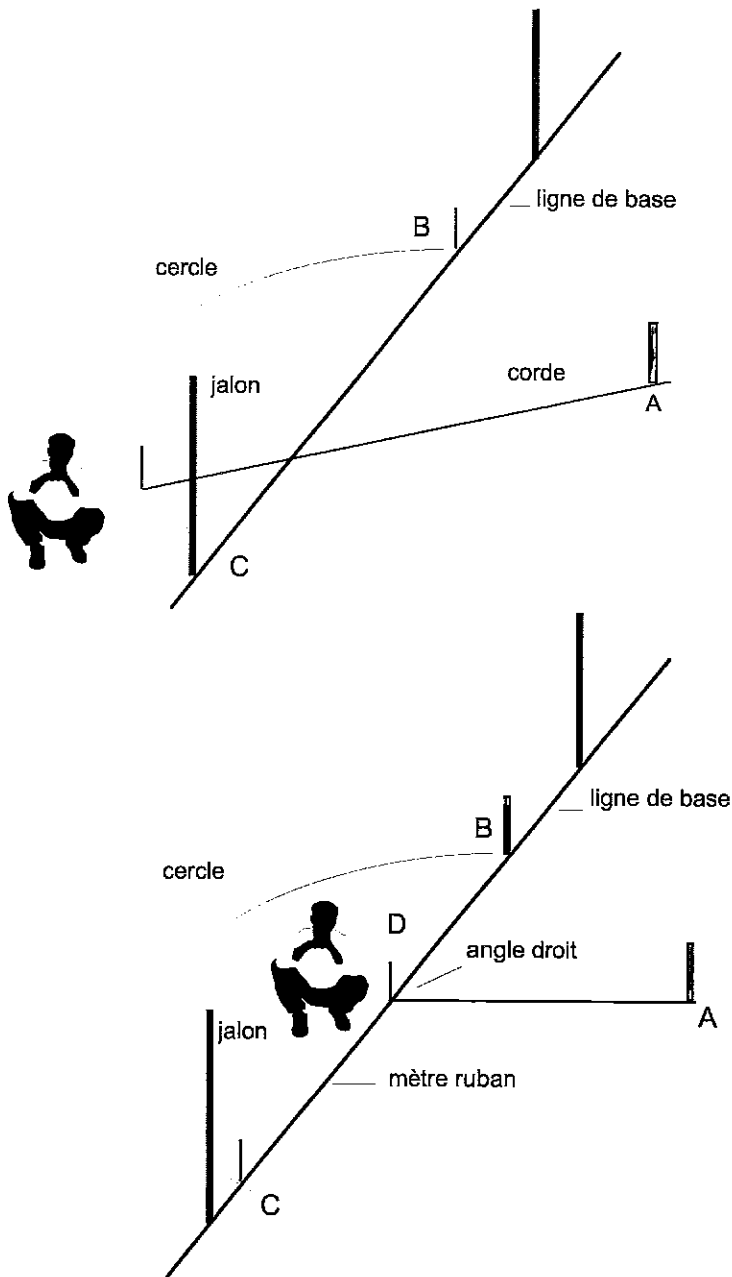


figure 5.2

- Placez un piquet D exactement au milieu de la ligne B-C. Pour trouver le milieu, utilisez un *mètre ruban* ou un décimètre. La ligne entre les piquets D et A est une ligne perpendiculaire à la ligne de base, et l'angle entre la ligne A-D et la ligne de base est un angle droit.

La méthode de la corde avec un point qui se trouve sur la ligne de base

Une ligne qui passe par le piquet A doit être tracée perpendiculairement à la ligne de base.

Le piquet A est situé sur la ligne de base.

Matériel nécessaire :

- une longue corde avec une boucle à chaque extrémité
- un *mètre ruban* ou un décamètre
- des *piquets* et un marteau ou une pierre

Procédé :

- Placez deux piquets B et C à une distance égale du point A sur la ligne de base.
- Une boucle de la corde est placée autour du piquet B. Glissez un piquet dans l'autre boucle et faites un cercle sur le sol en tenant la corde tendue.
- Une boucle de la corde est placée autour du piquet C. Glissez un piquet dans l'autre boucle et faites un cercle sur le sol en tenant la corde tendue.
- L'intersection de ces deux cercles donne le point D. La ligne AD est perpendiculaire à la ligne de base.

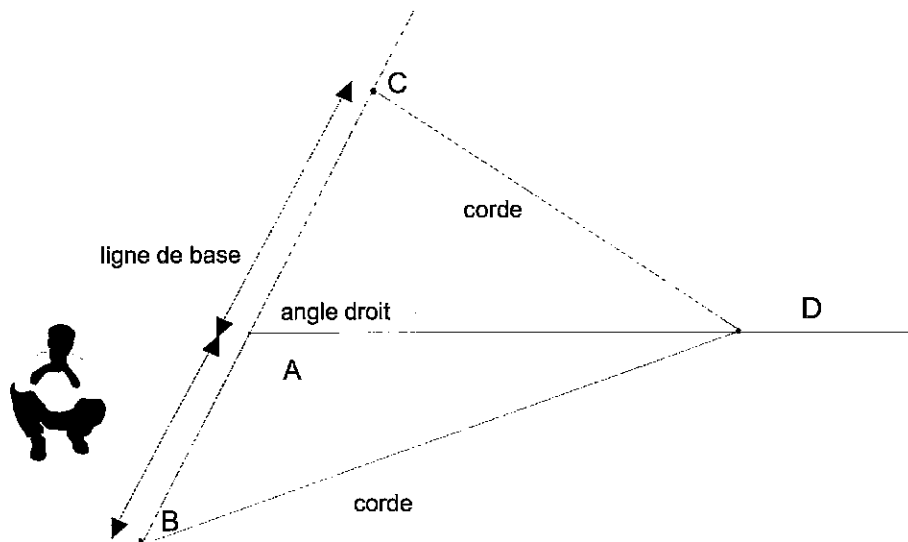


figure 5.3

Planche et clous

Une autre méthode très simple utilise une planche avec 4 clous, sur un bâton ou un statif. La planche doit être de niveau et deux axes perpendiculaires doivent être dessinés sur la planche comme indiqué dans le dessin ci-dessous.

Le statif est placé en un point O. Regardez au-dessus de la planche le long des clous (sens A). Dans le prolongement de l'axe, plantez un jalon pour déterminer la ligne de base (ligne O-A).

Regardez ensuite le long des clous, dans l'autre sens (sens B), et placez un jalon B dans leur prolongement. La ligne qui va de ce jalon B à la ligne de base (ligne O - B) est perpendiculaire à la ligne de base (ligne O-A).

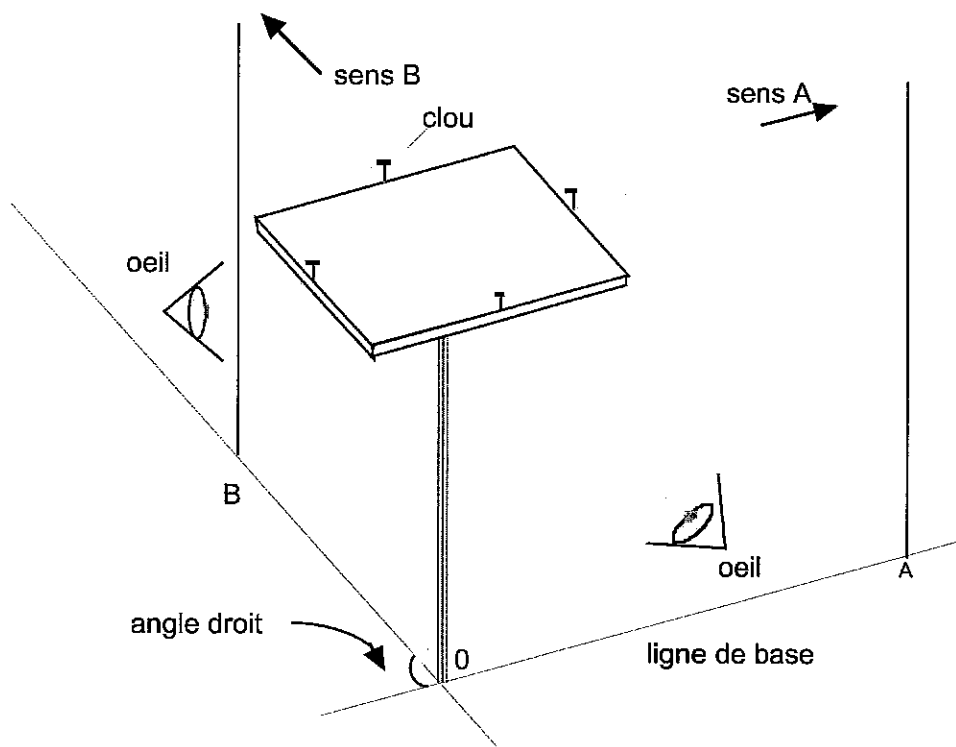


figure 5.4

5.1.B. LE JALONNEMENT D'UNE LIGNE DROITE

On a besoin d'une *ligne droite* pour mesurer des distances ou pour tracer par exemple une tranchée droite pour les conduites d'une adduction.

La ligne droite est la distance la plus courte d'un point à un autre. Sur le terrain, elle se construit au moyen de jalons. Si la distance entre les deux points à considérer dépasse la longueur du *mètre ruban* ou décamètre, on place un jalon sur chacun de ces points et on ajoute des jalons intermédiaires.

Une ligne droite sur le terrain peut être marquée au moyen de piquets pour servir de référence par la suite.

Les *jalons* et les piquets doivent indiquer une position du terrain sur toute leur hauteur. Ils doivent donc toujours être placés verticalement.

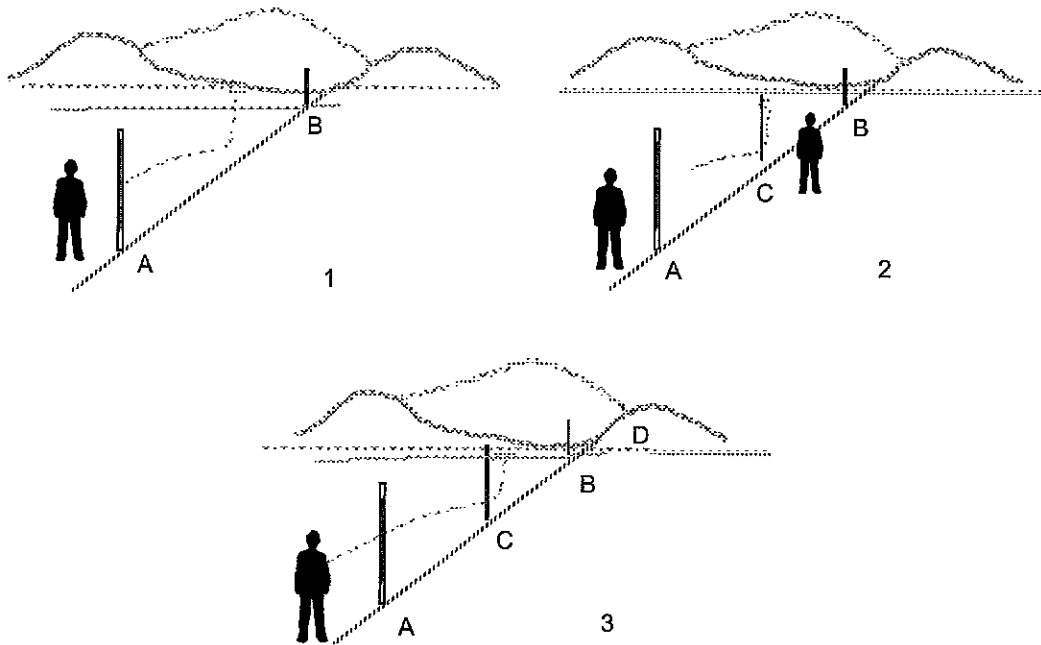


figure 5.5

Matériel nécessaire :

- plusieurs jalons
- piquets et marteau (ou pierre)
- niveau à bulle

Procédé :

- On place d'abord les deux jalons sur les points extrêmes de la ligne droite qu'on veut jalonner (points A et B).
- L'observateur en A ne doit pas être trop près de son jalon, disons 2 à 3 m en arrière.
- L'observateur doit donner des instructions simples et claires par gestes pour la pose des jalons intermédiaires.
- La personne plaçant les jalons ne doit pas se trouver sur la ligne entre les jalons A et B, sinon l'observateur ne peut plus voir le jalon B.
- Pour permettre une visée correcte, tenez le jalon entre le pouce et l'index, sans le serrer, juste au-dessus de son milieu.
- Les jalons doivent être tenus et plantés verticalement (à vérifier avec le niveau).
- Les jalons doivent être placés à des intervalles réguliers entre A et B, en partant de B et se dirigeant vers A.
- Pour prolonger la ligne existante A-B, placez des jalons à des intervalles réguliers, en partant de B et en se dirigeant vers D de la façon décrite ci-dessus.
- Si un obstacle se trouve entre les points A et B (p. e. une colline), la personne-aide plante un premier jalon en C_1 , visible de A et B, puis l'aide, guidé par l'observateur, fait de même en D_1 , dans l'alignement de A- C_1 . De la même façon, l'aide guide l'opérateur pour ramener le jalon en C_2 dans l'alignement B D_1 . Ensuite de D_1 et D_2 et ainsi de suite, jusqu'à ce que les jalons soient dans le même alignement. Puis on peut continuer de la façon décrite ci-dessus pour les autres jalons.

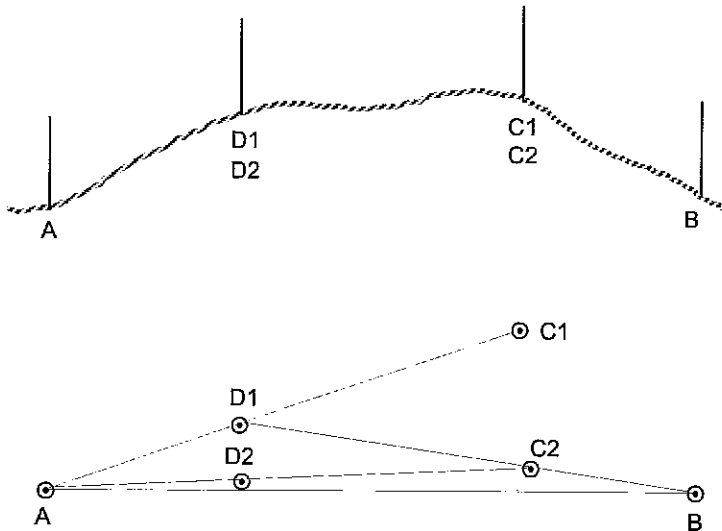


figure 5.6

5.1.C. LE JALONNEMENT D'UNE INTERSECTION

Le jalonnement d'une intersection peut être nécessaire pendant la réalisation d'un réseau de distribution, où deux lignes se croisent.

Afin de trouver l'intersection de la ligne A-B et de la ligne C-D, on procède de la façon suivante :

Matériel nécessaire :

- jalons

Procédé :

- On prolonge la ligne A-B de façon décrite en § 5.1.b., donnant le point E (vérification par l'observateur en point A).
 - On prolonge la ligne C-D de la même façon, de sorte que le nouveau point F se trouve entre B et E. (Vérification simultanée par deux observateurs en A et on D).
- Le point F est le point d'intersection.

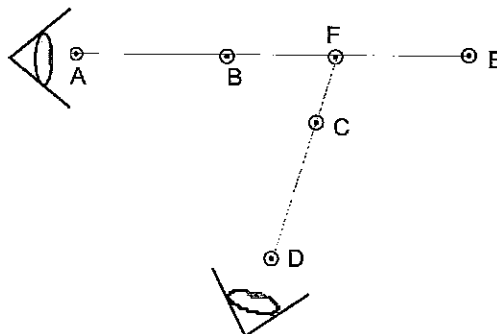


figure 5.7

5.1.D. LE JALONNEMENT DE COURBES DE NIVEAU

Le jalonnement d'une courbe de niveau est nécessaire pour la construction de terrasses ou de canaux de drainage en amont d'un captage.

Cadre -A

Le *cadre -A* est fabriqué avec 3 bâtons, attachés l'un à l'autre en forme de A. Une corde avec une pierre est fixée au sommet du triangle, là où les deux pieds du "A" se croisent. Quand le cadre-A est placé sur un terrain horizontal, la corde coïncide avec une marque sur le bâton horizontal.

Pour la description complète du cadre-A, voir 3.3.f.

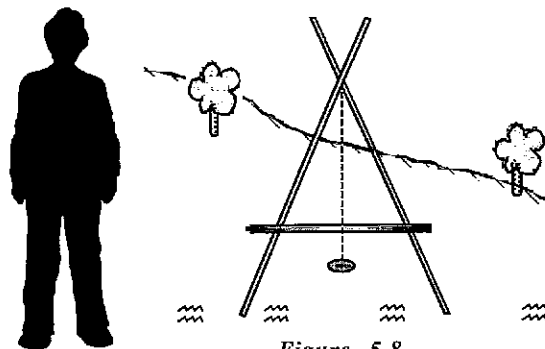


Figure 5.8

Matériel nécessaire :

- le cadre-A
- quelques piquets solides
- un marteau ou une pierre

Procédé :

- Commencez à jalonner les *courbes de niveau* au point le plus élevé de votre terrain. Allez d'un côté du terrain, enfoncez l'extrémité d'un piquet dans le sol à la limite du terrain. Ce sera votre point de départ pour une ligne de piquets qui suivra la première courbe de niveau. Dressez maintenant le *cadre-A* avec le premier pied sur le sol à la base du piquet. Placez le deuxième pied de telle sorte que l'instrument soit de niveau, c'est-à-dire que la corde se stabilise devant la marque-repère sur la barre transversale. Plantez maintenant le deuxième piquet juste à côté du deuxième pied.
- Le deuxième pied reste en position près du deuxième piquet, et vous pivotez le *cadre-A*. Déplacez maintenant le premier pied jusqu'à ce que la corde se stabilise devant la marque sur la barre transversale. Plantez maintenant le troisième piquet à la base du premier pied.
- En faisant pivoter le *cadre-A* au lieu de le déplacer, vous augmentez la précision des mesures. Si l'étalonnage du cadre-A n'est pas tout à fait exact, le pivotement élimine cette erreur.
- Continuez à mesurer de la même façon en traversant tout le terrain.

