



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل
Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

VERSION EXPERIMENTALE

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE N°:05	TRAVAUX PRATIQUES EN TOPOGRAPHIE ELEMENTAIRE 1 (INITIATION)
---------------------	--

SECTEUR : BTP

**SPECIALITE : TECHNICIEN SPECIALISE
GEOMETRE TOPOGRAPHE**

NIVEAU : TECHNICIEN SPECIALISE

Janvier 2006

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document.

Pour la supervision :

M. Khalid BAROUTI	Chef projet BTP
Mme Najat IGGOUT	Directeur du CDC BTP
M. Abdelaziz EL ADAOUI	Chef de Pôle Bâtiment

Pour la conception :

M. Pavel Tsvetanov	Formateur animateur CDC/BTP
--------------------	-----------------------------

Pour la validation :

M. Pavel Tsvetanov	Formateur animateur CDC/BTP
--------------------	-----------------------------

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

DRIF

SOMMAIRE

PRESENTATION DU MODULE
RESUME DE THEORIE

I. GÉNÉRALITÉ

1. Connaissance de base
2. Mesures et instruments

II. MESURE DES DISTANCES

1. Généralité
2. Les instruments pour mesurer des distances direct
3. Le jalonnement
4. Mesures de distances à l'aide d'une chaîne

III. L'ALTIMÉTRIE OU NIVELLEMENT

1. Généralité
2. Les matériels
3. Principe de nivellement
4. Vérification de la précision d'une lunette
5. Carnet de nivellement
6. Les niveaux numériques

IV. DIVERS EXERCICES AVEC LE NIVEAU DE CHANTIER

1. Implantation d'alignements
2. Implantation de points en planimétrie
3. Implantation de repères altimétriques
4. Implantation d'un bâtiment

V. PROFILS EN LONG ET EN TRAVERS

1. Définition
2. Profil en long
3. Profil en travers
4. Application

VI. PLANIMÈTRE MECANIQUE

1. Généralité
2. Construction
3. Surface

VII. PLANIMÈTRE ÉLECTRONIQUE

1. Généralité
2. Différences avec planimètre mécanique
3. Des avantages
4. Planimètre PLANIX 7

GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES

EVALUATION DE FIN DE MODULES

VIII. LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

**MODULE 05: TRAVAUX PRATIQUES EN TOPOGRAPHIE
ELEMENTAIRE 1 / INITIATION/**

Durée : 140 H

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit savoir la théorie, les instruments et les appareils topographiques pour les mesures sur le terrain, selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONDITIONS D'EVALUATION

- Tests pratiques sur les divers instruments et appareils topographiques
- Travail en équipe
- Tests pratiques sur les mesures, calculs et dessin en échelle
- Tests pour utilisation de l'ordinateur pour les programmes en topographie
- Généralités
- Mesures des distances avec la roulette
- Sur le terrain plat et en pente
- Alignement et jalonnement
- Equerre optique
- Niveau de chantier
- Nivellement entre deux points
- Divers types de nivellement – sans et avec fermetures
- Détermination d'une pente existante sur le terrain
- Implantation d'une pente sur le terrain
- Relevé des bâtiments existants par la méthode polaire
- Profils en long et profils en travers
- Travail sur l'ordinateur avec des programmes pour le profil en long
- Calculs des volumes terrestres sur l'ordinateur à la base des profils en travers
- Travaux pratiques sur les cartes avec le planimètre mécanique
- Travaux pratiques sur divers dessins en échelle avec le planimètre électronique

PRECISIONS SUR LE COMPOURTEMENT ATTENDU	CRITERES PARTICULAIRES DE PERFORMANCE
1. Généralités	Travaux pratiques avec les instruments Travaux pratiques avec les appareils
2. Mesures des distances avec la roulette	Roulette en métal Roulette plastic Positionnement de zéro Jalonnement et alignement Utilisation des jeux de fiches Equerre optique pour alignement sur terrain plat et en pente
3. Nivellement avec le niveau de chantier ordinaire et automatique	Positionnement de l'appareil Stationnement et horizontalement Verticalisation de la mire Principe de nivellement Nivellement par rayonnement Par cheminement avec fermeture Mixte avec fermeture Carnet pour les mesures Différences entre les deux appareils
4. Nivellement avec le niveau de chantier numérique	Nivellement de haute précision Equipement et méthode de travail Carnet pour les mesures Exigences pour l'exactitude Lectures et erreurs
5. Divers exercices avec le niveau de chantier	Détermination d'une pente existante Implantation d'une pente sur le terrain Relevé des bâtiments existants
6. Profil en long et profils en travers	Relevé sur le terrain Calcul et dessin Divers types des profils en long Travaux sur l'ordinateur
7. Planimètre mécanique et électronique	Positionnement des échelles Vérifications Différence entre les méthodes de travail des deux planimètres

