

Mesures linéaires et angulaires

Chapitre 4

ALTIMETRIE

IL S'AGIT DE QUOI ?...

LE **NIVELLEMENT**, ET DE FAÇON GÉNÉRALE L'**ALTIMÉTRIE**, CONSISTE PRINCIPALEMENT À DÉTERMINER LA HAUTEUR DES POINTS AU DESSUS D'UNE SURFACE DE RÉFÉRENCE, À MESURER LA DIFFÉRENCE D'ALTITUDE ENTRE LES POINTS ET AINSI PERMETTRE :

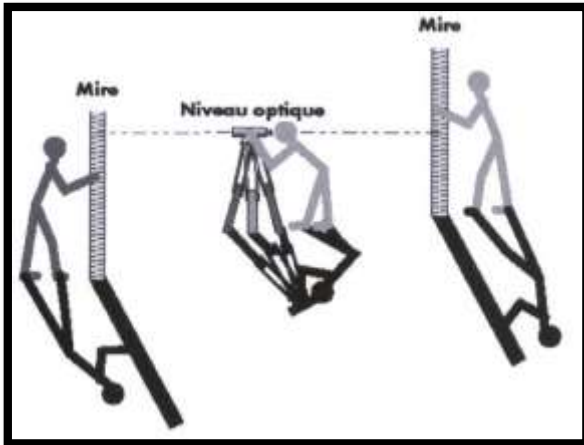
- DE REPRÉSENTER LE RELIEF D'UN TERRAIN ;
- DE COMPLÉTER LA MISE EN PLAN DES DÉTAILS ;
- DE PLANIFIER LA CONSTRUCTION DE ROUTE, DE CHEMIN DE FER, DE CANAUX, ETC. ;
- DE CALCULER DES VOLUMES D'EXCAVATION, ET AINSI DE SUITE.

- L'**ALTITUDE** EST LA HAUTEUR D'UN POINT AU DESSUS DU NIVEAU MOYEN DES MERS (GÉOÏDE).
- LA **DÉNIVELÉE** EST LA DIFFÉRENCE D'ALTITUDE ENTRE DEUX POINTS.

IL EXISTE TROIS TYPES DE NIVELLEMENT : **DIFFÉRENTIEL**, **TRIGONOMÉTRIQUE** ET **BAROMÉTRIQUE**

NIVELLEMENT DIRECT (ou DIFFERENTIEL ou GEOMETRIQUE)

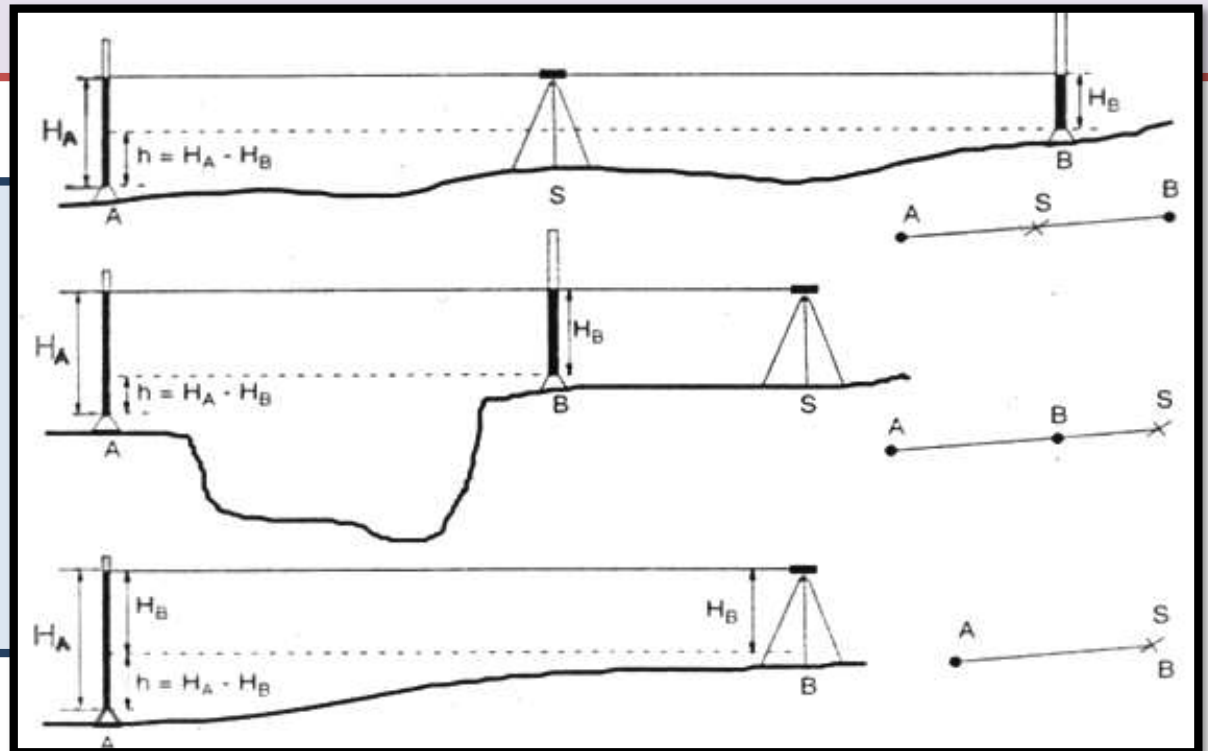
L'appareil de mesure utilisé en nivellement direct est le niveau



NIVELLEMENT DIRECT (ou DIFFERENTIEL ou GEOMETRIQUE)

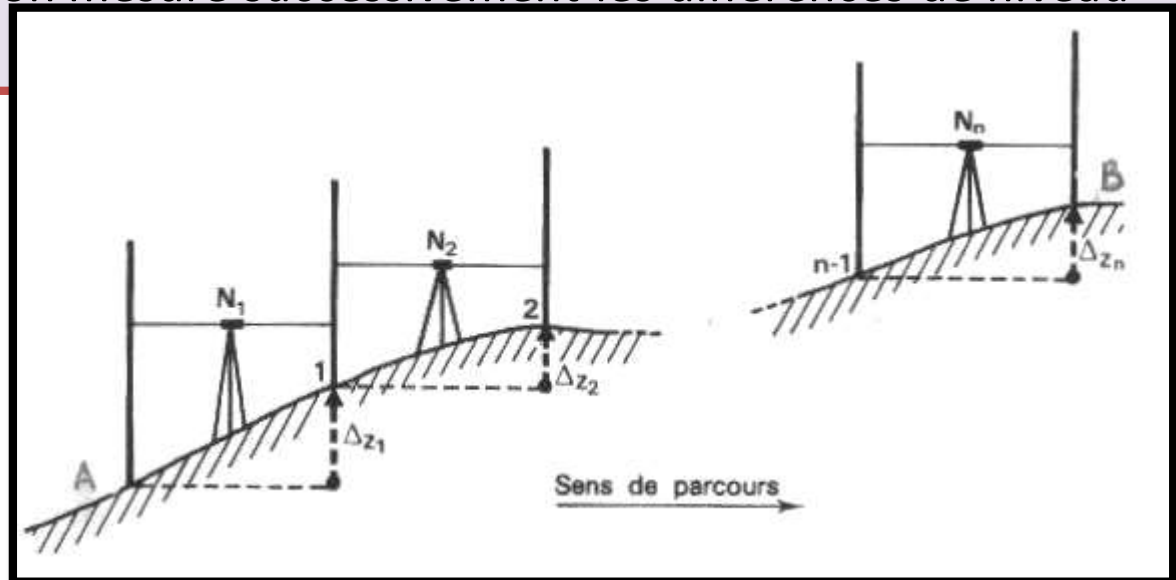
- LE NIVELLEMENT **DIRECT** EST ENCORE APPELÉ NIVELLEMENT **GÉOMÉTRIQUE** OU DE **PRÉCISION** (EN RAISON DES RÉSULTATS QU'IL DONNE).
- LA **PORTÉE** OU LA **NIVELÉE** EST LA DISTANCE DU NIVEAU À LA MIRE, ELLE VARIE SUIVANT LA PRÉCISION RECHERCHÉE.

