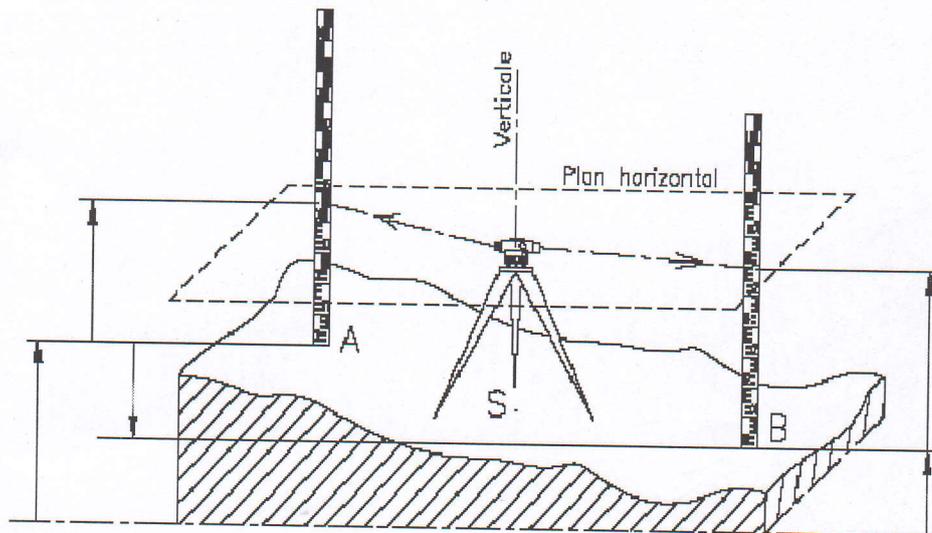


## Chapitre 3

### Nivellement Direct

#### 1. Généralités

##### 1.1 Principe



Principe de base du nivellement direct

Le nivellement direct, appelé aussi nivellement géométrique, consiste à déterminer la dénivelée  $\Delta H_{AB}$  entre deux points A et B à l'aide d'un niveau et d'une échelle verticale appelée mire. Le niveau est constitué d'une optique de visée tournant autour d'un axe vertical ; il définit donc un plan de visée horizontal. La mire est placée successivement sur les deux points.

$ma$  : lecture sur la mire posée en A,  $mb$  : lecture sur mire posée en B. la différence des lectures sur mire est égale à la dénivelée entre A et B.

- La dénivelée de A vers B  $\Delta H_{AB} = ma - mb$
- La dénivelée de B vers A  $\Delta H_{BA} = mb - ma$

L'altitude d'un point noté Alt A est la distance comptée suivant la verticale qui le sépara du géoïde (surface de niveau 0. Si l'altitude du point A est connue, on peut en déduire celle du point B.

$$\text{Alt B} = \text{Alt A} + \Delta H_{AB}$$

### 1.2 Le niveau

Il est schématiquement constitué d'une optique de visée (lunette d'axe optique O) tournant autour d'un axe verticale (appelé axe principal P) qui lui est perpendiculaire. Le réglage de l'axe P est fait au moyen d'une nivelle sphérique. L'axe optique tournant autour de l'axe principal décrit donc un plan horizontal passant par le centre optique du niveau qui est l'intersection des axes (P) et l'axe (P) peut être stationné à la verticale au moyen d'un fil à plomb.

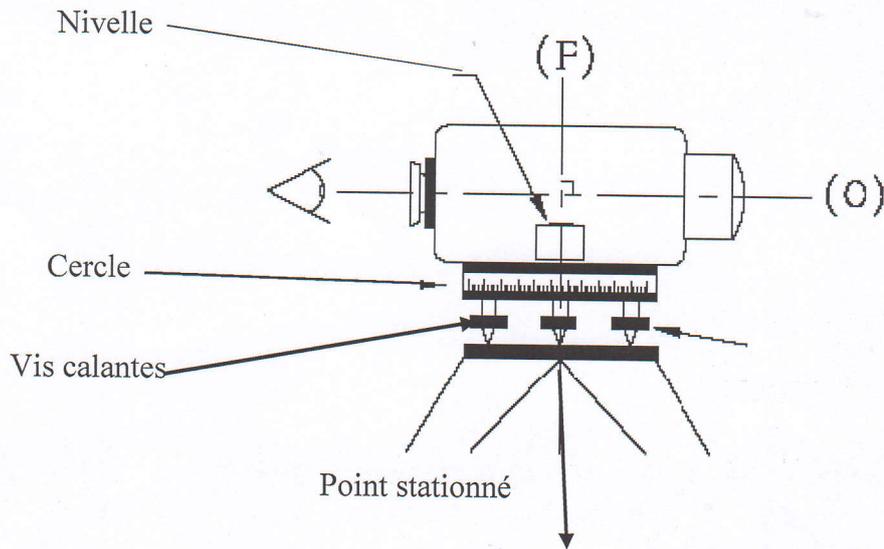
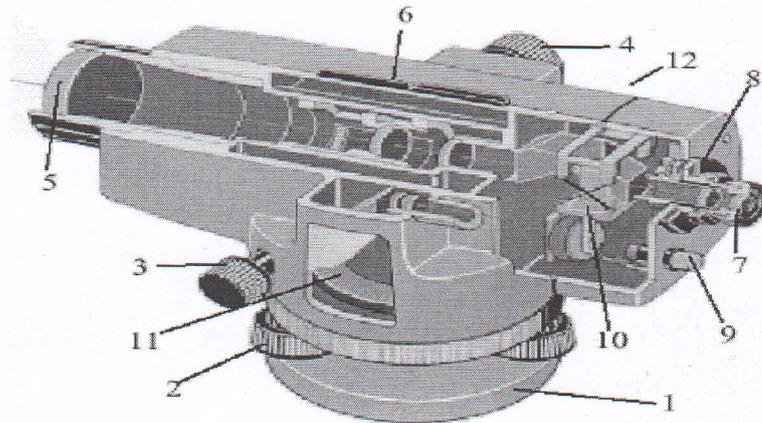


