

الأمم المتحدة
الصندوق الخاص/منظمة الأغذية والزراعة

NATIONS UNIES
Fonds Spécial / FAO



الجمهورية اللبنانية
المشروع الأخضر

REPUBLIQUE LIBANAISE
PLAN VERT

مشروع اعمار المناطق الجبلية اللبنانية - اعداد وابحاث مرجية

PROJET DE BONIFICATION INTEGRALE DE LA MONTAGNE LIBANAISE
FORMATION ET RECHERCHES FORESTIERES

الجمهورية اللبنانية

مكتب وزير الدولة لشؤون التنمية الإدارية
مركز مشاريع ودراسات القطاع العام

NOTIONS DE TOPOGRAPHIE
APPLIQUEES AUX TRAVAUX DE RESTAURATION
ET DE VALORISATION DES SOLS



République Libanaise
Bureau du Ministre d'Etat pour la Réforme Administrative
Centre des Projets et des Etudes sur le Secteur Public
(C.P.E.S.P.)



NOTIONS DE TOPOGRAPHIE
APPLIQUEES AUX TRAVAUX DE RESTAURATION
ET DE VALORISATION DES SOLS

D.I. ROCHE
Expert FAO

Beyrouth, Mai 1966

وزارة التصميم العام مركز التوثيق
الرقم 244
تاريخ الدخول

TABLE DES MATIERES

- Préambule	Page	1
- Quelques définitions	"	2

T I T R E I

Les appareils topographiques

- A - Les instruments de chaînage	Page	4
- B - Les mires	"	5
- C - Les niveaux	"	6
- D - Le clisimètre	"	9
- E - Les nivelettes	"	10

T I T R E II

Les opérations planimétriques

Chapitre I

- Mesure directe des longueurs ou chaînage	Page	11
--	------	----

Chapitre II

- Mesure indirecte des longueurs ou stadimétrie	Page	13
---	------	----

T I T R E III

Les opérations de nivellement

Chapitre I

- Mesure des différences de niveau ou dénivelées	Page	15
A - Nivellement direct	"	15
B - Nivellement indirect	"	17

Chapitre II

- Mesure des pentes	Page	18
---------------------	------	----

Chapitre III

- Tracé sur le terrain d'une ligne de pente donnée	Page	18
A - Principe du tracé au clisimètre et au niveau avec échelle de pente	"	19
B - Principe du tracé au niveau	"	20
C - Directives pratiques	"	21
D - Tracé en terrain irrégulier et sans visibilité	"	23
E - Vérification du tracé d'une pente	"	24

PREAMBULE

Cet exposé de topographie élémentaire, est destiné en particulier aux agents de terrain (surveillants de travaux, etc...) qui sont soit appelés à fournir des renseignements topographiques divers (relief, pente) sur le lieu à aménager, soit chargés de l'implantation sur le terrain, des données qui leur sont fournies par leurs supérieurs.

Il n'est donc question, ici que de pratiques topographiques élémentaires, exécutées à l'aide d'instruments et d'appareils topographiques simples - mesure de longueurs, mesure de différences de niveau - Tracé d'une courbe de niveau et d'une ligne de pente donnée.

Une fois ces notions techniques simples assimilées, l'agent d'exécution doit pouvoir implanter sur le terrain, sans difficulté, les projets arrêtés par ses supérieurs.

QUELQUES DEFINITIONS

Avant de passer à l'étude proprement dite, des opérations topographiques, il est absolument nécessaire de connaître la définition exacte des différents termes employés en topographie.

1. LONGUEUR: Il s'agit toujours de longueur mesurée horizontalement.
Ainsi la longueur AB (fig. 1) est celle de l'horizontale AB', qui va de la verticale de A à la verticale de B, quelque soit le relief du terrain entre ces deux points.
2. ALTITUDE: L'altitude d'un point est la hauteur, mesurée à la verticale, de ce point au-dessus du niveau de la mer.
3. DIFFERENCE DE NIVEAU OU DENIVELEE: La différence de niveau ou la dénivelée entre deux points est la hauteur verticale qui sépare ces deux points ou encore la différence d'altitude entre ces deux points.
4. COURBE DE NIVEAU: C'est la ligne plus ou moins sinueuse qui joint tous les points qui sont à la même altitude ou au même niveau.
5. PENTE: La pente d'une ligne donnée est la hauteur verticale dont on s'élève (ou dont on s'abaisse), par mètre de chemin parcouru, mesurée horizontalement. Elle s'exprime en %, c'est à dire en centimètre par mètre: $17/100 = 0,07 = 7\%$ - Lorsqu'un terrain va en s'abaissant on dit qu'il est en pente on affecte le chiffre indiquant le pourcentage du signe (-). Il est en rampe dans le cas contraire et on affecte le chiffre du signe (+).
6. PENTE D'UN TERRAIN: La pente d'un terrain est celle de la ligne ayant la pente la plus forte qu'il soit possible de tracer sur ce terrain.

CALCUL DE LA PENTE: Pour avoir la pente (P) existant entre deux points, il suffit de connaître leur dénivelée (d) et la distance qui les sépare horizontalement (D). On aura donc, en exprimant d et D dans une même unité de longueur (centimètre ou mètre).

$$\text{Pente} = \frac{\text{dénivelée}}{\text{Distance horizontale}} \quad \text{soit } P = \frac{d}{D}$$

De cette formule, connaissant deux données on peut par un simple calcul connaître la donnée inconnue :

$$d = D \times P$$

$$D = \frac{d}{P}$$

Exemples

1. Connaissant la dénivelée 1m60 entre deux points et leur distance horizontale 20m. La pente entre ces points est de :

$$P = \frac{d}{D} = \frac{1\text{m},60}{20\text{m}} \quad \text{ou} \quad \frac{160\text{cm}}{2000\text{cm}} = 0,08 \quad \text{ou} \quad 8\%$$

2. Connaissant la pente 20% (20/100) et la distance horizontale 10m entre deux points, la dénivelée est de :

$$d = D \times P = 10\text{m} \times 20\% \quad \text{ou} \quad 10\text{m} \times 0,20 = 2 \text{ m}$$

3. Connaissant entre deux points, la dénivelée 4m et la pente 5‰ (5/1.000), la distance horizontale entre ces deux points est de :

$$D = \frac{d}{P} = \frac{4}{5/1.000} = \frac{4 \times 1.000}{5} = 800\text{m}$$

T I T R E I

- - - - -

LES APPAREILS TOPOGRAPHIQUES

Il en existe de nombreux types. Il ne sera étudié dans ce titre, que les types d'appareils simples, employés le plus couramment.

A. LES INSTRUMENTS DE CHAINAGE.

Ils servent à mesurer les longueurs.

1. LA CHAÎNE D'ARPENTEUR.

Elle est formée d'une série de chaînons en fil d'acier reliés par des anneaux. Du centre d'un anneau au centre du suivant il y a 20 centimètres. Les deux chaînons extrêmes sont terminés par une poignée, comptant dans la longueur de la chaîne, qui au total mesure 10 mètres (décamètre) ou 20 mètres (double-décamètre). Tous les 5 mètres, il comporte une fichette.

La chaîne s'emploie avec un jeu de 10 fiches en fil d'acier (tiges de Om30 environ terminées par un anneau), plus une fiche plombée.

La chaîne d'arpenteur est solide, mais lourde. Les anneaux de laiton se déforment ou peuvent former des noeuds dits "voleurs" qui faussent les mesures.

