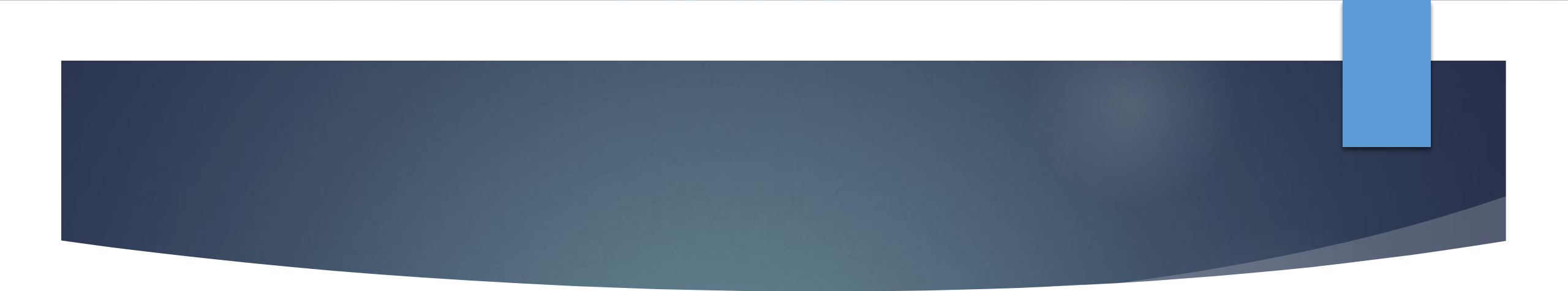


“

Chapitre 4

”

Nivellement

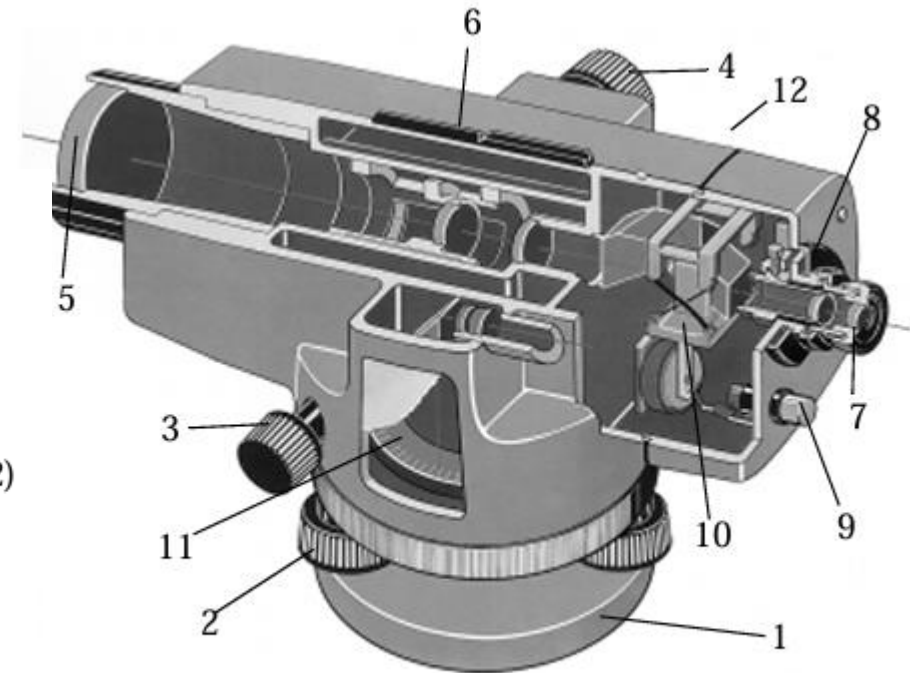


GENERALITES

- ▶ Le nivellement est l'ensemble des opérations qui permettent de déterminer des altitudes et des dénivelées.
- ▶ L'altitude d'un point est la distance en mètre par rapport à une surface de niveau zéro.
- ▶ Le nivellement peut s'effectuer selon trois procédés qui sont par ordre de précision décroissant:
 - le nivellement direct ou géométrique;
 - le nivellement indirect ou trigonométrique;

