

## V. NIVELLEMENT DIRECT ET INDIRECT

### V.1 DEFINITION

Nivellement est l'ensemble des opérations qui permettent de déterminer des altitudes et des dénivelées  $\Delta H_{AB}$  (différences d'altitudes) (Voir Fig. V.1).

L'altitude d'un point est la distance en mètre par rapport à une surface de niveau zéro.

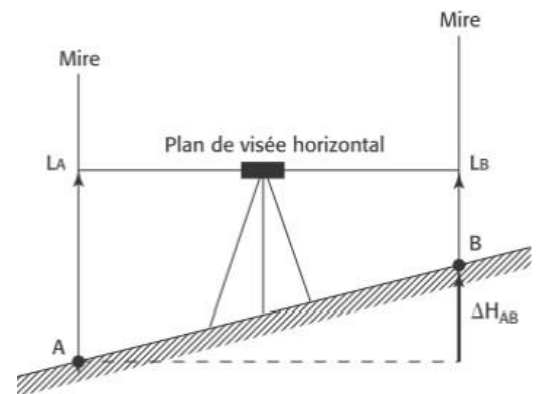


Fig. V.1 Schéma d'un Nivellement

### V.2 MATERIELS UTILISES EN NIVELLEMENT

On utilise plusieurs outils pour faire un nivellement, notamment (Fig. V.2) :

- Niveau
- Les mires
- Trépied



Fig. V.2 Matériels utilisés en nivellement

#### Mise en station du niveau de chantier à visée optique

1. Installer le trépied correctement Plateau horizontal et à l'aplomb du point (Fig. V.3),
2. Placer le niveau de chantier sur la platine du trépied et serrer la vis à pompe sans la bloquer le niveau doit pouvoir bouger librement sur la platine,
3. Accrocher le fil à plomb au niveau de chantier,
4. Positionner le niveau sur le point de station à l'aide de la nivelle sphérique et des vis calantes positionner la bulle de la nivelle dans le cercle,
5. Ajuster la netteté du réticule en agissant sur la vis de netteté du réticule

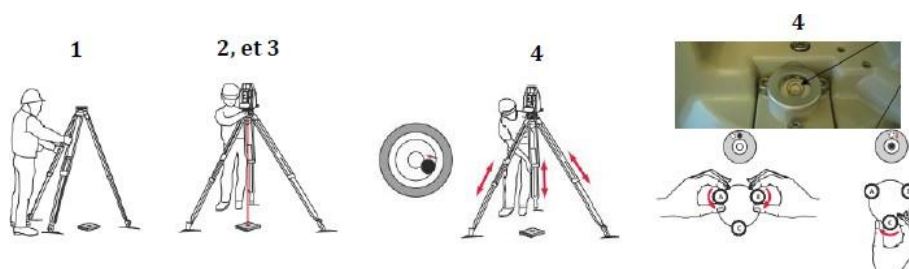


Fig. V.3 Schéma représente les étapes d'installation d'un niveau de chantier.

### Lectures 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 mesurer. La précision de sa graduation et de son maintien en position verticale influent fortement sur la précision de la dénivelée mesurée. La mire classique est généralement graduée en centimètre. La chiffraison est souvent en décimètre. Le réticule d'un niveau est généralement constitué de quatre fils (Fig. V.4) :

1. Le fil stadimétrique supérieur **s'** qui donne une lecture **m1** sur la mire ;
2. Le fil stadimétrique inférieur **s** qui donne la lecture **m2** sur la mire ;
3. Le fil niveleur **n** qui donne la lecture **m** sur la mire ;
4. Le fil vertical **v** qui permet le pointé de la mire ou d'un objet.

La lecture sur chaque fil est estimée visuellement au millimètre près (6,64 dm sur la figure, fil niveleur). Les fils stadimétriques permettent d'obtenir une valeur approchée de la portée. Pour chaque lecture, il est judicieux de lire les trois fils horizontaux de manière à éviter les fautes de lecture on vérifie en effet, directement sur le terrain, que  $(m_1 + m_2)/2$ .