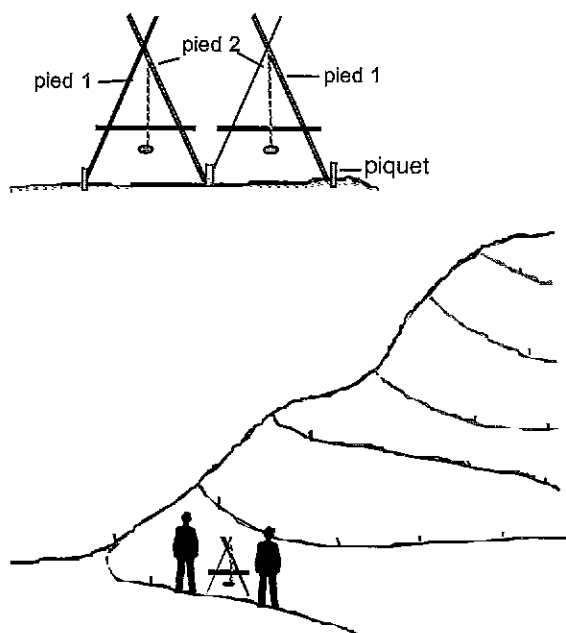


figure 5.9

Les planches en "T"

Les *planches en "T"* peuvent être utilisées pour tracer une ligne horizontale entre deux points, dont on sait qu'ils ont la même altitude. Cette méthode donnera des points intermédiaires de même altitude entre ces deux points.

Il existe deux types de planches en "T" (voir aussi 3.3.g. Planches en "T") :

- les planches en "T" d'une hauteur de 100 cm, et avec une latte transversale de 50 x 10 cm. Cette latte est d'une seule couleur (par ex. blanc).
- la dernière planche en "T" est la seule qui ait une latte transversale de 50 x 20 cm. Cette latte transversale est divisée en deux parties horizontales de 50 x 10 cm avec la peinture rouge et blanche (ou rouge et noire). Pour la description complète voir 3.3.g.

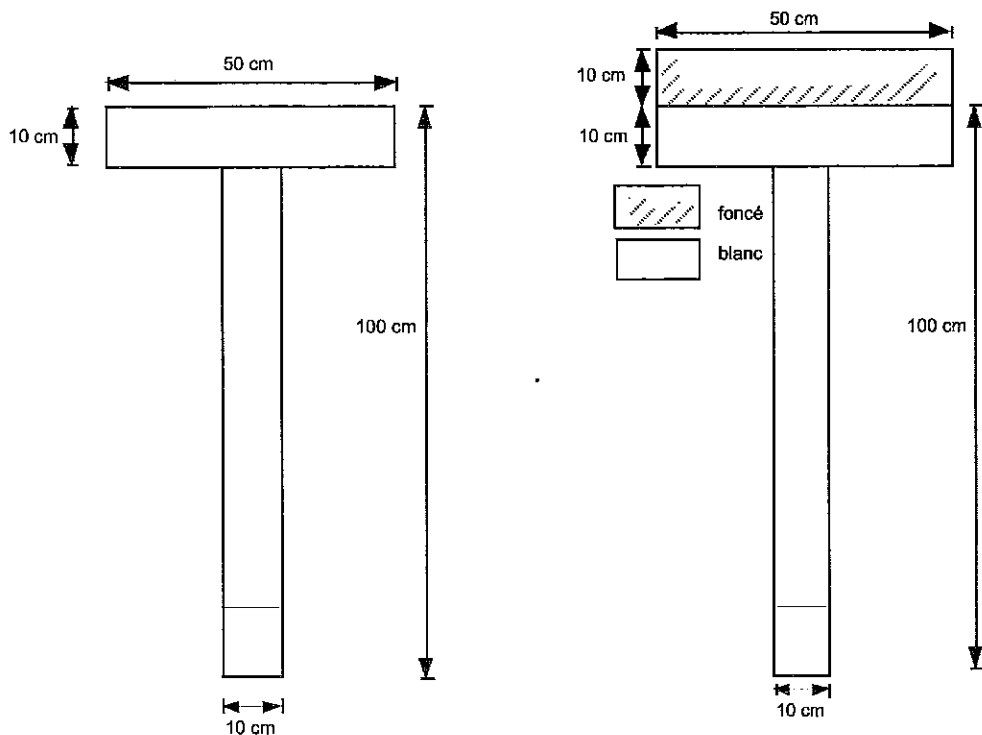


figure 5.10

Supposons qu'une ligne à pente nulle doive être tracée entre le repère A et un repère B.

Procédé :

- D'abord il faut déterminer un point B qui soit de niveau avec le point A.
Le jalonnement de ce point B est relativement facile avec le *niveau à lunette* (ou le *théodolite* en position horizontale). Placez la mire en A et lisez la hauteur sur la mire. La hauteur qu'on lit sur la mire au point B doit être égale. Cherchez un point B, en déplaçant la mire, jusqu'à ce qu'on lise cette même hauteur sur la mire. Ce point est le point B. Placez un piquet en ce point.
- Tracez une ligne droite entre les points A et B et placez les piquets C et D sur cette ligne à des intervalles réguliers (voir *jalonnement d'une ligne droite*).
Placez une planche en "T" blanche en A et la dernière planche en "T" en B (avec latte de deux couleurs). La ligne qui passe juste sur le sommet de la planche en "T" en A et vers le milieu (ligne de séparation entre les deux couleurs) de la dernière planche "T" en B est la ligne de visée.
- Placez une planche en "T" sur le piquet C. L'observateur regarde juste au-dessus du sommet de la planche en "T" A et essaie d'aligner les sommets des planches en "T" en A et en C avec le milieu de la planche en "T" en B. L'observateur ne devrait pas pouvoir remarquer le changement de couleur au milieu de la planche en "T" en B. (Pour travailler avec les planches en "T", il faut toujours garder le soleil dans le dos, sinon il est difficile de les observer.)

Sur le dessin ci-dessous on peut voir que la planche en "T" en C, et donc le piquet C, est trop haute. Les sommets des planches en "T" ne sont pas alignés.

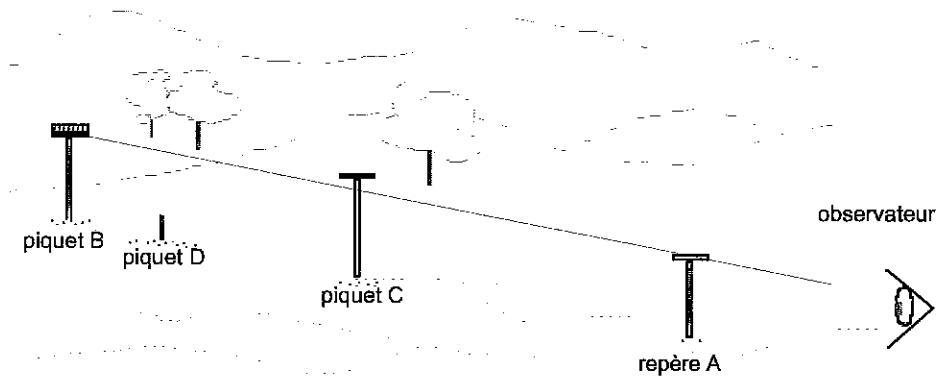


figure 5.11

- Enfoncez le piquet C un peu plus dans le sol. Il peut être nécessaire de creuser autour pour pouvoir l'abaisser suffisamment.

Le sommet du piquet C est à une hauteur correcte quand, en regardant au-dessus du sommet de la planche en "T" A, les sommets des planches en "T" A et C, et le milieu de la planche en "T" B sont alignés.

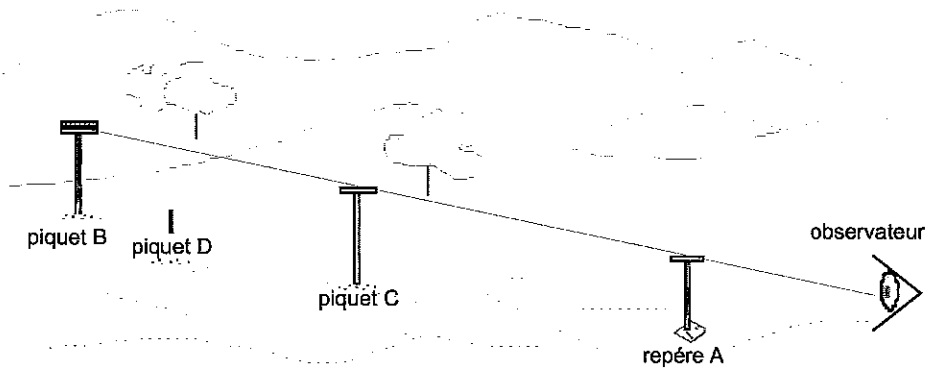


figure 5.12

- Continuez avec le piquet D. Si, en regardant au-dessus du sommet de la planche en "T" en A vers le milieu de la planche en "T" en B, on ne voit pas le sommet du piquet D, c'est que le piquet D est trop bas. Remplacez D par un piquet plus long ou retirez-le et ajoutez un peu de terre en dessous. Répétez cette opération jusqu'à ce que vous ayez trouvé la bonne hauteur pour le piquet D.

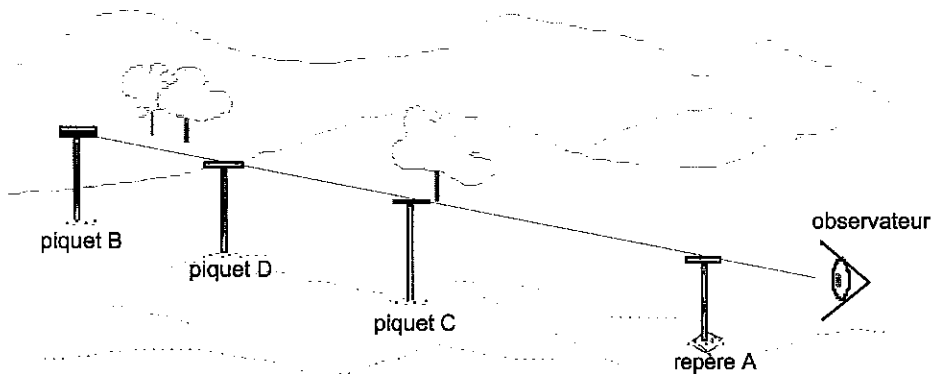


figure 5.13

- Les deux repères A et B et les piquets C et D ont tous la même altitude. La ligne ACDB est horizontale.

Remarques : les planches en "T" doivent toujours être placées verticalement. Ceci peut être contrôlé en tenant un *niveau à bulle* sur la planche transversale.

Le niveau d'eau

Le *niveau d'eau* consiste en deux lattes de 2m, avec une graduation, auxquelles un tuyau souple transparent de 15 à 25 m de long est attaché. Pour la description complète, voir 3.2.d.

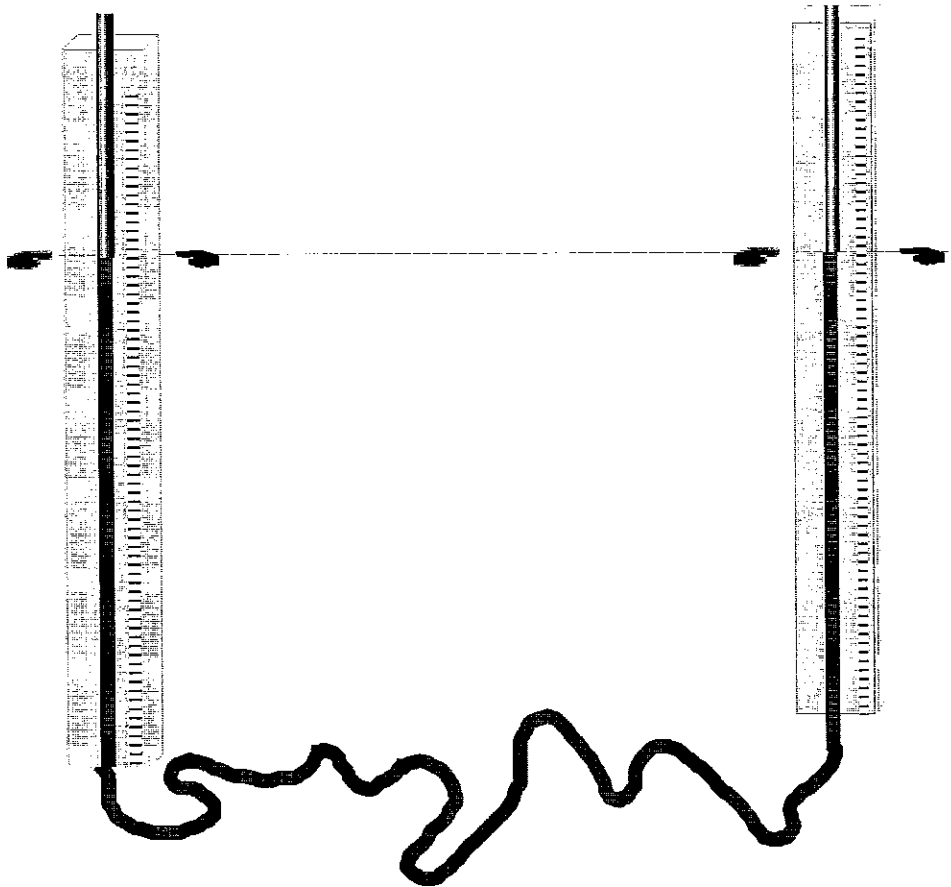


figure 5.14

Procédé :

- Marquez les *courbes de niveau* en commençant par le point de départ de la courbe de niveau la plus élevée. Sur ce point de départ, placez un piquet. Mettez tout d'abord les deux bâtons à côté du piquet, à la même hauteur. La lecture doit être identique des deux côtés. Supposons qu'elle soit 80,4. Les lectures suivantes devront toujours être égales sur les deux bâtons, puisque l'altitude le long d'une courbe de niveau est toujours la même.
- La personne A place son bâton juste à côté du piquet après avoir tassé le sol avec ses pieds. La personne B place son bâton sur un point qu'elle a auparavant tassé du pied. Elle effectuera une lecture, disons 81,5. La personne A lit 79,3.

La personne B sait que sa lecture de 81,5 est la plus élevée, et donc que son bâton se trouve plus bas que celui de A.

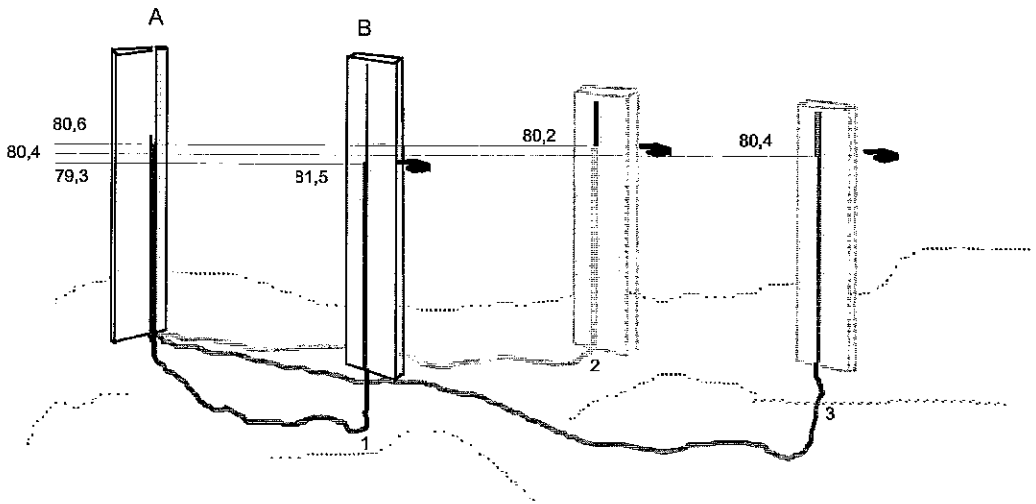


figure 5.15

- Elle déplace son bâton vers un point plus élevé et sa lecture est alors de 80,2, donc très proche de la valeur originale de 80,4. La valeur lue au bâton A sera plus élevée que 80,4, notamment 80,6.
- La personne B doit cette fois-ci déplacer son bâton un tout petit peu vers le bas, jusqu'à ce que les deux lectures soient égales.

5.1.E. LE JALONNEMENT DE LIGNES A PENTE CONSTANTE

Le *jalonnement de lignes à pente constante* peut être nécessaire lors du creusement d'un tracé de conduites dans un terrain peu incliné, ceci pour éviter des points hauts et bas.

Le cadre -A

Pour le jalonnement des pentes, il est possible d'étalonner le cadre-A en le plaçant sur une pente connue. On marque l'endroit où la corde touche la barre transversale, puis on tourne le cadre-A et on met une deuxième marque. Ces marques donnent le pourcentage spécifique de cette pente. Pour le reste, on procède de la même façon que pour le jalonnement des courbes de niveau, en pivotant le cadre-A.

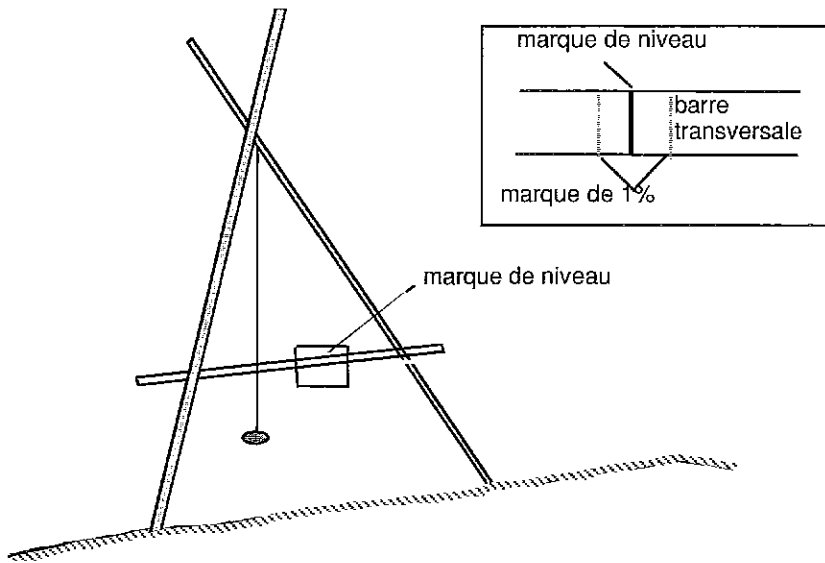


figure 5.16

Les planches en "T"

La méthode des *planches en "T"* pour piqueter une pente constante est la même que celle décrite pour le jalonnement de courbes de niveau. La seule différence est que les repères A et B n'ont pas la même altitude.

Quand la différence d'altitude et la distance horizontale entre A et B sont connues, on peut calculer la pente.

