

III.L'ALTIMÉTRIE OU NIVELLEMENT

1. GÉNÉRALITÉ

Définition

Le nivellement est une opération topographique qui permet de déterminer l'altitude des points du terrain à partir d'un point de référence.

Point dont on connaît l'altitude

Remarque: il existe deux types de points de référence:

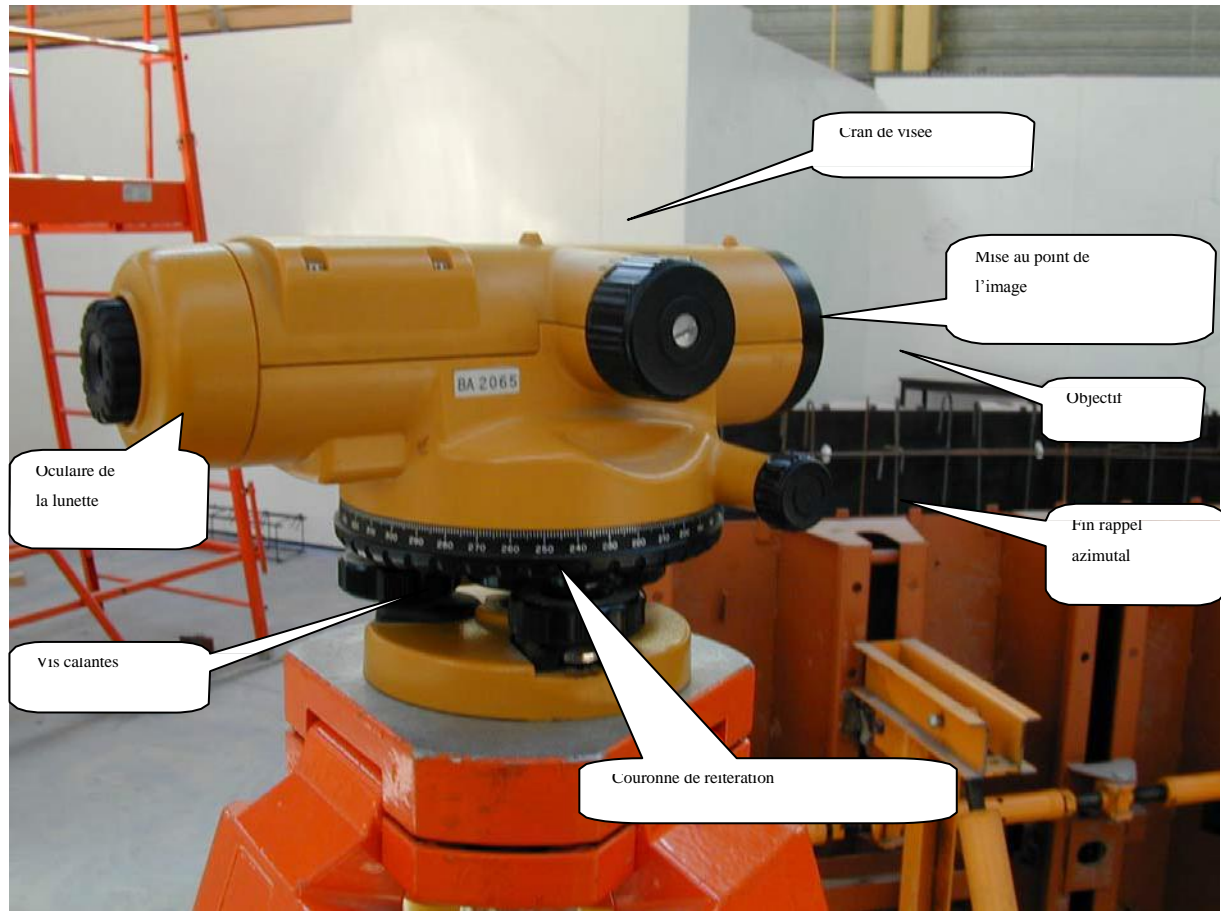
- local: point défini sur le chantier comme étant la référence
- NG: (nivellement général) points établis à vie et représentés par des bornes métalliques encastrées dans des constructions particulières et immuables (château d'eau, ponts...)

Le nivellement une nécessité pour

- La représentation du relief du terrain.
- Connaissance des pentes pour l'évacuation des eaux.
- Calculs de déblais et remblais.
- Représentation des profils de terrains.
- Métrologie industrielle (contrôle de planéité...)
- Contrôle de tassement
- Etc...