La différence de niveau entre deux points **A** et **B** peut être déterminée à partir de trois mises en station différentes suivant les conditions dans lesquelles on se trouve



NIVELLEMENT DIRECT PAR CHEMINEMENT (1)

Lorsque les points origine **A** et extrémité **B** sont situés de telle façon qu'une seule station de niveau ne suffise pas à déterminer leur dénivelée : éloignement, masque, dénivelée importante, ..., il faut décomposer la dénivelée totale en dénivelées élémentaires à l'aide de points intermédiaires : 1, 2, ..., n-1. L'ensemble des mesures constitue un *cheminement de nivellement*. Pour cela on mesure successivement les différences de niveau des points consécutifs.



NIVELLEMENT DIRECT PAR CHEMINEMENT (2)

Les dénivelées partielles, calculées au fur et à mesure, donnent :

$$dN_1 = AR_1 - AV_1$$

$$dN_2 = AR_2 - AV_2$$

$$..... = -$$

$$dN_n = AR_n - AV_n$$

Finalement, on obtient la différence de niveau totale entre le point de départ **A** et le point d'arrivée **B** par :

$$dN_1 + dN_2 + ... + dN_n = (AR_1 + AR_2 + ... + AR_n) - (AV_1 + AV_2 + ... + AV_n)$$

soit :

$$\sum dN = \sum AR - \sum AV$$

NIVELLEMENT DIRECT PAR CHEMINEMENT aller-retour

Il est généralement destiné à déterminer l'altitude d'un point extrémité **B** à partir de celle d'un repère origine **A**. Le cheminement Aller de **A** vers **B** et le cheminement Retour de **B** vers **A** fournissent deux déterminations indépendantes et opposées : $dN_{al.}$ et $dN_{ret.}$ de la dénivelée entre **A** et **B**.

Si l'écart entre les valeurs absolues de ces deux dénivelées est inférieur à la tolérance, l'altitude de l'extrémité **B** est calculée par la formule générale :

$$Alt_B = Alt_A + (dN_{al.} - dN_{ret.}) / 2$$

Dans le cas contraire reprendre le mesurage.

La tolérance est : $Tol = 2,7 \times (e.m.q) \times \sqrt{2n}$

avec : **e.m.q** : l'erreur moyenne quadratique (la précision)

n : nombre de stations

NIVELLEMENT DIRECT PAR **CHEMINEMENT** fermé et encadré

- ❑ LE CHEMINEMENT **FERMÉ**, ENCORE APPELÉ **BOUCLE**, PART D'UN REPÈRE CONNU, PASSE PAR UN CERTAIN NOMBRE DE POINTS DONT ON RECHERCHE LES ALTITUDES ET SE FERME SUR LE REPÈRE DE DÉPART.

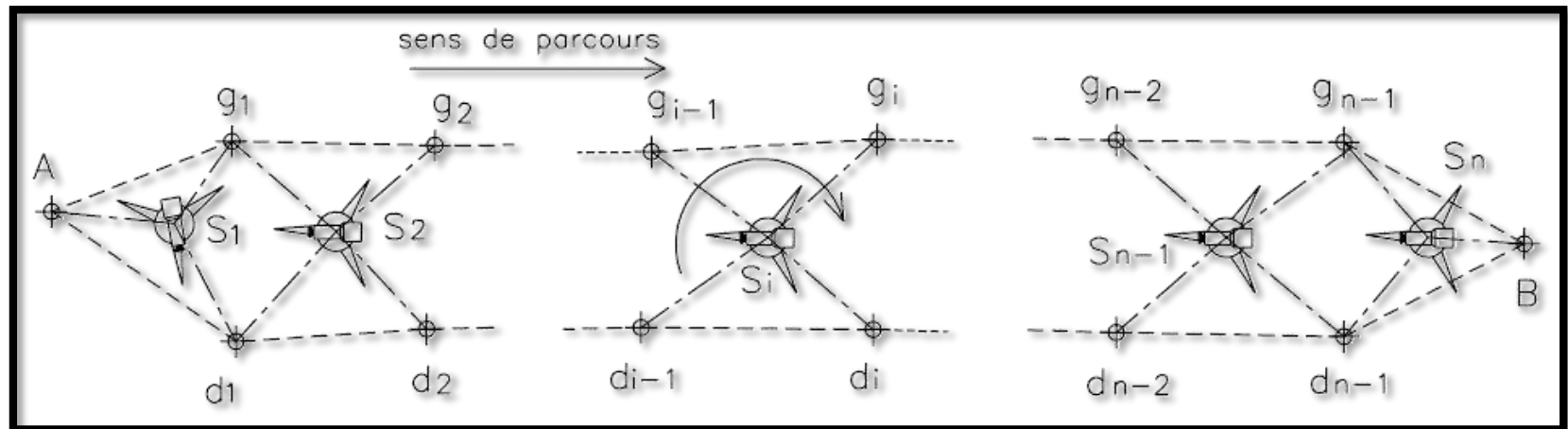
COMME POUR LE CHEMINEMENT ALLER ET RETOUR IL IMPLIQUE UNE VÉRIFICATION PRÉALABLE DU REPÈRE ORIGINE.

EN PRATIQUE LE CHEMINEMENT FERMÉ EST FRÉQUEMMENT EMPLOYÉ CAR :
IL AUTORISE LE NIVELLEMENT EN ALTITUDES NORMALES MÊME QUAND ON NE DISPOSE QUE D'UN SEUL REPÈRE POUR LE CHANTIER ;
IL EST TOUJOURS POSSIBLE D'AFFECTER UNE ALTITUDE ARBITRAIRE À UN POINT DE DÉPART FIXE ET DURABLE, PUIS DE CALCULER TOUS LES AUTRES PAR RAPPORT À LUI ;
ULTÉRIEUREMENT, SI LE BESOIN S'EN FAIT SENTIR.

- ❑ LE CHEMINEMENT **ENCADRÉ** PART D'UN REPÈRE CONNU, PASSE PAR UN CERTAIN NOMBRE DE POINTS DONT ON RECHERCHE LES ALTITUDES ET SE REFERME SUR UN REPÈRE CONNU DIFFÉRENT DU REPÈRE DE DÉPART.