2. LE RUBAN D'ACIER

Le ruban a environ deux centimètres de large et se termine par 2 poignées comprises dans la longueur totale, qui est de 10m ou 20m. Chaque mètre est indiqué par une plaquette de laiton numérotée, les décimètres pairs sont marqués par un rivet, les décimètres impairs par un trou. Comme la chaîne le ruban s'emploie avec un jeu de fiches.

Le ruban est léger, indéformable, mais très fragile, il ne faut pas le traîner sur le sol, ni le tordre. Il doit être nettoyé, aussitôt après l'emploi et légèrement graissé.

3. LA ROULETTE

Elle est formée par un ruban d'étoffe renforcée de fils métalliques qui s'enroule autour d'un axe mobile, permettant l'enroulement du ruban. L'ensemble est protégé par une gaine.

La roulette ne sert guère qu'à la mesure de petites longueurs. Sa longueur totale varie suivant la tension exercée et l'humidité de l'air.

B. LES MIRES

Ce sont des règles graduées qui s'emploient avec des niveaux et des clinomètres. Les mires ont une longueur de 2m avec un système à coulisse permettant d'ajouter une deuxième longueur de 2m.

Il en existe deux types.

1. LA MIRE A VOYANT

C'est une règle carrée, graduée en centimètres sur sa face postérieure. Sur la règle coulisse un étrier métallique pouvant être bloqué par une vis et portant sur la face antérieure une plaque métallique appelée "voyant". Le voyant est partagé en quatre secteurs alternativement rouge et blanc, par une ligne médiane horizontale ou "ligne de foi" et par une ligne médiane verticale. Sur l'étrier une repère correspondant à la ligne de foi permet de lire sur la graduation la hauteur de cette ligne au-dessus de la base de la mire.

Sur la face postérieure de la mire, se trouve en général une nivelle sphérique permettant de s'assurer de la verticalité de la mire.

2. LA MIRE PARLANTE

C'est une règle plate qui porte sur sa face antérieure une graduation en centimètres - chaque centimètre est figuré par un rectangle alternativement de couleur différente. Tous les cinq centimètres, les graduations changent de côté. Les décimètres sont marqués par un trait transversal repéré par un chiffre. Sous ce dernier, des points indiqueront le nombre de mètres (de 0 à 1m = rien - de 1 à 2m = 1 point - de 2 à 3m = 2 points - de 3 à 4m = 3 points). Une nivelle sphérique, placée sur la face postérieure entre les deux poignées permet de contrôler la verticalité de la mire.

3. EMPLOI

Les mires servent:

- au nivellement (emploi indifférent des deux types de mires).
- à la mesure indirecte des longueurs - (la mire parlante est plus commode).

En règle générale:

- La mire à voyant facilite la visée, il suffit de faire coïncider le fil viseur de l'appareil avec la ligne de foi du voyant. Par contre, la lecture étant faite par le porte-mire, il y a un risque d'erreur.
- La mire parlante, si elle ne facilite pas la visée (simple question d'habitude) permet à l'opérateur de lire dans l'appareil à lunette la graduation correspondante au fil viseur. La mire parlante devra être tenue à l'envers.

C. LES NIVEAUX

Les niveaux sont des appareils qui permettent lorsqu'ils sont correctement réglés, de faire des visées horizontales. Il en existe de très nombreux types.

Ces appareils, bien que différents en apparence, ont en commun trois éléments identiques:

- le pied, qui supporte le niveau
- la lunette, qui est l'organe de visée
- la nivelle, qui permet de mettre le niveau horizontal.

1. LE PIED

C'est un trépied, formé de trois branches articulées au sommet sur un plateau. Le niveau est fixé au centre du plateau par une vis; le bouton moleté de cette dernière, porte souvent un crochet permettant de suspendre un fil à plomb. Le niveau repose sur le plateau par trois "vis calantes" disposées en triangle et qui permettent de modifier la position de l'appareil par rapport au plateau.

PRECAUTIONS

- Bien serrer les branches du trépied.
- Bien enfoncer les trois pointes dans le sol.

Le trépied permet d'effectuer la mise en station de l'appareil, c'est à dire, mettre le centre du plateau à la verticale du point où l'on veut installer le niveau (utilisation du fil à plomb et déplacement des branches du pied).

2. LA LUNETTE

C'est l'organe de visée.

La lunette donne de l'objet une image grossie et renversée. Elle est constituée par un système de lentilles convexes.- "l'oculaire" du côté de l'oeil, - "l'objectif" du côté de l'objet visé. Entre les deux se trouve le "réticule" (fig. 2) constitué par des fils très fins ou des traits gravés sur une plaque de verre. Le croisement des fils diamétraux vertical et horizontal se nomme "point de croisée", c'est par ce point et le centre de l'objectif que doit se faire la visée ou pointage. Le fil diamétral horizontal est appelé "fil niveleur".

Dans le réticule se trouve l'échelle de pente (fig. 2) qui est constituée par une graduation le long du fil vertical. Chaque trait court correspond à 1‰ (un pour mille) de pente. Les pentes de 5‰ et 10‰ sont indiquées par des traits plus longs. La graduation (+) est en dessous du fil niveleur, la graduation (-) au-dessus.

On trouve parfois aussi dans le réticule, des fils stadimétriques, permettant de faire des mesures indirectes de longueur. En général, ce sont les traits + 5‰ de l'échelle de pente. Leur écartement est calculé de façon à avoir un coefficient égal à 100, appelé coefficient stadimétrique.

La lunette comme tout instrument d'optique doit être réglée à la vue de l'opérateur ou suivant la visée.

- a) Réglage de l'oculaire: varie avec l'opérateur. On met un papier blanc à quelques centimètres devant l'objectif et l'on tourne l'oculaire en le rentrant ou en le sortant jusqu'au moment où l'on voit nettement les fils du réticule.
- b) Réglage de l'objectif: varie à chaque visée. On tourne le bouton moleté placé sur la lunette faisant rentrer ou sortir l'objectif jusqu'à ce que l'image de l'objet visé soit nette.

Ces deux réglages sont correctement faits, quand déplaçant l'oeil devant l'oculaire, l'opérateur ne voit pas bouger les fils du réticule par rapport à l'image de l'objet visé (il suffit souvent de corriger légèrement le réglage de l'oculaire).

3. LA NIVELLE

Elle est de deux types et sert à mettre le niveau horizontal.

- nivelle cylindrique
- nivelle sphérique

- a) La nivelle cylindrique: c'est la plus courante. Elle est formée par une armature métallique protégeant un tube en verre en arc de cercle et contenant un liquide et une bulle d'air. Cette dernière se trouve toujours au point haut. Le milieu du tube de verre est marqué par des traits repères.

Pour mettre le niveau horizontal, il suffit, si la nivelle est bien réglée, d'amener la bulle entre les traits-repères. Cette opération est appelée "CALAGE".

- b) La nivelle sphérique: est constituée par un petit cylindre métallique (contenant du liquide et une bulle d'air) terminé par une calotte sphérique en verre. Un cercle repère marque le milieu de la nivelle.

Pour procéder au calage de l'appareil, il suffit d'amener la bulle au milieu du cercle repère. Ce système moins précis permet de faire rapidement un réglage approché, qui est ensuite achevé à la nivelle cylindrique.