PRESENTATION DU NIVEAU DE CHANTIER AUTOMATIQUE SLOM SNA:



2. LES MATÉRIELES

2.1. Le niveau :

Le niveau permet de matérialiser un plan horizontal grâce à son fil niveleur.

Cette horizontalité se règle grâce à une nivelle sphérique (et parfois une nivelle torique) et un jeu de trois vis calant.



Il existe trois types de niveaux, les niveaux :

- de chantier (écart type au kilomètre : ± 12 mm)
- d'ingénieur (écart type au kilomètre : ± 5 mm)
- de précision (écart type au kilomètre : ± 1 mm)
- plus le laser rotatif.

2.2. Le trépied:

Composé d'une platine métallique, permettant le serrage à l'aide d'une vis à pompe. Il est généralement en bois (limite les interférences avec l'appareil et évite les variations dimensionnelles trop importantes) à jambes coulissantes munies de sabots et constitue l'assise du niveau.



2.3. La mire :

Sorte de règle plate pliable possédant une ou plusieurs graduations.

3. PRINCIPE DU NIVELLEMENT

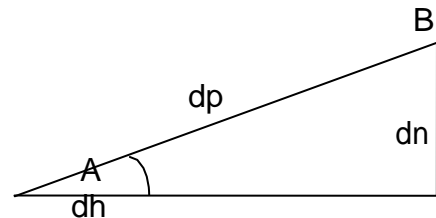
Le nivellement peut s'effectuer selon trois procédés différents qui sont par ordre de précision décroissante :

Le nivellement indirect ou trigonométrique : (pour information)

Principe : Pour déterminer la dénivelée (dn) entre les points A et B, on calcule ou l'on mesure la distance entre les points A et B et l'on mesure l'inclinaison de (i) de AB

- Si AB a été mesurée selon la pente :

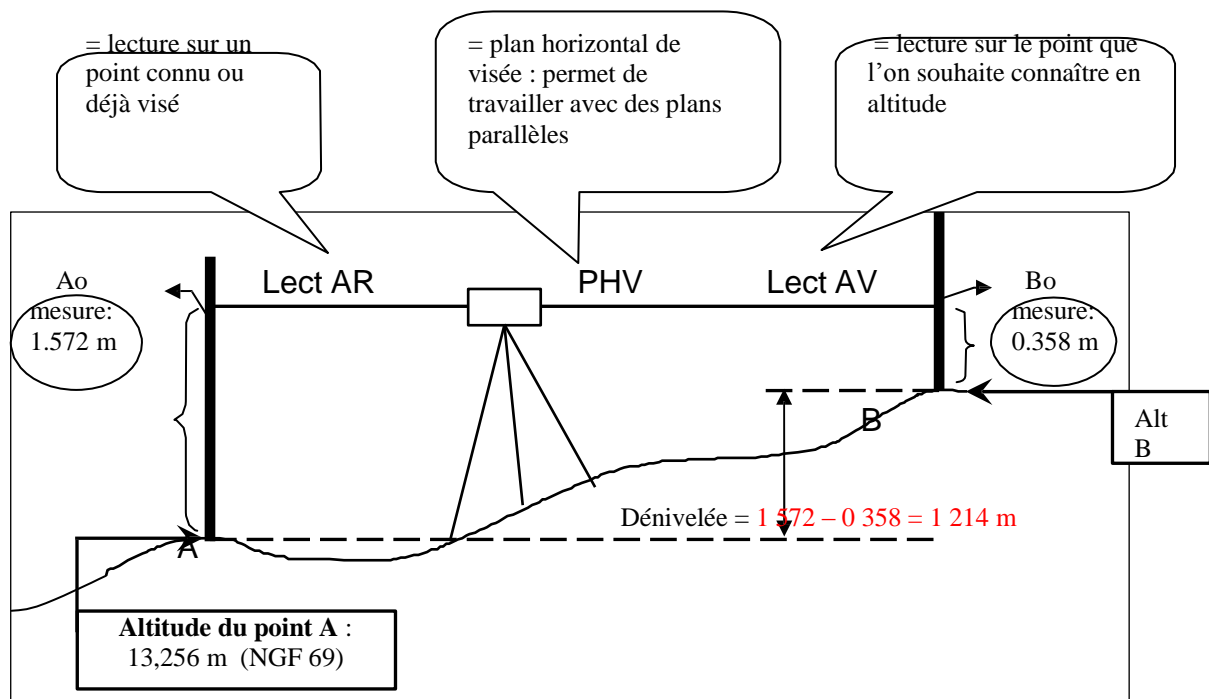
$$\text{dénivelée } dn = dp \times \sin i$$



- Si AB a été mesurée ou réduite à l'horizontale :

$$\text{dénivelée } dn = dh \times \tan i$$

3.2. Le nivellement direct :



Calcul de l'altitude du point B par rapport au point de référence A.