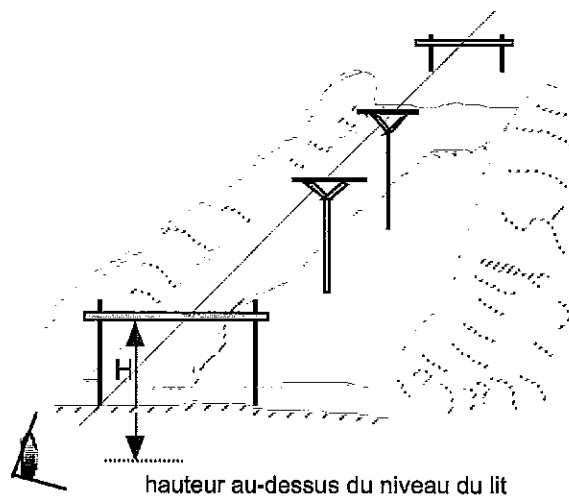


figure 5.17

Le même procédé peut être appliqué pour vérifier la profondeur d'une excavation (par exemple pour les conduites ou pour un réservoir enterré). A chaque extrémité de l'excavation, vous placez une chaise, dont la latte transversale est horizontale, au-dessus de la hauteur H. Par des planches intermédiaires, vous pouvez déterminer si une portion de la tranchée doit être plus profonde ou si, au contraire, elle a été trop creusée.

Si une grande précision est nécessaire, il est toutefois recommandé de contrôler la profondeur de la tranchée avec un niveau à lunette.

Le niveau d'eau

Le procédé d'utilisation du niveau d'eau est le suivant : si vous voulez une pente de 0,2 %, la différence d'altitude entre deux points distants de 10 m devrait être $0,2 \times 10 / 100 = 0,02$ mètres, soit 2 cm.

Matériel nécessaire :

- le niveau d'eau
- deux bâtons, raccordés l'un à l'autre avec une corde de 10 m.

Procédé :

- Mettez tout d'abord les deux bâtons l'un à côté de l'autre, à l'endroit du premier piquet, pour vérifier le bon fonctionnement du niveau d'eau. La lecture doit être identique des deux côtés.
 - La personne A tient le bâton au premier piquet où la pente doit être marquée.
 - La personne B doit maintenant trouver un endroit à 10 m de distance (corde bien tendue) qui soit à peu près 2 cm plus haut que le premier point. La première tentative, montrée sur le dessin ci-dessous, donne une différence d'altitude de 14,4 cm.
 - La personne B change de position jusqu'à ce qu'elle trouve un point 2 cm plus haut, et qui soit dans la bonne direction. Elle pourra alors planter un piquet dans le sol à côté de son bâton.
 - Maintenant, c'est la personne B qui garde sa position, et la personne A se déplace pour chercher le point suivant, 10 m plus loin et 2 cm plus haut.
- On continue de la même façon jusqu'à ce qu'on ait atteint le point le plus haut.

Le tableau suivant donne les lectures notées pendant cet exercice.

	personne A	personne B	différence
essai 1	80,4 cm	66,0 cm	14,4 cm
essai 2	79,3 cm	67,1 cm	12,2 cm
essai 3	77,3 cm	69,1 cm	8,2 cm
essai 4	74,2 cm	72,2 cm	2,0 cm

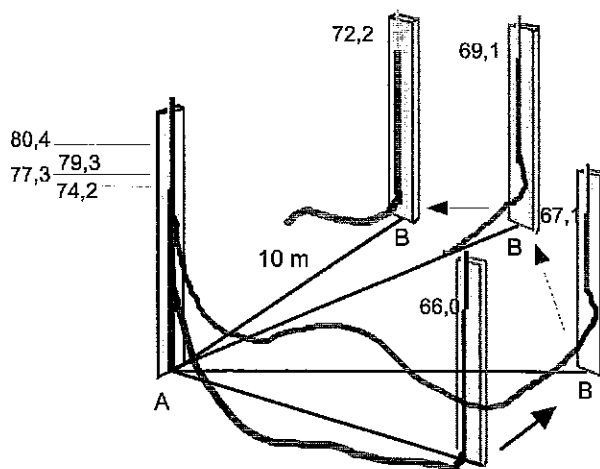


figure 5.18

5.2. LES TECHNIQUES A L'AIDE D'UN NIVEAU A LUNETTE OU D'UN THEODOLITE

5.2.A. JALONNER UNE COURBE DE NIVEAU

Il est relativement facile de jalonner une *courbe de niveau* avec le *niveau à lunette*. Déterminez la hauteur de la ligne de visée. C'est cette hauteur qu'il faudra toujours lire sur la mire. Cette méthode peut être utilisée pour des travaux qui exigent une grande précision (p.e. niveler le coffrage de la dalle de couverture d'un *réservoir*).

Ceci peut être également effectué avec un *théodolite*, dont la lunette se trouve en position horizontale.

5.2.B. JALONNER UN CANAL HORIZONTAL

Lors du contrôle d'une fouille par exemple, placez le niveau dans un point fixe et visez successivement différents points du terrain. Enfoncez des piquets aux endroits mesurés.

Notez les lectures du trait central pour chaque point et comparez ces valeurs pour déterminer les endroits à excaver. Notez les profondeurs à excaver pour chaque piquet.

On peut également mettre une marque sur chaque piquet de sorte qu'il n'y ait pas de dénivellations entre les marques. La profondeur à excaver est mesurée à partir de la marque et est la même pour chaque piquet.

Au lieu d'utiliser des piquets, on peut également utiliser des *chaises de nivellement* (voir fig. 5.19). Les faces inférieures sont placées à la même altitude à l'aide du niveau. La distance verticale entre le fond du canal et la face inférieure doit être la même pour chaque chaise.

La méthode avec les piquets est également suivie lors des travaux d'excavation pour la construction d'un *réservoir*.

Cette méthode peut également être réalisée avec un *théodolite*, dont la lunette se trouve en position horizontale.

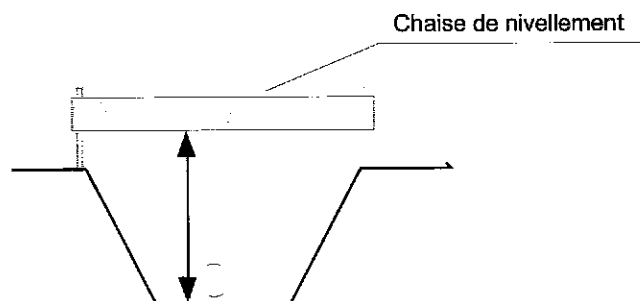


figure 5.19

5.2.C. JALONNER UN CANAL A PENTE CONSTANTE

Il est également possible de piqueter des *canaux à pente constante* avec un *niveau à lunette*, par exemple lors de la vérification d'un tracé de conduite dans un terrain peu incliné.

Procédé :

- Déterminez la longueur L du tracé qu'on veut jalonner en utilisant un mètre à ruban, un décimètre ou un des instruments topographiques. Prenons $L = 200$ m
- Déterminez la dénivellation ΔH entre les deux points extrêmes de notre tracé en utilisant une des méthodes décrites auparavant. Supposons que $\Delta H = 0,2$ m
- Calculez la pente à respecter : $\text{pente} = (\Delta H / L) \times 100 = (0,2 / 200) \times 100 = 0,1 \%$
- Déterminez l'intervalle sur laquelle on veut effectuer les mesures, par exemple 20 m. Plantez un *piquet* ou une *chaise de nivellement* tous les 20 m
- Dans le cas des chaises : la dénivellation entre deux chaises doit être égale à 0,02 m ($20 \text{ m} \times 0,1\% = 0,02 \text{ m}$)
- Dans le cas des piquets : mettez une marque sur chaque piquet, de sorte que la dénivellation entre deux marques soit de 0,02 m
- La profondeur à excaver, mesurée de la chaise ou de la marque du piquet est la même pour chaque chaise / piquet.

Cette méthode peut être simplifiée par l'usage d'un *théodolite* :

Procédé:

- Déterminez la longueur L du tracé qu'on veut jalonner en utilisant un mètre à ruban, un décimètre ou un des instruments topographiques. Prenons $L = 200$ m
- Déterminez la dénivellation ΔH entre les deux points extrêmes de notre tracé en utilisant une des méthodes décrites auparavant. Supposons que $\Delta H = 0,2$ m
- Calculez la pente à respecter : $\text{pente} = (\Delta H / L) \times 100 = (0,2 / 200) \times 100 = 0,1 \%$
- Calculez l'angle en $^\circ$ ou en g qui convient à la pente en $\%$: $\varphi = \arctg(0,1 / 100) = 0,0573^\circ = 0,0637^g$
- Calez le théodolite sur un angle vertical de $0,0573^\circ$ ou $0,0637^g$
- Placez un *piquet* ou une *chaise de nivellement* dans le point extrême et placez une mire sur le piquet ou la chaise (le niveau de la base de la mire est égal à la face inférieure de la chaise ou bien la mire est placée sur la tête du piquet). Lisez la hauteur sur la mire
- Plantez un piquet ou une chaise de nivellement tous les 20 m de telle sorte que la hauteur sur la mire soit la même quand on place la mire sur la tête du piquet (ou quand la base de la mire est à niveau avec la face inférieure de la chaise)
- La profondeur à excaver, mesurée à partir de la face inférieure de la chaise ou de la tête du piquet est la même pour chaque chaise / piquet.

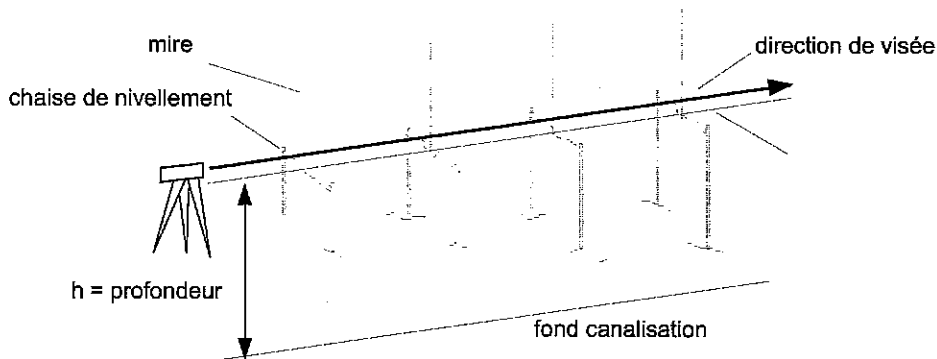


figure 5.20

PARTIE 3

LA TOPOGRAPHIE APPLIQUEE AUX PROJETS D'EAU POTABLE

CHAPITRE 6 ORGANISATION PRATIQUE

Dans ce chapitre :

- **comment organiser un levé topographique : préparation, l'équipe, les notes, les croquis**
- **comment organiser un jalonnement : préparation, l'équipe, les plans.**

Les tâches topographiques consistent en deux grands groupes de tâches :

- les *levés topographiques* (mesure de distances, *altitudes*, dimensions,...)
- les *jalonnements* d'une ligne, d'un angle, ...

6.1. LEVE TOPOGRAPHIQUE

6.1.A. LA PREPARATION

Avant de commencer un levé topographique, il faut se renseigner de la situation sur le terrain. Il faut arriver à une maîtrise du terrain et avoir une vue globale du projet.

! exemple !

Pour une conduite principale d'un projet d'approvisionnement en eau, il faut effectuer un grand nombre de reconnaissances à pied.

On se donnera le temps de réflexion nécessaire avant de procéder au choix du tracé définitif de la conduite.

! exemple !

La personne chargée de l'organisation du levé devra maîtriser tous les aspects techniques du projet. Elle devra être au courant de tous les critères sur lesquels on se base pour effectuer un levé d'une manière ou d'une autre. Il s'agit de critères théoriques mais aussi pratiques.

! exemple !

Pour la conduite principale, elle devra avoir une bonne connaissance des adductions d'eau. En particulier, elle aura des notions de calcul de perte de charge, de lignes piézométriques statique et dynamique, de pression admissible dans les canalisations, etc.

De façon générale, les points suivants devront être respectés lors de l'implantation d'un levé :

- Rechercher le tracé le plus direct entre le point de raccordement et la zone à desservir.
- Suivre un trajet qui facilitera l'évacuation de l'air de la canalisation (chercher un trajet ayant une pente moyenne).
- Éviter la pose de conduites dans les accotements des routes principales si l'on sait que l'on aura des difficultés à respecter les profondeurs minimales requises.
- Si l'on veut traverser des cours d'eau en prenant appui sur des constructions existantes (ponts), il faudra s'assurer de la solidité de ces ouvrages avant de retenir cette possibilité.
- Se tenir à l'écart des marais et des zones cultivées.
- Éviter les fortes pentes et les endroits sujets à l'érosion.

Pour plus de détails sur ce sujet, il faut conseiller les livres spécialisés.

! exemple !

Pendant la préparation, on doit utiliser toutes les données disponibles au bureau : cartes, plans, ...

Si l'on dispose de cartes topographiques de la région, on peut d'abord faire une pré-étude pour de grands projets. Un tracé est marqué sur ces cartes et alors contrôlé sur place avec un altimètre, et éventuellement corrigé. Après avoir choisi le meilleur tracé on procède au levé topographique à l'appareil (le *niveau à lunette* ou le *théodolite*).

6.1.B. L'EQUIPE

L'équipe responsable de l'arpentage doit être composée en fonction du levé topographique. Une équipe limitée sera suffisante pour effectuer une tâche simple. Les tâches compliquées nécessitent une équipe plus importante. Cependant, tous les membres d'une équipe doivent être formés et doivent être renseignés sur l'objectif et sur la façon de procéder du levé.

Une équipe responsable de l'arpentage d'un levé compliqué compte normalement les personnes suivantes :

- le chef d'équipe
- l'opérateur
- le porte-mire
- les aides

- Le chef d'équipe : il dirige l'équipe. Il décide à chaque moment du positionnement de l'appareil et de la mire. Il prend également note des observations.

En effet, il est responsable du résultat final. Car seuls les points qui sont mesurés peuvent figurer sur les plans, qui, à leur tour, formeront la base de l'étude hydraulique et de la conception du projet. Le chef d'équipe doit donc avoir une bonne connaissance de l'arpentage et de l'hydraulique. Le chef d'équipe est également responsable des calculs topographiques et des vérifications de mesure.

- L'opérateur (ou l'observateur) : il fait les lectures. L'opérateur donne l'information de la lecture au secrétaire. L'opérateur a une formation d'arpenteur. Même s'il est contrôlé par le secrétaire, il reste responsable des lectures. Parfois le chef d'équipe et l'opérateur sont la même personne.

- Le porte-mire : il tient la mire. Souvent, il n'est pas formé et ses tâches sont rapidement expliquées avant le démarrage des travaux. Cependant, la précision des résultats dépend fortement du porte-mire (et non seulement de l'opérateur) : la mire doit être tenue verticalement, ne peut pas être déplacée, doit être tenue très ferme pendant la lecture... D'ailleurs, vu la distance entre l'opérateur et le porte-mire, ce premier ou le chef d'équipe ne peuvent pas le contrôler ou le guider facilement. De même, il y aura toujours des points intéressants à mesurer mais qui ne sont pas visibles pour l'observateur / le chef d'équipe. Dans ce cas, le porte-mire doit avoir assez d'expérience pour décider de mesurer également ce point.

- Les aides : il y aura toujours des endroits où la mire n'est pas visible à cause d'arbres ou de buissons. La tâche des aides est de les retirer ou de les couper. Ceci ne peut pas être effectué par le porte-mire. Une fois qu'il a positionné la mire, il ne peut plus se déplacer. Pour faciliter le travail, on essaie de faire le débroussaillage avant d'entamer l'arpentage.

La communication entre les membres de l'équipe peut être difficile à cause de la distance. Afin de résoudre ce problème, on peut utiliser des *walkies-talkies* ou des signaux de mains. Si l'on utilise des signaux de mains on doit d'abord convenir leur signification.

Ils n'existent pas de signaux officiels, mais il est utile d'avoir des signaux pour les messages suivants :

- implanter la mire à un certain endroit
- rendre la mire verticale
- balancer la mire
- étirer la mire
- avancer ou reculer
- gauche ou droite
- lecture finie
- obstruction (la mire n'est pas visible)
- autres...

Pour un levé simple, on forme une équipe de 2 à 3 personnes. Dans ce cas, le chef d'équipe est aussi l'opérateur. On aura aussi un porte-mire et si nécessaire, un aide. S'il n'y a pas d'obstructions un aide dans le groupe est inutile.

/ tuyau /

Il vaut mieux travailler avec un groupe limité mais bien formé, plutôt qu'avec un groupe plus large qui ne maîtrise pas le métier.

La plupart du temps, on travaille à deux ou à trois.

Par contre, certaines méthodes de levé demandent deux porte-mires et deux mires.

/ tuyau /

6.1.C. LES NOTES

Chaque *levé topographique* fera l'objet d'un enregistrement de toutes les lectures effectuées durant ce levé.

Vu que la qualité des *plans* réalisés ultérieurement dépend totalement de la qualité des notes, le secrétaire, celui qui prend les notes sur le terrain, a une fonction très importante et souvent difficile.

Pour les notes, on peut utiliser les fiches proposées dans ce livre mais il y a certainement d'autres possibilités.

De toute façon, on suit les règles suivantes:

- chaque page des notes porte les noms des membres de l'équipe, la date et le titre du projet
- les notes sont toujours prises sur le terrain, et ne sont pas transcrites ou rédigées après
- il est évident qu'elles sont exactes ; pour éviter des erreurs, le chef d'équipe répète les valeurs données par l'opérateur, qui les confirme avant de les noter
- elles sont lisibles pour une tierce personne ; on n'utilise pas de crayon ; aucune correction n'est effectuée ; en cas d'erreur, il faut biffer l'erreur et écrire la valeur de nouveau
- elles sont logiques, pour qu'elles puissent être comprises par une tierce personne sans explication; si nécessaire, on ajoute une remarque
- avant de quitter le terrain, il est recommandé de contrôler si les notes sont complètes : est-ce que tous les points voulus figurent dans les notes, est-ce qu'on dispose de toutes les valeurs de chaque point ? Sinon, on continue le levé avant de rentrer au bureau.

Pour les autres tâches qu'un levé topographique d'un tracé (p.e. mesurer les dimensions d'un *réservoir*), il faut adapter les fiches présentées dans ce livre. Mais les règles des notes restent valables : elles doivent être exactes, lisibles, logiques et complètes.

6.1.D. LES CROQUIS

À côté des notes, on fait des croquis. Ces croquis aideront à dessiner le plan de situation. Les croquis ne seront pas à l'échelle, mais afin de faciliter la lisibilité, on essaie de respecter les proportions.

En ce qui concerne le levé topographique d'un tracé :

Sur les croquis figurent tous les points mesurés à l'appareil topographique, et tous les points qui contribueront à localiser le tracé mesuré.