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

Le stagiaire doit maîtriser les savoirs, savoir-faire, savoir percevoir ou savoir être jugés préalables aux apprentissages directement requis pour l'atteinte de l'objectif de premier niveau, tels que :

Avant d'apprendre à 1 et 2 :

1. Connaissances théoriques sur les instruments topographiques
2. Destination de la roulette, le fil à plomb, opération de verticalité d'un jalon, équerre optique
3. Utilisation des jeux de fiches et remplissage du carnet pour les distances

Avant d'apprendre à 3 et 4 :

1. Savoir le principe de nivellement entre deux points
2. Savoir la construction des deux types de niveau de chantier et méthodes de travail
3. Savoir en détails les divers types de nivellement et les contrôles pour les calculs et les mesures
4. Connaissances sur le nivellement de haute précision et l'équipement pour le niveau de chantier numérique

Avant d'apprendre à 5 :

1. Savoir effectuer des mesures sur les trois fils du réticule et détermination des distances
2. Savoir faire des calculs pour les pentes et les distances
3. Savoir la méthode polaire pour le relevé des bâtiments existants

Avant d'apprendre à 6 :

1. Savoir l'implantation et les mesures pour les profils en long et en travers
2. Savoir travailler sur l'ordinateur pour le dessin des profils
3. Savoir déterminer les échelles pour les distances et les altitudes

Avant d'apprendre à 7 :

1. Savoir la construction des deux planimètres, vérifications et positionnement des échelles

PRESENTATION DU MODULE

Le module : « *TRAVAUX PRATIQUES EN TOPOGRAPHIE ELEMENTAIRE 1 / INITIATION/* » s'apprend pendant la première et la deuxième semestre de formation, donc dans la première année de formation.

Il est dispensé en 140 heures.

Le module № 5 consiste à doter le géomètre topographe des notions de base sur « Les instruments et appareils topographiques » et de lui faire apprendre la construction de différents types et modèles des instruments d'une côté et leurs mode d'emploi et utilisation en topographie de l'autre, pour qu'il puisse faire des mesures topographiques, destinés pour élaboration des plans topographiques dans la réalisation des travaux en construction sur le chantier ou bien dans élaboration des études dans un bureau d'étude.

A l'aide des exercices des travaux pratiques, montrer aux stagiaires que la maîtrise de cette compétence est indispensable au métier Technicien Spécialisé Géomètre Topographe

Le module a été élaboré en 3 parties :

- Résumé de théorie : 70% C.A.D 100h
- Guide de travaux pratique : 25% C.A.D 34h
- Evaluation : 5% C.A.D 6h

**TRAVAUX PRATIQUES
EN TOPOGRAPHIE
ELEMENTAIRE 1 / INITIATION/
RESUMÉ DE THEORIE**

I. GÉNÉRALITÉS

1. CONNAISSANCES DE BASE

TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES

La topographie est la technique qui a pour objet l'exécution, l'exploitation et le contrôle des observations concernant la position planimétrique et altimétrique, la forme, les dimensions et l'indentification des éléments concrets fixes et durables, existant à la surface du sol à un moment donné ; elle fait appel à électronique, l'informatique et les constellations de satellites.

La planimétrie est la représentation en projection plane de l'ensemble des détails à deux dimensions du plan topographique ; par extension, c'est aussi l'exécution des observations correspondantes et leur exploitation.

L'altimétrie est la représentation du relief sur un plan ou une carte ; par extension, c'est aussi l'exécution des observations correspondantes et leur exploitation.

Les travaux topographiques peuvent être classés en six grandes catégories suivant l'ordre chronologique de leur exécution.

1.1.1. LE LEVÉ TOPOGRAPHIQUE

C'est l'ensemble des opérations destinées à recueillir sur le terrain les éléments nécessaires à l'établissement d'un plan ou d'une carte.