Principe : Le nivellement direct s'appuie exclusivement sur des visées horizontales. En général, il est exécuté avec un niveau optique. C'est le niveau qui définit le plan de référence.

Grâce à la visée sur la mire, il est possible de lire la distance verticale entre le point A et le plan de référence du niveau = 1.572 m.

On obtient ainsi l'altitude du PHV (Plan Horizontal de Visée) :

$$\text{Alt PHV} = \text{Alt du point A} + \text{Lect Arrière sur A}$$

Une visée sur le point B permettra également de lire la distance verticale entre ce point B et le plan de référence du niveau = 0.358 m.

Expression de la dénivelée (= différence d'altitudes) :

par convention, la dénivelée se calcule en posant :

$$D_n = \text{Visée Arrière} - \text{Visée Avant}$$

De par la convention :

- Si la dénivelée entre A et B est positive, cela signifie que l'on monte pour passer du point A au point B

Inversement,

- Si la dénivelée entre A et B est négative, cela signifie que l'on descend pour passer du point A au point B

Expression de l'altitude du point B

$$\text{Alt B} = \text{alt A} + (\text{valeur de la dénivelée})$$

Application numérique (voir les valeurs ci-dessus)

Calcul de la dénivelée (= différence d'altitudes) pour l'exemple ci dessus