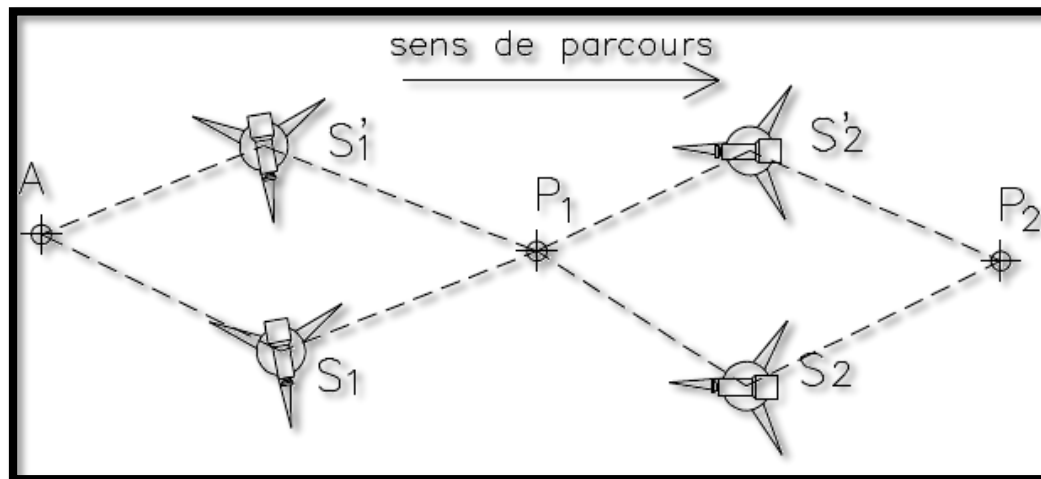
NIVELLEMENT DIRECT PAR CHEMINEMENT DOUBLE

Réalisation de deux cheminements parallèles et indépendants :
Gauche et Droite



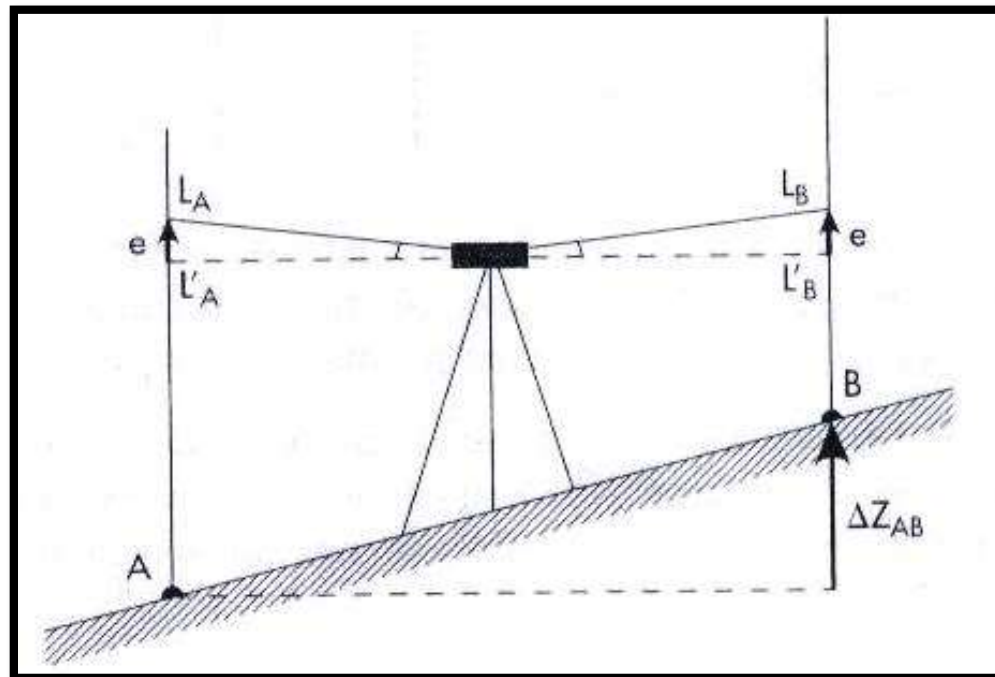
NIVELLEMENT DIRECT PAR CHEMINEMENT DOUBLE STATIONS

Réalisation de deux cheminements parallèles et indépendants :
Gauche et Droite



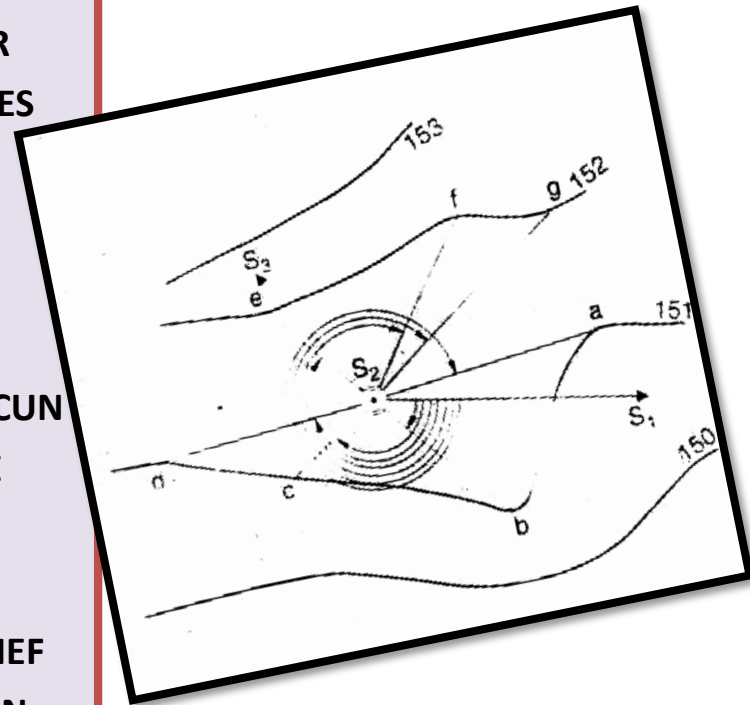
NIVELLEMENT DIRECT (l'erreur de collimation ou d'inclinaison)

- IL S'AGIT DE L'INCLINAISON DE L'AXE OPTIQUE PAR RAPPORT À L'HORIZONTALE QUAND LA BULLE EST CALÉE.
- L'ERREUR DE COLLIMATION EST ÉLIMINÉE PAR L'ÉGALITÉ DES PORTÉES.