4. LE CALAGE DU NIVEAU

Consiste à rendre l'axe de la lunette horizontal (ou le plan de déplacement de la lunette horizontal). Cette opération, qui doit être faite à chaque mise en station, est importante et doit être soigneusement vérifiée, si l'on veut que les mesures faites avec l'appareil soient exactes.

a) Calage d'un instrument à la nivelle cylindrique seule

- Mettre la nivelle parallèle à deux vis calantes.
- Tourner ces 2 vis en sens inverse pour amener la bulle entre ses repères.
- Tourner la lunette de 90°, de façon que la nivelle soit parallèle à la troisième vis calante.
- Avec cette vis amener la bulle entre ses repères.
- Recommencer l'ensemble des opérations jusqu'à ce que la bulle ne bouge plus dans aucune direction.

b) Calage d'un instrument à la nivelle sphérique seule

- Amener, sans tourner l'appareil, la bulle dans le cercle repère à l'aide de deux vis calantes.
- Tourner la troisième vis calante.
- Recommencer l'ensemble des opérations jusqu'à ce que la bulle ne bouge plus dans aucune direction.

La nivelle cylindrique sert à figoler et à terminer le calage de l'appareil.

NOTA: Dans certain niveau simplifié monté sur rotule, on amène la bulle dans le cercle repère en agissant sur cette rotule. La bulle étant placée dans le cercle repère, on serre la vis de blocage du niveau et on termine le calage avec la nivelle cylindrique.

5. POINTAGE ET REGLAGES

a) Pointage: L'appareil soigneusement "calé", il faut toujours au moment de faire une visée, lorsque l'appareil est pointé sur l'objet, vérifier que la bulle de la nivelle cylindrique est bien entre ses repères. Si un léger écart est constaté, on le corrige en agissant sur la vis calante la plus rapproché de l'axe longitudinal de la lunette (en avant ou en arrière).

b) Réglages: Avant de faire tout travail au niveau, surtout après un transport, il faut vérifier:

1. Le réglage de la nivelle cylindrique: Le niveau bien calé, la bulle doit rester entre ses repères, quelque soit la direction donnée à la lunette, si non la nivelle est dérégulée.

2. Le réglage de la ligne de visée: Pour cela, on choisit deux points A et B, distants par exemple de 30m à 50m et bien nets.

On place d'abord le niveau à environ 3m de A. On vise une mire tenue parfaitement verticale en A et on note la hauteur de visée (par exemple 1m128). Puis on place la mire en B, on pointe le niveau et on fait la lecture (par ex. 1m392), on fait la différence des chiffres lus ($1,392 - 1,128 = 0m,264$).

Ensuite on place le niveau à environ 3 mètres de B et on fait les mêmes opérations que ci-dessus. La différence des deux chiffres lus doit être exactement la même, si non la ligne de visée est dérégulée.

D. LE CLISIMETRE

C'est un appareil qui mesure directement la pente de la ligne de visée. Il comporte deux échelles de pente, positive (+) et négative (-), opposées ou côte à côte.

Il existe de très nombreux types de clisimètre. Nous ne décrivons ici le type le plus utilisé.

Le clisimètre à collimateur ou clisimètre-lyre.

C'est un petit instrument portatif, (il tient aisément dans la poche), qui permet un travail rapide, mais peu précis.

Le clisimètre est formé d'une petite loupe suspendue à un anneau et lestée par une masse lourde. Cette dernière peut être évidée et se replier (clisimètre-lyre) ou formée une seule masse rigide.

La loupe permet de regarder en agrandissement deux échelles de pente très fines, disposées de telle sorte que l'oeil de l'opérateur placé contre la loupe les perçoit comme si elles étaient très éloignées. La graduation zéro (0) est placée de telle manière que lorsque l'appareil suspendu au doigt est immobile, la ligne idéale qui joint l'oeil à l'image en passant par cette graduation est horizontale. Les autres graduations au-dessus (+) et au dessous (-) sont calculées de façon à donner les pentes.

Dans les clisimètres à une seule loupe (échelle de pente opposée) on peut mesurer les pentes comprises entre 0% et 35%. Dans les instruments à deux loupes (échelle de pente côte à côte) les limites des mesures sont comprises entre 0% et 70%.

Emploi:

L'agent qui veut mesurer une pente dirige l'instrument de façon que l'image de la graduation de l'échelle de pente, touche le bord de l'objet. Lorsque le clisimètre, librement suspendu est immobile, l'agent n'a plus qu'à lire la graduation en regard de l'objet (fig. 3) et notera si la pente est montante ou descendante. Pour avoir exactement la pente, une précaution est à prendre: l'instrument étant placé à la verticale du point est accroché à un piton vissé sur un bâton - (absolument nécessaire pour le tracé d'une pente donnée), l'agent doit viser une mire dont la ligne de foi est à la même hauteur que l'oeil, (du zéro de l'appareil quand celui-ci est accroché au piton).

Vérification de l'appareil

Le clisimètre est toujours livré réglé, une fois pour toutes. Mais par suite de chocs, de trépidations, il peut se dérégler. On le vérifie de la façon suivante: soit une pente AB. L'agent se place en A, à une hauteur h et vise une mire tenue en B dont la ligne de foi est à la même hauteur h. Il lit la pente. Il se place ensuite en B à une hauteur h' et vise la mire placée en A à la même hauteur h'. La lecture de la visée doit donner la même pente que la première fois, si non, le clisimètre est dérégulé.

E. LES NIVELETTES

Les nivelettes sont constituées par un rectangle de bois (0m,25 x 0m,10 env.) fixé en équerre sur un pied en bois (de 0m,80 à 1m). L'important est que les nivelettes aient rigoureusement la même hauteur et que la partie supérieure du rectangle soit bien rectiligne. Elles sont utilisées en général par jeu de trois.

Elles permettent:

- soit de placer des points intermédiaires sur une ligne de pente donnée,
- soit surtout de vérifier après exécution l'exactitude du travail effectué sur un tronçon assez court.
- soit d'indiquer éventuellement les corrections à faire (creuser ou surélever le point marqué par la 3ème nivelette).

T I T R E II

LES OPERATIONS PLANIMETRIQUES

Le problème essentiel de la planimétrie est de rapporter sur le papier l'image de la projection horizontale du terrain, c'est à dire la suite de lignes droites et sinueuses entrant dans la composition du portrait d'un terrain. Pour cela il est nécessaire:

- de mesurer sur le terrain les longueurs suivant l'horizontale.
- de déterminer l'angle que fait chaque droite avec la direction de l'aiguille de la boussole.
- de rapporter sur le papier, à l'échelle convenable, les mesures faites sur le terrain.

Dans cet exposé, nous n'étudierons que la première partie du problème de la planimétrie, c'est à dire la mesure des longueurs.

MESURES DES LONGUEURS

Mesurer la longueur d'une ligne c'est chercher combien la projection horizontale de cette ligne contient de mètres, de décimètres, de centimètres.

Deux méthodes de mesures peuvent être utilisées.

- La mesure directe ou chainage
- La mesure indirecte ou stadimétrie.

C H A P I T R E I

MESURE DIRECTE DES LONGUEURS OU CHAINAGE

La mesure directe consiste à appliquer sur le terrain une longueur étalon qui est la chaîne d'arpenteur, le ruban, etc...

1. LE JALONNEMENT.

Avant toute chose, il faut marquer par des jalons, la ligne à mesurer. Les jalons bien droits et bien visibles devront être alignés à l'oeil et plantés à moins de 50m les uns des autres et toujours à peu près à égale distance (sauf cas exceptionnels: extrémités de la ligne non visible, etc...)