Schéma d'un niveau

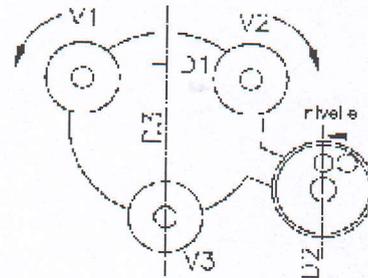
Les éléments constitutifs d'un niveau sont les suivants :



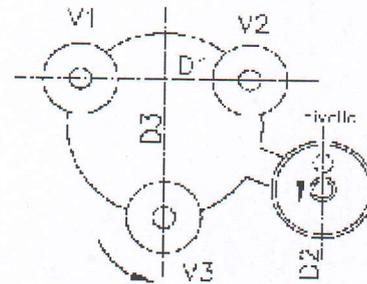
1. Embase	7. Oculaire
2. Vis calantes	8. Anneau amovible
3. Rotation lente	9. Contrôle de l'automatisme
4. Mise au point sur l'objet	10. Compensateur à pendule
5. Objectif	11. Cercle horizontal (option sur la NAK2)
6. Viseur d'approche rapide	12. Nivelle sphérique

### 1. 3 La mise en station du niveau

Le niveau n'étant pas stationné sur un point donné, le trépied est posé sur un point quelconque. L'opérateur doit reculer après avoir positionné le trépied afin de s'assurer de l'horizontalité du plateau supérieur. Lorsque le plateau est approximativement horizontal, l'opérateur y fixe le niveau.



### Calage de la nivelle sphérique



### 1.4 La lunette

C'est une lunette du type « lunette astronomique » composée d'un oculaire (o), d'un objectif (b), d'un dispositif de mise au point (m) et d'un réticule (r). Placé à côté de l'objet, l'objectif (b) est un système optique fixe convergent à grande distance focale qui fournit une image virtuelle renversée de l'objet visé. La mise au point est faite par une lentille divergente mobile (m).

Placé du côté de l'œil, l'oculaire est un ensemble de lentilles, dont certaines sont mobiles, qui permet d'agrandir et de redresser l'image virtuelle de l'objet.

Le réglage de la netteté du réticule et de l'image de l'objet visé se fait comme suit :

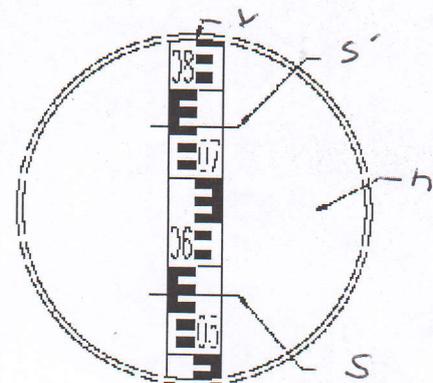
- Réglage de l'oculaire
- Réglage de l'objectif

### 1.5 Lecture sur mire

La mire est une échelle linéaire qui doit être tenue verticalement (elle comporte une nivelle sphérique) sur le point intervenant dans la dénivelée à mesure. La précision de sa graduation et de son maintien en position verticale influent fortement sur la précision de la dénivelée mesurée.

Le réticule d'un niveau est constitué de 4 fils :

- Fil stadimétrique supérieur (S') qui donne  $m_1$
- Fil stadimétrique inférieur (S) qui donne  $m_2$
- Fil niveleur (n) qui donne la moyenne  $m$
- Fil vertical (v) qui permet de pointer l'objet.



