

LE NIVELLEMENT

- Définitions

Le nivellement est l'ensemble des opérations topographiques permettant de déterminer les différences d'altitudes (dénivelées) entre différents points du sol.

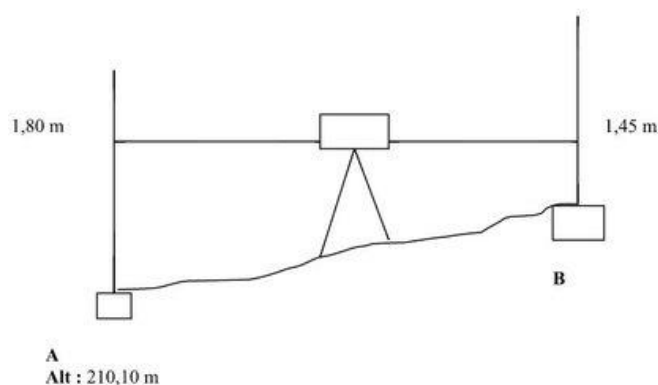
- Méthodes du nivellement

Il existe plusieurs méthodes de nivellement, les plus utilisées sont par ordre décroissant de précision :

- Nivellement direct (géométrique)
- Nivellement indirect (trigonométrique)
- Nivellement barométrique et hydrostatique : le nivellement barométrique exploite la chute de pression atmosphérique avec l'augmentation de l'altitude. Ce principe est utilisé dans la majorité des altimètres de sport, appareils qui doivent être recalés régulièrement pour leur assurer une efficacité maximale. Une seconde est constituée par les méthodes de nivellement hydrostatique. Il permet, par le principe des vases communicants, de réaliser un nivellement de haute précision, en permanence opérationnel sur un ouvrage.

a. Nivellement direct (géométrique)

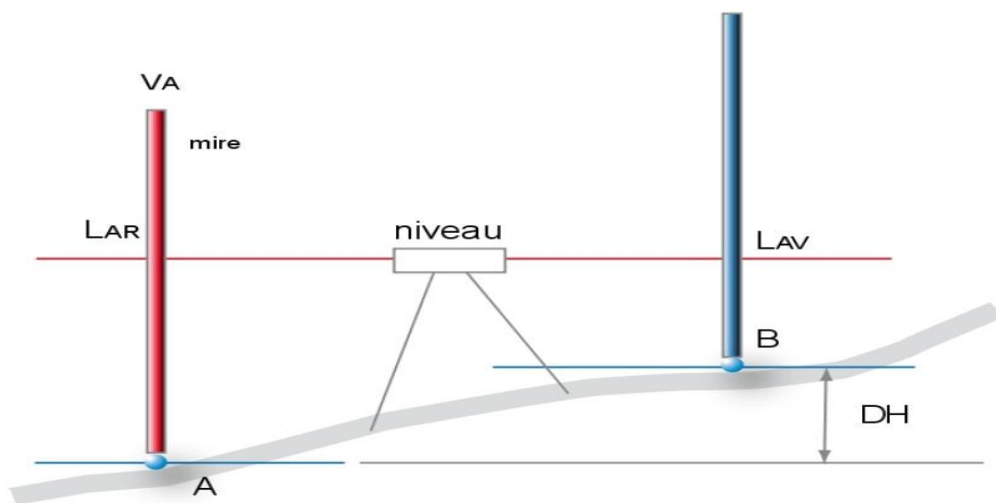
Le nivellement direct, ou nivellement géométrique consiste à mesurer la



différence d'altitudes à partir de visées exclusivement horizontales. Cette opération s'effectue à l'aide d'un niveau permettant de matérialiser une ligne de visée horizontale et d'une règle graduée verticale (mire).

Le nivellement direct, ou nivellement géométrique consiste à mesurer la différence d'altitudes à partir de visées horizontales. Cette opération s'effectue à l'aide d'un niveau permettant de matérialiser une ligne de visée horizontale et d'une règle graduée verticale appelée mire.

Supposons l'altitude du point A connue, en notant LAR (Lecture Arrière) et LAV (Lecture Avant) les lectures sur les 2 mires, l'altitude du point B s'obtient comme suit :
 $\text{Alt (B)} = \text{Alt (A)} + (\text{LAR} - \text{LAV})$



Calcul de l'altitude par la dénivelée (Dn)

La dénivelée exprime la différence d'altitude entre 2 points Elle peut être : positive lorsque le terrain monte et négative lorsque le terrain descend.