Les **éléments constitutifs d'un niveau** sont les suivants :

- | | |
|--------------------------------|---|
| - 1. Embase | - 7. Oculaire |
| - 2. Vis calantes (3 vis) | - 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 le NA2) |
| - 6. Viseur d'approche rapide | - 12. Nivelles sphériques (invisible ici) |



Doc. Leica : NAK2 (vue en coupe)

le nivellement direct

Le nivellement direct, appelé aussi nivellement géométrique, consiste à déterminer la dénivelée ΔH_{AB} entre deux points A et B à l'aide d'un appareil : le niveau et d'une échelle verticale appelée mire. Le niveau est constitué d'une optique de visée tournant autour d'un axe vertical (fig) :

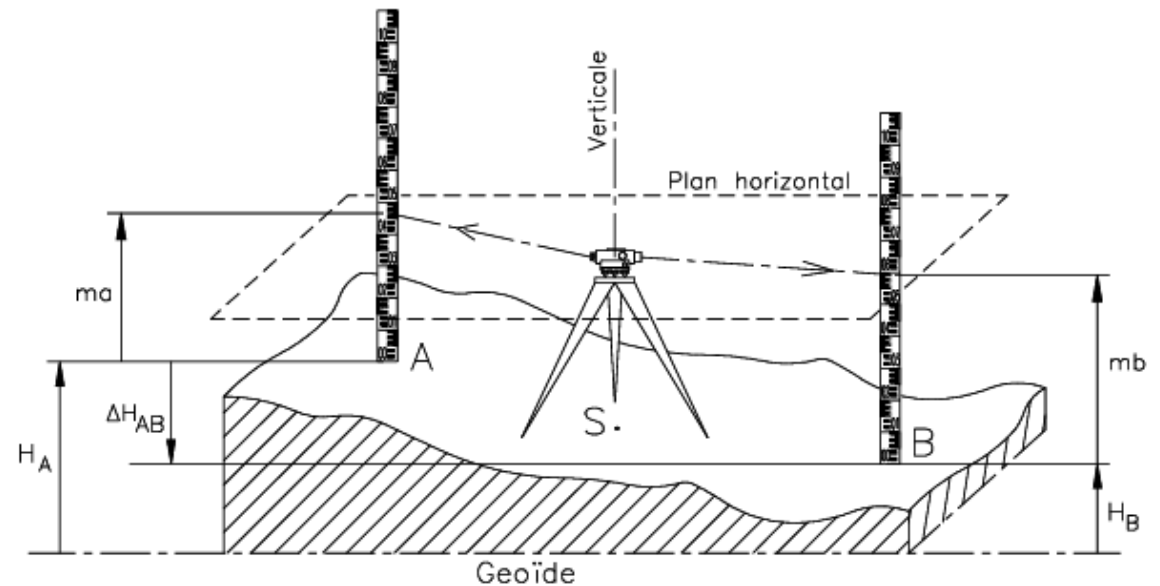
il définit donc un plan de visée horizontal (fig). La mire est placée successivement sur les deux points. L'opérateur lit la valeur m_a sur la mire posée en A et la valeur m_b sur la mire posée en B. La différence des lectures sur mire est égale à la dénivelée entre A et B. Cette dénivelée est une valeur algébrique dont le signe indique si B est plus haut ou plus bas que A (si ΔH_{AB} est négative alors B est plus bas que A).

le nivellement direct

- ▶ la dénivelée de A vers B est : $\Delta H_{AB} = m_a - m_b$
- ▶ la dénivelée de B vers A est : $\Delta H_{BA} = m_b - m_a$