Par exemple, sur la figure :  $6,64 \text{ dm} = (5,69 + 7,60)/2$ .

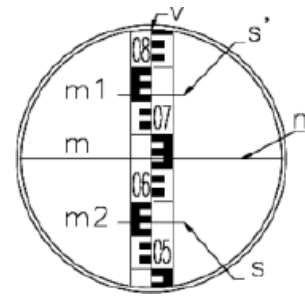


Fig. V.4 Réticule de visé.

Le nivellement peut s'effectuer selon deux procédés qui sont :

- ✓ Le nivellement direct ou géométrique
- ✓ Le nivellement indirect ou trigonométrique

### V.3 LE NIVELLEMENT DIRECT

Le nivellement direct s'appuie exclusivement sur des visées horizontales. En général il est exécuté avec un niveau. Les niveaux sont classés en trois catégories dont chacune correspond à des besoins différents, et à des méthodes appropriées.

- Niveau de précision pour le nivellement direct de haute précision
- Niveau d'ingénieur pour nivellement direct de précisions
- Niveau de chantier pour le nivellement direct ordinaire

Remarque

Nous avons 3 types de nivellement direct dans ce chapitre

#### V.3.1 Principe du nivellement direct

Le principe 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 principal (axe vertical) il définit donc un plan de visée horizontal (Fig. V.5).

Dénivelée = lecture arrière - lecture avant

$$\Delta H_{AB} = l_A - l_B$$

avec  $l_A$  et  $l_B$  sont les lectures en mire A et B.

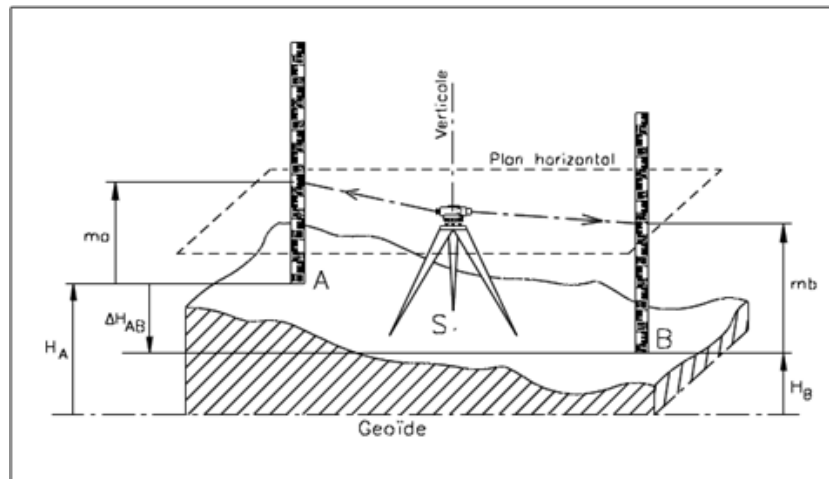


Fig. V.5 Principe de base de nivellement direct

On emploie aussi l'expression de nivellement géométrique qui traduit le fait que les mesures obtenues sont des longueurs de mire :

$$H_A + l_A = H_B + l_B \implies H_B = H_A + \Delta H_{AB}$$

L'altitude de B est égale à l'altitude A plus la dénivelée prise algébriquement avec *son signe*.

**Nivellement simple :**

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \quad \text{avec : } \begin{cases} H_A: \text{altitude connue} \\ H_B: \text{altitude inconnue} \end{cases}$$

$\Delta H_{AB}$ : la dénivelée entre les deux points A et B.

### V.3.2 Nivellement par Rayonnement

À partir d'une station, on détermine les altitudes des différents points par rapport à un repère connu R (Fig. V.6).

Les observations et les calculs sont présentés sous forme de tableau.