Un levé est réalisé à partir d'*observations* : actions d'observer au moyen d'un instrument permettant des mesures ; par extension, « les observation » désignent souvent les résultats de ces mesures.

La phase d'une levé topographique, ou d'une implantation, qui fournit ou utilise les valeurs numériques de tous les éléments planimétriques et altimétriques est appelée *topométrie* ;

Généralement, la topométrie est la technique de levé ou d'implantation mise en oeuvre aux grandes et très grandes échelles

1.1.2. LES CALCULS TOPOMÉTRIQUES

Ils traitent numériquement les observations d'angles, de distances et de dénivelées, pour fournir les *coordonnées rectangulaires* planes : abscisse X, ordonnée Y et les *altitudes* Z des points du terrain, ainsi que les superficies ; en retour, les calculs topométriques exploitent ces valeurs pour déterminer les angles, distances, dénivelées non mesurées, afin de permettre notamment les implantations.

1.1.3. LES DESSINS TOPOGRAPHIQUES

L'*échelle* d'un plan ou d'une carte est le rapport constant entre une distance mesurée sur le papier et la distance homologue du terrain :

$$\frac{P}{T} = \frac{1}{E}$$

On distingue trois types d'échelles :

- petite échelle : $100\,000 \leq E$

- moyenne échelle : $10\,000 \leq E \leq 100\,000$;

- grande échelle : $E < 10\,000$, en général $\frac{1}{5000}$, $\frac{1}{2000}$, $\frac{1}{1000}$, l'appellation

« très grande échelle » s'appliquant plutôt au $\frac{1}{500}$, $\frac{1}{200}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{50}$

Un dessin topographique est la représentation conventionnelle du terrain à grande échelle.

Selon le mode de saisie des données et le mode de traitements numériques et graphiques mis en œuvre, on peut distinguer trois types de plans :

- le *plan graphique*, représentation obtenue en reportant les divers éléments descriptifs du terrain sur un support approprié quel que soit le mode d'établissement. Établi par « dessin du trait », sa précision d'exploitation est au mieux de 0,1 mm, valeur qui conditionne en amont la précision des observations (à l'échelle 1/1 000 les dimensions du terrain inférieures à 10 cm)

ne peuvent être représentées) et en aval leur exploitation (à échelle 1/1 000 il est illusoire d'espérer évaluer une distance du terrain à mieux que le décimètre);

- le *plan numérique* est le fichier informatique des coordonnées des points et des éléments descriptifs du terrain, quel que soit le mode d'établissement ; ce fichier autorise le dessin du plan à différentes échelles à l'aide de traceurs de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO), la précision, *indépendant de l'échelle*, étant au milieu celle de la saisie des données ;

- le *plan numérisé* est un plan numérique dont une partie des données provient d'un plan graphique.

L'appellation *plan topographique* s'applique généralement au plan qui représente les éléments planimétriques apparents, naturels ou artificiels, du terrain et porte la représentation conventionnelle de l'altimétrie.

1.1.4. PROJET D'AMÉNAGEMENT

Ce sont les projets qui modifient la planimétrie et l'altimétrie d'un terrain : aménagements fonciers comme le remembrement avec le travaux connexes, lotissements avec l'étude de Voirie et Réseaux Divers (VRD), tracés routiers et ferroviaires, gestion des eaux : drainage, irrigation, canaux, fossés, etc.

1.1.5. IMPLANTATION

Les projets d'aménagements sont des « produits intellectuels », établis généralement à partir de données topographiques, qui doivent être réalisés sur le terrain. Pour ce faire, le topographe implante, autrement dit met en place sur le terrain, les éléments planimétriques et altimétriques nécessaires à cette réalisation.

1.1.6. SUIVI ET CONTRÔLE DES OUVRAGES

Les ouvrages d'art une fois construits demandent souvent un suivi, c'est à dire *une auscultation*, à intervalles de temps plus ou moins réguliers suivant leur destination : digues, ponts, affaissements, etc. Les travaux topographiques correspondants débouchent généralement sur les mesures des variations des coordonnées XYZ de points rigoureusement définis, suivies de traitements numériques divers constatant un état et éventuellement prévoyant une évolution.

Les travaux topographiques sont très informatisés, à la fois par des *progiciels*, programmes standard répondant aux besoins prédéfinis auxquels l'utilisateur doit s'adapter, et par des *logiciels*, programmes spécifiques adaptés aux besoins propres de l'utilisateur.