L'altitude H_A d'un point A est la distance comptée suivant la verticale qui le sépare du géoïde. Si l'altitude du point A est connue, on peut en déduire celle du point B par : $H_B = H_A + \Delta H_{AB}$

lecture arrière (LAR) en A et lecture avant (LAV) en B on note : $\Delta H_{AB} = L_{AR} - L_{AV}$



► 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

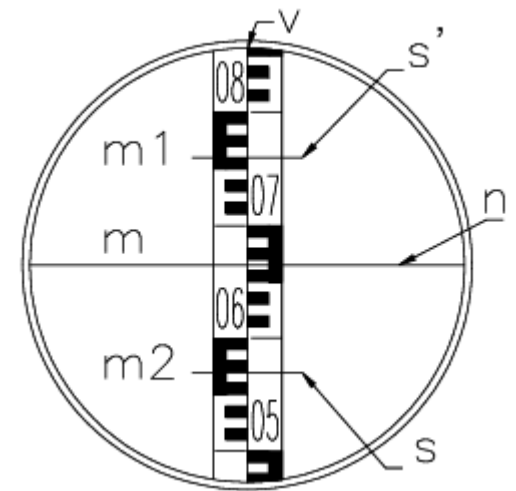
Le réticule d'un niveau est généralement constitué de quatre fils :

le fil stadimétrique supérieur (s'), qui donne une lecture **m1** sur la mire ;

le fil stadimétrique inférieur (s), qui donne la lecture **m2** sur la mire ;

le fil niveleur (n), qui donne la lecture **m** sur la mire ;

le fil vertical (v), qui permet le pointé de la mire ou d'un objet



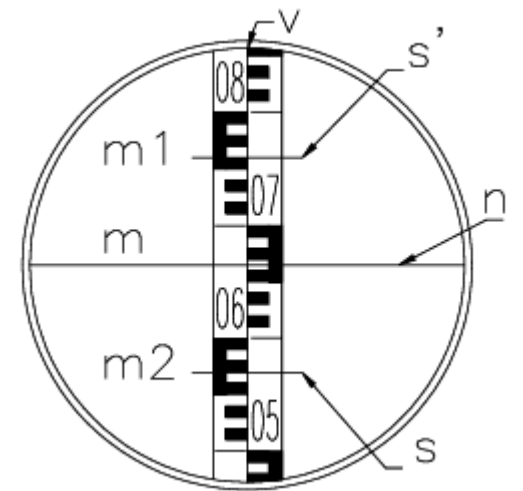
► Lectures sur mire

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 :

$$m = \frac{m_1 + m_2}{2}$$

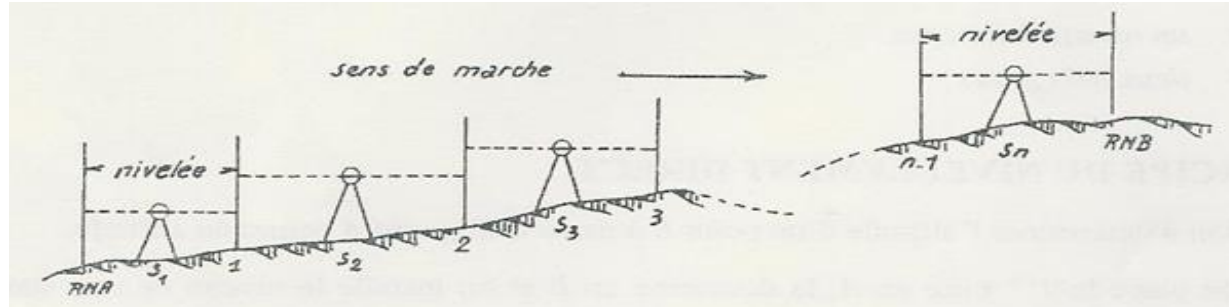
Exemple, dans la figure on a : $m_1 = 7,60$; $m_2 \approx 5,70$

$m = (m_1 + m_2) / 2 = 6,65 \text{ dm} \approx (5,70 + 7,60) / 2$.



nivellement par cheminement.