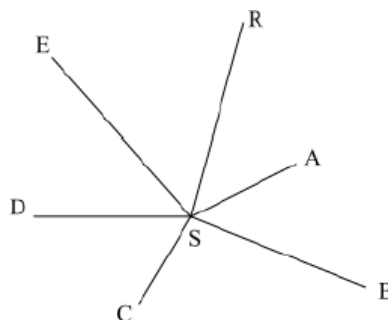
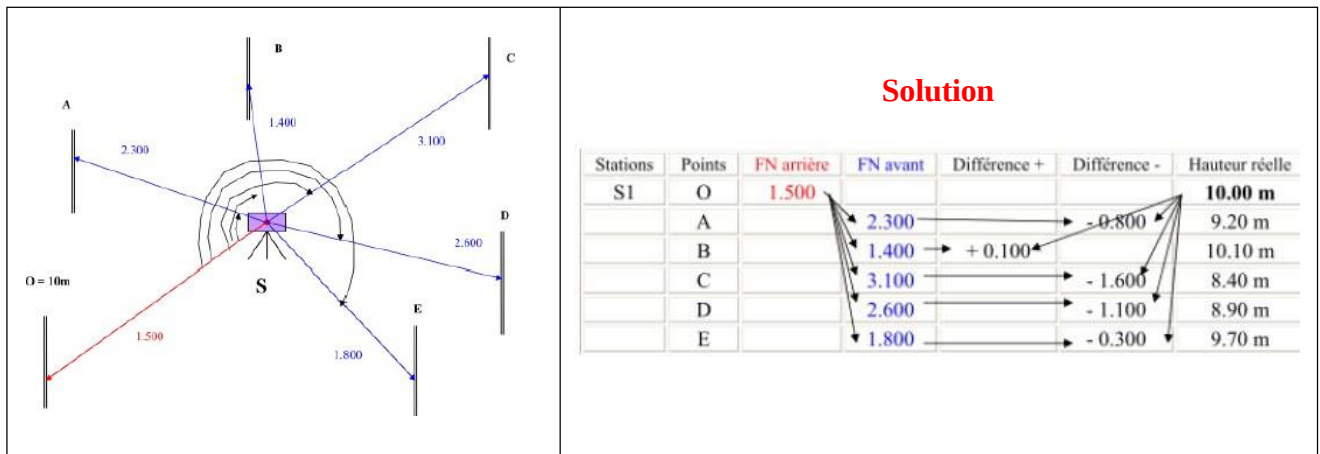


Fig. V.6 Nivellement par rayonnement.

**Exemple : Nivellement par Rayonnement****V.3.3 Nivellement par Cheminement**

Lorsque les points A et B sont trop éloignés ou lorsque la dénivelée est supérieure à la longueur de la mire, on est obligé de faire plusieurs stations (Fig. V.7) ; déterminants ainsi plusieurs points intermédiaires.

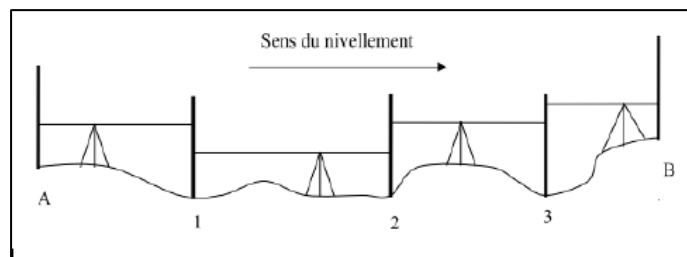


Fig. V.7 Nivellement par cheminement.