Il s'agit des points de référence tels que :

- une maison ou un autre bâtiment
- un arbre spécifique
- un côté de la route
- une rive d'une rivière
- des pylônes électriques
- des limites de terrain faciles à reconnaître (clôtures, ...)
- limite d'une forêt
- ...

Le positionnement de ces points par rapport au tracé est mesuré à l'aide d'un *mètre ruban* ou avec l'instrument topographique.

Ils sont indiqués sur les croquis à l'aide de symboles, par exemple :

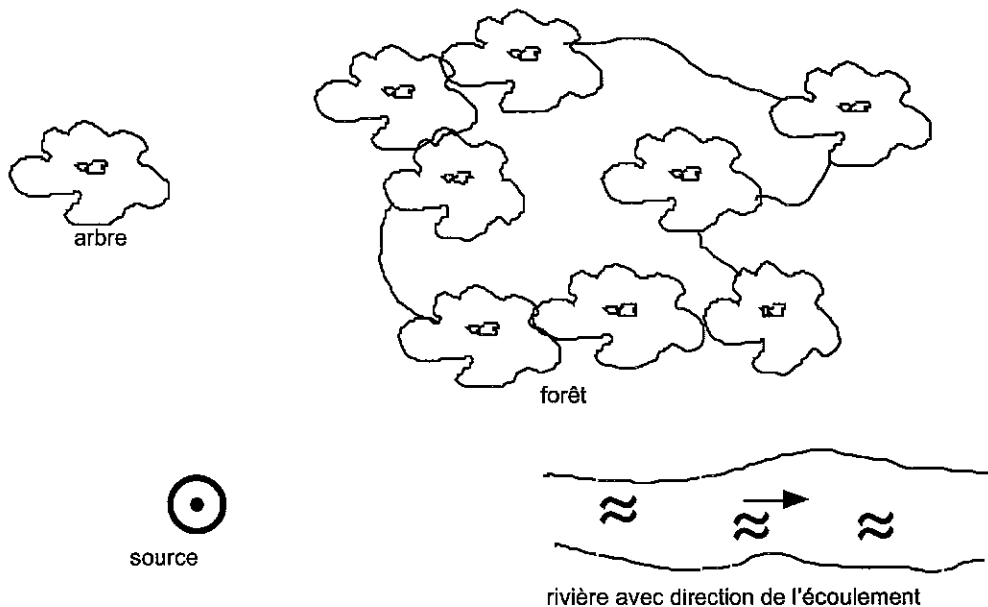


figure 6.1

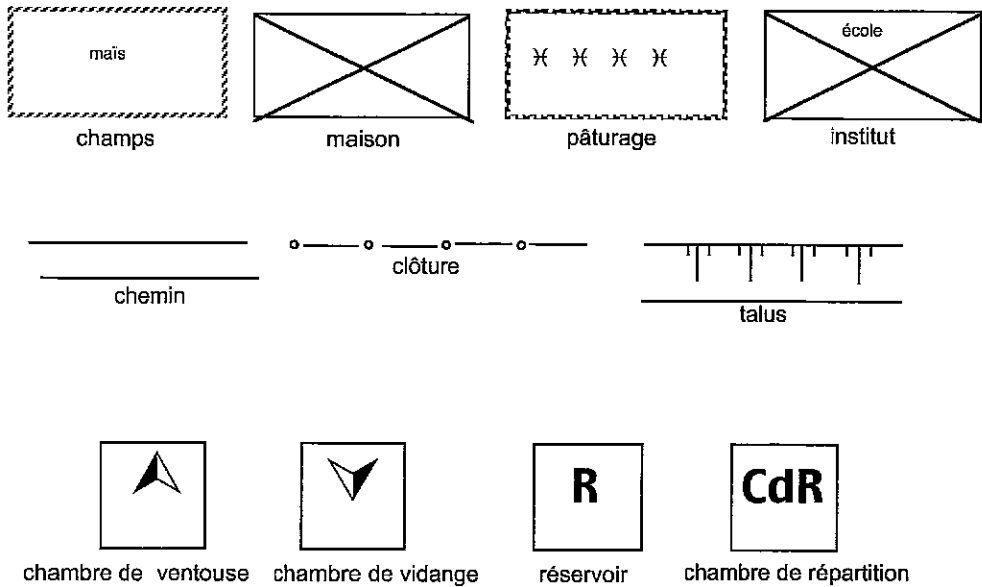


figure 6.1.b

Sur les croquis figurent également les noms de l'endroit (nom du quartier, de la rue, nom d'une rivière...).

On marque aussi les stations avec leur numéro, comme dans les notes, et tous les points avec leur numéro spécifique (comme dans les notes).

Les croquis peuvent être dessinés par le chef d'équipe avant qu'on entame le levé topographique, pendant sa préparation. A ce moment il peut également décider quels points il veut certainement inclure dans le levé. Parfois il sera nécessaire de faire des croquis en détail, pour les éclairer.

Les croquis sont numérotés et portent tous la flèche du Nord, afin qu'ils puissent être orientés.

La même méthodologie est suivie pour la mesure d'un terrain. Sur les croquis figurent tous les points mesurés à l'appareil topographique, et tous les points qui contribueront à la localisation de points mesurés.

Pour un levé d'une construction, on donne toutes les coupes nécessaires avec indication des dimensions, matériaux, accessoires, ... afin qu'une tierce personne puisse comprendre la composition de cette construction.

6.2. LE JALONNEMENT

6.2.A. LA PREPARATION

La préparation d'un *jalonement* est aussi importante que celle d'un *levé topographique*. Le responsable du projet (souvent l'ingénieur) instruit le responsable de l'équipe de l'arpentage du but du jalonement et de la méthode à suivre. Il lui donne tous les plans, sur lesquels les points à jalonner sont indiqués. Si nécessaire, ils vont ensemble sur le terrain pour expliciter le travail et pour étudier les difficultés. Ceci est souvent le cas si le chef d'équipe lui-même n'a pas effectué le levé topographique.

Cette phase de préparation est de grande importance, car une faute dans le jalonement peut avoir de grandes conséquences pour le fonctionnement de l'infrastructure après la réalisation.

6.2.B. L'EQUIPE

De la même façon que pour le levé topographique, l'équipe d'arpentage doit être composée en fonction de la tâche. Dans ce livre, un nombre de techniques simples de jalonement sont présentées mais elles nécessitent plusieurs personnes. Un jalonement avec un niveau à lunette ou avec un théodolite peut souvent être effectué à deux personnes, à condition qu'il n'y ait pas d'obstructions. Dans le cas où il y aurait des obstructions, on aurait besoin d'un ou de plusieurs aides. Il est exceptionnel que le chef d'équipe et l'opérateur ne soient pas la même personne. Les rôles des membres de l'équipe sont les mêmes que pour un levé topographique.

6.2.C. LES PLANS

Sur les plans reçus de l'ingénieur, le chef d'équipe indique les points, les lignes,... qu'il a jalonés et à quelle altitude, distance... Ces plans sont remis à l'ingénieur pour information et contrôle.

CHAPITRE 7 PLANS

Dans ce chapitre :

- les différentes sortes de plans et les éléments communs
- les plans de la situation existante: plan de situation et profil en long
- les plans de projet: plan de situation et profil en long
- les plans de recollement.

7.1. GENERALITES

La topographie, telle qu'elle a été définie dans le chapitre 2, englobe aussi l'établissement de cartes et de *plans* du terrain. La réalisation de ces plans a trois buts :

- 1) les plans doivent fournir toutes les données nécessaires afin qu'un ingénieur puisse concevoir un projet
- 2) les plans doivent fournir toutes les données nécessaires afin qu'un entrepreneur puisse construire ce projet
- 3) les plans doivent fournir toutes les données nécessaires afin que le gestionnaire puisse gérer l'infrastructure après la réalisation.

L'ensemble de plans peut être divisé en trois groupes :

- le premier groupe est une présentation de la situation existante et est destiné à l'ingénieur
- le deuxième groupe est une présentation du projet conçu par l'ingénieur et est destiné à l'entrepreneur
- le dernier groupe présente le projet réalisé ou la situation après la réalisation (de recollement) et est destiné au gestionnaire.

Les *plans "situation existante"* doivent comprendre toutes les données requises pour concevoir un projet. En théorie, un ingénieur devrait être capable de concevoir un projet sans aller sur terrain. En réalité, cette méthode n'est pas conseillée, car un ingénieur doit se familiariser avec le terrain, afin d'être capable d'interpréter le plan de situation.

Les plans de situation sont fabriqués en fonction du projet. Par exemple, dans un projet d'une extension d'un réseau de conduites, il faut connaître toutes les conduites déjà sur place. Cette information n'est pas demandée pour un projet dans lequel on délimite une parcelle.

Les *"plans de projet"* doivent comprendre toute l'information nécessaire pour réaliser le projet, sans que l'ingénieur se trouve sur place. Donc, on ne se limite pas uniquement à la situation après la réalisation, mais les plans doivent également donner toutes les mesures nécessaires afin d'arriver à cette situation. Si on doit démolir un mur, parce que le tracé des tuyaux y passe, les plans de projet doivent présenter ce mur avec une indication qu'il doit être démoli.

Les *"plans de recollement"* présentent la situation après la réalisation. Cette situation n'est pas égale à la conception, car on est souvent obligé d'adapter le projet pendant l'exécution aux conditions préalablement inconnues. À cause d'un sol rocheux, on peut décider de suivre un autre trajet. Les plans de recollement présentent donc le projet après réalisation. Ces plans sont utilisés comme outil pour la gestion de

l'infrastructure (opération, entretien et réparation). Ils forment aussi la base pour concevoir des changements à un système existant.

Il est évident que, dans le cas d'un changement ou d'une extension, on doit vérifier la qualité de ces plans avant de les utiliser pour concevoir ce nouveau projet.

Les *plans de situation* sont dessinés exclusivement sur base des données collectées sur le terrain (les résultats des mesures). Si on ajoute des choses qui n'ont pas été mesurées, il faut bien les indiquer sur le plan. Normalement, le plan de situation est dessiné par un dessinateur qui reçoit ses données de l'arpenteur. Très souvent, les plans sont faits par l'arpenteur même ou par l'ingénieur. Si les plans ne sont pas dessinés par l'arpenteur, le dessinateur (ou l'ingénieur) doit se renseigner auprès de l'arpenteur en cas de doute. Après la réalisation des plans, l'ingénieur effectue une visite de terrain pour vérifier la qualité et la complétude de ses plans. Éventuellement, il demande à l'arpenteur de mesurer des choses qui manquent encore sur le plan.

Les *plans de projet* sont réalisés sur base des *plans "situation existante"* et sur base d'une visite de terrain par l'ingénieur. Ce dernier est responsable de la création de ces plans. Ils sont dessinés par un dessinateur ou par lui-même. L'ensemble des plans de projet comprend des plans qui sont dérivés directement des plans "situation existante" (comme les *profils en long* et les *plans de situation*). D'autres, comme les plans schématiques et les plans d'ouvrages, sont réalisés à l'aide des *plans "situation existante"*, mais sont en fait de nouveaux plans (qui n'ont pas beaucoup à voir avec la topographie). Ils ne sont pas traités dans ce livre.

Les *plans de recollement* sont réalisés par l'*exécuteur du projet*, qui doit adapter les *plans de projet* (*plans de situation, profils en long, schémas, ouvrages,...*) selon la réalisation du projet. Dans ce but, il sera obligé de faire le levé topographique de ces réalisations.

Chaque plan porte dans son cartouche au moins :

- le nom du projet
- le nom du maître d'ouvrage
- le nom du maître d'œuvre
- le nom du responsable du levé topographique
- le nom du dessinateur
- le nom du vérificateur
- la date de l'élaboration du plan
- le titre ou l'objet du plan
- la phase du projet
- la révision et la date de révision
- l'échelle.

Ci-dessous, nous donnons une description détaillée de chaque type de plans.

7.2. LA SITUATION EXISTANTE

Les *plans de la situation existante* donnent la situation comme mesurée par l'équipe d'arpentage, et sont basés sur ses données.

Deux plans sont importants dans les ouvrages d'approvisionnement en eau :

- le *plan de situation*
- le *profil en long*.

7.2.A. LE PLAN DE SITUATION

Dans un petit projet d'eau potable, l'implantation exacte des différents tuyaux est d'une faible incidence sur les calculs hydrauliques du réseau. Le dimensionnement d'une ligne d'adduction reste par exemple le même si elle passe du côté droit ou du côté gauche de la route. Cependant, pour la gestion, une bonne localisation de la ligne et des constructions peut être d'une plus grande importance. Lors des travaux d'entretien ou de réparation d'une ligne, on peut gagner beaucoup de temps si on peut la situer plus au moins exactement. Le problème devient encore plus grave s'il n'y a pas de points de référence. Dans le cas d'une route, il y aura toujours une personne qui se souviendra d'où la ligne passe. Dans le cas du passage d'un champ, il n'y aura probablement personne qui pourra situer le tracé avec une précision de 5 m.

D'un côté, le but du *plan de situation* est de pouvoir implanter correctement la conduite par rapport aux points de référence qui peuvent être :

- une maison ou un autre bâtiment
- un arbre spécifique
- un côté de la route
- une rive d'une rivière
- des pylônes électriques
- des limites de terrain, bien reconnaissables (clôtures, ...)
- les limites d'une forêt
-

Ce sont tous des points bien définis et bien reconnaissables. Pendant le levé topographique, les coordonnées de ces points sont mesurées à l'aide d'un *mètre ruban*, et ceci par rapport à au moins deux points du tracé mesurés avec l'instrument topographique.

D'un autre côté, ce plan doit également permettre d'implanter la conduite correctement par rapport aux difficultés du tracé (piste, talus, rocher, zone d'éboulis, cours d'eau).

Ces zones sont peut-être moins bien définies, mais au moins on doit mesurer et dessiner leurs limites.

Un bon *plan de situation* est extrêmement important quand les travaux d'excavation sont confiés à une tout autre équipe que celle qui était présente lors de l'arpentage. Les seuls points de référence de l'équipe d'excavation sont alors les bornes qui sont éventuellement laissées sur le tracé par l'équipe d'arpentage et le plan de situation qui met en évidence la position du tracé par rapport aux points de repère de l'environnement.

L'échelle d'un *plan de situation* est de 1/10.000, 1/5.000 ou 1/2.500. On met toujours l'échelle du plan dans le titre. Les plans à l'échelle 1/10.000 et 1/5.000 servent de plan d'ensemble. Les plans à l'échelle 1/2.500 servent de plan de détail.

Ces plans sont numérotés et indiqués sur le plan d'ensemble. Souvent, on utilise des plans existants ou même des cartes topographiques, auxquels on ajoute l'information nécessaire.

Parfois il n'y a qu'un seul plan.

Sur chaque plan, la flèche indiquant le nord est mise, si possible selon l'axe Y du plan. Le tracé mesuré est dessiné sur le plan avec indication des stations d'arpentage et de certains points intermédiaires. À côté de chaque point, l'altitude du point est marquée. Si l'on a mesuré les angles horizontaux, on peut calculer les coordonnées de chaque point et les utiliser pour mettre le tracé sur plan. Vu que le plan de situation est une projection sur le plan horizontal, on emploie toujours les distances horizontales.

Si l'on n'a pas mesuré les angles horizontaux, on a au moins mesuré la distance entre les points importants du tracé et les points de repère qui figurent sur le plan (à l'aide d'un mètre ruban ou autre). Ces nouveaux points sont alors positionnés sur le plan par rapport à ces points de référence.

Tous les points de reconnaissance sont dessinés sur le plan. Dans ce but, on peut utiliser les symboles décrits en 6.1.d. On ajoute également des indications telles que :

- le nom de l'église, de l'école, de l'institut... ;
- le nom du quartier ;
- le nom de la rue ;
- le nom de la rivière ;
- autres indications qui aident à situer le tracé.

Une légende explique les symboles.

Le plan de situation doit être effectué de sorte qu'une personne qui n'a pas fait partie de l'équipe topographique, puisse à tout moment se situer et puisse également localiser le tracé mesuré (même après quelques mois ou années quand certains points de repère, tels que les piquets utilisés par l'équipe d'arpentage, ont disparus). Cependant, on doit toujours se rendre compte que la précision d'un tel plan est limitée à plusieurs mètres quant aux coordonnées X et Y.

7.2.B. LE PROFIL EN LONG

Le profil en long donne une coupe verticale du terrain naturel suivant le cheminement effectué. Les profils en long d'un réseau d'eau suivent toujours la direction de l'écoulement de l'eau. Pour les lignes d'adductions, on part des sources. Pour les antennes de distribution, on part du point de raccordement sur l'adduction principale.

Le profil est élaboré à partir des données fournies sur les fiches topographiques (et non sur les données du plan de situation).

On utilise toujours deux échelles différentes :

- l'échelle horizontale (souvent 1/1000 ou 1 cm : 10 m)
- l'échelle verticale (souvent 1/100 ou 1 cm : 1 m)

Les hauteurs verticales sont dessinées par rapport à une altitude de référence. Cette altitude est mentionnée sur le plan. L'altitude de référence se trouve environ 5 m plus bas que le point le plus bas du tracé (cette altitude de référence est arrondie à 1 m). Si la dénivellation entre le point de départ et le point final est trop élevée, on peut diviser le plan en plusieurs parties.

Chaque partie aura sa propre altitude de référence, afin d'éviter un plan qui soit trop haut. Souvent, on prend une hauteur de format de 59,4 cm (format A2).

Les altitudes sont données avec une précision de ± 1 cm, p. e. 132,13 m

Les distances sont données avec une précision de ± 10 cm, p. e. 25,6 m. Les distances mentionnées sur le plan sont les longueurs du terrain et non pas les longueurs horizontales.

Si l'on ne disposait pas de repère officiel pour déterminer l'altitude absolue, et que l'on a attribué une altitude arbitraire à un point, on la mentionne sur le plan, p.e. :

altitude de référence : seuil de l'église Saint Martin, côté droit : 1400,00 m.

Si l'on a utilisé un repère officiel, on le mentionne également sur le plan.

Figureront sur le profil en long :

- cotes du terrain naturel
- distances partielles entre deux profils
- distance cumulée depuis le départ de l'antenne
- passages de rivières, de routes
- sources
- nom de l'endroit : quartier, village, chemin, ...
- points d'intersection éventuelle avec un autre profil en long
- conduites existantes éventuelles
- classification du terrain : sol marécageux
terre de culture
terrain argileux
terrain sableux
terrain rocailleux
terrain rocheux
rocher dur

Si l'on utilise des symboles, ils sont expliqués dans une légende.

Dans le cas où le réseau de distribution serait très complexe, on ne donne les profils en long que pour les lignes principales. Pour les autres lignes, on met les données complémentaires sur le plan de situation (notamment les distances, cotes, ...).