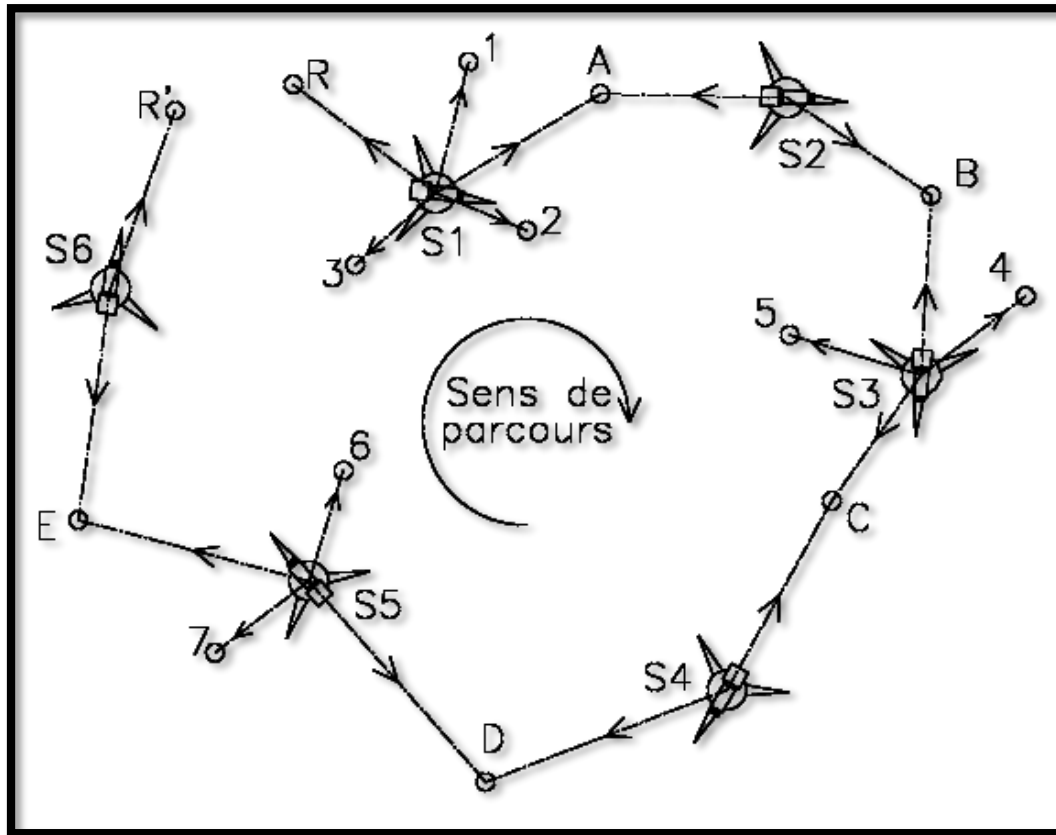
NIVELLEMENT DIRECT PAR RAYONNEMENT

- ❑ **DANS CE PROCÉDÉ, LA PREMIÈRE MESURE EST EFFECTUÉE SUR UN POINT D'ALTITUDE CONNUE, DE FAÇON À DÉTERMINER L'ALTITUDE DU PLAN DE VISÉE. À 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 MATÉRIALISÉES (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 PAR RAYONNEMENT EST AUSSI APPELÉ NIVELLEMENT DE SURFACE ET PERMET DE RELEVER LE RELIEF D'UN TERRAIN EN DÉTERMINANT L'ALTITUDE D'UN CERTAIN NOMBRE DE POINTS ET AINSI DÉFINIR DES COURBES DE NIVEAUX.**



NIVELLEMENT DIRECT PAR CHEMINEMENT MIXTE

Détermination de l'altitude des points en dehors du cheminement

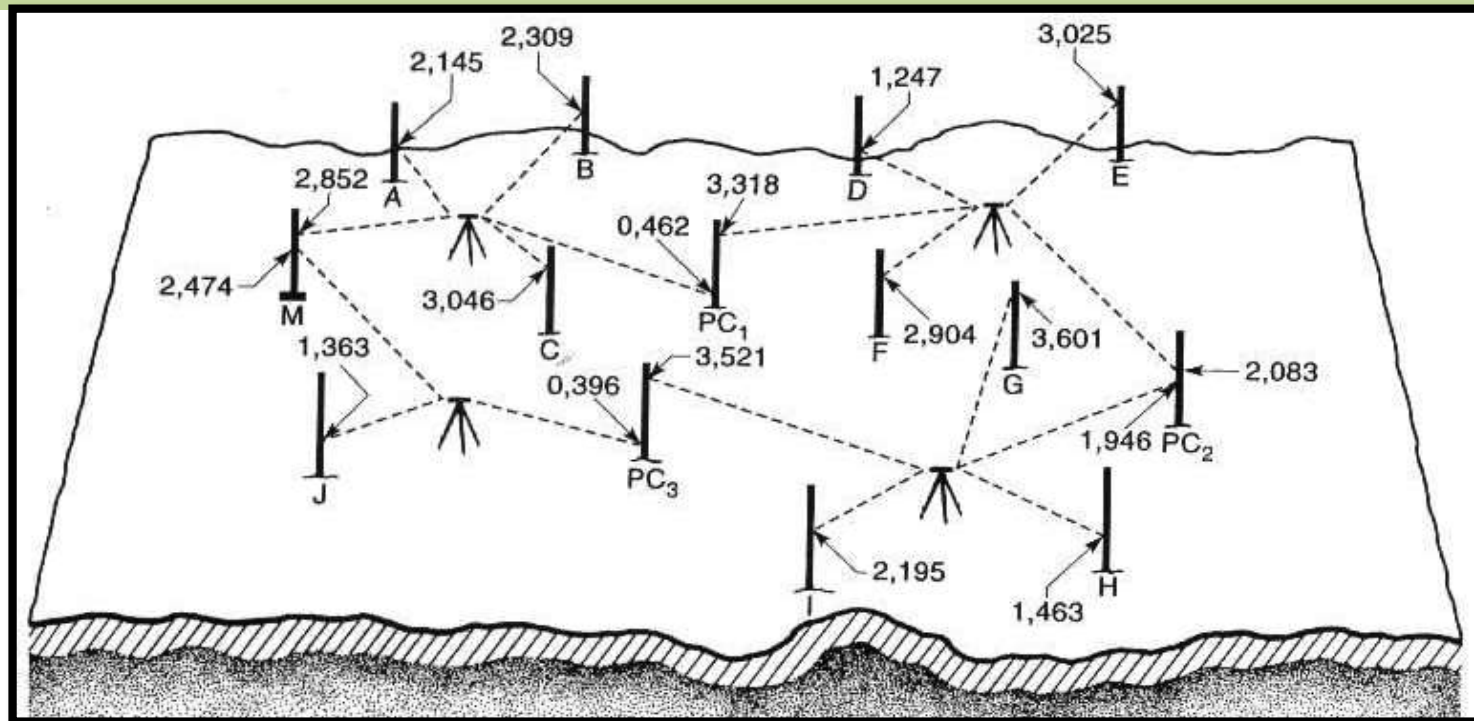


APPLICATIONS (Nivellement direct)

Application 1

Afin de faire un levé altimétrique d'un terrain, on a procédé par nivellement direct comme le montre la figure suivante :

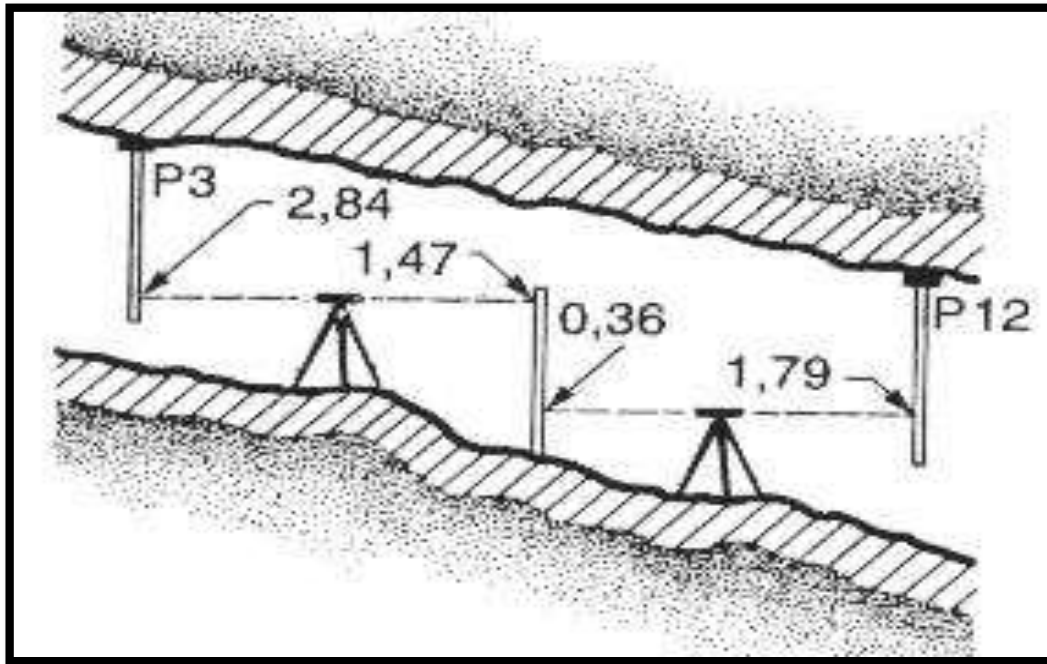
1. Quelles sont les méthodes de nivellement utilisées dans ce cas ?
2. Si l'altitude du point M est de 35,396 m, déduire les altitudes des points : PC1, PC2, PC3, B, E, H, I et J.



