

Nivellement direct et indirect

A- Nivellement direct :

5.1 Rappels sur le nivellement direct

Le nivellement est la partie de la topographie qui traite le relief du sol et sa représentation sur les plans ou les cartes

La surface de référence ou plan de comparaison (figure 5.1) est le niveau des mers et des océans au repos ou « le géoïde ».

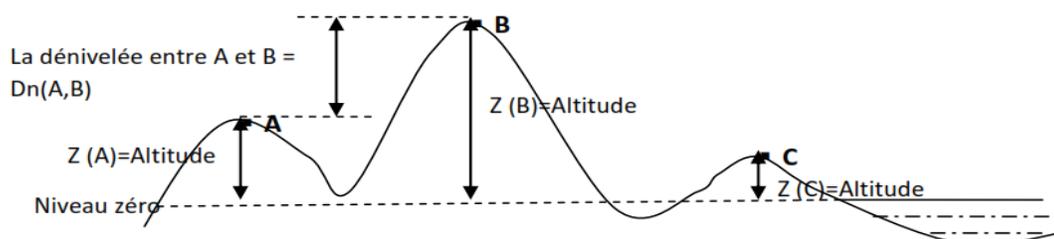


Fig. 5.1

Les repères : Ce sont des points connus en altitudes avec une grande précision par les services topographiques pour la détermination des altitudes des points.

5.2 Procédés de nivellement

- Le nivellement direct (niveau)
- Le nivellement indirect (tachéomètre ou le théodolite)

5.3 Le nivellement direct

Appelé **nivellement géométrique**. Il se base sur une visée horizontale à travers un niveau qui définit un plan de visée, où on lit une lecture pour le calcul des altitudes et dénivelées.

5.3.1 Principe du nivellement direct

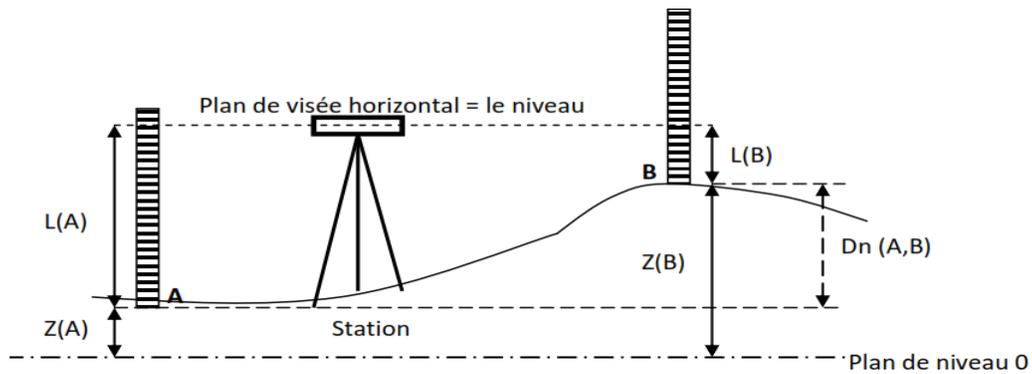
Soit un point A dont l'altitude est connue et un point B dont on cherche à déterminer l'altitude. Le nivellement consiste à déterminer la dénivelée entre les 2 points A et B à l'aide d'un niveau et d'une mire (figure 5.2).

Le niveau est placé entre les A et B, la mire est placée successivement sur les 2 points. L'opérateur lit $L(A)$ et $L(B)$. La différence des lectures sur la mire est égale à la dénivelée entre A et B :

La dénivelée de A vers B est $Dn(A, B) = L(A) - L(B)$.

La dénivelée de B vers A est $Dn(B, A) = L(B) - L(A)$.

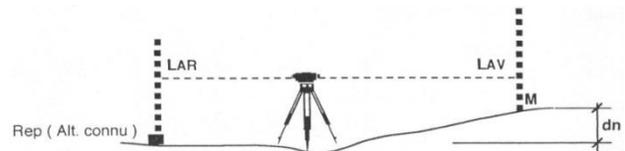
$$Z(B) = Z(A) + Dn(A,B) = Z(A) + [L(A) - L(B)].$$



5.3.1.1 Nivellement direct simple

$$\text{Alt } M = \text{Alt}_{\text{Rep}} + (L_{\text{AR}_{\text{Rep}}} - L_{\text{AV } M})$$

(figure 5.3)

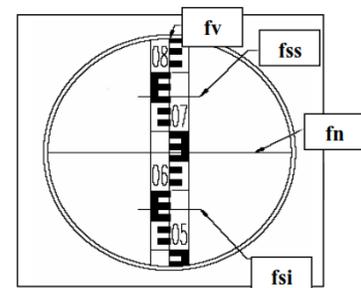


- Lectures sur la mire

La mire est une échelle linéaire tenue verticalement (comporte une nivelle sphérique). La précision de sa graduation et de son maintien verticale influent sur la précision de la dénivelée mesurée.