$$\text{Dénivelée} = 1.572 - 0.358 = 1.214 \text{ m}$$

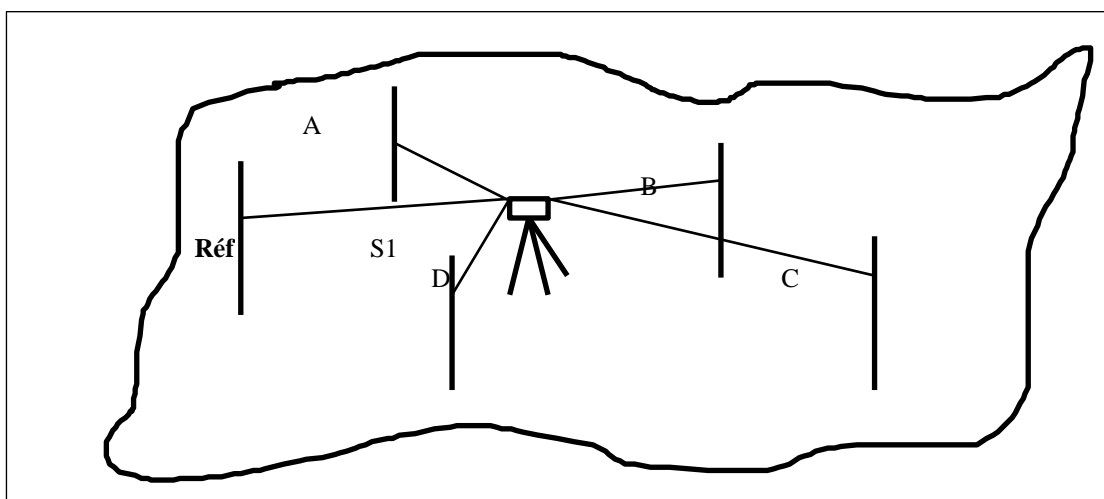
Calcul de l'altitude du point B

$$\text{Alt B} = 13.256 + 1.214 = 14.470 \text{ m}$$

3.3. Différentes méthodes de nivellement direct

3.3.1. Nivellement rayonné (ou par rayonnement).

Croquis

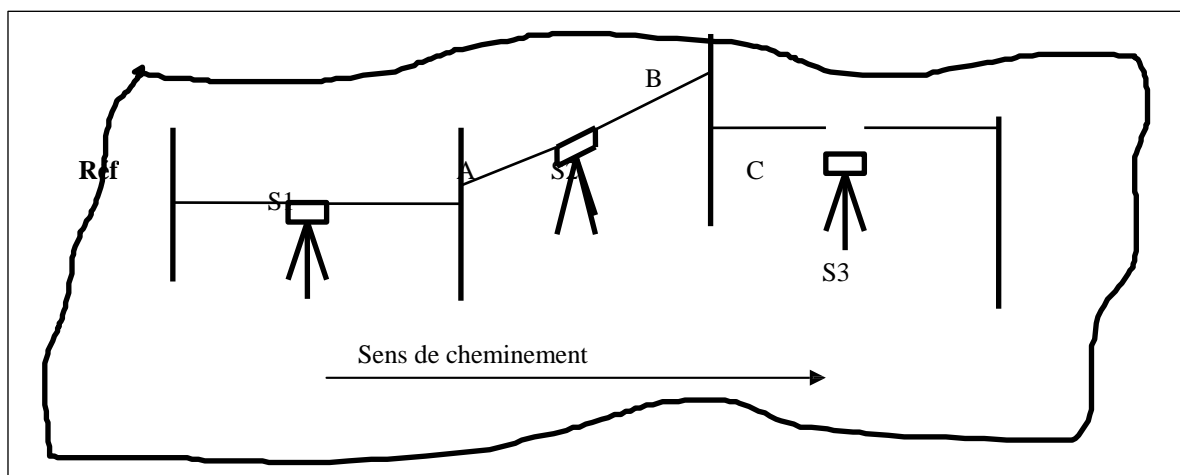


Le nivellement par rayonnement se fait à partir d'une seule station.
On détermine les altitudes des points environnant (ici A, B, C et D) par rapport à un point de référence (ici Réf).

Tous les points rayonnés sont des lectures avant, seul le point de référence est une lecture arrière.

3.3.2. Nivellement cheminé (ou par cheminement)

Croquis:



Le nivellement par cheminement se réalise en plusieurs stations pour lesquelles on effectue un nivellement direct. Le point de visée avant devient suite à la progression point de visée arrière.

Le cheminement peut être utilisé lorsque le point d'arrivée n'est pas accessible en une seule station pour différentes raisons (distance, obstacles, dénivelée..). On intercale alors plusieurs points (ici A, B) de manière à pouvoir calculer l'altitude du point final voulu.

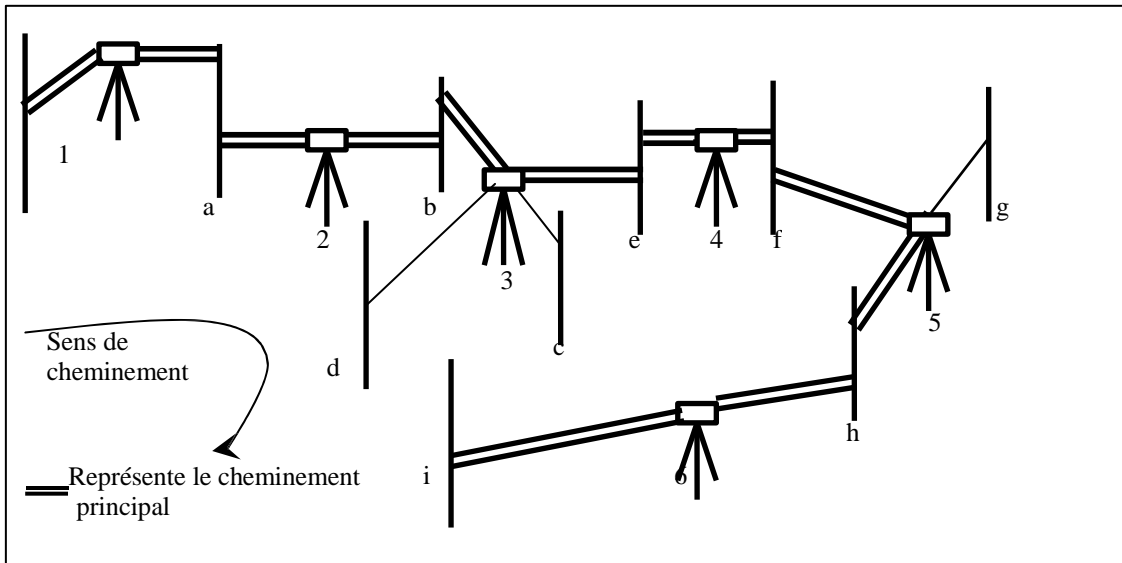
La distance maximale de visée vaut : 30 m \approx 30 pas.