Soit à déterminer l'altitude d'un certain nombre de points situés entre deux points d'altitudes connues.

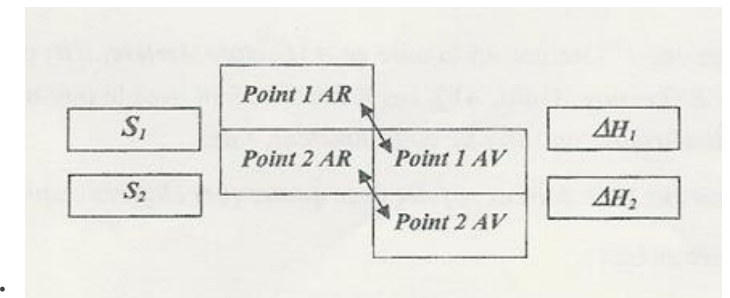


Un certain nombre de stations sont nécessaires pour déterminer l'altitude de ces points.

Les mesures s'effectuent comme suit :

- ▶ Installer deux mires : une au point A et une autre au point L.
- ▶ Installer le niveau en S_1 à égale distance de A et L dans l'alignement.
- ▶ Faire les lectures du réticule en A (AR) et en L (AV) à l'aide des deux mires.
- ▶ On se déplace ensuite en S_2 , puis S_3 , S_4 , ... et on effectue les mêmes mesures.

L'ensemble de ces mesures constitue **un nivellement par cheminement**.



- ▶ $\Delta H_1 = AR_1 - AV_2$
- ▶ $\Delta H_2 = AR_2 - AV_3$
- ▶ $\Delta H_3 = AR_3 - AV_4$
- ▶ $\Delta H_n = AR_n - AV_{n+1}$

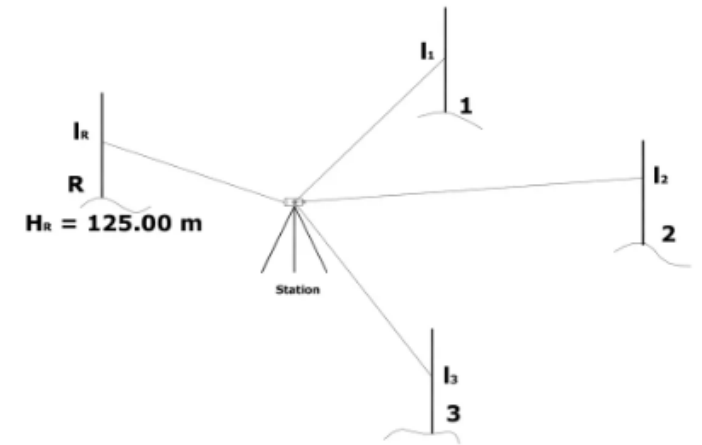
Si ΔH est la dénivellation totale entre les point A et B alors : $H_B = H_A + \Delta H$

Avec : $\Delta H = \sum \Delta H_i = \sum AR - \sum AV$

► Le nivellement direct par rayonnement

La première mesure (lecture ARRIERE) est effectuée sur un point de référence R d'altitude connue, de façon à déterminer l'altitude du plan de visée. Les lectures effectuées sur les autres points sont considérées comme des lectures AVANT.

A partir de là, toutes les altitudes sont déterminées par différence par rapport à ce plan. Cette méthode permet de lever rapidement un semis de points matérialisés (sondages, points de berges, de fonds...). Elle présente néanmoins l'inconvénient de n'offrir aucun contrôle sur les déterminations : toute erreur de lecture est indétectable et fatale.



► **Le nivellement direct par cheminement encadré**

Lorsque la distance séparant 2 points A et D à niveler est trop grande, on procède par cheminement, ensemble de nivelées qui vont se succéder. Cette méthode est plus sûre, quant aux éventuelles erreurs de lecture, et plus intéressante du point de vue de la précision des déterminations : on dispose de méthodes de compensation des erreurs très efficaces. Plusieurs règles sont appliquées pour minimiser l'influence des erreurs systématiques et accidentelles : les portées équidistantes, les contrôles de marche, le contrôle sur fermeture.