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

- le fil stadimétrique supérieur fss;
- le fil stadimétrique inférieur fsi;
- le fil niveleur fn;
- le fil vertical fv.



(Figure 5.4)

- Principe de portées égales

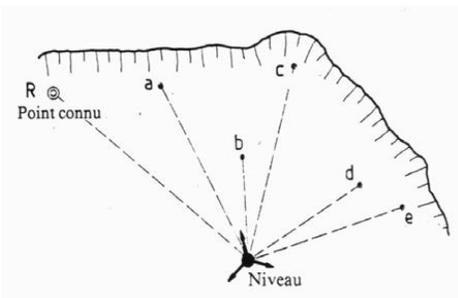
Si le niveau est quelque peu dérégulé, cela entraînerait pour les lectures sur mire un décalage dû à une erreur de collimation. Si on respecte des portées égales, même avec un niveau dérégulé, cette erreur s'annule et la dénivelée obtenue est correcte.

Nous distinguons deux méthodes de nivellement direct :

- Le nivellement direct par rayonnement ;
- Le nivellement direct par cheminement.
- Le nivellement direct mixte.

5.3.2 Nivellement par rayonnement

Le rayonnement altimétrique est le nivellement de plusieurs points situés dans différentes directions, à partir d'une même station. (Figure 5.5) L'instrument

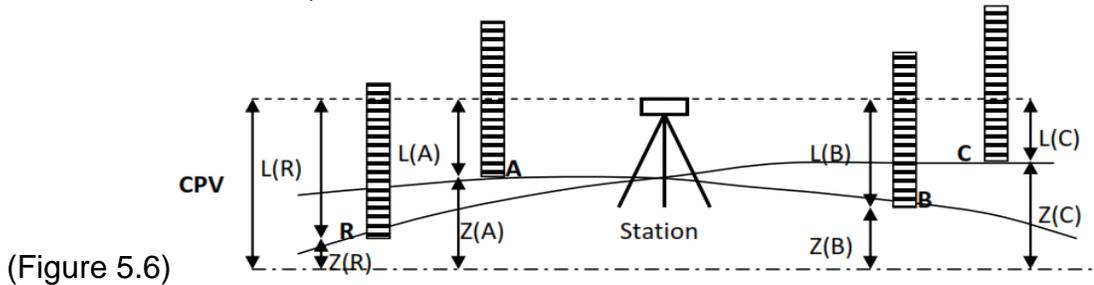


est placé dans une zone centrale par rapport aux points.

La première lecture est faite sur la mire placée sur le point connu en altitude ; on obtient la visée arrière (Lar).

Ensuite sans changer le niveau de place, il suffit de lire la côte sur chaque point, on obtient alors des visées avant (Lav).

Soit R le repère d'altitude connue, l'appareil étant en station (figure 5.6). On peut déterminer les altitudes de : A, B et C



(Figure 5.6)

Les calculs sont simples :

On a le CPV (côte du plan de visée) qui est égale à :

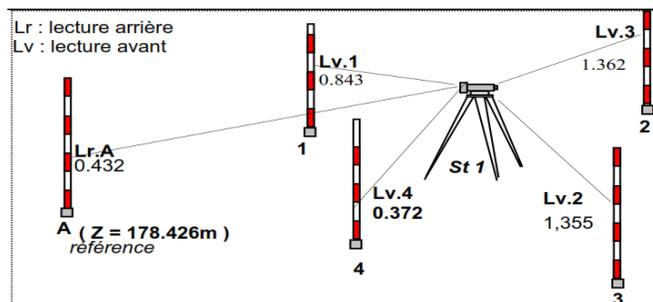
$$CPV = L(R) + Z(R) = L(A) + Z(A) = L(B) + Z(B) = L(C) + Z(C)$$

Les points à viser	Les lectures sur mire L	CPV	Les altitudes Z
R	L(R)	CPV = L(R) + Z(R)	Z(R) connue
A	L(A)		Z(A) = CPV - L(A)
B	L(B)		Z(B) = CPV - L(B)
C	L(C)		Z(C) = CPV - L(C)

- Exemple sur le nivellement par rayonnement

Soit à niveler depuis la station st1 quatre points 1, 2, 3 et 4 et le point repère A, déterminer les altitudes des point cités, sachant que l'altitude de A est : Z = 178.426 m (Figure ci-contre).