2. LE CHAINAGE EN TERRAIN HORIZONTAL

En terrain horizontal, le travail est fait par:

- un opérateur qui est le chaîneur arrière.
- un aide qui est le chaîneur avant

Tandis que l'opérateur place la poignée au point de départ, l'aide prend l'autre extrémité de la chaîne, les 10 fiches et avance d'une longueur de chaîne en se guidant sur les jalons et suivant les indications de l'opérateur. Ce dernier vérifie que la chaîne est bien tendue, sans "noeuds voleurs" et fait planter verticalement par l'aide une fiche à l'extrémité de la chaîne. L'opérateur et l'aide relèvent la chaîne, avancent d'une longueur et font la même opération la poignée arrière étant contre la fiche précédemment placée. Cette fiche est alors enlevée et emportée par l'opérateur.

Lorsque, après avoir mesuré 100m (ou 200m si l'on emploie un double décimètre), l'opérateur est arrivée à la 10ème fiche, il inscrit 100m sur son carnet, enlève cette fiche et la remplace par la fiche plombée (dont il ne doit jamais se dessaisir). Il remet les 10 fiches à l'aide et le chaînage recommence à partir de la fiche plombée, qu'il a soin d'emporter.

Quand l'opérateur arrive à moins de 10 mètres de l'extrémité de la ligne, il appuie la poignée arrière de la chaîne contre la dernière fiche plantée et fait lire par l'aide le nombre de mètres, de décimètres et de centimètres (à l'estime) inscrits sur la chaîne en regard du point d'arrivée. Le nombre d'hectomètres est inscrit sur son calepin (nb. de fois 10 fiches), le nombre de décimètres, lui est donné par le nombre de fiches qu'il a dans la main plus une (celle qui est encore plantée).

REMARQUES

- a) Les fiches doivent toujours être plantées à l'extérieur contre la poignée de la chaîne ou dans son encoche.
- b) Il faut toujours contrôler les fiches vérifier si le jeu est complet (fiches opérateur + fiches aide = 10). La plupart des erreurs de chaînage, proviennent d'erreur dans le compte des fiches.

PRECISION

Le chaînage en terrain horizontal est très précis lorsqu'il est correctement exécuté, on augmentera la précision en chaînant deux fois la même longueur. La différence des deux chaînages ne doit pas dépasser la millième partie de la longueur mesurée ($1/1.000$ d'approximation, soit 0,10 pour 100m).

3. LE CHAINAGE EN TERRAIN INCLINE:

La chaîne ne sera plus appliquée sur le sol, puisque l'on veut mesurer des longueurs horizontales. On procédera par ressauts horizontaux (fig.1). L'opérateur se place au point de départ, son aide se déplace, comme pour un chaînage en terrain horizontal, mais arrivé au bout de la chaîne, il l'a tend fortement en l'élevant de façon à la maintenir horizontale. Puis prenant la fiche plombée (avec son jeu de 10 fiches), il la place dans la rainure de la poignée et sur un signe de l'opérateur, il la laisse tomber sur le sol verticalement (surtout pas de balancement), l'enlève et la remplace aussitôt par une fiche ordinaire et ainsi de suite. Il faut toujours chercher à opérer en descendant.

Nota I: Lorsque l'inclinaison du terrain est très grande on mesure avec des éléments de chaîne de 5m et même plus courts si nécessaire. L'opérateur en tiendra soigneusement compte sur son carnet.

PRECISION

Le chaînage par ressauts est bien moins précis. L'erreur de chaînage peut atteindre 0m,20 à 0m,40 pour 100 mètres.

4. LE CHAINAGE PAR CONTINUITÉ

Lorsqu'on a plusieurs points à relever sur une même ligne droite, on note au passage sans s'arrêter, la distance de chacun de ces points. Par exemple, on a, à mesurer la ligne AB avec deux points intermédiaires C et D, en chaînant on notera la distance AC, et on continuera le chaînage vers B, sans changer le point de départ A, en passant on notera le second point intermédiaire D. Arrivé en B, on notera la distance totale AB.

C H A P I T R E II

MESURE INDIRECTE DES LONGUEURS OU STADIMETRIE

L'exécution d'un chaînage en terrains difficiles est une opération lente et peu précise. Aussi a-t-on imaginé des procédés permettant d'obtenir la distance horizontale qui sépare deux points sans faire de chaînage.

Nous nous occuperons ici que du procédé utilisant une mire parlante ou stadia et un niveau à lunette stadimétrique.

PRATIQUE - MANIERE D'OPERER

Soit à mesurer la longueur d'une ligne AB. On met le niveau en station exactement sur le point A à l'aide du fil à plomb. En B, un aide tient la mire parlante bien verticale.

L'opérateur, après avoir amené le fil vertical médian au milieu de la mire, lit les graduations de cette dernière qui correspondent aux fils stadimétriques (en appréciant s'il le faut les millimètres), il fait la différence des chiffres lus: le résultat multiplié par 100 donne la distance AB. Autrement dit, le nombre de centimètres obtenus en faisant la différence entre les deux lectures, correspond au nombre de mètres de la distance AB (les millimètres correspondent aux centimètres).

Exemple: Graduations lues sur la mire

- en face du trait stadimétrique inférieur	=	142cm,6
- en face du trait stadimétrique supérieur	=	<u>86cm,2</u>
Différence	=	. 56cm,4
Longueur AB	=	56 m,4

REMARQUES

- Le niveau doit être parfaitement mis en station et soigneusement calé. Le fil vertical du réticule doit être parfaitement au milieu de la mire.
- Afin d'éviter les erreurs de lecture, il faut également lire la graduation de la mire correspondant au fil niveleur. Ce chiffre doit être la moyenne de ceux lus sur les fils stadimétriques, si non il y a erreur sur l'une des trois lectures.

Dans l'exemple ci-dessus, on doit lire sur le fil niveleur,

$$114\text{cm},4 = \frac{142,6 + 86,2}{2}$$

PRECISION ET PORTEE

La stadimétrie est moins précise que le chaînage sur sol horizontal et plus précise que le chaînage par ressauts.

La portée de la visée varie avec la qualité de la lunette et la pente du terrain. Dans ce dernier cas, la longueur de la visée est commandée par la hauteur de la mire et elle est d'autant plus courte que le terrain est plus en pente.

T I T R E I I I

LES OPERATIONS DE NIVELLEMENT

Le nivellement a pour but de mesurer l'inclinaison des lignes donnant le portrait du terrain (planimétrie). L'opération essentielle du nivellement est donc de mesurer les différences de niveau entre des points du terrain et par là, par des séries d'opérations successives, déterminer l'altitude d'un point, représenter le relief.

Les agents de terrain auront plus spécialement à mesurer ou à tracer.

- 1) des différences de niveau ou dénivelées ou altimétries.
- 2) des pentes de terrain.
- 3) un chemin ou une ligne de pente donnée (par ex. banquette)

Comme la planimétrie le nivellement comporte,

- des opérations de bureau (mise en place sur le plan des mesures prises sur le terrain), qui ne sont citées ici que pour mémoire.

C H A P I T R E I

MESURE DES DIFFERENCES DE NIVEAU OU DENIVELEES

Ces mesures peuvent se faire de deux manières.

- a. par la méthode directe, en employant des instruments donnant une ligne horizontale: les niveaux
- b. par la méthode indirecte, en employant des instruments donnant les pentes: les clisimètres.