Un cheminement encadré part d'un point O connu en altitude, passe par un certain nombre de points intermédiaires qui seront conservés ou non, aboutit sur un autre point connu N.

► Le nivellement direct par cheminement encadré

Détermination de la dénivelée entre les points A et D

On effectue trois stations pour emprunter les deux points intermédiaires B et C.

La dénivelée entre A et D est : $\Delta H_{AD} = \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CD}$ Avec :

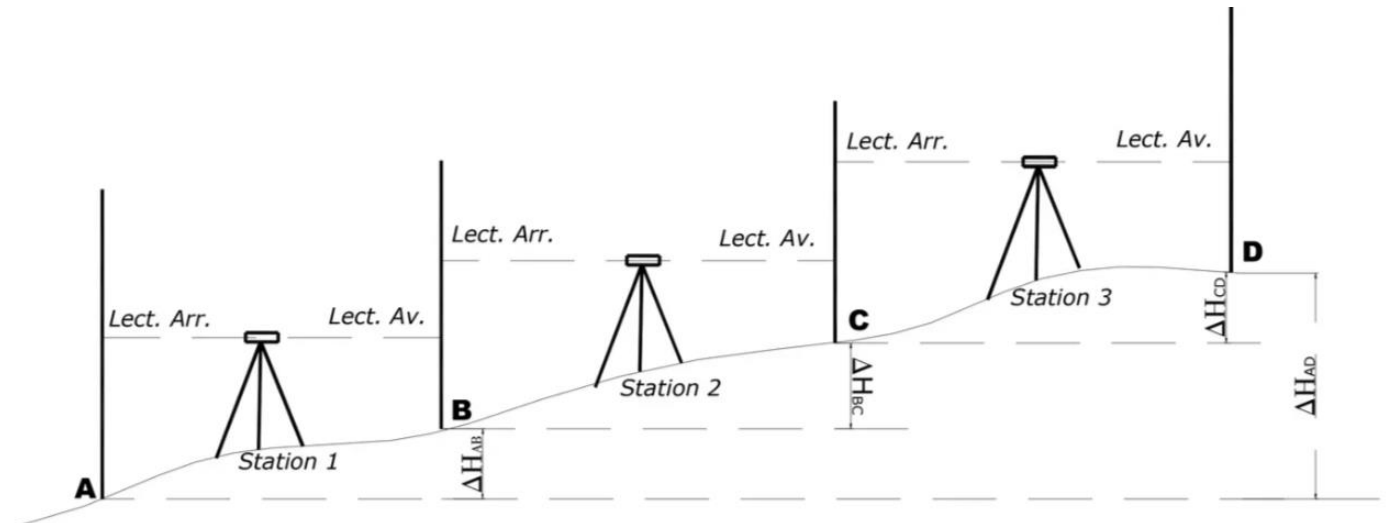
$\Delta H_{AB} = \text{lect. arr. A} - \text{lect. av. B}$

$\Delta H_{BC} = \text{lect. arr. B} - \text{lect. av. C}$

$\Delta H_{CD} = \text{lect. arr. C} - \text{lect. av. D}$

Formule générale :

► $\Delta H_{AD} = \sum \text{lect. arr.} - \sum \text{lect. av.}$



► **Résumé du nivellement géométrique**

Le principe du nivellement géométrique repose sur la mesure d'une différence d'altitude, ou d'une succession de différences, par rapport à un plan ou un point connu. Cette méthode est réalisée à l'aide d'un niveau, et la précision des mesures peut varier de 1/10ème de mm à quelques mm, selon les matériels et protocoles utilisés.

► **Relation fondamentale pour un nivellement par cheminement :**

$Z_{\text{arrivée}} = Z_{\text{départ}} + \sum (\text{Lect AR} - \text{Lect AV})$ où :

Lect AR représente les lectures arrière (par rapport à la direction de l'itinéraire), Lect AV lectures avant.