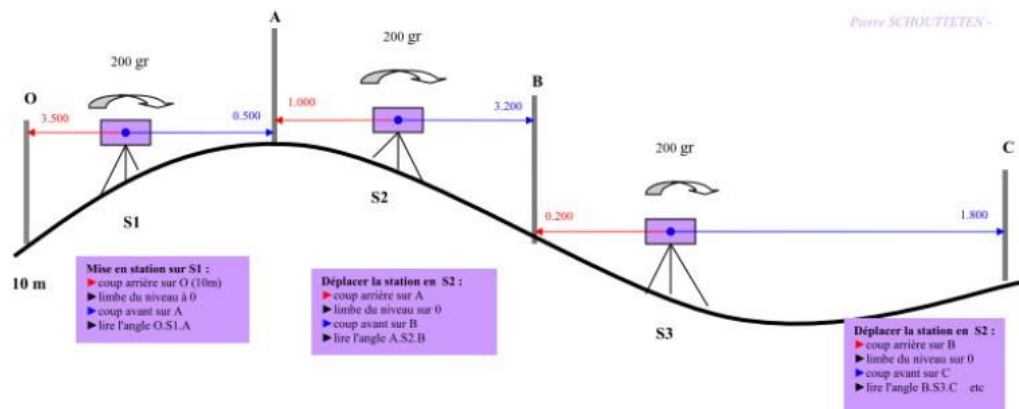
$$H_B = H_A + [(l_A - l_{1av}) + (l_{1ar} - l_{2av}) + (l_{2ar} - l_{3av}) + (l_{3ar} - l_B)]$$

$$H_B = H_A + \sum \Delta H_i$$

avec:

$l_{iar}$ : lecture arrière du point i selon le sens du nivellement

$l_{iav}$ : lecture avant du point i selon le sens du nivellement

**Exemple : Nivellement par Cheminement**

## Solution

| Stations | Points | FN arrière | FN avant | Différence + | Différence - | Hauteur réelle |
|----------|--------|------------|----------|--------------|--------------|----------------|
| S1       | O      | 3.500      |          |              |              | 10.00 m        |
|          | A      |            | 0.500    | 3.000        |              | 13.00 m        |
| S2       | A      | 1.000      |          |              |              |                |
|          | B      |            | 3.200    |              | - 2.200      | 10.80 m        |
| S3       | B      | 0.200      |          |              |              |                |
|          | C      |            | 1.800    |              | - 1.600      | 09.20 m        |

## V.4 LE NIVELLEMENT INDIRECT

Il est intéressant d'étudier en détail cette technique puisque c'est le moyen de mesure utilisé par les stations totales. Il est donc appelé à se généraliser, même s'il reste moins précis sur les dénivelées que le nivellement direct.

## V.4.1 PRINCIPE DU NIVELLEMENT INDIRECT

Le nivellement indirect trigonométrique permet de déterminer la dénivelée  $\Delta H$  entre la station T d'un théodolite et un point P visé. Ceci est fait par la mesure de la distance inclinée suivant la ligne de visée  $Di$  et de l'angle zénithal (noté  $V$  sur la Fig. V.8).

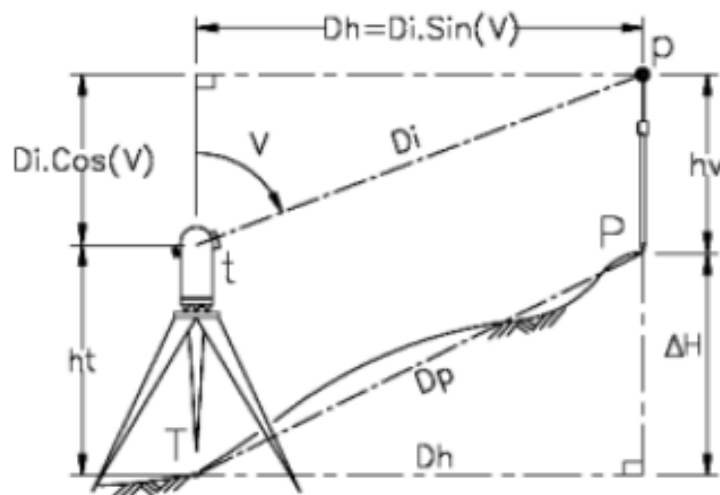


Fig. V.8 Nivellement indirect ou trigonométrique

À partir du schéma, on peut écrire que :  $\Delta H_{TP} = ht + Di \times \cos(V) - hv$

$\Delta H_{TP}$  est la dénivelée de T vers P.