Suivant le schéma on peut dresser le tableau suivant :



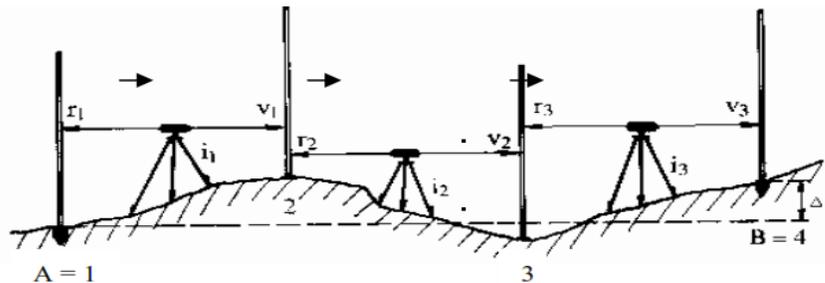
N° point	Fil niveleur (m)		Dénivelée (m)		Altitudes points (m)
	Arrière	Avant	+	-	
A	0.432	/			178.426
1	0.843	0.843		0.411	178.015
2	1.362	1.362		0.519	177.496
3	1.355	1.355	0.007		177.503
4	0.372	0.372	0.983		178.486
A	/	0.432		0.060	178.426

Remarque : Altitude du plan de visée PV = $178.426 + 0.432 = 178.858$ m

5.3.3 Nivellement direct par cheminement

Le cheminement altimétrique ou de nivellement est une succession de nivellements simples.

Figure : nivellement par cheminement



- **Cheminement "encadré" :**

Part d'un « point origine » connu en altitude, passe par un certain nombre de points intermédiaires et se referme sur un « point extrémité » différent du point d'origine et également connu en altitude, fermeture et contrôle sur un autre point connu en altitude. (Figure ci- contre).

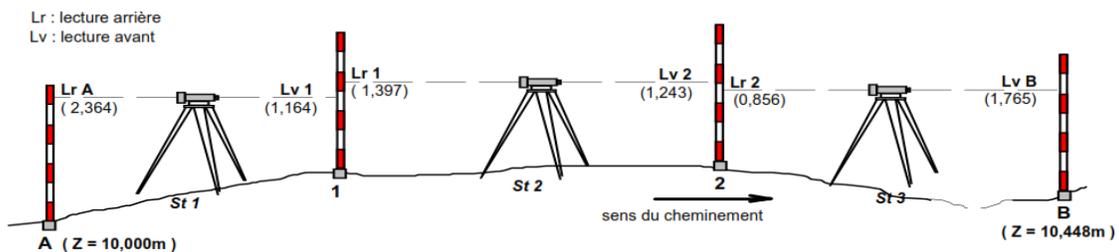
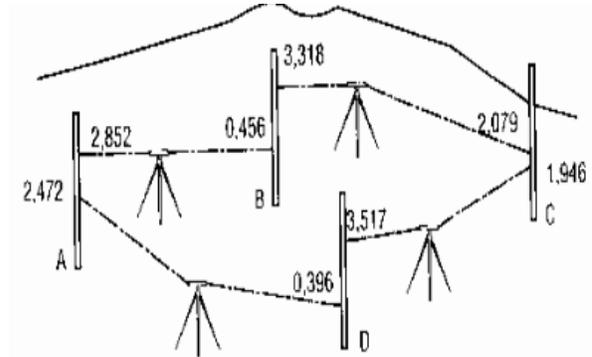


Figure : lectures avant et arrière sur mires

- Cheminement "fermé" :

Ce cheminement constitue une boucle retournant à son point de départ A, fermeture et contrôle sur le point de départ.

Figure : Lectures sur mires - cheminement fermé



- Cheminement "antenne" :

Lorsque l'on cherche à déterminer l'altitude d'un point extrémité B à partir d'une altitude 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, pas de contrôle possible.

5.3.3.1 Déroulement d'un cheminement

Etape 1 : Pour chaque station

Lecture sur mire et report sur carnet de levé.