► **Calcul de l'écart de fermeture (lorsque les altitudes de départ et d'arrivée sont connues) :**

$$ef = Z_{arr_{obs}} - Z_{arr_{réel}}$$

► **Calcul de l'écart de fermeture (lorsque les altitudes de départ et d'arrivée sont connues) :**

L'erreur de fermeture ef , dont la valeur absolue doit être strictement inférieure à la tolérance T_z , est généralement attribuable aux erreurs accidentelles. Cette erreur doit être compensée sur l'ensemble du cheminement par une correction $C_z = -ef$.

► **Formule de répartition de la correction :**

c_{zi} = correction appliquée au point i ,

D_i = distance associée au tronçon i ,

$\sum D_i$ = distance totale du cheminement.

$$c_{zi} = \frac{C_z \cdot D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}$$

► **Remarques importantes :**

Cet ajustement ne corrige pas les erreurs de lecture terrain, mais répartit simplement l'écart sur l'ensemble des mesures.

La correction peut également être distribuée :

- Proportionnellement au nombre de dénivelées, ou
- En fonction des valeurs absolues des dénivelées.

► **Le nivellement direct par cheminement fermé**

Le cheminement fermé, encore appelé boucle, part d'un point connu, passe par un certain nombre de points intermédiaires qui seront conservés ou non, et aboutit sur le point de départ ; il s'agit donc d'un cheminement encadré dont le point de départ est confondu avec le point d'arrivée.

Avantages de cette méthode :

- Permet de réaliser un nivellement même lorsqu'on ne dispose que d'un seul repère pour le chantier ;
- Offre la possibilité d'attribuer une altitude arbitraire à un point fixe et durable, puis de calculer toutes les autres altitudes par rapport à lui. Un rattachement au système général pourra toujours être effectué ultérieurement.

NIVELLEMENT INDIRECT

► PRINCIPE DU NIVELLEMENT INDIRECT TRIGONOMETRIQUE

Le nivellement indirect trigonométrique permet de déterminer la dénivelée ΔH 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 figure).

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

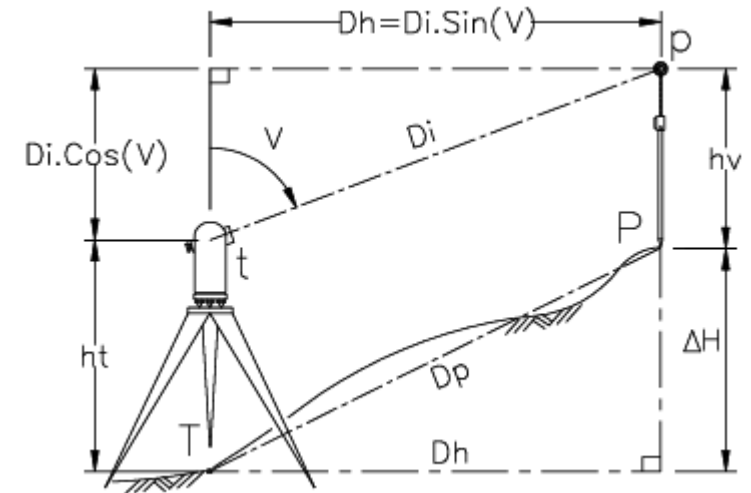
ΔH_{TP} est la dénivelée de T vers P.

ht est la hauteur de station (ou hauteur des tourillons).

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** : $Dh_{TP} = Di \cdot \sin V$

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



► CHEMINEMENT EN NIVELLEMENT INDIRECT

Relier deux points A et B d'altitudes connues avec précision, en utilisant des visées réciproques et des mesures redondantes pour contrôler les erreurs.

► 1. Préparation des stations

Stationnement : Chaque sommet intermédiaire ($S_1, S_2, \dots, S_n$) doit être stationné.