7.3. LES PLANS DE PROJET

7.3.A. LE PROFIL EN LONG

Le dimensionnement du réseau se fait généralement sur base du profil en long de la situation existante. Après les calculs hydrauliques, on ajoute les données suivantes au profil en long :

- matériel, diamètre et pression maximale de la conduite
- pression dynamique
- pression statique
- débit
- vitesse
- profondeur et pente de la canalisation
- constructions : *réservoirs, bornes fontaines*, vannes, vidanges, ventouses, coudes importants (90°) et raccordements (Tés). Toutes ces constructions sont repérées par des numéros, *croissants dans le sens de l'écoulement*.
- mesures de protection de la conduite : béton, gaine en métal, ...

Dans ce but, on utilise des symboles qui sont expliqués dans une légende.

Dans le cas d'un branchement ou d'un raccordement, le diamètre de la branche ou de la ligne secondaire ainsi que son débit sont mentionnés avec un petit croquis, dessiné au-dessus du profil, et qui donne les détails du nœud.

S'il y a plusieurs phases dans un projet, les débits, les vitesses, la pression dynamique et statique sont donnés pour chaque phase (p. e. on capte dans une première phase un débit de 4 l/s et dans une deuxième phase un débit de 6 l/s).

S'il y a des conduites parallèles dans la même tranchée, on les dessine sur le même profil en long.

Les données les plus importantes des conduites secondaires du réseau de distribution sont mises sur le plan de situation : matériel, diamètre, pression maximale et débit, profondeurs des extrémités de la branche. Pour ces lignes, on n'élabore pas de profil en long.

7.3.B. LE PLAN DE SITUATION

Sur le plan de situation de la situation existante, on met :

- le tracé de chaque ligne
- la longueur (en m), le matériel, le diamètre et la pression maximale de la conduite
- les débits de chaque branche
- les constructions : *réservoirs* (avec capacité en m³), *bornes fontaines*, vannes, vidanges, ventouses... les constructions portent les mêmes numéros que sur le profil en long
- le niveau du sol naturel et la profondeur de chaque extrémité de chaque ligne
- la distance entre la ligne ou les constructions et les points de référence (maisons, frontières,...)
- souvent on fait un agrandissement local de la situation sur le même plan (échelle 1/500 ou 1/250).

Les symboles utilisés sont expliqués dans une légende.

Les *plans de situation* et les *profils en long* doivent être d'une qualité telle qu'ils puissent permettre à chaque personne intéressée de localiser le tracé et toutes les constructions sans qu'il ait besoin d'explications supplémentaires du topographe ou de l'ingénieur qui a conçu le projet.

7.4. LES PLANS DE RECOLLEMENT

Pendant et après la réalisation du projet, on adapte les plans de projet selon les travaux exécutés. Vu que la plupart des ouvrages ne sont plus visibles après leur réalisation, il faut les mesurer pendant l'exécution.

Les plans sont complétés avec des croquis qui donnent la position des branches en détail, en rapport avec des bâtiments ou autres points bien reconnaissables.

On corrige également les plans d'ouvrages selon l'exécution.

L'ensemble de ces plans adaptés forme les *plans de recollement*, et est livré au gestionnaire du réseau d'eau.

CHAPITRE 8 APPLICATIONS

Dans ce chapitre :

des méthodes pour effectuer

- un levé topographique d'une zone de sources, d'une ligne d'alimentation et d'un réseau de distribution
- une mesure d'une construction
- une mesure d'un terrain
- une mesure d'une rivière
- un jalonnement d'un ouvrage
- un jalonnement d'une ligne d'alimentation.

8.0. INTRODUCTION

Le nombre d'applications topographiques est presque illimité.

Il est donc impossible de décrire toutes les tâches qui se présentent lors d'une étude ou de la réalisation d'un *projet en eau potable*. Néanmoins, un certain nombre de tâches doivent être effectuées dans le cadre de presque chaque projet de ce type.

Ci-dessous, on trouvera un aperçu de ces tâches avec une solution proposée pour chaque problème. D'autres solutions sont certainement possibles, qui seront peut-être plus adaptées dans certaines conditions.

L'objectif de ce chapitre n'est pas de donner 'la' solution unique pour chaque problème mais plutôt de donner une façon de résoudre des problèmes topographiques, à laquelle on puisse se référer quand on est confronté avec une nouvelle tâche sur le terrain. C'est pourquoi il ne serait pas sage de copier aveuglément ces méthodes sans s'assurer au préalable des conditions locales dans lesquelles on doit travailler : quel équipement, quelle équipe, quelles exigences de précision, etc.... ?

8.1.A. LE LEVE TOPOGRAPHIQUE D'UNE ZONE DE SOURCES

Dans beaucoup de projets, le système d'eau n'est pas alimenté par une source mais par plusieurs. Les débits de chaque source sont collectés dans une chambre de départ commune, d'où part la ligne d'alimentation. Entre les sources et cette chambre, un réseau de conduites est construit afin d'amener leur eau à la chambre. L'implantation de cette chambre est très importante.

La capacité du réseau entre chaque source et cette chambre est influencée par :

- la dénivellation entre la source et la chambre de départ et,
- les dimensions de ce réseau entre cette source et la chambre de départ.

Si on augmente cette dénivellation (en implantant la chambre en un point inférieur), on peut diminuer les dimensions des tuyaux. Cependant, la dénivellation entre la chambre de départ et le *réseau de distribution* diminuera également, et on sera obligé d'utiliser des tuyaux d'une dimension supérieure pour amener le même débit dans la ligne *d'alimentation*, et pour avoir une pression suffisante dans le réseau de distribution.

Si l'on implante la chambre de départ en un point supérieur, la dénivellation entre la chambre de départ et les sources diminuera, et la dénivellation entre la chambre de départ et le réseau de distribution augmentera. Donc, on aura besoin de tuyaux plus grands dans le réseau entre les sources et des tuyaux plus petits dans la ligne d'alimentation.

Vu que les coûts d'investissement sont directement liés aux diamètres des tuyaux, il y a un point optimal pour l'implantation de la chambre de départ.

Cependant, ce point n'est connu qu'après la conception du système, après le levé topographique. Afin de pouvoir le déterminer pendant la conception, il faut avoir des données topographiques suffisantes sur la zone (c'est-à-dire les différentes cotes dans cette zone). L'implantation de cette chambre se fera alors sur une meilleure base.

On suit la méthode suivante :

- On commence par une reconnaissance de la zone des sources. On identifie les sources qui peuvent être captées (on juge le débit, les sources de contamination, les contraintes de protection, etc. ...). Puis on identifie une zone en aval qui donne la possibilité de construire la chambre de départ. On préfère un terrain en pente. Le point exact d'implantation n'est pas encore connu et dépend de l'hydraulique de tout le système. Un terrain en pente donne la possibilité de jouer sur la dénivellation sources – chambre et chambre – distribution, sans que les longueurs du réseau entre les sources et de la ligne d'alimentation changent beaucoup.
- On effectue une visite de terrain entre les sources et la chambre de départ, et on prend des notes et on fait des croquis qui peuvent aider à déterminer le tracé. On se fait accompagner par des gens locaux qui connaissent la zone. Souvent, cette zone est très montagneuse et la visibilité est limitée ; par conséquent, il est très difficile de choisir un trajet optimal, parce qu'on n'a jamais une vue sur la totalité de celui-ci. Il est donc conseillé d'effectuer une reconnaissance de toute la zone et de se faire assister par des gens qui lui sont familiers.
- Par après, on essaie de déterminer un premier tracé en fonction des exigences techniques et hydrauliques et des constats faits pendant la reconnaissance. Dans le cas où la zone serait très montagneuse, on peut utiliser un *altimètre* pour un premier contrôle des altitudes. Le trajet retenu est marqué (certainement dans le cas où le topographe n'aurait pas participé à la visite de terrain).

Normalement, chaque source aura sa propre chambre de collecte, quelques mètres en aval de la source. L'endroit où on construira cette chambre est indiqué avec un piquet.

D'autres points sont également marqués ou notés de façon à ce qu'ils puissent être retrouvés :

- les nœuds du réseau (où deux ou plusieurs tuyaux se rencontrent)
- des points où les conduites doivent certainement passer (pour des raisons techniques, etc.).

Dans la zone où on propose de construire la chambre de départ, on indique un point bien reconnaissable (de préférence avec de la peinture).

Il faut noter que, de toute façon, il vaut mieux parcourir le trajet avec le responsable de l'équipe topographique pour éviter toute confusion, avant d'entamer le levé topographique.

On commence le levé topographique par la formation de l'équipe topographique. On détermine le nombre de membres (le chef d'équipe, l'opérateur (souvent le chef d'équipe), le porte-mire et les aides). Il vaut mieux limiter le nombre de membres et les instruire que de travailler avec une équipe nombreuse mais non-formée. Néanmoins, la pratique montre que le levé topographique d'une zone de sources nécessite en général un grand nombre d'aides (pour optimiser la visibilité, on est obligé de débroussailler beaucoup). On détermine également l'équipement. Souvent, la zone des sources est assez montagneuse, de sorte qu'on est obligé d'employer le *théodolite*, qui est mieux adapté que le *niveau à lunette*. Avant de commencer le levé topographique, on vérifie et règle l'appareil. (voir Chap. 3).

La méthode la plus conseillée est le **nivellement cheminé - méthode améliorée** (voir 4.3.f.). Dans le cas d'un théodolite, on effectue chaque visée en lunette droite et en lunette renversée (double retournement).

Le tracé est divisé en intervalles d'une demi-journée de travail ou limités par deux points bien marqués (à condition que la durée de mesure de cet intervalle soit inférieure à une demi-journée). Vu que chaque distance doit être mesurée deux fois (méthode améliorée), on aura fini chaque partie à la fin de la journée.

La longueur des visées dépend de la visibilité. Même si la visibilité est optimale, il ne faut pas dépasser une distance de 100 m.

Les points mesurés doivent être indiqués très clairement sur le terrain (avec de la peinture ou des piquets) ou, si ce n'est pas possible, ils seront bien décrits dans les notes, afin qu'ils puissent être localisés après le levé.

Il est très important que le trajet se trouve en dessous de la cote des sources.

Sur le terrain, loin de la source, il est souvent très difficile de juger si on remplit cette condition, raison pour laquelle on mesure, à chaque station un point à 20 m à droite et un point à 20 m à gauche. Ainsi, on n'effectue pas le levé topographique d'une ligne, mais d'une zone d'une largeur de 40m. Plus tard, cette méthode donnera la possibilité d'étudier des alternatives quand on déterminera le trajet définitif, sans qu'on soit obligé de remesurer tout le trajet. Ces points additionnels, qui ne se trouvent pas sur le tracé, sont mesurés par le **nivellement par rayonnement** (voir 4.3.a.).

On vérifie sur le terrain si tous les points requis sont mesurés.

On perd moins de temps en mesurant quelques points de trop qu'en retournant pour mesurer des points additionnels.

On essaie de contrôler le levé le plus vite possible, éventuellement sur le terrain.

S'il y a de grandes erreurs, on les corrige le plus vite possible.

Pour cela, on part d'un point dont la cote est connue.

Si un levé topographique consiste en plusieurs journées de travail, on procède le lendemain de la façon suivante :

- on pose l'appareil au point mesuré en dernier et on vise le point mesuré en avant-dernier (voir fig. 8.2. méthode 1)

- ou on pose l'appareil en un nouveau point du tracé et on vise d'abord le point mesuré en dernier et puis on vise le point mesuré en avant-dernier (voir fig. 8.2. méthode 2).

Ainsi, on obtient toutes les informations nécessaires pour lier les levés des différentes journées de travail, en ce qui concerne les *angles horizontaux* et les dénivellations.

Si on ne s'intéresse pas aux angles horizontaux on peut procéder de cette façon : on pose l'appareil en un nouveau point du tracé et on vise le point mesuré en dernier (voir fig. 8.2. méthode 3).

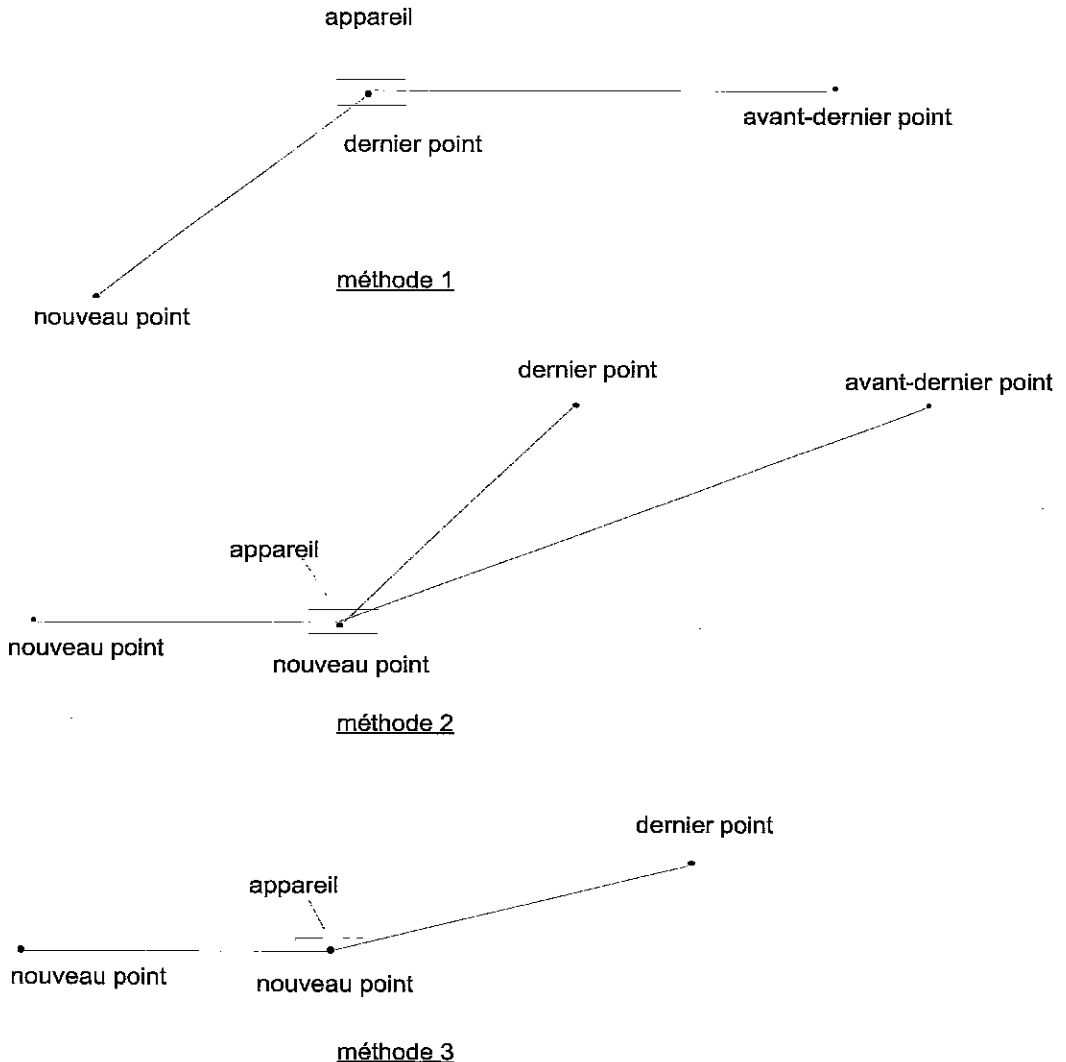


figure 8.2.

On ferme le levé sur un point dans la zone de la chambre de départ.

Ce point doit être fixe et bien indiqué (par ex. avec de la peinture).

Rappelons ici que, lors du levé, l'endroit exact de l'implantation de la chambre de départ n'est pas encore connu. On doit donc mesurer plusieurs points dans la zone où

on propose de construire cette chambre, afin de disposer de toutes les informations nécessaires à l'étude des alternatives d'implantation.

Le théodolite (éventuellement le niveau à lunette) est positionné au point marqué et le nord est déterminé à l'aide d'une boussole. On y met un jalon, et on le vise.

Pour un *théodolite directionnel*, l'angle horizontal est noté.

Pour un *théodolite cumulateur*, l'index du plateau horizontal est mis sur zéro.

Par le nivellement par rayonnement, d'autres points sont mesurés dans cette zone.

On n'oublie pas de noter les angles horizontaux, car cette information sera indispensable pour retrouver ces points. L'étendue du terrain à mesurer dépend des dénivellations : si le terrain est fort incliné, on peut se limiter à une petite zone.

Si le terrain est assez plat, on sera obligé de mesurer un terrain plus étendu (cependant, un tel terrain est souvent à déconseiller).

Après le levé topographique, on entame la fabrication des *plans*. Généralement, on ne fait pas de plan de situation mais on dessine uniquement une présentation schématique, avec des croquis des endroits spéciaux en annexe. Cependant, un profil en long est toujours requis. Vu que dans chaque station, on a mesuré un point à gauche et un point à droite, en indiquant ces points sur les plans, on peut construire trois profils en long :

- le trajet suivi
- le trajet à gauche
- le trajet à droite.

Cette méthode n'est utile que s'il y a de grandes dénivellations entre les trois profils. Cependant, elle est très recommandée pour l'endroit où on propose de construire la chambre de départ.

Le trajet définitif et la localisation de la chambre de départ sont choisis sur base du dimensionnement du réseau entre les sources mais également sur base du dimensionnement de la ligne d'alimentation.

8.1.B. LE LEVE TOPOGRAPHIQUE D'UNE LIGNE D'ALIMENTATION

On demande de déterminer et mesurer le tracé de la *ligne d'alimentation*. Supposons que l'extrémité de cette ligne (souvent le point de jonction avec le *réseau de distribution*) soit connue. Le point de départ est l'endroit où on construira la chambre de départ. Si cet endroit n'est pas encore identifié, on prend le point marqué dans la zone de la *chambre de départ* (voir 8.1.a) comme point de départ.

On commence par une reconnaissance du terrain. L'objectif de cette visite n'est pas de fixer le tracé toute suite mais de se familiariser avec le terrain.

C'est la raison pour laquelle on se fait accompagner par des gens locaux, qui peuvent fournir des informations utiles. Souvent, certains facteurs qui détermineront le tracé ne sont pas visibles : crues des rivières, type de sol, ...

Pendant la visite de terrain, on prend des notes (éventuellement sur des cartes), on fait de croquis. Éventuellement, on peut également prendre des photos.

Toutes ces notes aideront à déterminer le trajet final.