On détermine l'altitude de D, de proche en proche par le calcul des altitudes de B et C.

3.3.3. Nivellement mixte

Le nivellement mixte est une combinaison du nivellement cheminé et du nivellement par rayonnement.

Croquis

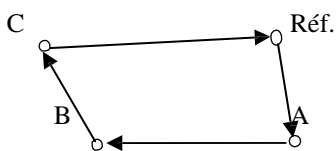


Réf, a, b, e, f, h et i représentent le cheminement principal grâce auquel il est possible de définir l'écart de fermeture du nivellement.

3.4. Méthodes de contrôle du nivellement direct

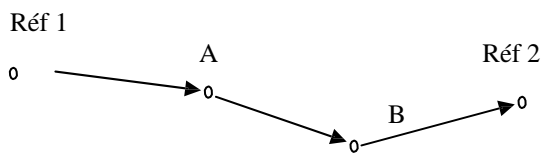
Il existe trois types de cheminements qui se différencient à la fois par le mode opératoire mais surtout pour la précision qu'ils engendrent.

Le cheminement fermé. (Grande influence du point de départ)



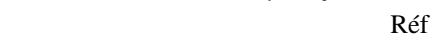
La seule référence est le point de Référence (aucune erreur est autorisée sur son altitude), on détermine successivement les altitudes des points A, B, C à partir de la seule altitude connue : celle de la référence.
Contrôle: La somme des dénivelées est nulle.

Le cheminement encadré. (Le plus précis)



Les altitudes des points de Référence N°1 et N°2 sont connues.
Contrôle: L'altitude du point Réf 1 plus la somme des dénivelées est égale à l'altitude du point Réf 2.

Le cheminement. (ne jamais utiliser!)



Altitude du point D inconnue.
Contrôle: aucun.

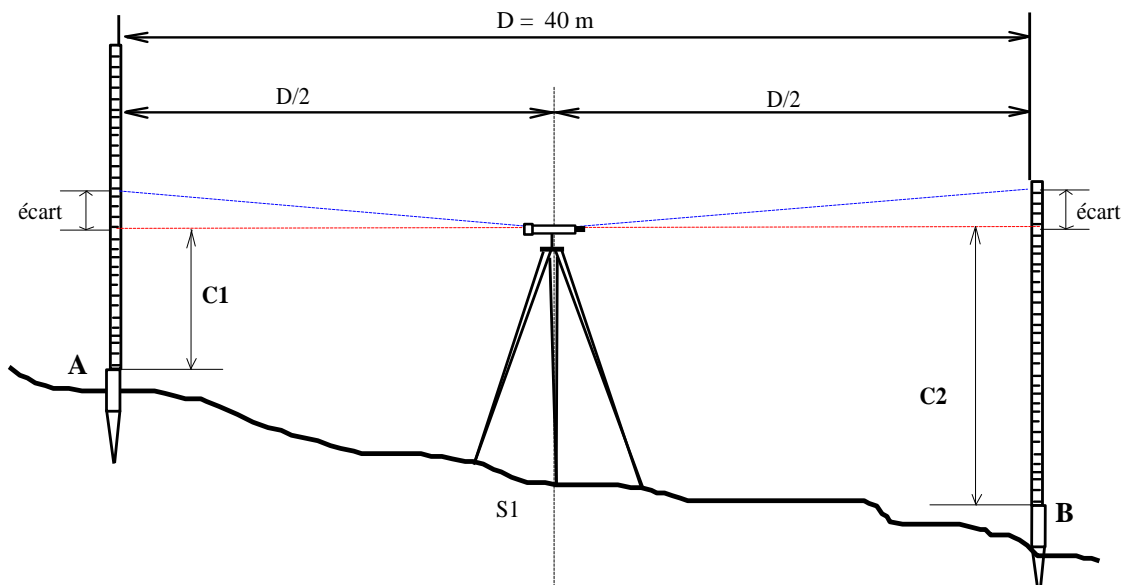
4. VÉRIFICATION DE LA PRÉCISION D'UNE LUNETTE

La nivellement sphérique doit être bien réglée. Si le niveau n'est pas automatique, il faudra régler la nivellement à coïncidence à chaque lecture.