A. NIVELLEMENT DIRECT (mesure au niveau)

Soit à mesurer la différence de niveau entre deux points A et B. Nous savons que celle-ci est la hauteur verticale qui sépare ces deux points, soit BB' (Fig.4).

Le niveau est mis en station et calé en un point entre A et B, pas forcément sur l'alignement AB. Sans mesurer la hauteur du niveau, on pointe la lunette sur une mire tenue verticale en A et on note la graduation qui coïncide avec le fil niveleur (soit 1m76).

Cette visée vers le point de départ est appelée: coup arrière (Sa).

Sans déplacer le niveau, on fait ensuite placer la mire en B et on note, comme précédemment, la graduation lue (soit 0m,66). Cette visée est appelée: Coup avant (Sb).

La différence de niveau BB' s'obtient en retranchant la plus petite lecture (Sb), de la plus grande (Sa). Dans l'exemple Sa - Sb donne = $1,76 - 0,66 = + 1m10$.

- Le point le plus haut correspond à la plus petite lecture.
- Si le coup arrière est supérieur au coup avant, le terrain monte, la différence de niveau est positive (+) (notre exemple).
- Si le coup arrière est inférieur au coup avant, le terrain descend, la différence de niveau est négative (-).

CAS OU LA DIFFERENCE DE NIVEAU EST SUPERIEURE A LA HAUTEUR DE MIRE (fig.5)

Une seule station de niveau ne suffit évidemment plus. On opère alors comme suit: on prend des points intermédiaires C - D - E - etc... dont la différence de niveau est inférieure à la longueur d'une mire, et on opère comme précédemment, de proche en proche on détermine et on note les lectures, coups arrière et coups avant, jusqu'à ce que la mire soit placée en B.

On a directement la différence de niveau entre A et B en faisant suivant le cas:

- Somme des coups-arrière - somme des coups avant (+) ou
- Somme des coups avant - sommes des coups arrière (-)

CAS PARTICULIER D'UN CHANGEMENT DE PENTE

Il se peut que le terrain entre les deux points à mesurer A et B, change de pente, par exemple, monte d'abord, puis descend ensuite. Dans ce cas, il y a lieu de disposer avec soin les calculs sur le calepin, pour ne pas commettre d'erreurs. On totalise d'abord les mesures de pente positive, puis les mesures de pente négative. On fait la différence entre les totaux obtenus, et le chiffre trouvé donne la différence de niveau, qui sera, selon le cas positive (+) ou négative (-).

PRECISION:

Le nivellement au niveau est le système le plus précis.

B. NIVELLEMENT INDIRECT (mesure au clisimètre)

Le clisimètre mesure la pente de la ligne visée. Pour que cette mesure soit exacte, il faut viser un point situé à la même hauteur que le zéro de l'échelle de pente (voir mode d'emploi du clisimètre).

TECHNIQUE DU NIVELLEMENT INDIRECT.

Soit a mesurer la différence de niveau entre les points A et B.

- a. On met l'appareil en station en un des deux points A ou B. (Première différence avec le nivellement direct).
- b. On prend la hauteur de l'appareil. (Deuxième différence avec le nivellement direct). On règle le voyant de la mire (ligne de foi) à la même hauteur et si l'on a choisi A comme point de station, on la place au point B.
- c. On vise la mire et on note la graduation de l'échelle de pente qui coïncide soit avec la ligne de foi (mire à voyant), soit avec le chiffre correspondant à la hauteur de l'appareil (mire parlante). (Pente en % = p)

REMARQUE: Si on se sert d'un niveau, on utilise l'échelle de pente du réticule et on opère comme pour le clisimètre. On prend la hauteur de l'axe de la lunette en plaçant une mire tout contre l'appareil.

Ces opérations terminées, l'opérateur doit calculer la différence de niveau. On sait que pour avoir la différence de niveau, il faut multiplier la pente par la distance horizontale ($d = p \times D$)

- d. On doit donc mesurer la distance horizontale (D) séparant les deux points A et B (troisième différence avec le nivellement direct).

La différence de niveau aura le même signe (+ ou -) que la pente.

Exemples: I	- Pente AB (p)	= + 12 ‰
	- Distance horizontale (D)	= 80m
	- Dénivelée (d)	= $\frac{80 \times 12}{100}$ ou $80 \times 0,12 = + 9m,60$
II	- Pente AB	= - 6‰ (- 6/1.000)
	- Distance horizontale	= 60m
	- Dénivelée	= $\frac{60 \times 6}{1.000}$ ou $60 \times 0,006 = - 0m,36$

REMARQUE: On peut mesurer une différence de niveau même si on ne dispose que d'un clisimètre et d'une mire. Dans ce cas, on opère comme dans la méthode de nivellement direct, en utilisant le zéro de la graduation du clisimètre comme fil niveleur. Ce procédé est peu précis.

PRECISION:

Le nivellement direct avec l'échelle de pente du niveau, donne encore de bons résultats. Ces derniers sont plus approximatifs avec le clisimètre.

C H A P I T R E I I

MESURE DES PENTES

Pour mesurer la pente d'une ligne de terrain, on utilise généralement le clisimètre, mais on peut opérer également avec un niveau.

1. MESURE DE LA PENTE AU CLISIMETRE

Soit à mesurer une pente AB

- a. Le clisimètre est mis en station sur le point A. L'opérateur règle la hauteur de la mire à celle de l'appareil.
- b. Il fait placer la mire ainsi réglée sur le point B.
- c. Il vise la ligne de foi du voyant et lit la graduation qui coïncide. La lecture donne directement la pente.

2. MESURE DE LA PENTE AU NIVEAU

On opère comme avec le clisimètre, mais sans prendre la hauteur de l'appareil. Le niveau ne donnant que des différences de niveau, il faut mesurer la longueur horizontale (chainage par ressauts ou stadimétrie). Pour avoir la pente, il faudra diviser la différence de niveau par la longueur horizontale ($p = \frac{d}{D}$)

Exemple: Différence de niveau (d) = 3m,20

Distance horizontale (D) = 16m

Pente (p) = $\frac{3,20}{16} = 0,20 = 20\%$

C H A P I T R E I I I

TRACE SUR LE TERRAIN D'UNE LIGNE DE PENTE DONNÉE

C'est le problème que l'agent de terrain aura le plus souvent à résoudre avec celui de la mesure des différences de niveau (dénivelée), puisque c'est celui du tracé des banquettes, des terrasses et accessoirement celui du tracé des pistes.

Pour effectuer ce tracé on peut opérer:

- soit au clisimètre ou au niveau avec utilisation de l'échelle de pentes
- soit au niveau avec utilisation du fil niveleur et de la distance horizontale.

A. PRINCIPE DU TRACE AU CLISIMETRE ET AU NIVEAU AVEC ECHELLE DE PENTE

Les appareils utilisés sont: le clisimètre et le niveau avec son échelle de pente.

La manière d'opérer est la suivante:

1. Mettre l'appareil en station au point de départ A. On mesure la hauteur de l'appareil et on règle à la même hauteur le voyant de la mire.
2. On fait déplacer la mire à distance de visée (en moyenne 10 à 12 mètres) jusqu'à ce que la ligne de foi du voyant coïncide avec la graduation de pente voulue. La mire marque à ce moment le deuxième point B de la ligne.
3. Si au delà du premier point B, la direction de la ligne ne change pas sensiblement, terrain à relief régulier, il est possible de placer un deuxième point C à partir de la même station initiale A de l'appareil. Mais, s'il y a un net changement de direction (mouvement de terrain), il faut aussitôt transporter l'appareil sur le dernier point fixé, et recommencer les mêmes opérations (mises en station sur le point, calage, hauteur de mire, etc...