APPLICATIONS (Nivellement direct)

Application 2 (cheminement en tunnel)

Trouver l'altitude du point P12 de la figure qui suit, si celle de P3 est de 140,45 m.



APPLICATIONS (Nivellement direct)

Application 3

A l'aide d'un niveau, les observations faites sur le fil niveleur lors d'un nivellement par cheminement sont regroupées sur le tableau suivant :

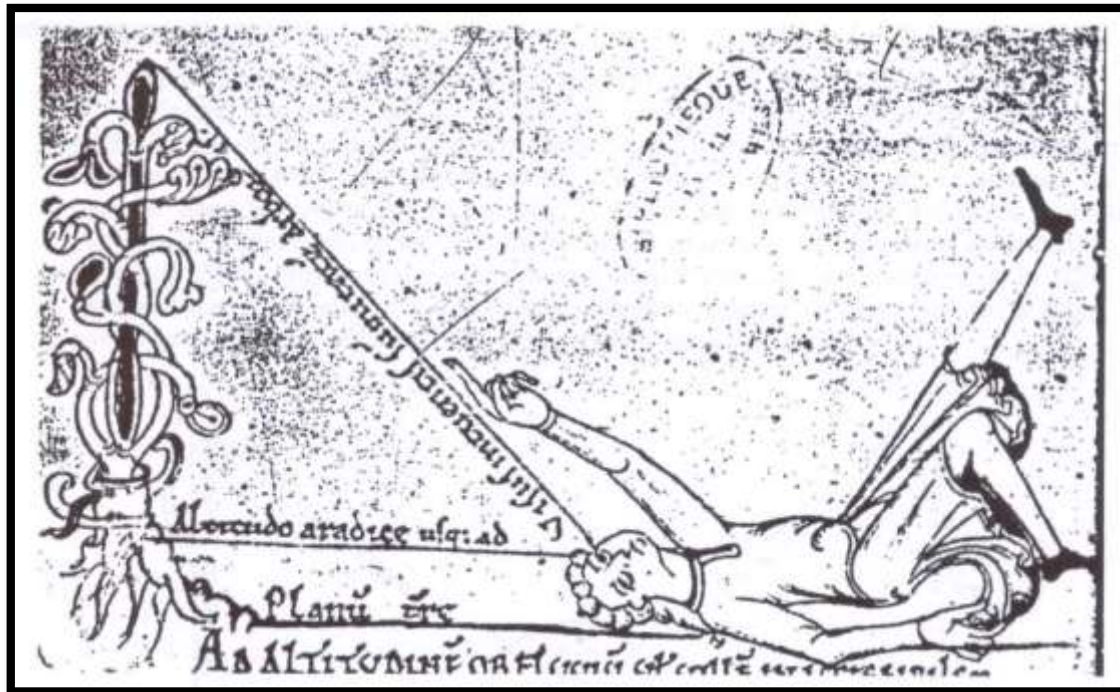
Pts	Lectures (mm)		Dénivelées (mm)		Alts (m)
	AR	AV	(+)	(-)	
1	1145				389,681
	3148	2693			
3	1272				388,838
4	0954	2110			
5	2988	1160			
6	2115	1149			
7					388,883

1. Complétez le tableau en expliquant le procédé de calcul.
2. Si l'altitude du point 7 est de 388,894 m, et sachant que l'erreur moyenne quadratique (e.m.q) de l'appareil est de ± 1 mm, le cheminement sera-t-il accepté ? Justifiez votre réponse.

NIVELLEMENT INDIRECT (ou TRIGONOMETRIQUE)

PRINCIPE

CONTRAIREMENT AU NIVELLEMENT DIRECT QUI CONSISTE À MATÉRIALISER L'HORIZONTALE ENTRE LES DEUX POINTS AB, L'INDIRECT (OU TRIGONOMÉTRIQUE) REPOSE SUR LA CONNAISSANCE DE L'ANGLE VERTICAL.



NIVELLEMENT INDIRECT (ou TRIGONOMETRIQUE)

PRINCIPE

La **différence de niveau** ou **dénivelée** $dN = HB$ peut se déduire de la connaissance de la distance horizontale **AH** associée à celle de l'angle zénithal **Z** ou de la connaissance de la distance suivant la pente **AB** associée aussi à celle de l'angle zénithal **Z**. On a ainsi :

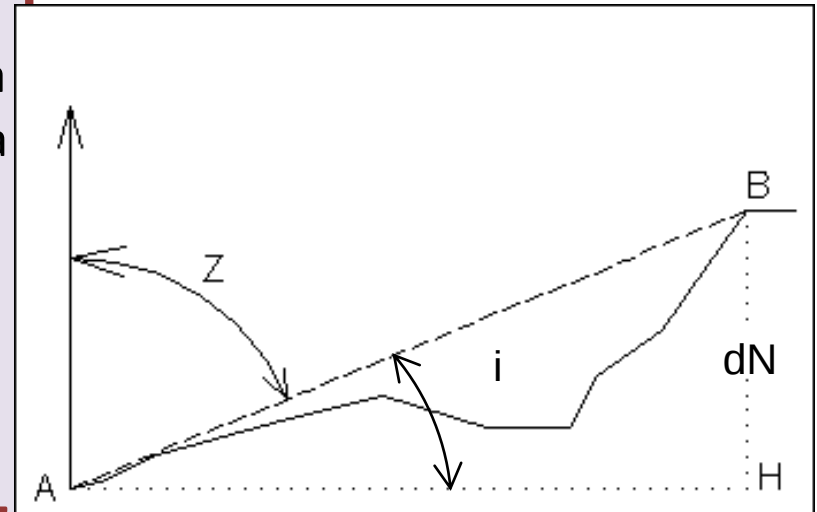
$$\cos Z = HB / AB \quad \text{ou} \quad \operatorname{tg} Z = AH / HB$$