Dénivelée (Dn) A vers B = lecture de A - lecture de B soit $1,80 - 1,45 = 0,35$ m

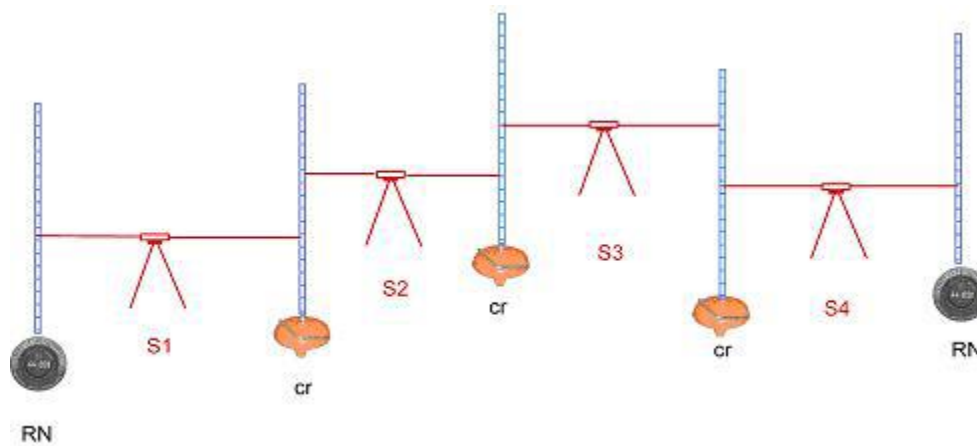
Altitude de B = Altitude de A + dénivelée de A vers B soit $210,10 + 0,35 = 210,45$ m

La précision des déterminations dépend du matériel employé mais aussi et surtout, des méthodes qui sont ;

- **Nivellement par rayonnement** : la première mesure est effectuée sur un point d'altitude connue, de façon à déterminer l'altitude du plan de visée. 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.

- **Nivellement d'itinéraires par cheminement** : c'est la méthode la plus couramment employée pour déterminer les altitudes de points matérialisés, non situés à une même distance d'une seule station d'appareil. Elle est également 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...



On procède par cheminement composé de n dénivelées élémentaires en général effectuées entre deux repères d'altitudes connues. On rappelle que la dénivelée élémentaire dn est obtenue par la différence de lecture effectuées sur deux mires « ARrière » et « AVant »

$$dn = (l^{VB} - l^{VA})$$

Exemple de calcul

Les mesures et calculs peuvent être

Points nivelés	Lectures		$\Delta H_i = LAR_i - LAV_i$		Altitudes brutes m	Comp		Altitudes compensées m
	AR m	AV m	+	-		C_i	ΣC_i	
A	1,976				1000,000			1000,000
			1,096			-1	-1	
P ₁	0,448	0,880			1001,096			1001,095
				-3,097		-2	-3	
P ₂	1,098	3,545			997,999			997,996
				-2,833		-1	-4	
P ₃	2,614	3,931			995,166			995,162
			0,584			0	-4	
P ₄	1,977	2,030			995,750			995,746
			0,918			0	-4	
P ₅	3,501	1,059			996,668			996,664
			3,338			-2	-6	
A		0,163			1000,006			1000,000
	ΣLAR	ΣLAV	5,936	-5,930		-6 mm		
	11,614	11,608	e = +0,006			fermeture		
	Contrôle +0,006							

e

consignés dans un carnet de nivellement :

Instrument utilisé en nivellement direct : le niveau

Éléments constitutifs d'un niveau

Le niveau consiste à associer une lunette, un système de mise en horizontalité et un dispositif de lecture. Le système de visée rendu horizontal permet d'effectuer des lectures métriques sur des mires graduées. La lunette tourne autour d'un axe vertical appelé axe principal qui lui est perpendiculaire et décrit ainsi un plan horizontal.

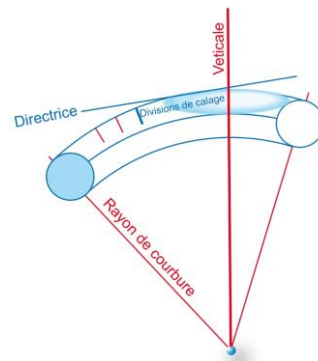
Un niveau comporte entre autre :

- Une embase à 3 vis calantes
- Une lunette de visée
- Un oculaire
- Une vis de fin pointé
- Une vis de mise au point de l'objectif
- Une nivelle sphérique
- Un système d'horizontalité de la ligne de visée
- Un dispositif de lecture sur la mire

La précision est fonction du grossissement de la lunette et de la sensibilité du système d'horizontalité.

Niveaux à bulles

Dans un niveau à bulle, le système d'horizontalité est obtenu par l'association d'une nivellement torique à la lunette de visée.



La nivellement torique est constituée d'un tube de verre qui contient de l'alcool, éther ou autre liquide ne pouvant se congeler aux températures courantes. On a rempli le tube en y laissant une bulle d'air qui occupe la partie élevée du tore. Des graduations permettent de définir l'horizontalité.