Remarque:

- Après chaque déplacement du niveau le point avant devient point arrière.
- Les lectures des fils stadimétriques permettent un contrôle de la lecture du fil Niveleur.

Etape 2 : Contrôle de la fermeture

Que ce soit en cheminement fermé ou en cheminement encadré, un contrôle de fermeture est indispensable.

A chaque station l'opérateur et le porte mire commettent des erreurs dites accidentelles (erreur de verticalité de la mire, erreur de lecture sur la mire etc.).

Ces erreurs font que la différence d'altitude mesurée sur le terrain et celle calculée à partir des altitudes des points connus sont légèrement différentes :

C'est l'écart de fermeture (ef). Cette différence doit être inférieure à une tolérance pour être acceptée.

Pour un nivellement fermé :

Il suffit de faire la somme de toutes les dénivelées arrière moins la somme de toutes les dénivelées avant.

Pour un nivellement encadré :

C'est la même chose que pour un cheminement fermé, il suffit ensuite de soustraire la dénivelée trouvée (Δ mesurée) à la dénivelée réelle (alt de départ – alt arrivée)

Tolérance de fermeture : $T = \pm 4,6 \times \sqrt{n}$, Avec n: nombre de dénivelées

- Si $ef < T$ → Le cheminement est acceptable
- Si $ef > T$ → Il faut refaire le nivellement

Etape 3 : Calcul des dénivelés

La fermeture du cheminement étant acceptable, il est possible de calculer les dénivelées entre points.

Etape 4 : Compensation du cheminement et calcul des altitudes

Règle de compensation ARRETE DU 21 JANVIER 1980.

3 cas possibles : Calculer l'écart type

$Ecart\ type = \pm 1,7 \times \sqrt{n}$, Avec n: nombre de dénivelées

CAS 1: si l'écart de fermeture est faible ($<$ à l'écart type), la compensation est effectuée proportionnellement aux dénivelées.

$$C_i = \frac{-ef}{N}$$

ef : écart de fermeture,

n : nombre de dénivelées = nombre de stations.

Il suffit d'ajouter ou de retrancher « c », suivant son signe, à chaque dénivelée.

CAS 2 : l'écart de fermeture est compris entre l'écart type et la tolérance (écart type $<$ ef $<$ tolérance) et **on a relevé les fils stadimétriques** supérieurs et inférieurs.

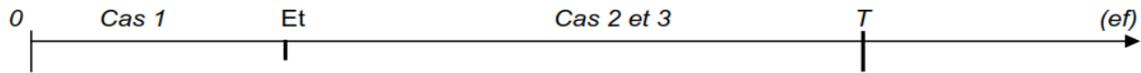
La compensation est proportionnelle à la longueur du cheminement

$$C_i = \frac{-ef}{\sum d_i} \times d_i \text{ avec } d_i \text{ distance partielle}$$

CAS 3 : l'écart de fermeture est compris entre l'écart type et la tolérance (écart type $<$ ef $<$ tolérance) mais **on n'a pas relevé les fils stadimétriques** supérieurs et inférieurs.

La compensation est proportionnelle à la dénivelée totale du cheminement.

$$C_i = \frac{-ef}{\sum |\Delta h_i|} \times |\Delta h_i| \text{ avec } |h_i| \text{ dénivelée entre 2 points}$$



• **Compensation :**

- Si E_f est inf à T , il faut compenser les dénivelées pour obtenir un écart nul.

• **Arrêté du 21/01/80 :**

Cet arrêté publié au Journal Officiel du 19 mars 1980 précise les tolérances applicables au nivellement (tableau ci-contre). L est la longueur totale du parcours en kilomètre. « N » est le nombre de dénivelées. « n » est le nombre de dénivelées au kilomètre.

($n = N/L$). La valeur limite $n = 16$ correspond à un cheminement dont la distance moyenne entre points est de 62,50 m soit une portée moyenne d'environ 30 m. Cette valeur est la limite sup. autorisée en nivellement de haute précision.

Tolérance $T_{\Delta H}$ en mm	$N \leq 16$	$N \geq 16$
Ordinaire	$4\sqrt{36L+L^2}$	$\sqrt{36N+N^2}/16$
Précision	$4\sqrt{9L+L^2}$	$\sqrt{9N+N^2}/16$
Haute précision	$8\sqrt{L}$	$2\sqrt{N}$