Les bases de Données (BD) topographiques sont des structures informatiques de données numériques qui permettent de recevoir, stocker et diffuser les résultats des travaux et projets : BD = Banque de Données + Système de Gestion de Base de Données (SGBD).

2. MESURES ET INSTRUMENTS. MESURES DES DISTANCES AVEC LA ROULETTE

En topographie on sera toujours amené à effectuer des mesures sur le terrain ; les conditions météorologiques devront donc permettre leur exécution et auront une influence sur leur qualité (ne pas croire que le temps chaud et ensoleillé est idéal !)

Ces mesures seront :

- des mesures d'angles horizontaux,
- des mesures d'angles verticaux,
- des mesures des longueurs

(la combinaison de ces deux dernières permet de calculer les différences de niveau)

- des mesures directes de dénivelées.

Pour ces mesures il faudra avoir recours à des instruments. Ceux-ci coûteront d'autant plus cher qu'ils seront plus précis. Il faut donc se fixer, a priori, un cahier des charges définissant parfaitement la précision finale désirée.

Un simple exemple : la minute de levé d'un topographe expérimenté ne peut prétendre à une précision supérieure au 1/10mm (c'est l'erreur graphique, irréductible). A l'échelle du 1/500, elle représente 5 cm , au 1/25000 – 2,5 m. Les instruments ne seront pas les mêmes.

II. MESURE DES DISTANCES

1. GÉNÉRALITÉS

Le mesurage linéaire, généralement appelé chaînage, est la base de tout opération topo métrique. Même si le chaînage semble à première vue très simple, il faut se méfier ; il faut lui apporter toute l'attention possible et utiliser la bonne technique. D'une façon générale, la distance entre deux points est toujours *ramenée à l'horizontale* soit par calculs, soit par méthode utilisée lors du mesurage. La mesure linéaire s'effectue de trois façons : par la *mesure directe*, par la *mesure indirect* ou par la *mesure électronique*. Une mesure est appelée direct lorsqu'on parcourt la ligne à mesurer en appliquant bout à bout un certain nombre de fois l'instrument de mesure. Mesurer directement une longueur c'est la comparer à une mesure étalon,(mètre, décamètre, double décamètre,...etc.) que l'on porte bout à bout autant de fois qu'il est nécessaire.

2. LES INSTRUMENTS POUR MESURES DES DISTANCES DIRECT.

2.1. Le mètre ou le double mètre

Ruban métallique enroulé dans un boîtier. D'un maniement aisé il est utilisé pour la mesure de détails (hauteur des tourillons, mesures en renforcement.....).

2.2. Le pas ou le double pas

Cette méthode permet de mesurer rapidement les dimensions de certains détails pour les levés à petit échelle (1/2 000 et en - dessous). Elle permet également de vérifier si une erreur importante n'a pas été commise sur la mesure d'une distance.

2.3. Le télescomètre ou « télescopique »

Il remplace les règles en bois et en métal utilisées jadis. Constitué de plusieurs éléments coulissants, il est télescopique et rigide, et permet de mesurer avec précision des détails jusqu'à 5 m.

Surtout utilisé pour les mesures dans les parties bâties, il peut être manié par une seule personne.

2.4. La chaîne d'arpenteur

Présentant de nombreux inconvénients (maillons de fil de fer, reliés entre eux par les anneaux) elle est actuellement abandonnée.

Le ruban (étalon à bouts)

Il est en acier ou en inox, de longueurs 10, 20, 30 ou 50 m, il est bien adapté pour tous les travaux topo métriques

Le ruban porte : *tous les mètres* une plaque de cuivre indiquant la distance :

- tous les 20 cm un rivet et une rondelle de cuivre,
- tous les 10 cm (impairs) un rivet de cuivre ou un simple trou.

Les mètres sont souvent indiqués sur les deux faces, en sens opposés, de façon à pouvoir donner la distance à partir de l'une quelconque des deux poignées. Certains rubans ont une chiffraison centimétrique.