Si on appelle, comme c'est l'usage, la distance AB, la distance inclinée D_p , on aura :

$$\cos Z = HB / D_i \quad \text{ou} \quad dN = HB = D_p \times \cos Z$$

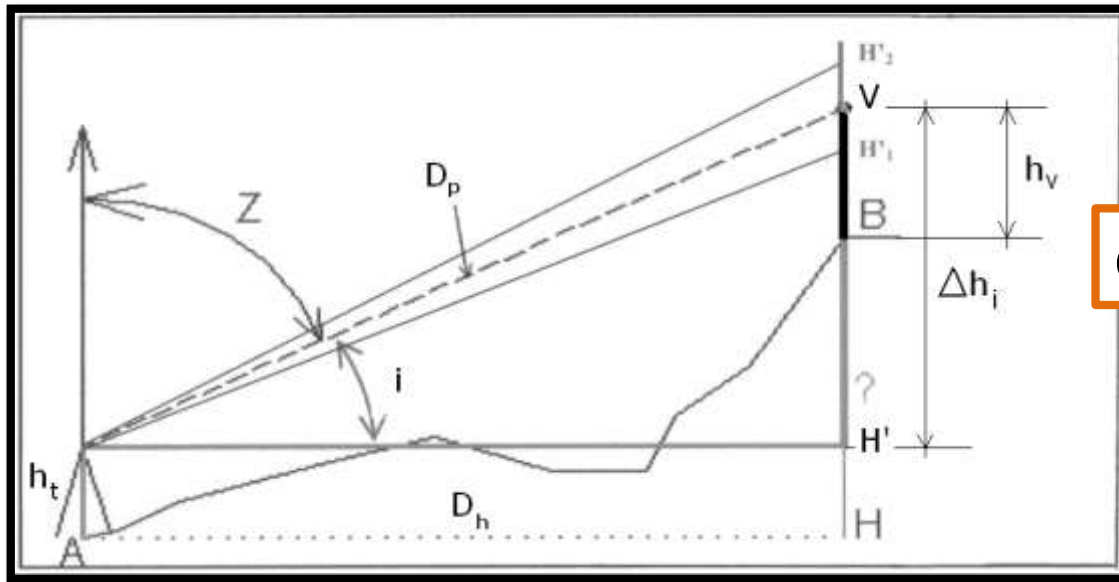
Si on appelle D_h la distance AH horizontale, on aura :

$$\operatorname{tg} Z = D_h / HB \quad \text{ou} \quad dN = HB = D_h / \operatorname{tg}(Z)$$



NIVELLEMENT INDIRECT

Par commodité de mesure sur le terrain, on surélève le cercle vertical à la verticale de A et on dispose un voyant (ou une mire) à la verticale de B afin de le rendre visible de loin.

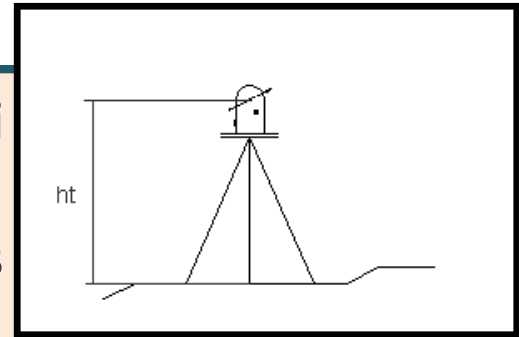


$$dN = HB = h_t + \Delta h_i - h_v$$

NIVELLEMENT INDIRECT

$$dN = HB = h_t + H'V - h_v$$

ht est appelée la **hauteur des tourillons** qui est la distance, comptée suivant la verticale, entre la station matérialisée au sol et l'axe des tourillons (centre du cercle vertical).



H'V est appelée la **dénivelée instrumentale**, traditionnellement symbolisée par Δh_i , et peut être calculée, comme nous l'avons vu, ci-dessus :

$$H'V = \Delta h_i = D_p \times \cos Z = D_h / \operatorname{tg} Z = D_h \times \operatorname{tg} i$$

- $\Delta h_i > 0$ quand le point **V** se trouve au dessus de l'horizontale passant par l'axe des tourillons : visées ascendantes.
- $\Delta h_i < 0$ quand le point **V** se trouve en dessous de l'horizontale passant par l'axe des tourillons : visées descendantes.

NIVELLEMENT INDIRECT

h_v est la **hauteur du voyant** (qui peut être un **prisme** ou une **mire**) au dessus du repère matérialisé **B**. Elle est généralement obtenue au regard de la graduation de la canne, tenue verticalement.

L'altitude de **B** (Alt_B) peut se déduire de celle de **A** (Alt_A) ainsi :

$$Alt_B = Alt_A + HB$$

$\Rightarrow$

$$Alt_B = Alt_A + h_t + \Delta h_i - h_v$$

Afin de simplifier les calculs, il est préférable de procéder de telle manière à ce que la hauteur des tourillons h_t soit égale à la hauteur du voyant h_v et ainsi :

$$Alt_B = Alt_A + \Delta h_i$$

NIVELLEMENT BAROMETRIQUE

On sait que la pression atmosphérique varie en fonction du temps et de l'altitude. On peut donc calculer la dénivelée entre deux points par rapport à la variation de la pression atmosphérique, en tenant compte naturellement des changements locaux de conditions atmosphériques.

Les pressions se mesurent à l'aide d'instruments appelés baromètres. En ce qui concerne le nivellement barométrique, on a modifié l'instrument afin qu'il donne une lecture en unités de longueur, en mètres par exemple. Cet instrument porte le nom d'altimètre.

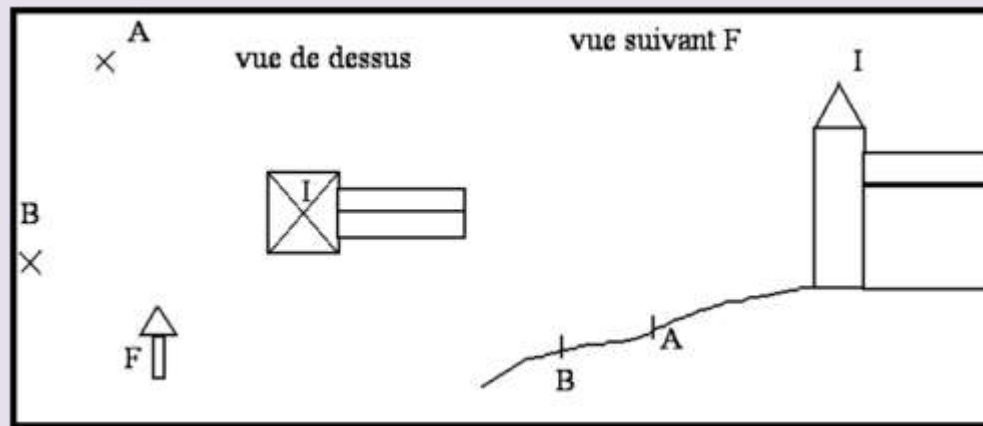
Les variations de température, d'humidité et de gravité sont corrigées directement par l'appareil lui-même.

APPLICATIONS (Nivellement indirect)

Application 1

En stationnant un théodolite sur le point A, ayant l'altitude de 1258,708 m, les lectures suivantes ont été faites :

station	Hauteur des tourillons	Point visé	Lect sur cercle vertical en gr
A	1,580m	B	121,400
		I	073,016



Sachant que les distances horizontales : $AB = 36,409$ m et $AI = 48,268$ m, calculer les altitudes des points B et I.