AVANTAGES

Cette méthode est rapide, car elle ne nécessite ni mesures de longueur, ni calculs.

Si le terrain est régulier, elle permet des visées longues à partir d'un même point.

INCONVENIENTS

CLISIMETRE:

Si son utilisation permet d'avoir un gain de temps appréciable, son imprécision est trop grande. Sa précision n'est acceptable que pour le tracé de piste. Pour le tracé de banquettes (pentes de 3 à 8‰, difficiles à apprécier) l'emploi du niveau à lunette clisimétrique est indispensable.

La pente mesurée est celle de la ligne droite, c'est à dire celle de la ligne de visée appareil mire. En terrain irrégulier, avec croupes et ravins, la ligne qui suit le relief du terrain sera plus longue que la ligne de visée d'où différence dans la pente donnée à la courbe. Pour éviter ces graves erreurs, en terrain irrégulier, il faut raccourcir les visées, multiplier les points station sur les croupes et surtout dans les thalwegs, - d'où, perte de rapidité dans l'exécution.

B. PRINCIPE DU TRACE AU NIVEAU

Dans cette méthode, on utilise le niveau avec son fil niveleur, une mire parlante de préférence et une chaîne d'arpenteur, le niveau ne donne que des différences de niveau. Pour obtenir la pente, il faut donc connaître la distance horizontale. Il y a deux opérations à faire:

1. Calculer d'après la pente ficée et la distance entre deux points, la différence de niveau entre ces deux points (utilisation de la formule $d = P \times D$).
2. Connaissant cette différence de niveau, chercher un point à la distance fixée donnant la dénivelée voulue.

PRATIQUE:

Soit à tracer à partir d'un point A une ligne de pente de + (6/1.000), avec un écartement de 10 mètres entre les points du tracé.

La différence de niveau entre deux points successifs est de $10 \times 0,006 = 6$ centimètres ($D \times P = d$).

Le tracé devant aller en montant, les lectures sur la mire doivent donc diminuer de 6 cm à chaque point.

L'opérateur met le niveau en station à une certaine distance du point de départ A dans la direction où il faut tracer la ligne. Le premier aide (porte-mire) place en A une mire parlante de préférence et l'opérateur lit la hauteur, par exemple: 3m,560. Un second aide tient en A, l'extrémité de la chaîne de 10m, le porteur de mire transporte celle-ci à l'autre extrémité de la chaîne tendue horizontalement par un troisième aide, et la déplace jusqu'à ce que l'opérateur voit le fil niveleur du niveau coïncider avec la graduation 3m,500 ($3m,560 - 0m,060 = 3m,500$). Le pied de la mire marque alors le second point B de la ligne.

Les deux aides chargés de la chaîne d'arpenteur, déplacent cette dernière de façon à placer une extrémité de la chaîne au point B, le porte-mire met la mire parlante à l'autre extrémité et la déplace (en arc de cercle), jusqu'à ce que l'opérateur voit le fil niveleur coïncider avec la graduation 3,440 de la mire ($3m,500 - 0m,060 = 3m,440$). On a ainsi le point C de la ligne et on continue de la même manière.

Si par suite d'un accident de terrain (par exemple une croupe) on ne peut plus faire de visée, l'opérateur transporte son niveau, au-delà du dernier point E matérialisé et recommence à partir de ce point E, les mêmes opérations que ci-dessus (bien entendu, la hauteur de mire ne sera plus que la même puisque la mise en station est différente).

AVANTAGES

- Cette méthode de tracé est plus précise que celle du clisimètre.
- Même en terrain irrégulier on peut faire des visées longues, à condition que le chaînage soit toujours fait horizontalement en suivant la ligne du terrain.
- En même temps que le tracé, on mesure la longueur de la ligne tracée (banquette).
- S'il y a des potets de plantation à prévoir, les différents points nivelés (distance) seront ceux où doivent être placés les potets qui se trouveront ainsi matérialisés sur le terrain et comptés.

INCONVENIENTS

Nécessité de faire des calculs (calcul de la différence de niveau. Addition ou soustraction) et des mesures de longueur.

C. DIRECTIVES PRATIQUES

L'agent connaissant maintenant les diverses méthodes de tracé d'une ligne de pente donnée, les divers appareils topographiques simples, leurs possibilités et leurs limites d'emploi, devra dans chaque cas particulier (travail à exécuter, aspect du terrain) choisir la meilleure méthode, de façon à faire:

- Un tracé précis
- Dans le minimum de temps

D'une façon générale, si l'on envisage:

1. LE TRACÉ D'UNE LIGNE A FORTE PENTE: (par ex.: piste)

Pour ce tracé la précision du clisimètre est suffisante. Le niveau avec échelle de pente nécessitant des visées courtes donc nombreuses, sera écarté, car cette méthode est trop lente.

2. LE TRACÉ D'UNE LIGNE A FAIBLE PENTE: (par ex. banquette)

Le clisimètre doit être éliminé, sa précision étant insuffisante, sauf dans un cas particulier qui sera vu plus loin. Le seul système donnant une précision satisfaisante est en général le tracé au niveau: tracé avec le fil niveleur. Tracé avec l'échelle de pente. Ces deux méthodes peuvent se combiner en fonction de l'aspect du terrain.

D'autre part, dans le cas de banquettes, le problème se complique du fait qu'il n'y a pas "une ligne" à tracer, mais un "réseau de lignes" de même pente, séparées par une dénivelée fixée à l'avance.

- a. En terrain régulier (grands versants de pente régulière non coupés de ravins importants).

D'après la dénivelée choisie, on fixe le point de départ de chaque ligne du "réseau".

On trace ensuite chaque ligne indépendamment.

La meilleure méthode sera celle du niveau avec échelle de pente. Il sera bon de contrôler les pentes de temps à autre, particulièrement lorsque la ligne est sinueuse. La longueur de la ligne sera donnée par une mesure stadimétrique.

- b. En terrain irrégulier (Croupes et ravins)

Dans un terrain de ce genre, il faut toujours employer la méthode de tracé au niveau avec fil niveleur, en plaçant l'appareil de façon à voir une portion de terrain aussi longue que possible (mise en station dans les ravins de préférence ou sur les croupes).

On fixe le point de départ de chaque ligne du réseau d'après la dénivelée choisie, dans les ravins de préférence.

On tracera en remontant de part et d'autre du point de station.

Si la distance de la croupe aux deux ravins est inégale, les deux lignes tracées ne se couperont pas sur la croupe: il sera nécessaire de faire une retouche, par exemple sur la croupe, un petit élément de pente nulle.

Dans cette méthode, il est absolument nécessaire de tenir un calepin de nivellement du modèle ci-dessous.

Ce calepin permettra à l'agent

- de vérifier les opérations topographiques de tracé.
- d'avoir sous la main des renseignements utiles aux travaux ultérieurs.