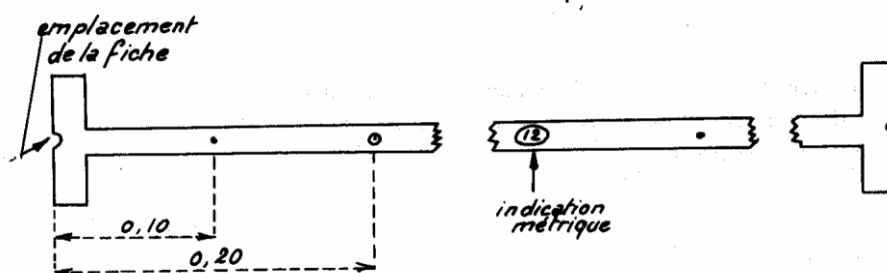


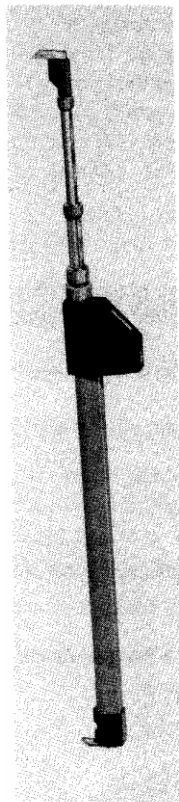
Fig. 21

2.5. La roulette (étalon à traits)

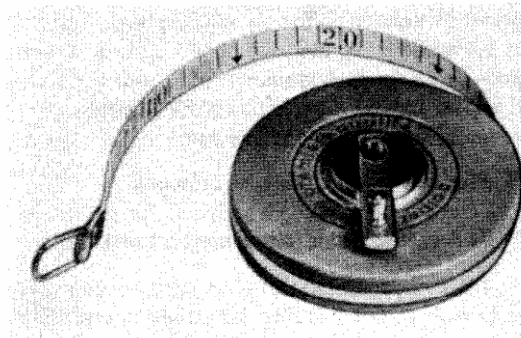
Montée dans un boîtier avec un sans marche, elle est d'un emploi plus aisé. Elle est munie, soit d'un ruban plastifié (très sensible aux différences de températures, allongement important) soit d'un ruban d'acier, de 10, 20, 30 ou 50 m. Graduations tous les centimètres. L'anneau des rubans à roulette n'est pas compris dans la longueur.

Malgré l'utilisation de plus en plus courante des roulettes, les rubans restent l'instrument le plus précis pour les raisons suivantes :

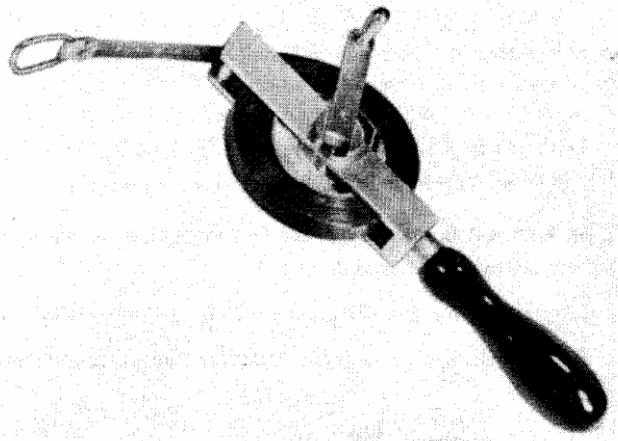
- Les mesures sont faites « bout à bout », les poignées articulées étant comprises dans la longueur.
- Les poignées possèdent des cannelures demi circulaires du même diamètre que les fiches.



Télescop



Roulette à ruban en acier inox

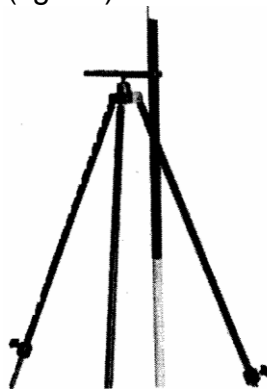


Roulette à manche

Fig.22

3. LE JALONNEMENT

Un *jalon* est un tube métallique de 200 x 3 cm environ, constitué de un ou plusieurs éléments, peint en rouge et blanc, enfoncé par percussions successives dans un sol meuble, maintenu par un trépied léger sur une surface dure, comme un trottoir asphalté par exemple (fig. 23).



porte-jalon

Fig. 23

Tous les points d'une verticale ayant la même image topographique, la verticalité du jalon est réalisée à l'estime ou en le plaçant à l'intersection de deux plans verticaux perpendiculaires définis par l'œil de l'opérateur et par un fil à plomb tenu à bout de bras.