Ht : est la hauteur de station

Hv : est la hauteur de voyant ou plus généralement la hauteur visée au-dessus du point cherché (on peut aussi poser une mire en P).

On en déduit la distance horizontale  $Dh$  :  $Dh_{TP} = Di \times \sin V$

On en déduit la distance suivant la pente  $Dp$  :  $\sqrt{\Delta H^2 + Dh^2}$

Comme, on peut écrire :  $Dh = 100 \times (L_{sup} - L_{inf}) \times \sin(V)^2$

## V.5 APPLICATION

### Exercice 1 :

On démarre d'un point A d'altitude  $Z_1 = 218.467$  m et on aboutit au point B d'altitude  $Z_5 = 218.539$  m en relevant trois points intermédiaires d'altitudes. Les résultats obtenus sont les suivants :

| Points visés | Lect. AR       | Lect. AV       |
|--------------|----------------|----------------|
| 1            | 2.406<br>2.399 |                |
| 2            | 2.498<br>2.503 | 1.214<br>1.209 |
| 3            | 0.974<br>0.968 | 0.447<br>0.453 |
| 4            | 0.202<br>0.204 | 1.477<br>1.468 |
| 5            |                | 2.871<br>2.875 |

- Déterminer les dénivelées brutes et compensées.
- Déterminer les altitudes provisoires et définitives des différents points.
- Effectuer les contrôles nécessaires des calculs.
- Etablir le carnet de nivellement.

**Solution :**

| Station    | Point visé | AR      |         | AV      |         | Dénivelées Brutes (provisoires) |        | Compensation des dénivelés (mm) | Dénivelées Compensées (définitives) |        | Altitudes brutes (prov) | Compensation des altitudes (mm) | Altitudes compensées (définitives) |
|------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------------------------------|--------|---------------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
|            |            | lecture | moyenne | lecture | moyenne | +                               | -      |                                 | +                                   | -      |                         |                                 |                                    |
| S1         | 1          | 2.406   | 2.4025  | -       | -       | 1.1910                          |        | +0.5                            | 1.1915                              |        | 218.467                 | 0                               | 218.467                            |
|            |            | 2.399   |         |         |         |                                 |        |                                 |                                     |        |                         |                                 |                                    |
| S2         | 2          | 2.498   | 2.5005  | 1.214   | 1.2115  | 2.0505                          |        | +0.5                            | 2.0510                              |        | 219.658                 | 0.5 (1)                         | 219.6585                           |
|            |            | 2.503   |         | 1.209   |         |                                 |        |                                 |                                     |        |                         |                                 |                                    |
| S3         | 3          | 0.974   | 0.9710  | 0.447   | 0.4500  |                                 | 0.5015 | +0.5                            |                                     | 0.5010 | 221.7085                | 0.5 (2)                         | 221.795                            |
|            |            | 0.968   |         | 0.453   |         |                                 |        |                                 |                                     |        |                         |                                 |                                    |
| S4         | 4          | 0.202   | 0.2030  | 1.477   | 1.4725  |                                 | 2.6700 | +0.5                            |                                     | 2.6695 | 221.207                 | 0.5 (3)                         | 221.2085                           |
|            |            | 0.204   |         | 1.468   |         |                                 |        |                                 |                                     |        |                         |                                 |                                    |
|            | 5          | -       | -       | 2.871   | 2.8730  |                                 |        |                                 |                                     |        | 218.537                 | 0.5 (4)                         | 218.539                            |
|            |            |         |         | 2.875   |         |                                 |        |                                 |                                     |        |                         |                                 |                                    |
| $\Sigma$   |            |         |         |         |         | 3.2415                          | 3.1715 |                                 | 3.2425                              | 3.1705 |                         |                                 |                                    |
| Différence |            |         |         |         |         | 0.070                           |        |                                 | 0.072                               |        |                         |                                 |                                    |

$$e_f = Z_B(\text{pro}) - Z_p(\text{réel}) == > e_i = -(2)/(n=4) = 0.5 \text{ mm}$$