Modèle de calepin de nivellement

- Ligne de pente à : + 5‰ - avec points nivelés tous les 10m

Stations du niveau (1)	Points visés (2)	Distances		Lecture sur la mire (5)	Observations (6)
		du point précédent (3)	Cumulées (4)		
A	1	0	0	1,43	
	2	10	10	1,38	
	3	10	20	1,33	
	4	10	30	1,28	
B	4	-	-	0,92	
	5	10	40	0,87	
	6	10	50	0,82	

- Le dernier chiffre de la colonne 4 donne le développement de la banquette.
- Le dernier chiffre de la colonne 2, donne le nombre de potets, à faire, donc le nombre d'arbres à mettre en place, si la distance entre les points nivelés correspond à la distance de plantation. Dans le cas contraire; la longueur de la ligne (colonne 4), divisée par l'écartement des potets donne le nombre de potets moins un.
- Les chiffres des colonnes 3 et 5, permettent de s'assurer de la correction du nivellement.

D. TRACE EN TERRAIN IRREGULIER ET SANS VISIBILITE (terrain couvert)

Le défaut de visibilité oblige à de nombreuses stations, ce qui cause une perte de temps importante avec le niveau. Ce défaut se présente généralement sur une faible longueur, on peut donc exceptionnellement utiliser le clisimètre. Il est alors indispensable de prendre de chaque côté de la zone couverte des points de repère au niveau et de mesurer la distance séparant ces deux points par stadimètre. Le tracé au clisimètre s'appuiera sur ces points.

E. VERIFICATION DU TRACE D'UNE PENTE

1. VERIFICATION AVEC LE NIVEAU

Lorsque la ligne d'une pente donnée est tracée sur une grande longueur, il est nécessaire de vérifier le tracé. On procédera de la façon suivante.

- a. Mesure au niveau de la dénivelée entre deux points éloignés de la ligne.
- b. Chainage de la longueur de la ligne entre ces deux points et application de la formule $d = D \times p$.
- c. La dénivelée obtenue en a., doit être égale à la dénivelée calculée en b.

Exemple: Vérification d'une ligne de pente de 5‰.

On prend deux points M et N sur cette ligne et on chaîne le développement de la ligne entre M et N, soit $MN = 260m$.

On met le niveau en station en un point où l'on voit M et N et on fait la lecture sur la mire placée au point M, soit 2m,92.

La différence de niveau entre M et N doit être de $260 \times 0,005 = 1m,30$ (Application de la formule $d = D \times p$).

On vise la mire placée en N et on doit lire 1m,62 (2,92 - 1,30).

2. VERIFICATION AVEC LES NIVELETTES

Se fait en général pour vérifier de courtes distances. On place les trois nivelettes le long de la banquette à vérifier, soit à la base du talus, soit à une distance égale de celui-ci. Les sommets de toutes les nivelettes doivent se trouver sur une même ligne de visée.

NOTA: Lorsque la ligne n'est pas trop sinueuse, on peut fixer avec les nivelettes un point intermédiaire entre deux points nivelés A et B.

On place une nivelette en A et une autre en B. L'opérateur se place en arrière de A et vise le sommet des deux nivelettes, pendant qu'un aide déplace entre les points A et B une troisième nivelette, jusqu'à ce que son sommet soit placé sur la ligne de visée. Le pied de cette nivelette donne le point intermédiaire cherché.