Le *jalonnement* consiste à aligner plusieurs jalons entre deux autres, afin de disposer de repères intermédiaires au cours du mesurage.

Le *jalonnement* d'un alignement peut se faire, selon la longueur et la précision demandée :

- à vue,
- au fil à plomb,
- à l'aide d'un jalon,
- au moyen du réticule d'une lunette,
- avec un laser d'alignement.

Plusieurs cas peuvent se présenter :

3.1. De A on voit B et le jalonnement est sans obstacle

A vue

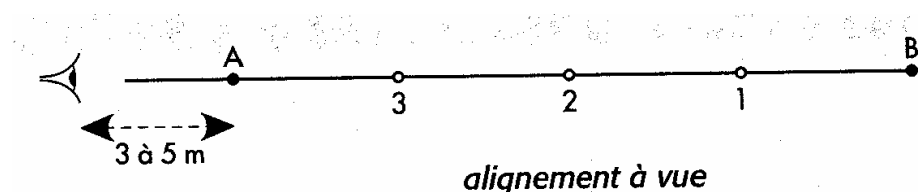


Fig. 24

L'opérateur se place à quelques mètres derrière le jalon A (fig. 24), vise le bord du jalon en direction de B et fait placer par un aide les jalons intermédiaires 1, 2, 3 *en commençant de préférence par le plus éloigné*. Dans le cas d'une distance courte, l'opérateur peut aligner chaque portée de ruban sans jalonnement préalable.

Avec un théodolite

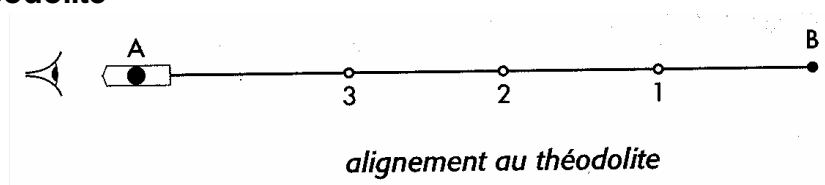


Fig. 25

Après avoir mis le théodolite en station au point A (fig. 25), viser le jalon B à son axe et le plus près possible du sol de façon à réduire l'influence du défaut de verticalité, puis faire placer par un aide les jalons intermédiaires en commençant impérativement par le plus éloigné.

3.2. Procédé dit du «fourrier» le point B n'est pas visible de A.

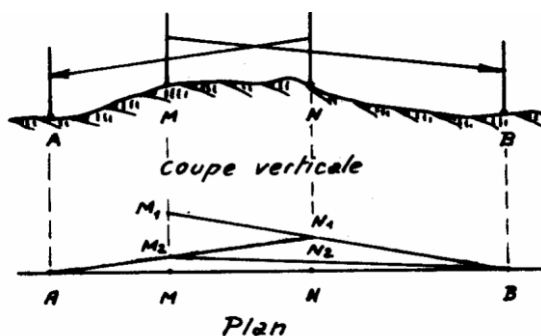


Fig.27

L'opérateur M se place aussi près que possible de l'alignement AB, de telle sorte qu'il puisse voir B, par exemple en M₁. L'aide N aligné par l'opérateur sur N₁B se place en N₁ d'où il aligne à son tour l'opérateur en M₂ sur N₁A. L'opérateur M₂ aligne ensuite l'aide en N₂ sur M₂B. Et ainsi de suite jusqu'à ce que les alignements successifs aboutissent aux points corrects M et N, où les rectifications de position ne sont plus nécessaires.

4. MESURES DE DISTANCES À LAIDE D'UNE CHAÎNE

La mesure à la chaîne est le moyen le plus classique et utilisé pour déterminer les distances. Ses inconvénients principaux sont d'être tributaire du terrain (accidenté ou non, en forte pente ou non, etc.) et d'être limité en portée (les rubans utilisés couramment sont limités à 100 m). La précision de la mesure est également limitée et dépend fortement des opérateurs.

Autrefois, la chaîne était une véritable chaîne à maillons étalonnée servant à mesurer les longueurs, appelée également chaîne d'arpenteur.