Pendant la reconnaissance, on prête attention aux :

- aspects hydrauliques : par ex. les points élevés ou les points bas (là où la pression dans la conduite peut dépasser la pression nominale des tuyaux), etc.
- aspects de construction : par ex. passages difficiles (ravines, forêts, sol rocheux, rivières,...), endroits adaptés à la construction des ouvrages, etc.

Pendant la visite de terrain, on peut se servir d'un altimètre pour contrôler des cotes.

Sur base de cette première visite de terrain, on détermine le premier tracé, qui sera mesuré. Dans le cas où le topographe ne serait pas la même personne que le concepteur du système, il est conseillé que le tracé soit parcouru par le concepteur et le topographe pour informer celui-ci des points importants : points fixes du tracé ou points additionnels qui doivent être mesurés pour localiser exactement le tracé, etc.

Le levé même commence par la formation de l'équipe topographique.

On détermine le nombre de membres (le chef d'équipe, l'opérateur (souvent le chef d'équipe), le porte-mire et les aides). Il vaut mieux limiter le nombre de membres et les instruire que travailler avec une équipe nombreuse mais non-formée. On détermine également l'équipement. Dans le cas d'un tracé assez plat, on peut utiliser un *niveau à lunette*. Si les dénivellations sont plus élevées, on est obligé d'employer un *théodolite*. Avant de commencer le levé topographique, on vérifie et règle l'appareil (voir Chap. 3).

La méthode la plus conseillée est le **nivellement cheminé - méthode améliorée** (voir 4.3.f.). Dans le cas d'un théodolite, on effectue chaque visée en lunette droite et en lunette renversée (double retournement).

Le tracé est divisé en intervalles d'une demi-journée de travail.

Vu que chaque intervalle doit être mesuré deux fois (méthode améliorée), on aura fini chaque partie à la fin de la journée.

La longueur des visées dépend de la visibilité. Même dans le cas d'une visibilité optimale, il ne faut pas dépasser une distance de 100 m.

Les points mesurés doivent être indiqués très clairement sur le terrain (avec de la peinture ou des piquets) ou si ce n'est pas possible, ils seront bien décrits dans les notes, afin qu'ils puissent être localisés après le levé.

Vu que le tracé définitif n'est connu qu'après le levé topographique, il vaut mieux mesurer une zone au lieu d'un tracé, raison pour laquelle on mesure à chaque station un point à 20 m à droite, et un point à 20 m à gauche. Ces points additionnels, qui ne se trouvent pas sur le tracé, sont mesurés par **nivellement par rayonnement** (voir 4.3.a.). Ainsi, on dispose d'informations pour des solutions alternatives, sans devoir retourner sur le terrain.

Pour les zones d'implantation des *réservoirs, chambres d'équilibre, ...* on mesure les cotes de plusieurs points afin d'avoir des informations pour élaborer des solutions alternatives pendant la conception.

On vérifie sur le terrain si tous les points requis sont mesurés.

On perd moins de temps en mesurant quelques points de trop qu'en devant retourner pour mesurer des points additionnels.

On essaie de contrôler le levé le plus vite possible, éventuellement sur le terrain. S'il y a de grandes erreurs, on les corrige le plus vite possible. Pour cela, on part d'un point dont la cote est connue.

Si un levé topographique consiste en plusieurs jours de travail, le lendemain :

- on pose l'appareil au point mesuré en dernier et on vise le point mesuré en avant-dernier (voir fig. 8.2. méthode 1)
- ou on pose l'appareil en un nouveau point du tracé et on vise d'abord le point mesuré en dernier et puis on vise le point mesuré en avant-dernier (voir fig. 8.2. méthode 2).

Ainsi, on obtient toutes les informations nécessaires pour lier les levés des différentes journées de travail, en ce qui concerne les angles horizontaux et les dénivellations.

Si on ne s'intéresse pas aux angles horizontaux on peut procéder de cette façon : on pose l'appareil en un nouveau point du tracé et on vise le point mesuré en dernier (voir fig. 8.2. méthode 3).

Après le levé topographique, on dessine le *plan* de situation avec les cotes de chaque point mesuré. Sur base de ces points et des calculs, on choisit le tracé. Puis, on dessine le profil en long. Pendant la fabrication des plans, on constatera s'il y a des données ou des points qui manquent. Éventuellement, on devra retourner sur le terrain. La collecte se fait comme décrit ci-dessus. On part de points dont la cote est connue.

8.1.c. LE LEVE TOPOGRAPHIQUE D'UN RESEAU DE DISTRIBUTION

La procédure pour déterminer et mesurer un réseau de distribution ressemble beaucoup à la méthode pour la mesure d'une ligne d'adduction. La différence la plus importante est que le tracé n'est pas déterminé en premier lieu par la géographie du terrain, mais par l'emplacement des ouvrages : *réservoirs, bornes fontaines, ...*

De la même façon que pour la ligne d'alimentation, on commence par une reconnaissance du terrain. On détermine où se trouveront les réservoirs et les branchements privés et publics. En fonction de ces observations, on détermine le tracé. On tient déjà compte des extensions éventuelles dans le futur. Généralement, il existe des cartes plus au moins précises, sur lesquelles on peut indiquer le trajet choisi.

Le levé topographique s'organise de la même façon que pour le levé d'une ligne d'adduction. L'équipe compte généralement moins de membres, car la visibilité y est meilleure et on n'a pas besoin d'une nombreuse équipe d'aides. Contrairement au levé d'une ligne d'adduction, le *niveau à lunette* est souvent l'instrument le plus adapté car la dénivellation est limitée et sa précision est supérieure à celle du *théodolite*. Si possible, on donne donc la préférence au niveau à lunette.

On applique le **nivellement cheminé - méthode améliorée** (voir 4.3.f.).

Le levé est divisé en distances d'une demi-journée de travail, de sorte qu'une double mesure se fasse en une journée. Dans le cas d'un réseau maillé, le réseau est divisé en différentes mailles, afin que tout le réseau soit parcouru. On commence par la maille la plus longue, puis on mesure les mailles plus courtes (voir fig. 8.3).

Chaque mesure d'une maille est vérifiée (voir 4.6.).

Les points qui ne font pas partie du tracé mais qui doivent être mesurés, le sont par la méthode du **nivellement par rayonnement** (p. e. les points qui aident à localiser le tracé).

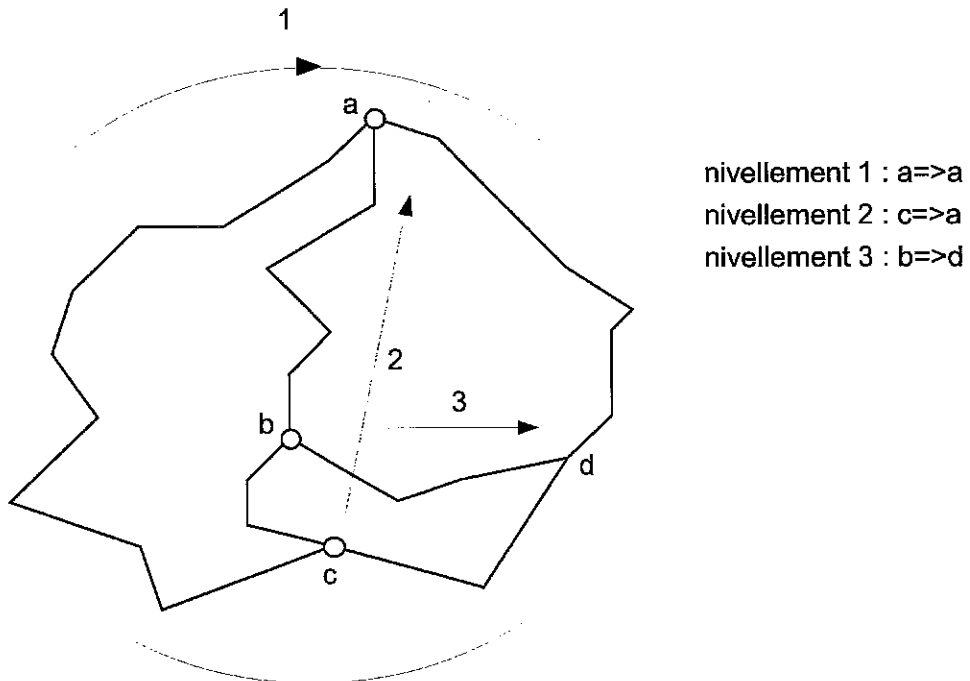


figure 8.3.

Pendant le levé topographique, on mesure également des points fixes comme des seuils,.... Ceci permet d'effectuer d'autres mesures par après, en partant de ceux-ci.

Ces points, qui ne font pas partie du réseau, sont mesurés par la méthode du nivellement par rayonnement.

Les *croquis* doivent être détaillés. On les dessine avant le levé et on indique tous les points qui doivent certainement être mesurés. Pendant le levé, on peut y ajouter d'autres points. Sur les croquis figurent tous les éléments qui facilitent la localisation du tracé : maisons, ... Éventuellement, on peut mesurer les points du tracé avec un mètre ruban par rapport aux points fixes et bien définis.

De toute façon, il ne faut pas limiter le nombre de points à mesurer. Souvent, les calculs montreront qu'on aura besoin d'amples informations du terrain. La collecte de ces informations doit être possible sans qu'on doive effectuer un levé de plusieurs kilomètres.

Après le levé topographique, on dessine le plan de situation avec les cotes de chaque point mesuré. En général, on ne dessine pas le profil en long ou, alors, seulement des lignes principales. Dans ce cas, on doit s'assurer que toutes les informations, qui figurent normalement sur le profil en long, peuvent être trouvées sur ce plan de situation.

8.1.D. LA MESURE D'UNE CONSTRUCTION

En général, la mesure d'une construction est demandée pour un inventaire, une extension, une intégration dans un nouveau projet, une réhabilitation. Dans ce cas, on mesure l'implantation, les dimensions et on détermine les matériaux et les accessoires (vannes, réductions, ...).

Ce travail peut le plus souvent se faire par une équipe de deux personnes. Ces deux personnes doivent connaître l'objectif du levé, car leurs observations se font en fonction de cet objectif. Par ex. dans le cas de la réhabilitation d'une construction, il est important de noter tous les manquements (fissures, fuites, ...).

Si la cote est demandée, on réfère à un point dont la cote est connue. Un point fixe et bien défini de la construction est mesuré (par exemple un coin) à l'aide d'un *niveau à lunette* ou d'un *théodolite*, en partant de ce point de repère. Les techniques à appliquer dépendent de la distance entre la construction et le point de référence. Si on demande également la direction de la construction, on utilise un compas.

On limite toujours le levé de la construction à ce qui est visible. On veille à ne pas noter des dimensions qui ne peuvent pas être mesurées (par ex. l'épaisseur d'un mur souterrain, l'épaisseur d'un radier, ...).

La mesure s'effectue à l'aide d'un mètre pliant, d'un *mètre ruban*, ... suivant les dimensions. Toutes les dimensions sont prises deux fois, et vérifiées directement après. Les mesures sont prises du plus grand au plus petit. Si on mesure une construction qui a une longueur de 3 m, et qui a deux chambres, on commence par la mesure de la longueur totale et on continue avec la mesure des ces deux chambres. La longueur totale n'est jamais déterminée comme la somme des longueurs de ces deux chambres.

Tous les matériaux sont notés. Pour cela, le responsable de la mesure doit avoir une connaissance suffisante des matériaux.

Toutes les mesures sont notées sur des *croquis*. On dessine des vues et des coupes des constructions. Pour des constructions souterraines, on dessine uniquement des coupes. L'objectif de ces croquis est qu'une personne, qui n'a pas été sur place, puisse se former une image claire de cette construction.

Éventuellement, on sera obligé d'élargir certains détails pour éclaircir le croquis. Pour ce qui concerne les accessoires, on note leur état au moment de la mesure : par ex. vanne fermée, volet ouvert...

Pour ce qui concerne les réservoirs, les barrages, les bassins, ... on note le niveau d'eau actuel et le niveau maximal et minimal, si on peut le détecter.

Le travail peut être facilité par une consultation des *plans d'exécution* (ou de *recollement*, s'ils existent) avant la mesure. Cependant, il faut veiller à ne pas noter des informations provenant de ces plans sans les vérifier. Quelques fois, il est impossible de prendre une mesure avec une précision suffisante (par ex. à cause d'une couche de boue). Dans ce cas, on ajoute sur le croquis les circonstances dans lesquelles la mesure a été prise.

Au bureau, les croquis sont contrôlés à l'aide des plans d'exécution (ou de recollement). En cas de doute, on peut refaire le levé sur le terrain. Les mesures ont toujours la priorité sur les plans d'exécution. Éventuellement, on peut compléter les mesures avec les informations trouvées sur les plans d'exécution, mais uniquement pour les dimensions qui ne peuvent pas être mesurées sur le terrain. Ceci est indiqué sur les croquis.

8.1.E. LE MESURE D'UN TERRAIN

Dans le cas de la construction d'un étang de rétention, d'un système de drainage, d'un système d'irrigation, de l'implantation d'un *réservoir*, d'une *borne fontaine*, d'une *chambre d'équilibre*... on peut demander d'effectuer le levé topographique d'un terrain. Dans ce cas, il faut mesurer les cotes d'un nombre de points également répartis sur le terrain.

L'équipement dépend de l'étendue du terrain et de la dénivellation.

Dans un terrain assez plat, on utilise un *niveau à lunette*. Un terrain accidenté requiert un *théodolite*. Si on ne dispose pas de ces instruments, on peut employer un instrument simple comme le niveau d'eau (voir 3.2.d.).

Cependant, la procédure prendra plus de temps et le résultat sera moins précis.

C'est pourquoi on préfère l'utilisation d'un niveau à lunette ou d'un théodolite, surtout si le terrain est étendu.

Si on emploie le niveau ou le théodolite, on place l'instrument en un point d'où tout le terrain est visible. Dans le cas où cela serait impossible, on divise le terrain en plusieurs parties et on suit la méthode décrite ci-dessous pour chaque partie. Le Nord est déterminé à l'aide d'un compas et on y met un jalon et on le vise. Pour un théodolite directionnel, l'angle horizontal est noté; pour un théodolite cumulateur, l'index du plateau horizontal est mis sur zéro.

On divise le terrain en carrés de 10 m sur 10 m et chaque nœud est mesuré (nivellement par rayonnement). La subdivision peut se faire à vue (distance de 10 pas) ou en mesurant avec un mètre ruban. Les angles horizontaux sont mesurés par rapport au Nord (direction zéro). Pour augmenter la précision du levé, on applique la méthode du double retournement (si on emploie un théodolite).

On veille à ce que :

- les limites du terrain soient mesurées
- les dénivellations importantes, même si elles ne se trouvent pas sur les nœuds des mailles (par ex. une petite colline, un fossé (voir fig. 8.4.), soient mesurées.

On fait un *croquis* du terrain et on indique tous les points avec une numérotation.

Dans le cas où le terrain devrait être subdivisé en parcelles plus petites, on effectue un nivellement cheminé entre toutes les stations. De cette façon, la cote d'une station, et celle de tous les points liés à cette station sont connues par rapport aux cotes des points dans les autres parcelles. Pour faciliter cette tâche, on fait le nivellement après le levé de toutes les parcelles. Les stations sont indiquées avec des piquets (voir fig. 8.4.). Si on demande les cotes absolues de tous les points, on mesure la cote d'une station par rapport à la cote d'un point de référence, dont la cote absolue est connue.

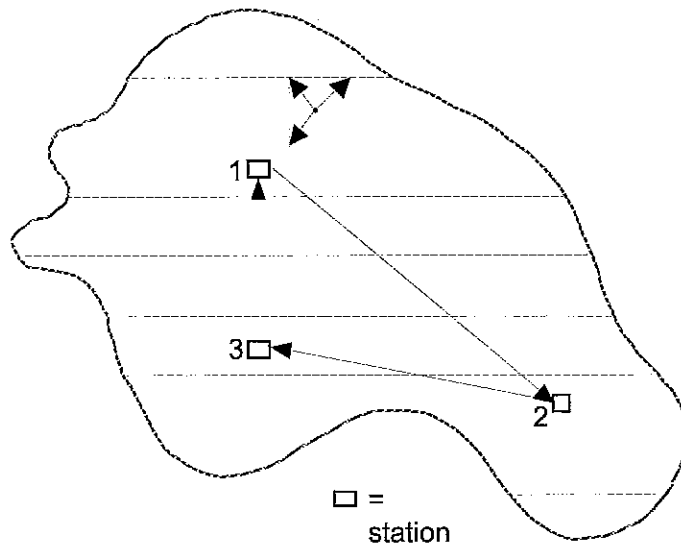


figure 8.4

Par après on peut calculer les *coordonnées X, Y* (voir 4.5.) et les *coordonnées Z* de chaque point.

Dans le cas où on ne disposerait pas d'un niveau à lunette ou d'un théodolite, on peut employer un niveau d'eau (description, voir 3.2.d.).

Le niveau d'eau est muni d'une corde de 10 m entre les deux bâtons.

Vu que le niveau d'eau ne permet pas de calculer les coordonnées *X, Y* après la mesure, il faut jalonner le réseau de points à mesurer avec une certaine précision.

On procède de la façon suivante :

Deux jalons sont plantés sur les limites opposées. Une ligne droite est jalonnée entre les deux jalons et on plante un piquet tous les 10 m sur cette ligne (voir figure 8.5.).

D'abord, on parcourt cette ligne en mesurant la dénivellation entre les piquets avec le niveau d'eau (voir 5.1.). D'abord, on plante deux autres jalons sur les limites à une distance de 10 m de la première ligne, perpendiculairement sur cette ligne (voir fig. 8.5.). On jalonne à nouveau une ligne droite entre ces deux jalons avec des piquets tous les dix mètres. On mesure la dénivellation entre les jalons sur chaque limite.

Ainsi les cotes des extrémités de la nouvelle ligne sont connues.

Puis, on parcourt cette nouvelle ligne et on mesure les dénivellations entre les piquets.

On procède de cette façon, jusqu'à ce qu'on ait couvert tout le terrain.

Dans la figure 8.5., on voit que le point 10 est mesuré deux fois. La cote de ce point 10 est alors calculée comme la moyenne de ces 2 résultats. Maintenant, on peut corriger les cotes des points entre le point 6 et le point 10. La méthode de correction est expliquée à l'aide d'un exemple :

Si l_{10-6} est la distance entre le point 6 et le point 10
 l_{8-6} est la distance entre le point 6 et le point 8

et h_{10-5} est la cote du point 10 mesurée à partir du point 5
 h_{10-6} est la cote du point 10 mesuré à partir du point 6

alors $h_{10} = (h_{10-5} + h_{10-6}) / 2$

et si h_{8-6} est la cote du point 8 mesuré à partir du point 6

alors $h_{8\text{corr}} = h_{8-6} + (h_{10} - h_{10-6}) \cdot (l_{8-6} / l_{10-6})$

dont $h_{8\text{corr}}$ est la cote corrigée du point 8.