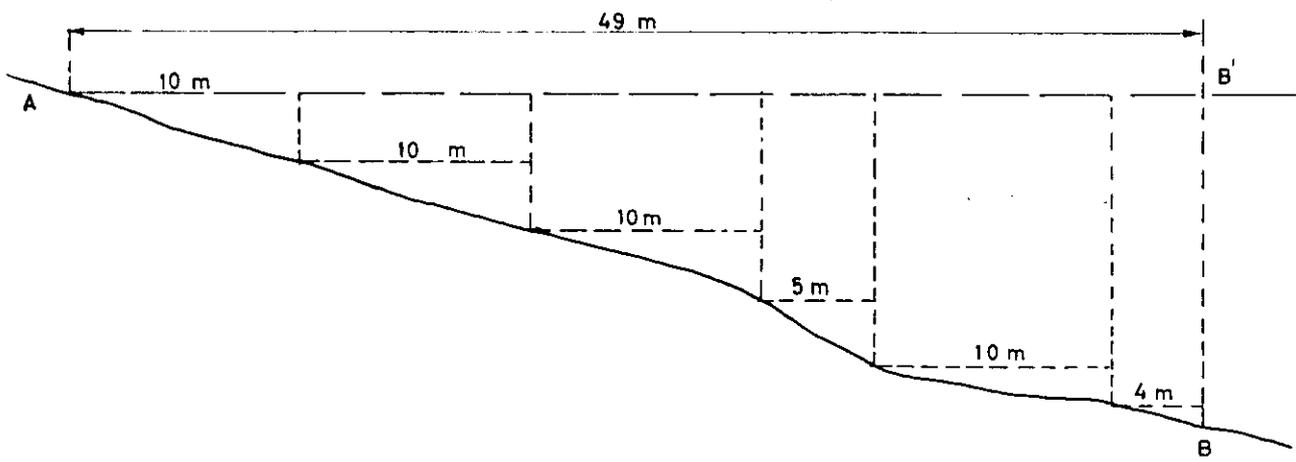


Figure: 1. Mésures horizontales des longueurs

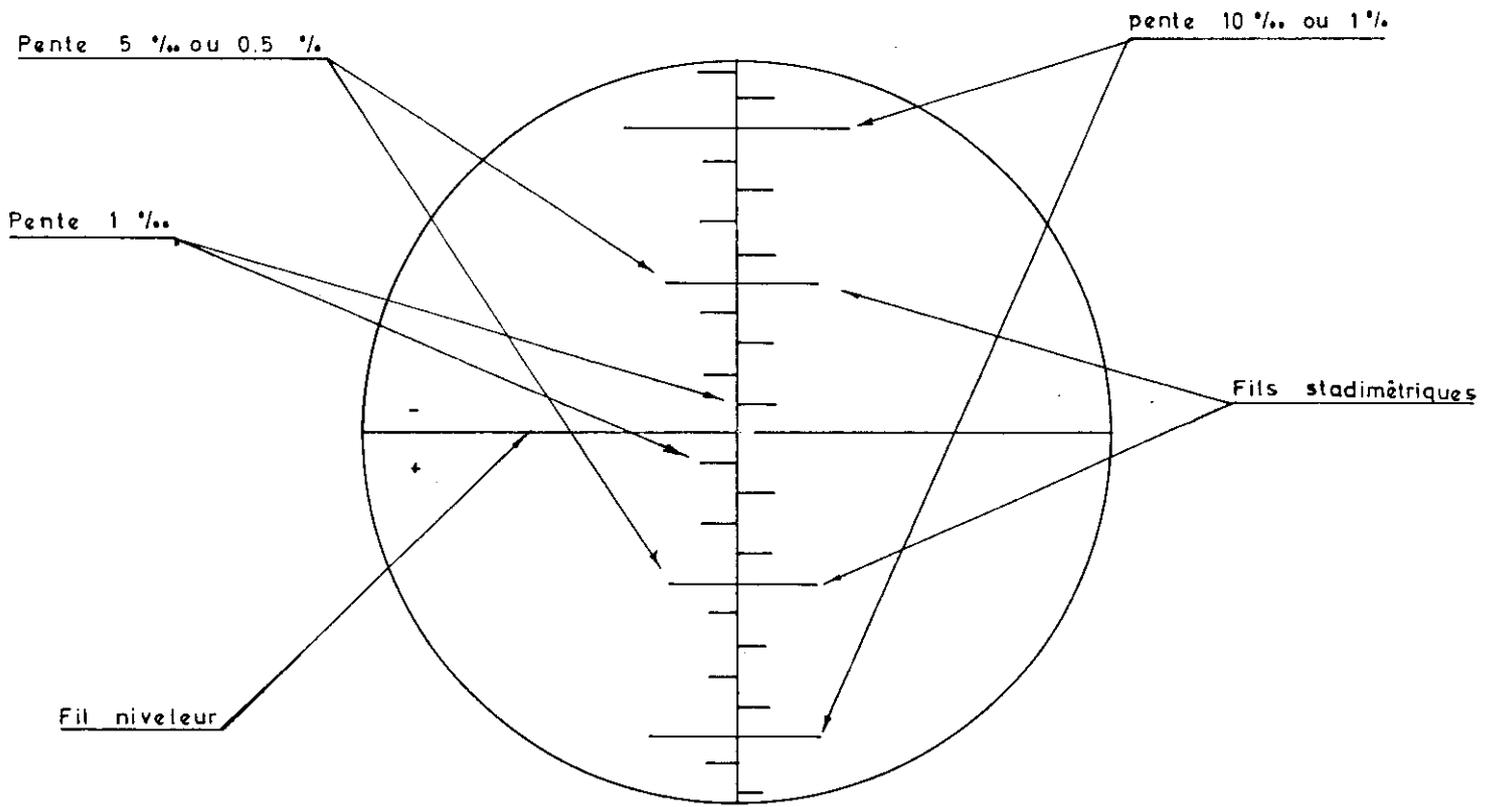


Figure : 2

Réticule d'un niveau à lunette avec son échelle de pentes

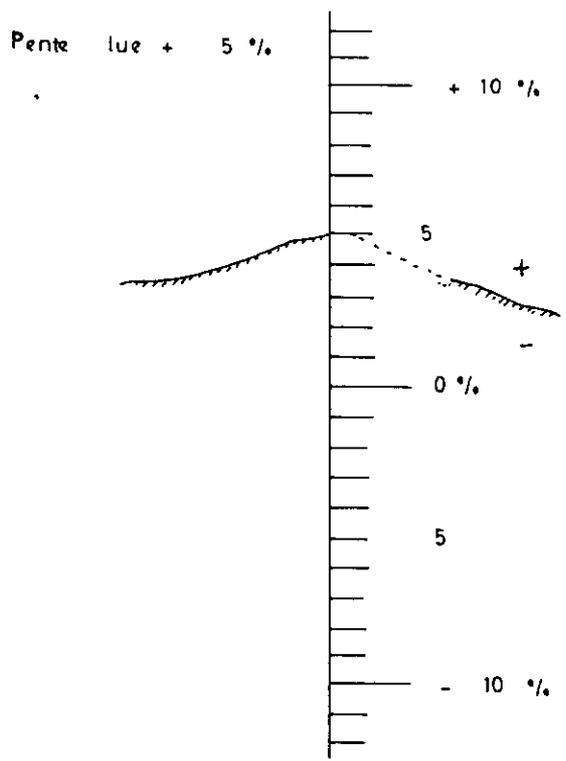


Figure : 3

Echelle de pentes d'un clisimètre à une seul loupe (échelles de pentes opposées)

الجمهورية اللبنانية

مكتب وزير الدولة لشؤون التنمية الإدارية
مركز مشاريع ودراسات القطاع العام

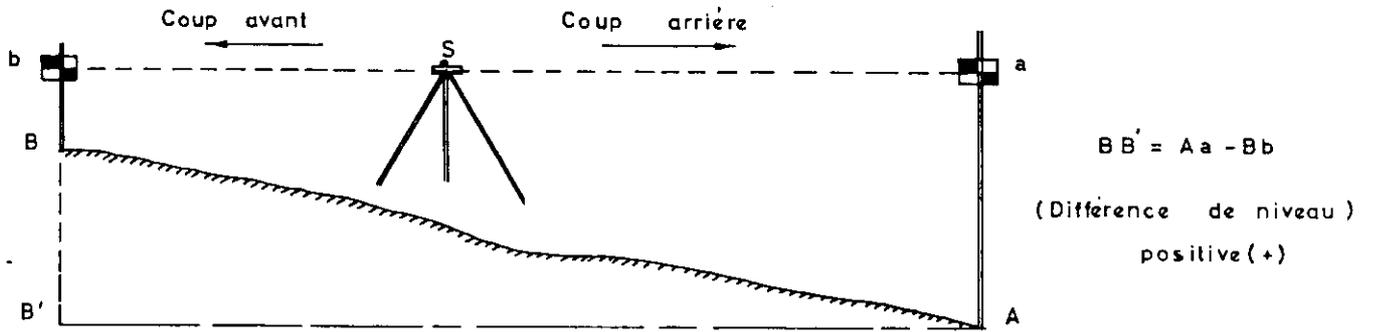


Figure : 4

Mesure au niveau d'une différence de niveau

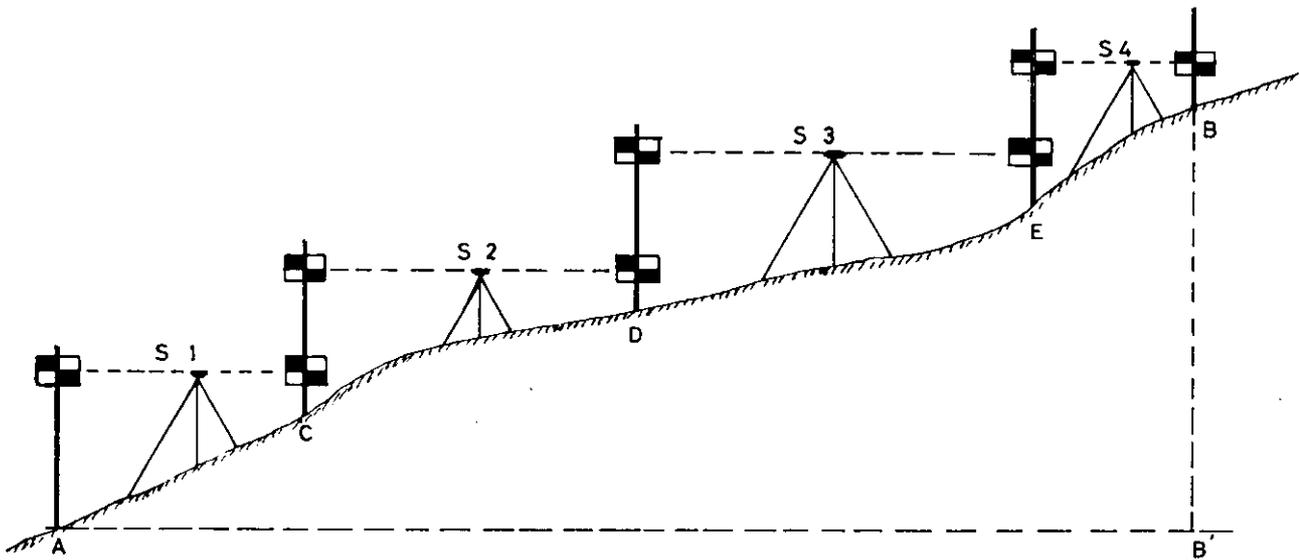


Figure : 5

Mesure d'une différence de niveau supérieure à la hauteur de mire

Republic of Lebanon

Office of the Minister of State for Administrative Reform

Center for Public Sector Projects and Studies

(C.P.S.P.S.)