Aujourd'hui, on utilise le décamètre, simple, double, triple ou quintuple, bien plus facile à manipuler. On a gardé le nom de chaîne qui devient le terme général englobant le décamètre, le double-décamètre, etc. On utilise aussi le terme de ruban.

	10 m	20 m	30 m	50 m	100 m
CLASSE I	± 1,1 mm	± 2,1 mm	± 3,1 mm	± 5,1 mm	
CLASSE II	± 2,3 mm	± 4,3 mm	± 6,3 mm	± 10,3 mm	± 20,3 mm
CLASSE III	± 4,6 mm	± 8,6 mm	± 12,6 mm	± 20,6 mm	

Les rubans sont répartis en trois classes de précision : le tableau précédent en donne les tolérances de précision fixées par une norme européenne CEE (Communauté Économique Européenne) Les valeurs du tableau étant des tolérances, si l'on veut obtenir l'écart type il suffit de les diviser par 2,7. Par exemple pour un ruban de 50 m de classe II, l'écart type sur une mesure est de $\pm 10,3 / 2,7 = \pm 3,8$ mm.

La longueur d'un ruban est donnée à une température ambiante donnée (20 °C en général) et pour une tension donnée. Par exemple, le ruban Métralon en acier est étalonné avec une tension de 4,9 daN pour un ruban de 50 m de classe I. La force de tension à respecter est généralement indiquée sur le ruban. Les rubans en matériaux souples sont très sensibles à cette tension (voir l'étude des corrections dans les paragraphes suivants).

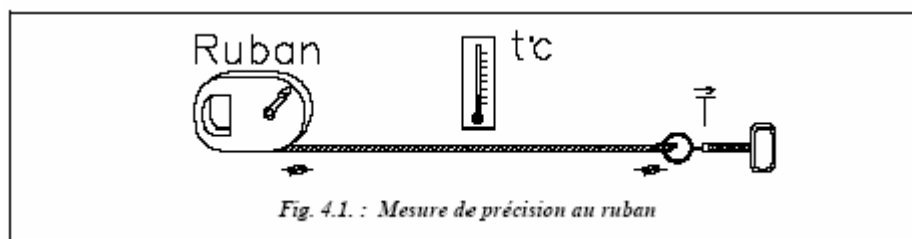


Fig. 4.1. : Mesure de précision au ruban

Lors de mesures fines, dont la précision doit avoisiner la tolérance du ruban, il faut :

- tenir le ruban par l'intermédiaire d'un dynamomètre pour assurer une tension optimale et éviter de l'allonger par traction lors de la mesure : un effort de 5 daN sur un ruban en acier de section $0,2 \times 13$ mm² équivaut à un allongement de 5 mm sur un ruban de 50 m, ordre de grandeur de la tolérance de précision de la classe I. Si la chaîne est suspendue au-dessus du sol, l'opérateur doit régler la tension du dynamomètre de façon que l'erreur de chaînette, c'est-à-dire la forme incurvée prise par le ruban, s'annule avec l'allongement dû à la tension du ruban ;
- corriger la valeur lue du coefficient de dilatation linéaire du matériau du ruban (généralement de l'acier dont le coefficient vaut $11.10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, soit un allongement de 5,5 mm sur un ruban de 50 m pour une augmentation de 10 °C ;
- si le chaînage demande plusieurs portées de chaîne, aligner les différentes portées soit à vue, soit avec des fiches d'arpentage ou des jalons. Une erreur d'alignement de 30 cm sur un ruban de 50 m donne une erreur sur la distance mesurée de 1 mm. Dans ce cas, la mesure lue est plus grande que la valeur réelle.

4.1. Mesures en terrain régulier

En topographie, la donnée essentielle est la distance horizontale entre deux points. Suivant la configuration du terrain, elle est plus ou moins difficile à obtenir précisément à la chaîne.

4.1.1. Terrain régulier et horizontal

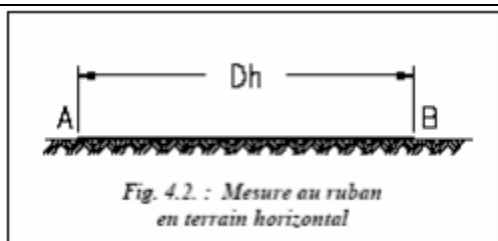


Fig. 4.2. : Mesure au ruban
en terrain horizontal

Si le terrain est régulier et en pente faible (moins de 2 %), il est possible de se contenter de poser le ruban sur le sol et de considérer que la distance horizontale est lue directement (fig. 4.2.). La précision qu'il est possible d'obtenir sur une mesure est au mieux de l'ordre de ± 5 mm à 50 m pour un ruban de classe I.