Réticule de visée

### 1.6 Interprétation des résultats

La lecture sur chaque fil est estimée visuellement au millimètre près, par rapport

Fil stadimétrique supérieur (fil sup) qui donne  $m_1$

Fil stadimétrique inférieur (fil inf) qui donne  $m_2$

Fil niveleur (fil niv) qui donne  $m = (m_1 + m_2)/2$

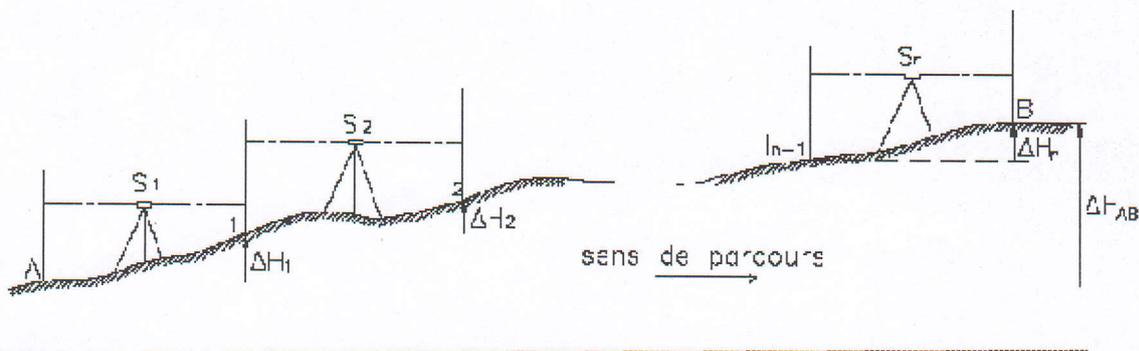
Les fils stadimétrique permettent d'obtenir une valeur approchée de la portée horizontale entre l'appareil et la mire à l'aide de la relation.

$$D_h = 100 * (m_2 - m_1)$$

## 2. Le cheminement

### 2.1 Cheminements simples

Lorsque les points A et B sont situés de sorte qu'une seule station du niveau ne suffit pas à déterminer leur dénivelée (éloignement, masque, dénivelée trop importante, etc.), il faut décomposer la dénivelée totale en dénivelées élémentaires à l'aide de points intermédiaires. L'ensemble de ces décompositions est appelé nivellement par cheminement.



Un cheminement encadré part d'un point origine connu en altitude, passe par un certain nombre de point intermédiaire et se referme sur un point extrémité différent du point d'origine et également connu en altitude.

Lorsque l'on cherche à déterminer l'altitude d'un point extrémité B à partir de celle connue d'un repère A, on effectue généralement un cheminement aller-retour de A vers A en passant par B. ceci permet de calculer l'altitude de B et de vérifier la validité des mesures en retrouvant l'altitude de A.

Lorsqu'un cheminement constitue une boucle retournant à son point de départ A, on l'appelle cheminement fermé. La dénivelée de A vers B se calcule par la formule suivante :

$$\Delta H_{AB} = \sum \text{Lectures arri\ere} - \sum \text{Lectures avant}$$

## 2.2 Applications sur les cheminements simples

### 2.2.1 Cheminement encadré

Depuis St1 on fait les lectures suivantes : LAR sur R1 = 1,208m ; LAV sur A = 1,312m

Depuis St2 on fait les lectures suivantes : LAR sur A = 1,735m ; LAV sur B = 1,643m

Depuis St3 on fait les lectures suivantes : LAR sur B = 1,810m ; LAV sur C = 0,763m

Depuis St4 on fait les lectures suivantes : LAR sur C = 1,739m ; LAV sur R2 = 1,934m

Point R1 d'altitude connue 35,000 NGF Point R2 d'altitude connue 35,840 NGF

Déterminer l'altitude des points A, B et C ?

### 2.2.2. Cheminement ouvert

Depuis St1 on fait les lectures suivantes : LAR sur R1 = 1,455m ; LAV sur A = 0,647m

Depuis St2 on fait les lectures suivantes : LAR sur A = 1,215m ; LAV sur B = 1,004m

Depuis St3 on fait les lectures suivantes : LAR sur B = 1,455m ; LAV sur C = 0,647m

Déterminer l'altitude des points A, B et C sachant que Alt R1 = 90,000m.

### 2.2.3 Cheminement fermé

Depuis St1 on fait les lectures suivantes : LAR sur R = 1,210m ; LAV sur A = 1,308m

Depuis St2 on fait les lectures suivantes : LAR sur A = 1,416m ; LAV sur B = 1,542m

Depuis St3 on fait les lectures suivantes : LAR sur B = 1,638m ; LAV sur C = 1,712m

Depuis St4 on fait les lectures suivantes : LAR sur C = 1,238m ; LAV sur D = 1,400m

Depuis St5 on fait les lectures suivantes : LAR sur D = 1,011m ; LAV sur R = 0,551m

Déterminer l'altitude des points A, B, C et D ?