Le calage de la bulle consiste à faire pivoter la lunette dans un plan vertical pour amener la bulle entre ces repères de réglage. La bulle étant calée, l'axe de visée est théoriquement une ligne horizontale. [ceci sous entend que le niveau a été réglé au préalable (voir chap 3 sur les erreurs instrumentales).]

La précision d'une nivellement torique est définie par sa sensibilité qui est l'angle au centre défini pour 2 mm de graduation ou par son rayon de courbure. Plus le rayon de courbure est important plus le dispositif d'horizontalité est précis. *Niveaux de chantier* Sensibilité 60 " ($r = 10$ m). Grossissement = 20 à 24. Pour les appareils à bulle, on estime la

précision du calage à 1/5 d'intervalle soit une variation sur la mise en horizontalité de $[60/5] \times 3 \text{dmg}$ soit 4mm à 64m.

Les caractéristiques suivantes sont celles du Leica N3, niveau de haute précision utilisé en métrologie. Son grossissement est de 40 et sa sensibilité de 10" ($r=40\text{m}$). Le bullage se fait par coïncidence avec une précision de 1/20 d'intervalle soit une précision de 0.15 mm à 64m ($[10/20] \times 3 \text{dmg}$).

Niveaux automatiques

Dans un système automatique, pour de faibles inclinaisons de la lunette, l'horizontale est donnée par un prisme suspendu. Il est alors nécessaire de bien buller l'axe principal du niveau au moyen d'une nivelle sphérique pour éviter l'erreur de hauteur d'axe (voir Erreur de collimation) et pour ne pas bloquer le pendule. Souvent l'opérateur doit donner un léger coup sur le niveau pour vérifier le balancement du prisme.



La sensibilité du pendule qui est voisine de 15" donnerait une précision de l'ordre de 0.5mm à 64m. Les constructeurs indiquent de 0.7 à 0.4mm/km de cheminement double. Equipés d'un micromètre de lecture associé à une lame à faces parallèles, ces niveaux automatiques ont une précision de lecture sur des mires en invar proche de 0.1mm.

Niveaux numériques électroniques

Ce sont des niveaux automatiques et numériques qui nécessitent l'utilisation de mire code-barres spécifiques. Chaque constructeur utilise sa propre codification, les mires

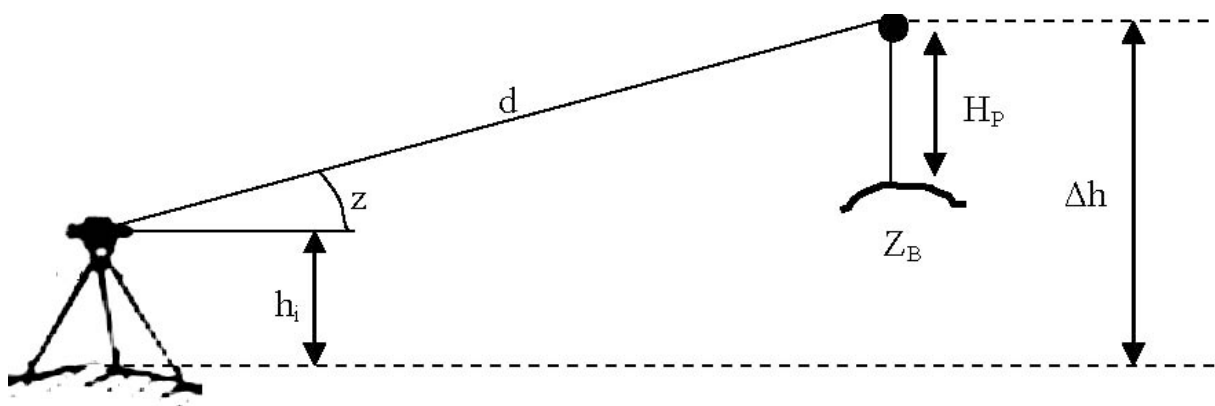
code-barres ne sont donc pas interchangeables. Ils peuvent être utilisés en mode direct.



L'opérateur ne fait que viser la mire, le temps de lecture est variable en fonction de la luminosité. Ces niveaux, bien qu'ils soient très pratiques n'échappent à aucune des erreurs systématiques des niveaux classiques optiques que nous verrons par la suite et nécessitent les mêmes méthodes d'observations de nivellement.

Nivellement trigonométrique

Le nivellement trigonométrique consiste à déterminer la dénivelée entre deux stations par des mesures de distances spatiales et d'angles zénithaux. Un calcul simple conduit à la différence d'altitude entre A et B. C'est une méthode très pratique en milieu accidenté comme c'est le cas des forêts



Selon ce schéma, l'altitude du point B peut être reliée à celle du point A par la relation :
Le nivellement trigonométrique peut être employé selon la méthodologie du cheminement.

le matériel utilisé est le théodolite ou le tachéomètre.