Effectuer le nivellement de deux points distants d'environ 40 m. Se placer en S1 au milieu de cette distance à ± 20 cm.

- Faire une première visée arrière et avant comme indiqué ci-dessous, relever les cotes C1 et C2

On obtiendra la dénivelée réelle = dénivelée exacte



Calculons la dénivelée entre A et B

$D_n(a-b) = \text{Lecture Arrière Réelle} - \text{Lecture Avant Réelle}$

$D_n(a-b) = (C1 + \text{écart}) - (C2 + \text{écart}) = C1 + \text{écart} - C2 - \text{écart} = C1 - C2$

Conclusion :

Le fait de se placer à mi-distance des points visés permet d'obtenir la dénivelée exacte (celle que l'on obtient avec des visées parfaitement horizontales)

On annule ainsi l'erreur de collimation qui correspond à l'angle que fait la visée avec l'horizontale.

$D_n(a-b) = \text{dénivelée exacte}$

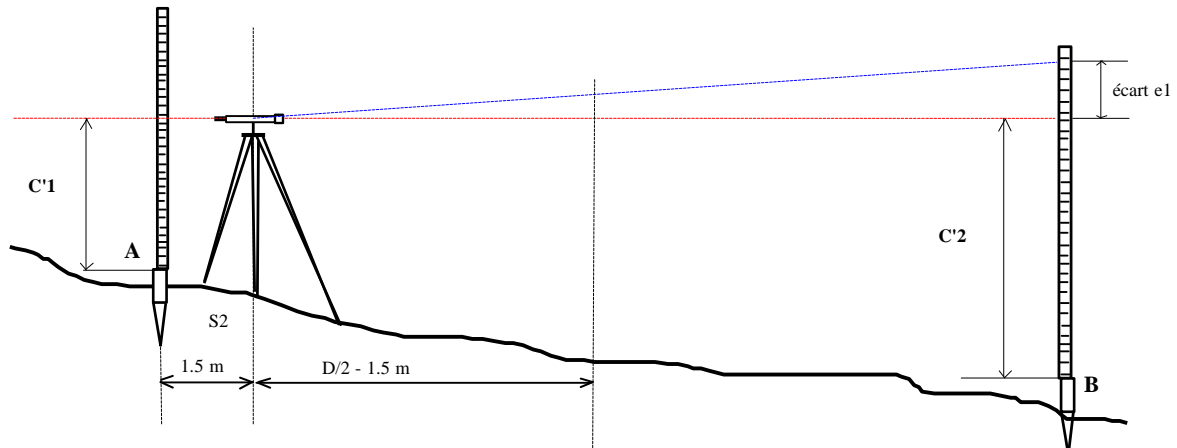
Afin de vérifier l'horizontalité de la visée, il faut se décaler le plus près possible du point de visée arrière (distance de mise au point ~ 1.5 m). On considère alors que la visée se fait à l'horizontale du fait que l'angle de collimation est faible et que l'on est très proche du point visé.

Tout l'écart de visée par rapport à l'horizontal se fera intégralement sur le point de visée avant.

Se placer en S2 à environ 1.5 m du point de visée arrière.

- Faire une deuxième série de lectures C'1 et C'2 depuis une nouvelle station S2:

On obtiendra la dénivelée probable = dénivelée fausse



Calculons ici la dénivelée entre A et B

$D_n (a'-b') = \text{Lecture Arrière Réelle} - \text{Lecture Avant Réelle}$

$D_n (a'-b') = (C'1) - (C'2 + \text{écart } e1) = C'1 - C'2 - \text{écart } e1$

Conclusion :

Le fait de ne pas se placer à mi-distance des points visés nous fait obtenir une dénivelée entachée d'un écart (e1 ici).

On doit avoir $C1 - C2$ (dénivelée exacte) = $C'1 - C'2$ (dénivelée probable) si l'écart e1 est nul.

C'est à dire si et seulement si le niveau optique est correctement réglé.

Dans la pratique, si on trouve un écart de plus de 3 mm entre les deux dénivelées, il convient de faire corriger l'appareil.

6. LES NIVEAUX NUMÉRIQUES



Cette technique est très récente pour le nivellement : le niveau numérique NA2000 de Leica à lecture sur mire à code-barres est commercialisé depuis 1990 (la première évolution en NA2002 date de 1993).