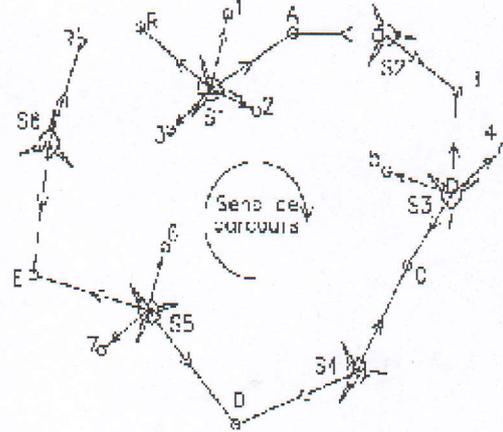
Point R d'altitude connue 40,000 NGF

### 2.3 Cheminement mixte

Depuis une station quelconque du niveau dans un cheminement, et après avoir enregistré la lecture arrière, sur le point de cheminement précédent, l'opérateur vise plusieurs points de détail et effectue sur chacun d'eux une lecture unique qui est donc une lecture avant.

Ensuite, il termine la station par la lecture avant sur le point de cheminement suivant. Par exemple, sur la figure ci-dessous, les points 1, 2 et 3 sont rayonnés depuis la station S1 dont le point arrière est la référence  $\textcircled{R}$  et le point avant A. L'opération en S1 est appelée « **rayonnement** ». Lorsqu'un cheminement comprend des points rayonnés et des points cheminés, on dit que c'est un **cheminement mixte**.

Le cheminement de la figure ci-contre passe par les points R, A, B, C, D, E, et R'. Les points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 sont rayonnés. L'ensemble est un cheminement mixte encadré entre R et R'.



Sur le carnet de nivellement, un point rayonné est repérable directement au fait qu'il ne comporte pas de lectures arrières. Le mesurage terminé, on calcule d'abord le cheminement sans tenir compte des points de détail rayonnés. Puis on calcule les points rayonnés et on les note par exemple, dans une autre couleur.

Leur calcul est différent de celui des points cheminés. En effet :

- tous les points rayonnés depuis une même station sont calculés à partir de l'altitude du point arrière de la station. Cette différence de calcul entraîne souvent des erreurs qui peuvent être limitées par le respect du calcul en deux étapes : d'abord le cheminement seul puis les rayonnements et par l'emploi de couleurs différentes ;

Il n'y a pas de compensation sur la dénivelée d'un point rayonné puisqu'il n'y a pas de contrôle possible de la valeur.

### 2.4 Application sur le rayonnement

Calculer l'altitude des points A, B, C et D sachant que le repère de nivellement R se situe à une altitude de 38,775 m (N.G.F).

Référence	Point	L'arrière(mm)	L'avant (mm)	Dénivelée (+)	Dénivelée (-)	Altitude (m)
R		1471				38,775
	A		1642			
	B		1213			
	C		695			
	D		588			

### 2.5 Règles sur la compensation

En règle générale sur un cheminement fermé et encadré, l'altitude du point de référence vraie est différente de l'altitude du point calculée, on a un écart de fermeture qu'il faut compenser.

Cet écart est calculé en faisant la somme des lectures arrières – la somme des lectures avants

L'écart de fermeture peut provenir :

- D'une ou de plusieurs lectures fausses.
- D'une mauvaise horizontalité de l'appareil.
- D'un dérèglement de l'appareil.

Ne sachant pas la vraie origine de l'écart de fermeture, on établit la règle suivante :

1. L'écart de fermeture est faible, c'est-à-dire que l'écart est inférieur à l'écart type, dans ce cas la compensation est proportionnelle au nombre de dénivelés.

$$C = - ef/S_N$$

Avec  $ef$  pour l'écart,  $S_N$  le nombre de station.

2. L'écart de fermeture est important, c'est-à-dire compris entre l'écart type et la tolérance, dans ce cas la compensation est proportionnelle à la hauteur des dénivelées.

$$C = - ef * |\Delta H_i| / \sum |\Delta H_i|$$

Avec  $ef$  pour l'écart,  $\Delta H_i$  différence de hauteur entre 2 points.

Ecart type  $e_{type} = \pm 1,7\sqrt{N}$

Tolérance  $T = \pm 4,6\sqrt{N}$

3. L'écart de fermeture dépasse la tolérance veut dire que le cheminement est faux. Et dans ce cas on doit reprendre le levé.