Si la précision requise est limitée, les mailles peuvent être déterminées de la façon suivante :

- à l'aide d'un compas, on jalonne une ligne droite, parallèle au Nord, qui traverse tout le terrain, avec des piquets tous les 10m. Les autres lignes, perpendiculaires à cette première ligne, sont jalonnées avec le compas, mais dans la direction de l'est.

Cette méthode exige beaucoup de main-d'œuvre et est peu précise. Son application est donc limitée à de petits terrains et aux tâches qui ne demandent pas un degré de précision très élevé. Des dénivellations locales (des collines, des fossés) sont mesurées à l'aide d'un mètre ruban à rapport aux nœuds des mailles.

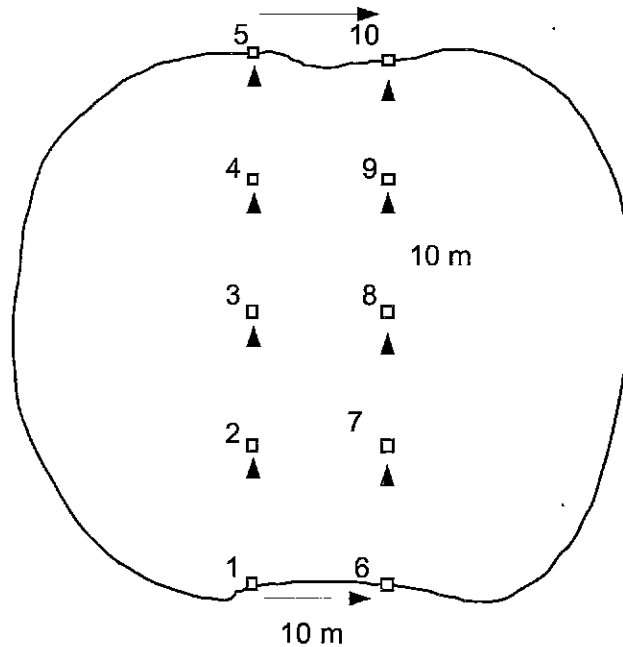


figure 8.5

8.1.F. LE LEVE TOPOGRAPHIQUE D'UNE RIVIERE

Certains projets nécessitent la mesure des profils d'une rivière : e.g. la construction d'un barrage, d'un pont, ...

Si toute une rivière doit être mesurée (profil en long et profil et *coupes transversales* sur des distances régulières), on effectue d'abord le *nivellement* d'une rive, et on place des piquets là où on prendra des coupes transversales. Par après, on retourne et on mesure les coupes en partant des piquets plantés.

Il y a plusieurs méthodes :

1) à l'aide d'un *niveau à lunette* ou à l'aide d'un *théodolite* :

- placez l'instrument sur un piquet et visez sur l'autre rive, perpendiculairement à l'axe de la rivière
- traversez la rivière avec une mire, et mesurez des points intermédiaires
- veillez à ce que tous les points, où il y a un fort changement de pente ou de niveau, soient mesurés (e.g. le pied et le sommet du talus)
- dans le cas d'une couche boueuse, on mesure la face inférieure et la face supérieure de cette couche
- on note toujours le niveau d'eau lors de la mesure. Si possible, on essaie de déterminer le niveau maximal et le niveau minimal
- si la rivière est trop large ou trop profonde, on peut utiliser une barque, que l'on guide avec une corde tendue entre les deux rives

Si la rivière est trop profonde (si la différence entre le niveau de la lunette et le fond de la rivière est plus élevée que la longueur de la mire), le niveau à lunette n'est plus adapté et on est obligé d'employer un théodolite.

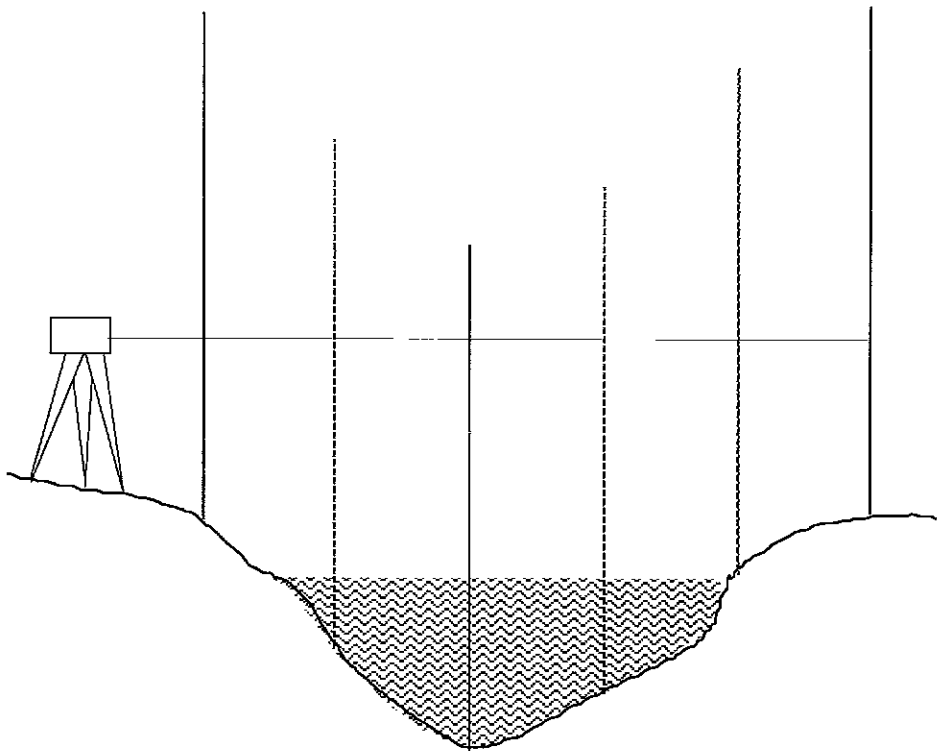


figure 8.6

2) à l'aide d'une corde, un niveau à bulle et une mire ou mètre pliant :

- tendez une corde entre les deux rives. Contrôlez son horizontalité à l'aide d'un niveau à bulle (Pour cela on fixe le niveau à bulle à la corde au milieu de la rivière, et on ajuste l'extrémité de la corde sur l'autre rive, jusqu'à ce que la bulle se trouve entre les repères)
- mesurez la profondeur des différents points de la rivière par rapport à la corde à l'aide d'une mire ou d'un mètre pliant.

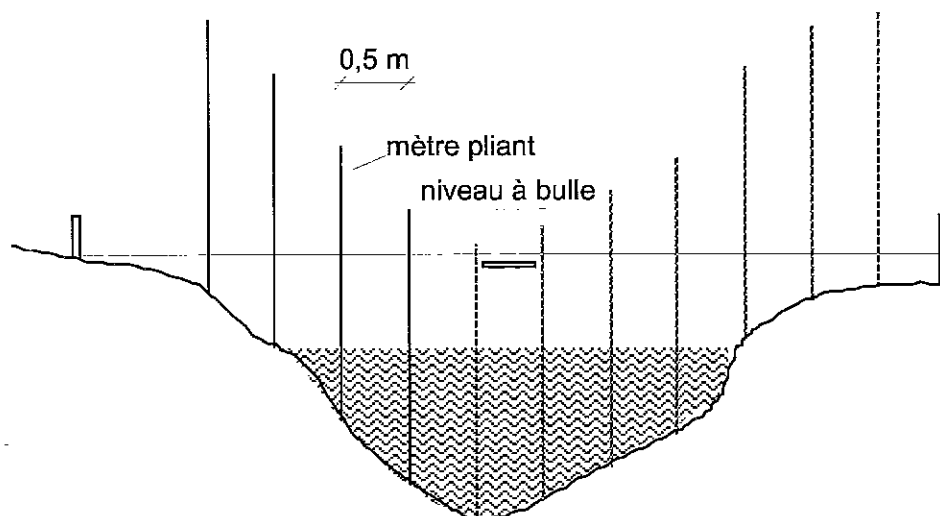


figure 8.7

Cette méthode demande plus de travail, est moins exacte mais peut être appliquée si l'on ne dispose pas d'un théodolite ou d'un niveau à lunette.

8.2. LE JALONNEMENT

8.2.A. L'IMPLANTATION D'UNE CHAMBRE DE DEPART, D'UN RESERVOIR, D'UNE CHAMBRE D'EQUILIBRE

L'implantation des constructions, telles qu'une *chambre de départ*, une *chambre d'équilibre*, un *réservoir*, a une très grande influence sur le fonctionnement hydraulique d'un système d'approvisionnement en eau. En fait, l'*altitude* de ces constructions joue un rôle important.

Généralement, une déviation de quelques mètres dans le plan horizontal a des conséquences beaucoup plus limitées qu'une déviation de quelques mètres dans le plan vertical. L'implantation de ces constructions doit donc se faire avec beaucoup de précision.

Généralement, l'altitude du radier est donnée sur les plans de même que la cote du sol autour de la construction.

La localisation n'est pas toujours indiquée avec la même précision.

Si on dispose d'un plan sur lequel la localisation de cette construction est donnée par rapport à des points fixes, on essaie de la localiser selon les données sur le plan.

On plante un piquet à quelques mètres de ce point.

Ce piquet sert de point de repère pour la construction.

On effectue un levé topographique entre ce piquet et un point de repère, dont la cote est connue.

Ainsi, on détermine l'altitude du piquet.

La technique du levé topographique entre le piquet et le point de repère dépend de la distance entre les deux.

De toute façon, on utilise un *théodolite* ou un niveau à lunette pour obtenir une précision optimale.

On a donc la localisation de la construction et un point auquel on peut se référer pour déterminer chaque niveau de l'ouvrage à construire.

Puis, on procède selon la méthode décrite au point 8.2.b.

Si on ne dispose pas d'un plan qui donne une localisation plus au moins exacte par rapport à des points connus, on plante un piquet en un point quelconque de la zone de la construction. On détermine l'altitude de ce piquet par rapport au niveau d'un point de repère (levé topographique avec niveau à lunette ou théodolite).

On pose l'instrument au-dessus du piquet, et on parcourt le terrain avec la mire, jusqu'à ce qu'on trouve un point dont l'altitude coïncide plus au moins avec la cote du sol sur le plan de la construction.

On y plante un piquet, et un autre à quelques mètres du premier.

Le premier piquet montre où on construira l'ouvrage, le deuxième sert de point de repère pour toutes les altitudes de l'ouvrage.

On procède selon la méthode décrite en 8.2.b.

8.2.B. LE JALONNEMENT DES DIMENSIONS D'UN RESERVOIR (OU D'UN AUTRE OUVRAGE)

On demande de jalonner un réservoir (ou un autre ouvrage) en un point donné.

Le jalonnement consiste en deux étapes :

- la détermination de l'*altitude* du radier
- le jalonnement des dimensions du réservoir.

a) la détermination de l'altitude du radier.

En 8.2.a., on a décrit comment on détermine la localisation de la construction et un niveau de référence (le piquet de référence).

Ce piquet servira de point de repère pour l'altitude du radier.

A l'aide des données sur le plan, on calcule la profondeur du radier par rapport à la tête du piquet. Pendant l'excavation, la profondeur est contrôlée par rapport à ce piquet à l'aide d'un niveau à lunette/ théodolite ou avec un niveau d'eau (il est fort probable qu'un bâton devra être plus long que l'autre, afin que l'eau ne sorte pas du tuyau voir fig. 8.8).

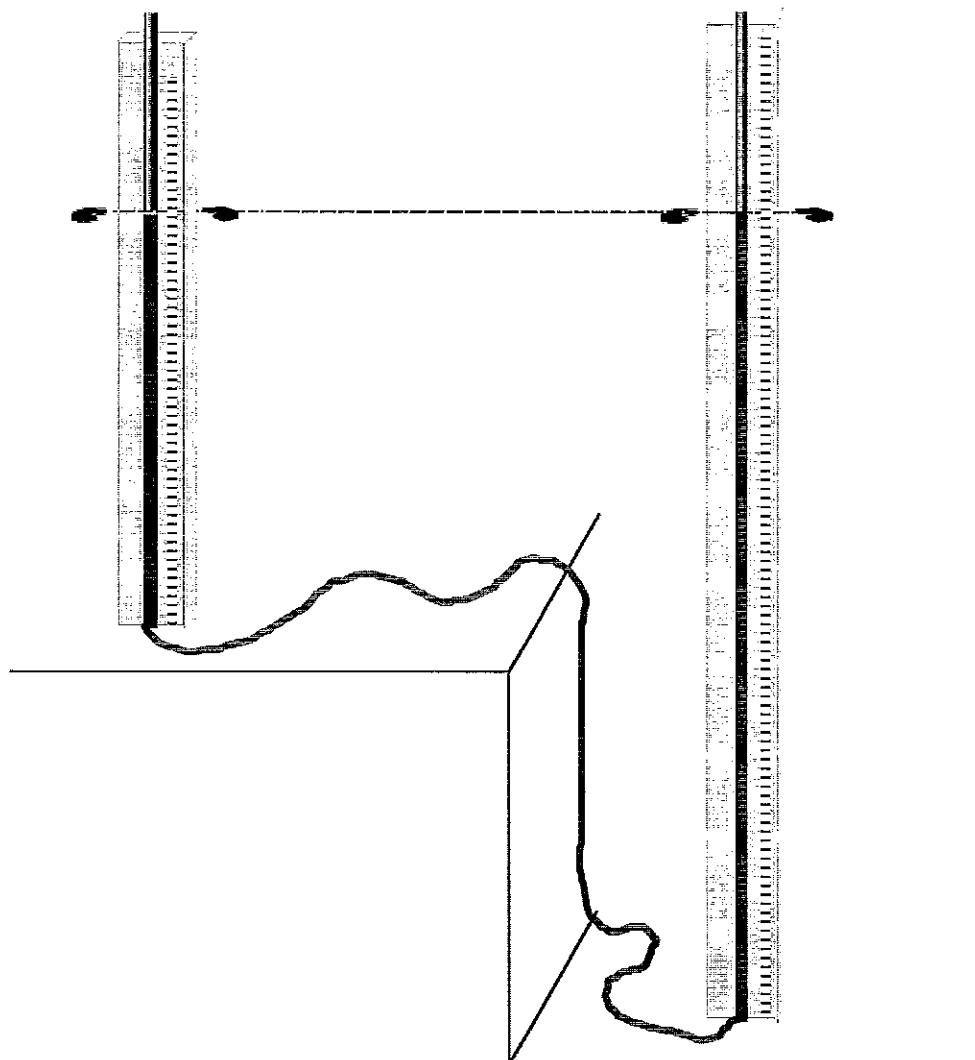


figure 8.8.

b) le jalonnement des dimensions du réservoir.

Les dimensions du puits de construction doivent être élevées aux dimensions du réservoir. Normalement le puits est au minimum un à deux mètres plus grand que le radier, afin qu'on puisse mettre le coffrage pour le radier et éventuellement pour les murs. Dans certains cas, le puits doit être plus grand (suivant de la profondeur).

Dans le cas d'un réservoir circulaire, on plante un piquet dans le centre du cercle, auquel on attache une corde de la longueur du rayon du cercle du puits et avec un deuxième piquet à son autre extrémité. A l'aide de ce deuxième piquet, on indique le contour sur le sol.

Dans le cas d'un réservoir rectangulaire, on plante un piquet dans un coin du rectangle. Un autre piquet est planté à une distance égale à la longueur d'une face du rectangle. Puis, on construit la face perpendiculaire à la première face (pour les méthodes, voir 5.1., e.g. 3-4-5, ...).

Le jalonnement du puits n'exige pas une grande précision. Souvent, il est jalonné uniquement à l'aide d'un mètre ruban.

Les dimensions exactes du radier sont jalonnées après que l'excavation ait atteint la profondeur requise. Vu que la place à travailler dans le puits est limitée, la méthode la plus conseillée pour jalonner les dimensions d'un radier rectangulaire est la méthode 3-4-5, car elle demande le moins de place.

L'horizontalité de l'excavation peut être facilement contrôlée avec un niveau d'eau.

Une fois que le radier est jalonné, on jalonne les autres dimensions avec un mètre pliant ou mètre ruban. La verticalité des parois est vérifiée avec un niveau à bulle ou avec un fil à plomb.

Remarque : une fois qu'on a implanté le piquet de référence à côté du réservoir, on peut procéder avec des outils simples : niveau d'eau, niveau à bulle, corde, fil à plomb...

Le jalonnement d'un réservoir ne nécessite donc pas de personnel avec une formation de topographe, mais se fait par une personne qui sache lire un plan et qui maîtrise ces techniques simples.

8.2.C. LE JALONNEMENT D'UNE LIGNE D'ALIMENTATION

On demande de jalonner une ligne d'alimentation sur base d'un ensemble de plans de projet (plan de situation et profil en long). En principe, les plans doivent permettre de jalonner le trajet sans qu'on ait besoin de plus amples informations.

Un jalonnement consiste en le jalonnement de :

- les points où il y a un changement de direction (horizontal et vertical)
- les points où il y a un branchement d'une ligne secondaire
- implantations d'ouvrages (ventouses, vidanges, chambres d'équilibres, ...)
- changement de diamètres, de classe de pression de tuyaux, ...

Normalement, entre ces points le trajet est une ligne droite. Il suffit donc de jalonner une ligne droite pour définir le trajet. Souvent, ces points se trouvent trop loin l'un de l'autre, de sorte qu'il faut ajouter des points intermédiaires, même s'il n'y a pas de changement de pente, de direction, ... dans ces points.

Ces points servent uniquement à faciliter l'excavation des tranchées.

La manière de jalonner tous ces points dépend de la façon dont ils sont indiqués sur le plan, et de l'appareil topographique disponible.

Dans le cas où le levé topographique aurait été effectué à l'aide d'une station totale, les coordonnées X, Y, Z seront mentionnées sur le plan. En introduisant ces *coordonnées* dans l'appareil, on peut les jalonner automatiquement.

Cependant, l'explication de cette méthode dépasse l'objectif de ce livre.

Souvent, les points ne sont pas indiqués par leurs coordonnées horizontales mais par rapport à des points fixes (points de référence, tel que des maisons, ...).

Cependant, les coordonnées verticales doivent toujours être notées sur les plans.

Généralement, le jalonnement vertical est beaucoup plus important que le jalonnement horizontal. Une différence de 10 m verticalement peut avoir de très grandes conséquences pour le fonctionnement hydraulique du système, tandis qu'un déplacement horizontal de 10 m a rarement une influence (à condition que cela n'aille pas de pair avec une grande dénivellation).