Visées réciproques :

- **Visée directe (d)** : Mesure de A vers S_i .
- **Visée inverse (i)** : Mesure de S_i vers A.

► 2. Mesures angulaires

Lectures du cercle vertical :

- Effectuer **deux lectures** à chaque station (CG = Cercle Gauche, CD = Cercle Droit) pour éliminer les erreurs instrumentales.

► 3. Calcul des dénivelées

Dénivelée directe (ΔD) : Calculée depuis A vers S_i .

Dénivelée inverse (ΔI) : Calculée depuis S_i vers A.

► Contrôle de cohérence :

- L'écart entre ΔD et ΔI ne doit pas dépasser l (tolérance, p.ex. 1 cm).
- Si l'écart est acceptable, retenir la moyenne : $\Delta H = (\Delta D + \Delta I) / 2$

► 4. Règle du signe

Signe de la dénivelée :

- **Positif (+)** : Visée ascendante (si $V < 100$ grades).
- **Négatif (-)** : Visée descendante (si $V > 100$ grades).

Remarque : Le signe est toujours déterminé par la **visée directe**.

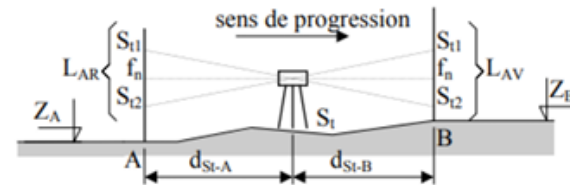
► Résumé du cours

6. NIVELLEMENT DIRECT

$$Z_B = Z_A + \Delta Z \quad \text{avec} \quad \Delta Z = L_{AR} - L_{AV}$$

$$d_{St-A} = 100.(S_{t1} - S_{t2}) \quad (\text{lect. arrières})$$

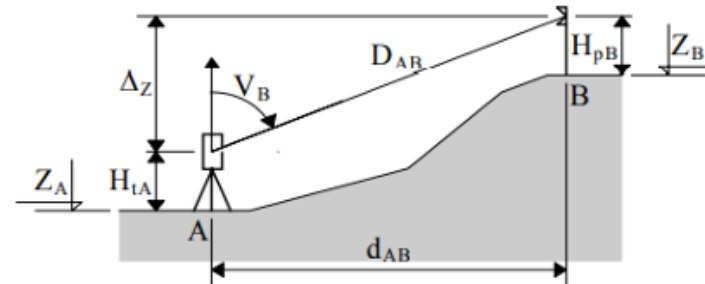
$$d_{St-B} = 100.(S_{t1} - S_{t2}) \quad (\text{lect. avant})$$



7. NIVELLEMENT INDIRECT

$$Z_B = Z_A + h_{tA} + \Delta Z - h_{pB}$$

$$\text{Dénivelée} \quad \Delta Z = \frac{d_{AB}}{\tan V_B}$$



- Exercice : Vous avez à niveler un cheminement en aller simple partant d'un point A d'altitude $Z_A=50.000$ m vers un point J d'altitude $Z_J=57394$

Station	Point visé	Lect AR	Lect AV	Dénivelées brutes		Altitudes brutes	Compensation	Altitudes définitives
				+	-			
S1	A	3,868	-			50,000		50,000
S2	B	0,736	1,226	2,642		52,642	0,015	52,657
S3	C	4,525	2,845		-2,109	50,533	0,030	50,563
S4	D	4,335	1,732	2,793		53,326	0,045	53,371
S5	E	2,164	1,612	2,723		56,049	0,060	56,109
S6	F	3,203	4,576		-2,412	53,637	0,074	53,711
S7	G	4,199	1,419	1,784		55,421	0,089	55,510
S8	H	3,897	1,049	3,15		58,571	0,104	58,675
S9	I	1,418	1,811	2,086		60,657	0,119	60,776
	J	-	4,815		-3,397	57,260	0,134	57,394
Somme		28,345	21,085	15,178	-7,918	7,260		-