APPLICATIONS (Nivellement indirect)

Application 2

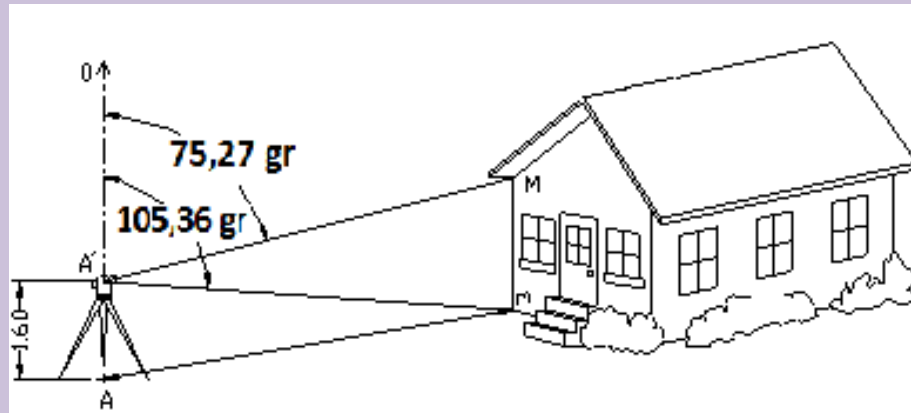
Vous effectuez un nivellement trigonométrique afin de déterminer l'élévation d'un point haut. Sachant que votre instrument est situé à une élévation de 81,5 m, que la distance horizontale entre l'instrument et le point visé est de 150 m et que l'angle vertical observé est de 35 gr, calculez l'élévation du point visé.

APPLICATIONS (Nivellement indirect)

Application 3

On se propose de mesurer l'altitude de certains points caractéristiques de la façade du bâtiment schématisé ci-dessous pour vérifier la conformité de la construction avec le permis de construire.

Au moyen d'un théodolite mis en station en A, on lit les angles verticaux des visées sur M et m (voir schéma). La distance suivant la pente A'm, m étant au sol à l'aplomb de M est de 43,42 m.

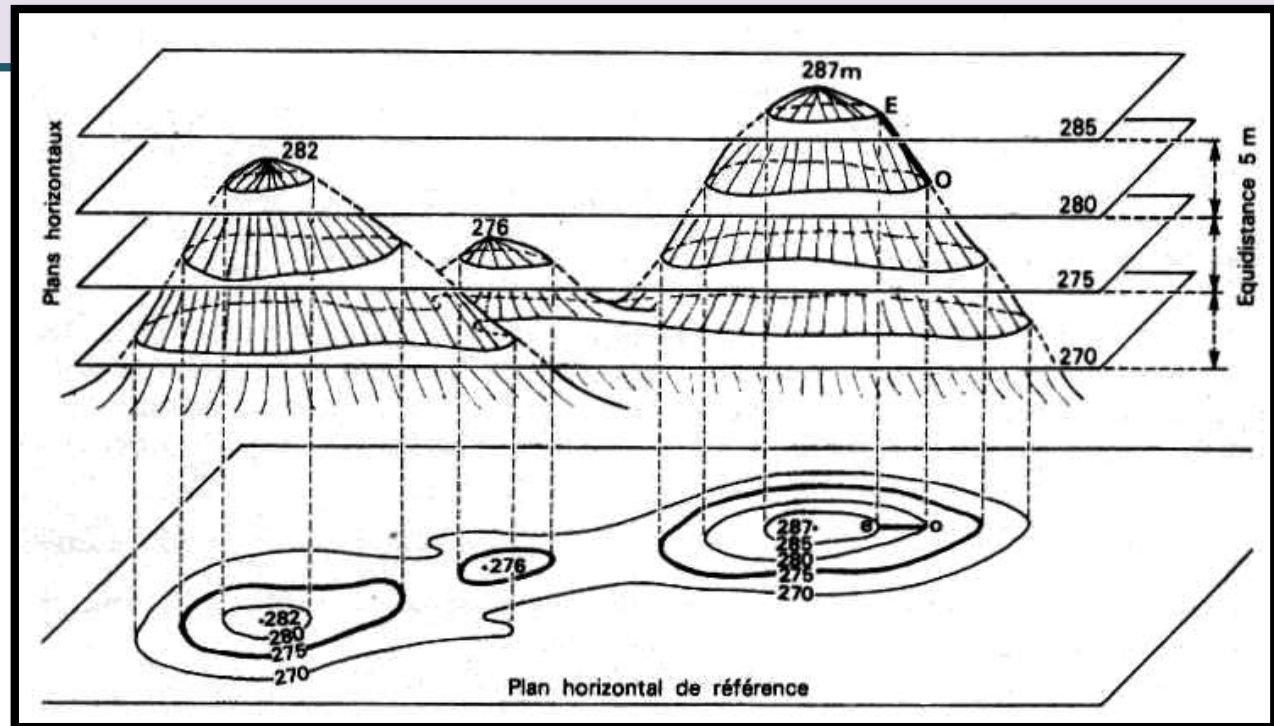


Si l'altitude du point de station A est de 125.63 m, calculer la dénivelée entre A et m, en déduire la distance horizontale D_h puis calculer la hauteur Mm ainsi que l'altitude du point M.

REPRESENTATION DU RELIEF

LA REPRÉSENTATION DU RELIEF D'UN TERRAIN S'EFFECTUE PAR POINTS COTÉS OU PLUS GÉNÉRALEMENT PAR COURBES DE NIVEAUX.

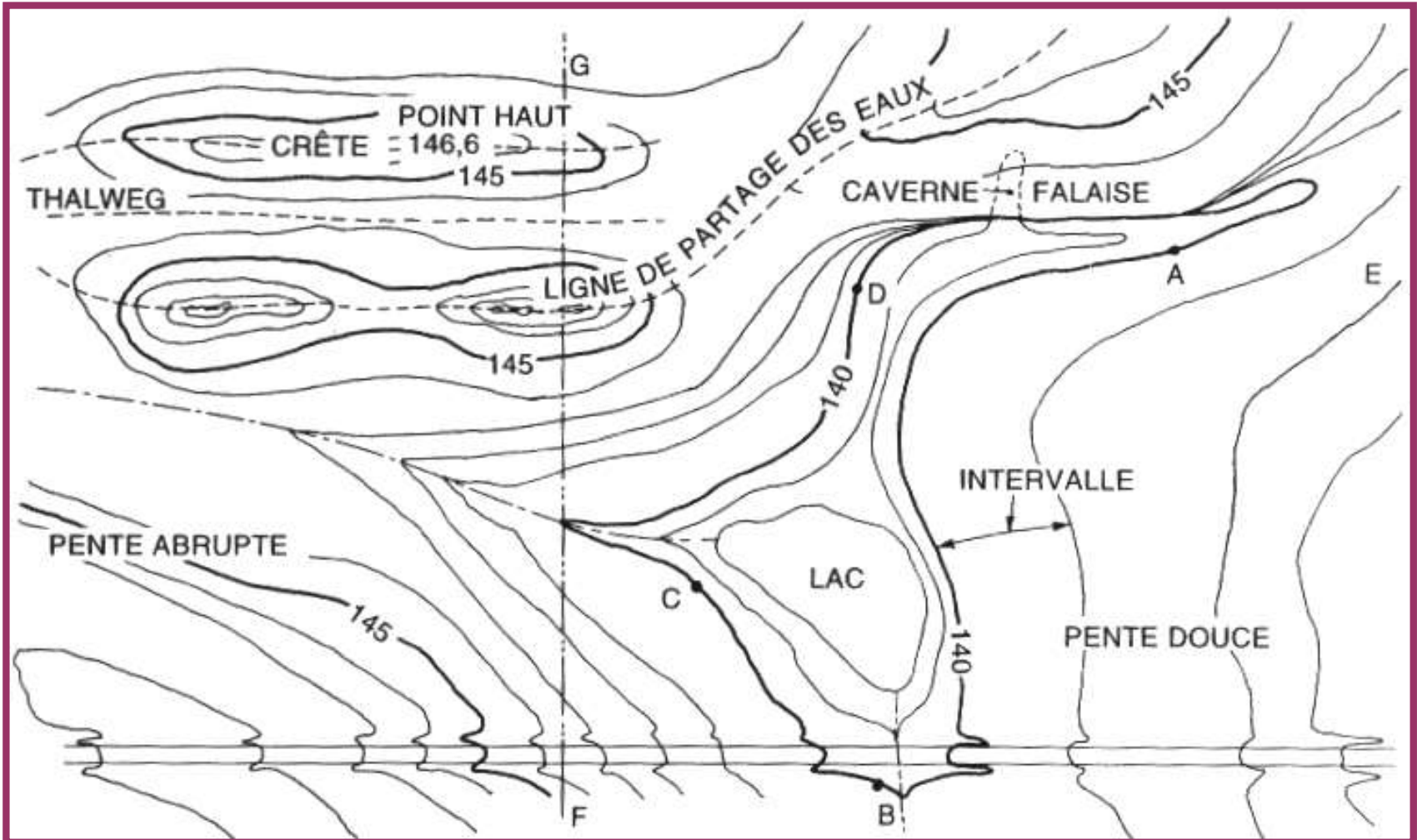
UNE COURBE DE NIVEAU EST LA LIGNE RELIANT LES POINTS CONSÉCUTIFS DE MÊME ALTITUDE DU TERRAIN. ELLE EST CONTENUE TOUTE ENTIÈRE DANS UN MÊME PLAN HORIZONTAL.