6.1. Principe

La lecture sur la mire est prise en charge par un système de reconnaissance d'une portion de code-barres lue sur une mire spécifique (voir fig. 5.28.). L'image de la mire utilisée est mémorisée dans l'appareil (sous forme numérique) et ce dernier détecte l'endroit de la mire sur lequel pointe l'opérateur par comparaison entre l'image numérisée du secteur de mire visible et l'image virtuelle en mémoire morte.

Cette phase de corrélation permet de mesurer la lecture sur la mire et l'éloignement de la mire à l'appareil (distance horizontale station mire) avec une précision allant jusqu'à $\pm 0,01$ mm sur la hauteur, et de l'ordre de ± 1 à ± 5 cm sur la distance horizontale et sur des portées classiques jusqu'à 30 m (± 3 à ± 5 mm à 10 m, précision comparable à celle d'un ruban de classe III).

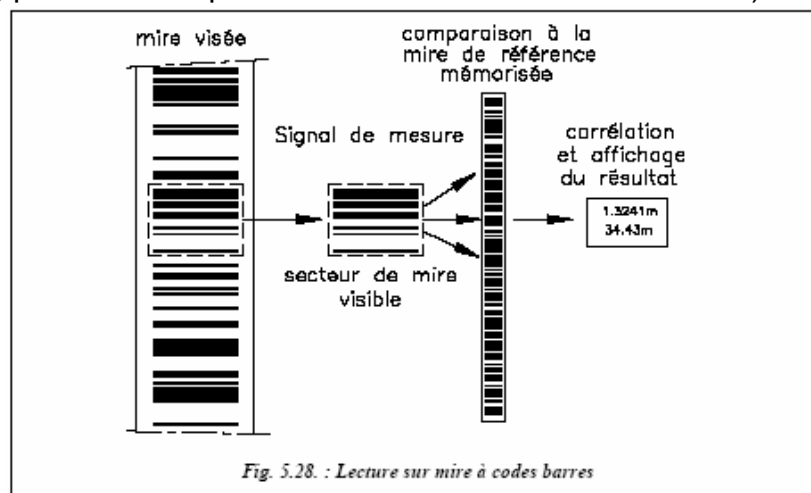


Fig. 5.28. : Lecture sur mire à codes barres

Le faisceau lumineux issu de la mire est séparé dans le répartiteur optique de l'appareil en un faisceau de lumière visible pour l'opérateur et en un faisceau de lumière infrarouge qui est dévié vers une photodiode pour les mesures.

L'ensemble d'une séquence de mesure se découpe en quatre étapes pour un temps total inférieur à trois secondes:

- visée et mise au point (par l'opérateur),
- déclenchement de la mesure numérique (l'appareil actif automatiquement le contrôle du compensateur),

- lecture de la mire (de 0,004 à 1 seconde en fonction de la distance de la mire).
- corrélation approximative (de 0,3 à 1 seconde),
- corrélation fine (de 0,5 à 1 seconde) et affichage de lecture et de la distance.

Le principal avantage est d'éliminer toute faute de lecture ou de retranscription due à l'opérateur, et de pouvoir enchaîner directement les mesures de terrain par un traitement informatique. Le gain de temps, estimé à 50 % par le constructeur, autorise donc un amortissement rapide de l'appareil.

La rapidité est assurée par le fait que la précision de la mesure ne dépend pas de la qualité de la mise au point et que le centrage du fil vertical du réticule sur la mire peut être approximatif. L'opérateur pointe donc plus rapidement. La qualité de la mise au point influence cependant le temps de mesure en augmentant le temps de corrélation.

De nombreux programmes permettent d'automatiser le nivellement : par exemple, le calcul de contrôle de marche automatique lors d'un cheminement double, ou les calculs d'aide à l'implantation, ou le réglage de l'appareil (mesure et prise en compte de l'inclinaison de l'axe optique).

La mesure de distance est plus précise que par stadimétrie mais n'est utilisable que sur de petites portées. Cela offre la possibilité d'utiliser ces appareils pour des levés de détail

« grossiers » d'avant-projets (courbes de niveaux, etc.) ou des implantations planimétriques nécessitant peu de précision (terrassements, etc.) grâce à leur cercle horizontal.