De toute façon, il faut veiller à ce que :

- les réservoirs, les chambres de départ et les chambres d'équilibre soient implantés à l'altitude correcte
- les ventouses se trouvent aux points les plus élevés
- les vidanges se trouvent aux points les plus bas
- la ligne d'alimentation se trouve partout en dessous de la ligne piézométrique.

Procédure :

- les points où il y a un changement de direction horizontale sont jalonnés à vue (éventuellement mesurés avec un mètre ruban par rapport aux points de référence)
- les réservoirs, chambres de départ et chambres d'équilibre sont jalonnés exactement dans le plan vertical (voir plus haut)
- entre ces points, on jalonne une ligne droite (voir 5.1.e)
- les points où il y a un changement de diamètre, de classe de pression, ... sont jalonnés sur cette ligne droite (à mesurer avec un mètre ruban)
- sur cette ligne droite, on détermine les points les plus élevés et les points les plus bas avec un théodolite / niveau à lunette. Là, on construira respectivement les ventouses et les vidanges (si elles sont planifiées à cet endroit).

On détermine les points où il y a un changement de pente. Une bonne conception essaie de limiter le nombre de points où la pente change.

Cependant, certaines considérations obligent à varier la pente :

- on doit respecter une couche minimale de protection
- on essaie de limiter le terrassement, donc on évite des tranchées trop profondes.

Pour cela :

On définit une *profondeur optimale* (e.g. 1,20 m).

On définit une *profondeur maximale* (e.g. la profondeur optimale + 0,50 m ou 1,70 m), afin d'éviter un trop grand terrassement. La *marge positive* est la profondeur maximale moins la profondeur optimale ($1,70 - 1,20 = 0,50$ m).

On définit une *profondeur minimale* (e.g. la profondeur optimale - 0,20 m ou 1,00 m), afin de réaliser un minimum de protection de la conduite.

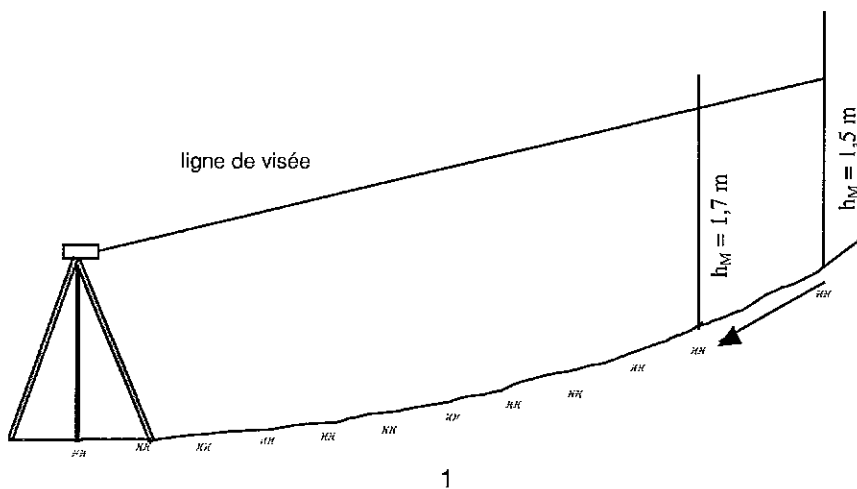
La *marge négative* est la profondeur optimale moins la profondeur minimale ($1,20 - 1,00 = 0,20$ m).

La méthode suivante peut être appliquée dans un terrain qui descend toujours ou qui monte toujours (voir fig. 8.9.)

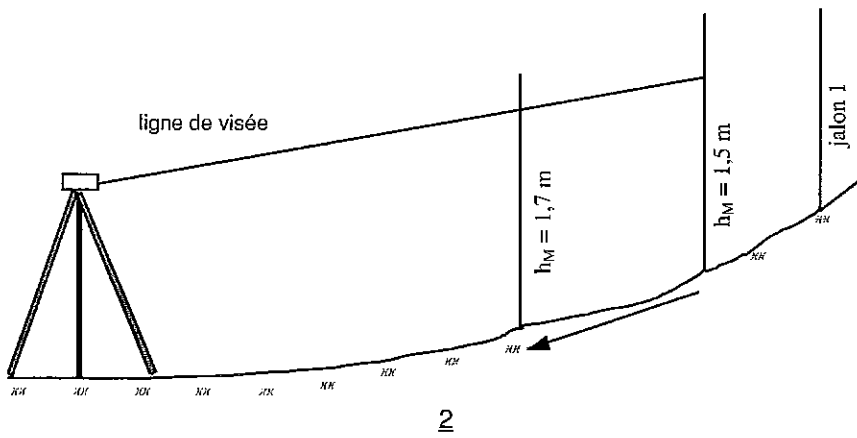
- Placez un piquet au point le plus élevé, et au point le plus bas.
- Positionnez le théodolite au point le plus bas, faites tenir une mire dans le point le plus élevé, et visez sur une hauteur de 1,50 m.
- Avancez avec la mire et contrôlez la hauteur sur des distances régulières (e.g. 20 m).
- Si la hauteur dépasse 1,50 m + la marge négative ($1,50 \text{ m} + 0,20 \text{ m} = 1,70 \text{ m}$), où si la hauteur descend en dessous de 1,50 m - la marge positive ($1,50 - 0,50 = 1,00$ m) plantez un piquet.
- Tenez la mire dans ce point et visez sur une hauteur de 1,50 m.
- Avancez et procédez de la même façon.

Chaque point où on a planté un piquet est un point où la pente change.

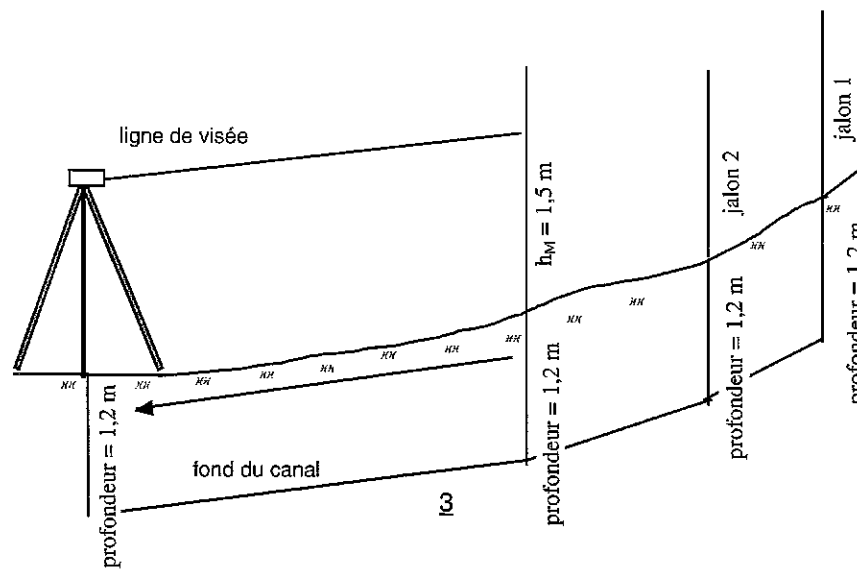
Là, la profondeur de la tranchée sera égale à la profondeur optimale.



1



2



3

figure 8.9.

Dans le cas où il y aurait trop de points où la pente change, on peut modifier le trajet. (e.g. 20 m à gauche ou à droite).

Une fois que tous ces points sont connus, on peut commencer à subdiviser le trajet en tranchées plus courtes (e.g. de 20 m) pour faciliter l'excavation.

Ces points intermédiaires (tous les 20 m) sont jalonnés suivant la méthode «jalonnement d'une ligne droite» (voir 5.1.b.). L'excavation est contrôlée à l'aide des planches en «T» (voir 5.1.e.).

Vu que le plus souvent les coordonnées X et Y ne figurent pas sur les plans, il y aura une différence entre le trajet mesuré et le trajet jalonné.

Il est donc très recommandé de contrôler ce nouveau trajet et de le comparer au trajet sur le plan (surtout au *profil en long*), pour s'assurer qu'il n'y aura pas de problèmes hydrauliques.

Le nouveau profil en long est dessiné sur le plan «profil en long» et on vérifie que ce profil reste en dessous la ligne piézométrique.

INDEX

Concept	Sous-concept	Paragraphes
Alidade		3.4.c
Altimètre		3.1; 3.2.a; 4.1.a.; 8.1.a
	Altimètre de précision	3.2.a
	Calibrage	4.1.a.
Altitude		2.2; 2.3; 3.2.a; 3.3.a; 4.3.a; 4.3.f; 8.2.a
	Altitude arbitraire	2.2
Amplitude		3.5.a
Angle		2.2
	Angle à droite	2.2
	Angle à gauche	2.2
	Angle droit	5.1.a
	Angle horizontal	2.3; 3.4.a; 3.4.b; 3.4.c; 4.4.c; 4.5; 8.1.a
	Angle vertical	2.3; 3.4.a; 3.4.c; 4.4
	Angle zénithal	4.2.b; 4.4.a; 4.4.b; 4.4.c
Appareil intégré		3.5.a
Arrondissement		2.5
Axe (deuxième, premier)		3.4.c
Azimuth		2.2
Bassin de distribution		4.0
Borne fontaine		8.1.c
Bulle (d'air)		3.4.a
Cadre 'A'		3.3.f; 5.1.d; 5.1.e
	Construction	3.3.f
	Etalonnage	3.3.f
Calage		2.6; 3.1; 3.4.a; 3.4.c
Calibrer		4.1.a.
Cercle horizontal		3.4.c
Cercle vertical		3.4.c
Chaîne		3.2.b
Chaise de nivellement		3.3.h; 5.1.c; 5.2.b; 5.2.c
	Construction	3.3.h
Chambre d'équilibre		8.1.b; 8.1.e; 8.2.a
Chambre de captage		4.1.a
Chambre de collecte		4.1.a
Chambre de départ		8.1; 8.1.a; 8.1.b; 8.2.a
Chiffres significatifs		2.5
Compensateur		3.4.a; 3.4.b
Coordonnées		2.2; 3.5.a; 3.5.b; 4.0; 4.5; 8.1.c; 8.2.c
	Coordonnées cartésiennes	2.2
Cote		2.2
Coupes transversales		8.1.f
Courbe de niveau		2.2; 3.2.d; 3.3.f; 3.4.b; 5.1.d; 5.2.a
Croquis		6.1.d; 8.1.d; 8.1.e
Décodage		3.5.b
Dénivellation		2.2; 3.2.a; 3.2.c; 3.2.d; 3.4.b; 3.4.c; 4.0; 4.1; 4.1.a; 4.3.f; 4.4; 4.4.a; 4.4.b; 4.5
Degré d'appréciation		3.4.a
Direction		2.2
	Direction de référence	4.5
	Direction visée	2.2
Directrice de la nivelle		3.4.a; 3.4.b; 3.4.c
Dispositif de centrage		3.4.c
Dispositif de lecture des angles		3.4.a; 3.4.c
Dispositif de mise au point		3.4.a
Double retournement		2.6; 3.4.c
Embase		3.4.a; 3.4.c
Erreur		2.2; 2.6
	Erreur aléatoire	2.6
	Erreur de fermeture	4.3.f
	Erreur moyenne quadratique	2.6; 4.3.f
	Erreur résiduelle	2.6
	Erreur systématique	2.6

Concept	Sous-concept	Paragraphes
Etudes		3.2.a
	Etudes d'avant-projet	3.2.a
	Etudes préalables	3.2.a
Faute		2.2; 2.6
	Fautes résiduelles	4.3.f
Fiche de nivellement		4.3.e; 4.3.g
Fil à plomb		3.3.a; 4.1.b; 4.3.g
Fils de stadia		3.4.a; 4.2
Fontaine		4.1.a
Formules goniométriques		2.1; 4.2
Galon		3.2.b
Géométrie		2
GPS		3.5.b
	GPS différentiel	3.5.b
Grade		2.1; 2.4; 3.4.c
Hauteur		2.2; 2.3
Jalon		3.3.a; 3.3.c; 4.1.b; 5.1.a; 5.1.b
Jalonnement		3.2.d; 3.3.f; 3.3.g; 3.4.b; 5; 6; 6.2; 8.2
	Jalonnement d'un angle droit	5.1.a
	Jalonnement d'un canal à pente constante	5.2.c
	Jalonnement d'un canal horizontal	5.2.b
	Jalonnement d'une intersection	5.1.c
	Jalonnement d'une ligne d'alimentation	8.2.c
	Jalonnement d'une ligne droite	5.1.b; 8.2.c
	Jalonnement de courbes de niveau	5.1.d; 5.2.a
	Jalonnement de lignes à pente constante	5.1.e
	Jalonnement des dimensions d'un ouvrage	8.2.b
Lecture		3.4.a; 3.4.c
	Lecture de précision	3.4.a
	Lecture générale	3.4.a
Levé topographique		4.0; 4.5; 6; 6.1.c; 8.1
	Levé topographique d'un réseau de distribution	8.1.c
	Levé topographique d'une ligne d'alimentation	8.1.b
	Levé topographique d'une rivière	8.1.f
	Levé topographique d'une zone de sources	8.1.a
Ligne		2.2; 3.3.c
	Ligne à pente constante	3.3.f; 3.3.g
	Ligne de visée	2.2; 3.4.a; 3.4.b; 4.2.b; 4.3.b; 4.4; 4.4.b
	Ligne horizontale	3.3.f; 3.3.g; 5.1.d
Ligne d'adduction		4.0
Ligne d'alimentation		8.1.a
Longueur		2.2; 2.3; 4.2.b
	Longueur horizontale	2.2; 2.3; 4.2.b; 4.4.b
	Longueur d'onde	3.5.a
	Longueur du terrain	2.3; 4.2.b
Lunette		3.4.a; 3.4.b; 3.4.c; 4.3.a
	Réglage de la lunette	3.4.a
	Lunette stadimétrique	4.2
Mesure d'un terrain		8.1.e
Mesure d'une construction		8.1.d
Mesure directe de distances		4.1.b.
	distances au-dessus de végétation	4.1.b.
	longues distances	4.1.b.
	petites distances	4.1.b.
Mesure indirecte de distances		4.2
	avec niveau à lunette	4.2.a
	avec théodolite	4.2.b
Mesure des angles horizontaux		3.4.c
Mesure des angles verticaux		3.4.c
Méthode 3-4-5		5.1.a
Méthode différentielle		3.5.b

Concept	Sous-concept	Paragraphes
Mètre ruban		3.1; 3.2.b; 4.1.a.; 4.1.b.; 5.1.a; 5.1.b; 6.1.d; 7.2.a; 8.1.d
Micromètre optique		3.4.a
Microscope de lecture		3.4.a
	Microscope à échelle	3.4.a
Mire		3.3.d; 4.1.a; 4.2.a; 4.3.a; 4.3.b; 4.4
	Lecture de la mire	3.4.a; 3.4.b; 3.4.c
Mode pseudo-différentiel		3.5.b
Moyenne		2.6
Niveau automatique (avec compensateur)		3.1; 3.4.b
Niveau à bascule (articulé)		3.4.b
Niveau à bulle		3.3.b; 3.3.d; 4.3.g; 5.1.d
Niveau à bulle avec règle		3.2.c; 4.1.a
Niveau à collier (ou de collimation)		3.4.b
Niveau à lunette		3.1; 3.4; 3.4.b; 4.0; 4.2; 4.3; 4.4; 4.4.c; 4.6; 5.1.d; 5.2.c; 8.1.a; 8.1.d; 8.1.c; 8.1.d; 8.1.e; 8.1.f; 8.2.a
	Prix	3.1
	Réglage	3.4.b
Niveau à lunette fixe		3.4.b
Niveau à lunette réversible		3.4.b
Niveau d'eau		3.1; 3.2.d; 4.1.a.; 5.1.d; 5.1.e
Niveau géodésique		3.4.b
Nivelle		3.3.b; 3.4.a; 3.4.b
	Nivelle à bulle coupée	3.4.a
	Nivelle cavalière	3.4.a
	Nivelle réversible	3.4.a
	Nivelle sphérique	3.3.d; 3.4.a
	Nivelle tubulaire	3.4.a
Nivellement		3.4.b; 4.3; 4.3.g; 8.1.f
	Fiche de nivellement	4.3.e
	Nivellement avec théodolite	4.4
	Nivellement cheminé	4.3.e; 4.4.c
	Nivellement cheminé - méth. améliorée	4.3.f; 8.1.a; 8.1.b; 8.1.c
	Nivellement de l'extérieur	4.3.d
	Nivellement de surface	3.4.b
	Nivellement du milieu	4.3.b; 4.4.b
	Nivellement excentrique	4.3.c
	Nivellement fermé	4.3.f
	Nivellement par rayonnement	4.3.a; 4.3.b; 4.4.a; 8.1.a; 8.1.b; 8.1.c
	Nivellement parallèle	4.3.f
	Nivellement répété	4.3.f
Objectif		3.4.a; 4.3.a
Oculaire		3.4.a; 4.3.a
Ondes		3.5.a
Ordinateur		3.5.b
Parallaxe		3.4.a
Pente		2.2; 3.3.b
Piquet		3.3.c; 4.1.b; 4.3.g
Plan		6.1.c; 6.2.c; 7.1; 8.1.a; 8.2.a
	Plan d'exécution	8.1.d
	Plan de projet	7.1; 7.3
	Plan de recollement	7.1; 7.4; 8.1.d
	Plan de situation	4.5; 7.1; 7.2.a; 7.3.b
	Plan "situation existante"	7.1; 7.2
Planche "T"		3.3.g; 5.1.d; 5.1.e
	Construction	3.3.g
Plateau horizontal		3.4.c
Plateau inférieur		3.4.c
Plateau supérieur		3.4.c
Point de repère ou de référence		2.2
Précision		2.5; 2.6; 3.1; 3.5.a; 3.5.b; 4.1; 4.1.a; 4.2.a; 4.3; 4.4; 4.4.c; 4.5

Adressé aux ingénieurs, topographes ou équivalents d'organismes divers qui travaillent dans le secteur d'eau potable dans le Sud, cet ouvrage prétend servir de document de référence pour le travaux de topographie dans le cadre de projets de ce secteur. Il est basé sur de nombreuses expériences dans les différentes régions où PROTOS est active.

Son utilisation pratique requiert une formation de base en topographie, bien qu'il puisse également servir à la formation de topographes dans le Sud.

Après un résumé théorique de la topographie et une présentation des différents appareils utilisés, ce livre présente l'organisation des différents travaux ayant trait à la topographie: les levés, l'élaboration des plans, l'organisation des missions topographiques,...

Il peut donc être consulté à la carte, suivant les besoins du lecteur. Pour plus de facilité dans la recherche des références, un index reprend les principaux mots clés et renvoie aux chapitres où l'on traite ces informations.