REPRESENTATION DU RELIEF

- LES COURBES DE NIVEAU SONT HABITUELLEMENT DES LIGNES IRRÉGULIÈRES ET FERMÉES. LA **DISTANCE VERTICALE** ENTRE DEUX COURBES DE NIVEAU CONSÉCUTIVES SE NOMME **ÉQUIDISTANCE**. QUANT À L'INTERVALLE, IL S'AGIT DE LA **DISTANCE HORIZONTALE** MESURÉE SUR LE PLAN DE LA CARTE ENTRE DEUX COURBES DE NIVEAU CONSÉCUTIVES. **LE RAPPORT ENTRE L'ÉQUIDISTANCE ET L'INTERVALLE CORRESPOND À LA PENTE POUR UNE DIRECTION DONNÉE.**
- IL CONVIENT DE DISCERNER DES LIGNES CARACTÉRISTIQUES DU RELIEF, COMME LES **LIGNES DE CRÊTE** (OÙ SE FAIT LE PARTAGE DES EAUX) ET LES **LIGNES DE THALWEG** (AXE DU FOND DE LA VALLÉE).
- LE CHOIX DE L'ÉQUIDISTANCE DÉPEND DE LA NATURE DE LA CARTE, DE SON ÉCHELLE ET DU RELIEF DU TERRAIN (PAR EXEMPLE 1, 2, 5, 10 ou 20m).
- POUR FAIRE PLUS FACILEMENT LE DÉCOMPTÉ DES ALTITUDES, ON TRACE EN TRAITS PLUS FONCÉS UNE COURBE DE NIVEAU, APPELÉE COURBE MAÎTRESSE, EN GÉNÉRAL À TOUTES LES 5 LIGNES ET ON INSCRIT SA COTE.

CARACTERISTIQUES DES COURBES DE NIVEAU



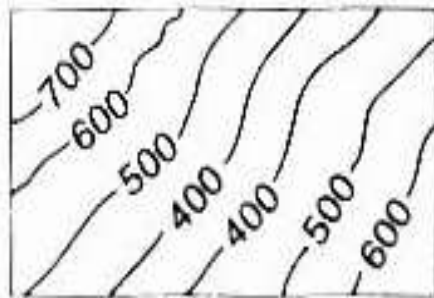
CARACTERISTIQUES DES COURBES DE NIVEAU

- TOUS LES POINTS D'UNE MÊME COURBE SONT À LA MÊME ALTITUDE (A, B, C ET D PAR EXEMPLE).
- LES COURBES DE NIVEAU SONT DES LIGNES FERMÉES, À MOINS QU'ELLES NE SOIENT INTERROMPUES PAR LA LIMITE DE LA CARTE, COMME EN E.
- L'INTERVALLE ENTRE LES COURBES INDIQUE LA NATURE DE LA PENTE : LES COURBES DE NIVEAU SONT RAPPROCHÉES POUR UNE PENTE ABRUPTTE, DISTANCÉES DANS LE CAS D'UNE PENTE DOUCE ET ÉGALEMENT DISTANCÉES POUR UNE PENTE UNIFORME.
- UNE COURBE DE NIVEAU NE PEUT PAS EN CROISER UNE AUTRE D'ALTITUDE DIFFÉRENTE, EXCEPTÉ S'IL S'AGIT DUNE CAVERNE; DANS CE CAS, ELLE LA CROISE DEUX FOIS.
- PLUSIEURS COURBES QUI SE FUSIONNENT EN UNE SEULE TÉMOIGNENT DE LA PRÉSENCE DUNE FALAISE, ET CE EN GÉNÉRAL SUR UNE COURTE DISTANCE SEULEMENT.
- UNE COURBE D'ALTITUDE SUPÉRIEURE OU INFÉRIEURE NE PEUT PAS ÊTRE SEULE ENTRE DEUX COURBES DE MÊME ALTITUDE.
- LORSQU'UNE COURBE TRAVERSE UNE ROUTE OU UN COURS D'EAU, ELLE LE FAIT PERPENDICULAIREMENT À LEUR AXE.

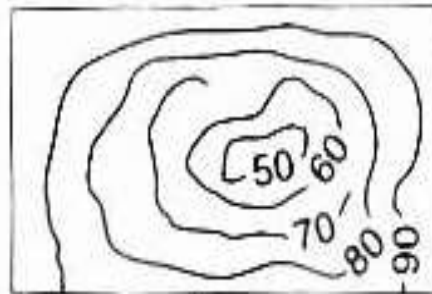
APPLICATIONS (Courbes de niveau – Représentation du relief)

Application 1

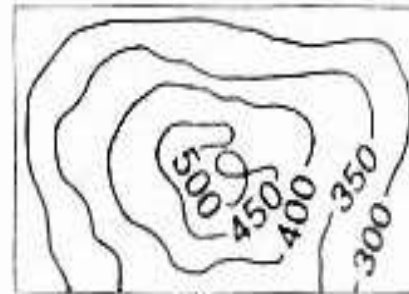
Indiquez, s'il y a lieu, les fautes de principes commises lors de la préparation des courbes de niveau relatives aux exemples de la figure suivante :



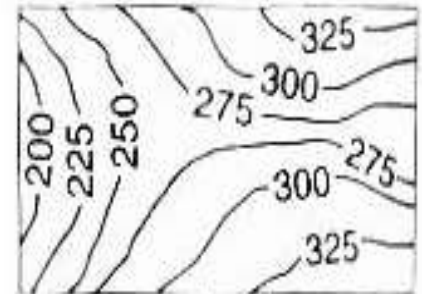
1^{er} cas



2^e cas



3^e cas



4^e cas

APPLICATIONS (Courbes de niveau – Représentation du relief)

Application 2

Coter les courbes de niveau de la figure suivante dont l'équidistance est de 10 m.