6.2. Limites d'emploi

La largeur de mire minimale à intercepter est de 14 mm à 100 m (ou 0,3 mm à 2 m). La largeur du code d'une mire standard étant de 50 mm (22 mm pour les mires Invar), ceci laisse à l'opérateur une importante marge de manoeuvre dans le centrage de la mire.

L'orientation de la mire vers le niveau autorise une rotation allant jusqu'à 50 gon autour de son axe vertical.

Le flamboiement de l'air perturbe le système de mesure puisqu'il provoque une diminution du contraste de l'image. Les perturbations du compensateur dues à des vibrations, champs magnétiques, etc. est le même que sur les autres niveaux automatiques. Un programme de mesures répétitives permet de réaliser une série de mesures, d'en afficher directement la moyenne ainsi que l'écart type afin d'apprécier immédiatement la précision de mesure.

Les variations d'éclairage de la mire sont prises en compte par le système de mesure (zones d'ombre sur la mire). Le temps de mesure peut être augmenté en cas de mauvaises conditions de luminosité.

L'appareil ne peut pas mesurer sous une lumière artificielle dépourvue de composante infrarouge.

Pour le recouvrement de la mire, la portion de code-barres minimale de la mire nécessaire à la lecture automatique est de 30 éléments de code, soit une projection de 70 mm du code mire sur le détecteur (un élément de base mesure 2,025 mm ; une mire comporte 2 000 éléments répartis sur 4,05 m). Le logiciel de corrélation est capable d'identifier une zone couverte (branchages, etc.) en fonction des zones adjacentes et de corriger un recouvrement. Le seuil de fiabilité des mesures a été fixé à 20 % de recouvrement au maximum.

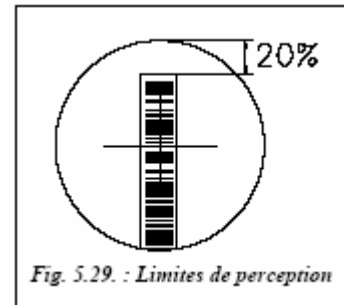


Fig. 5.29. : Limites de perception

De même, en nivellement de précision, il faut limiter la zone libre au-dessus de la mire à 20 % de la hauteur interceptée pour conserver une bonne précision de corrélation (voir fig. 5.29.).

6.3. Caractéristiques des niveaux numériques.

Le tableau suivant détaille les caractéristiques des niveaux numériques Leica.

Modèle	NA2002	NA3003
Écart type (mm / 1 km chem. double avec mire Invar)	± 0,9	± 0,4
Plage de mesure	1,8 à 60 m	1,8 m à 60 m
Résolution de la dénivelée	0,1 mm	0,01 mm
Précision sur la distance à 10 m	3 à 5 mm	3 à 5 mm
Temps de mesure	4 s	4 s
Grossissement	24	24
Champ à 100 m (m)	3,5	3,5
Précision de calage (dmgon)	± 2	± 1
Plage de débattement (cgon)	± 20	± 20
Sensibilité de la nivelle sphérique (cgon / 2 mm)	13	13
Masse (kg)	2,5	2,5

Le NA3003 est un niveau numérique de précision utilisable en nivellement jusqu'à l'ordre I. Le NA2002 est un niveau numérique d'ingénieur utilisable en nivellement jusqu'à l'ordre II, avec mire Invar à code-barres.

On peut ajouter à cette gamme d'appareils numériques le modèle RENI002A, de Zeiss, qui est un niveau à bulle semi-automatique de haute précision, dont seule la lecture de l'appoint micrométrique est enregistrée numériquement. L'opérateur entre manuellement les valeurs entières lues sur la mire.

Remarque

La possibilité de lecture automatique de ces appareils permet d'envisager un emploi en mode automatique pour une surveillance d'ouvrage. Ils sont alors dotés d'un dispositif de mise au point automatique et couplés à un dispositif d'enregistrement et/ou de transmission de données.

IV. DIVERS EXERCICES AVEC LE NIVEAU DE CHANTIER

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

Les instruments utilisés doivent permettre de positionner des alignements ou des points : théodolites, équerres optiques, rubans, niveaux, etc. L'instrument choisi dépend de la précision cherchée, elle-même fonction du type d'ouvrage à implanter : précision millimétrique pour des fondations spéciales, centimétrique pour des ouvrages courants, décimétriques pour des terrassements, etc. Les principes suivants doivent être respectés :