Application

Montrez qu'à partir de 2% de pente, une erreur de 1cm apparaît sur une mesure de 50 m.

Réponse

$D_p = 50$ m, $DH = 0,02 \times 50 = 1$ m donc $D_h = 49,99$ m.

4.1.2. Terrain en pente régulière

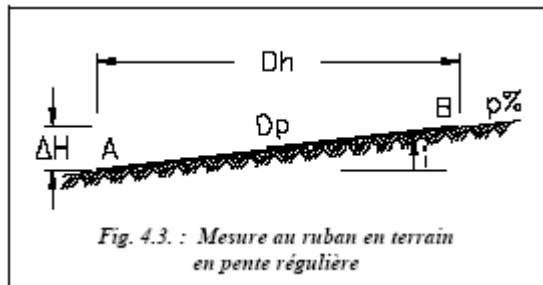


Fig. 4.3. : Mesure au ruban en terrain
en pente régulière

Si le terrain n'est pas parfaitement horizontal, il faut considérer que l'on mesure la distance suivant la pente. Pour connaître la distance horizontale avec précision, il faut donc mesurer la dénivellée DH entre A et B ou bien la pente p de AB (fig. 4.3.).

$$\text{Soit : } D_h = \sqrt{D_p^2 - \Delta H^2}$$

$$\text{ou bien : } D_h = D_p \cdot \cos i = D_p \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 i}} = \frac{D_p}{\sqrt{1 + p^2}} \quad \text{puisque } p = \tan i$$

La précision est du même ordre que précédemment, c'est-à-dire 10 mm à 50m.

Application

Vous mesurez une distance suivant la pente de 37,25 m et vous mesurez, au clisimètre, une pente de 2,3 %. Quelles sont les valeurs de D_h et de DH ?

Réponse

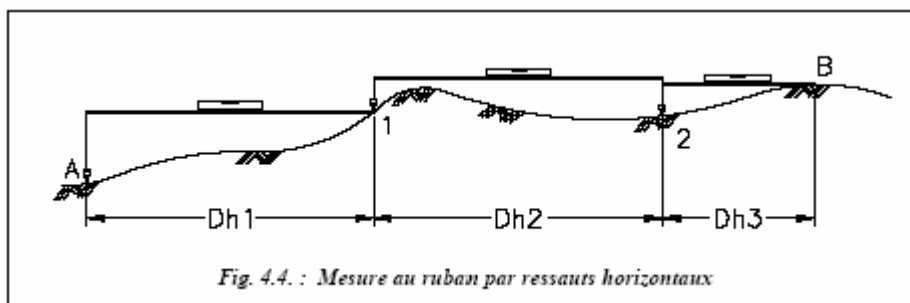
$$D_h = 37,25 / \sqrt{1 + \frac{0,23^2}{100}} = 37,24 \text{ m} \quad \text{et} \quad \Delta H = \sqrt{37,25^2 - 37,24^2} = 0,86 \text{ m}$$

4.2. Mesures en terrain irrégulier ou en forte pente

On ne peut pas tendre le ruban sur le sol à cause de ses ondulations. De plus, la pente (ou la distance à chaîner) est telle qu'on ne peut pas directement mesurer la distance D_h .

4.2.1. Mesure par ressauts horizontaux

Citons pour mémoire la méthode appelée mesure par ressauts horizontaux ou cultellation. Illustrée par la figure 4.4., elle nécessite l'emploi d'un niveau à bulle et de deux fils à plomb en plus de la chaîne et des fiches d'arpentage (ou jalons). Sa mise en oeuvre est longue et le procédé peu précis.



On peut marquer que : $D_h = D_{h1} + D_{h2} + D_{h3}$

Remarque

Lorsque l'opérateur doit reporter plusieurs fois le ruban pour mesurer une longueur, il faut aligner les portées. Cet alignement s'effectue généralement à vue en utilisant des fiches d'arpentage ou des jalons. Le défaut d'alignement doit être inférieur à 20 cm sur 30 m (ce qui est relativement facile à respecter) pour obtenir une précision au millimètre.

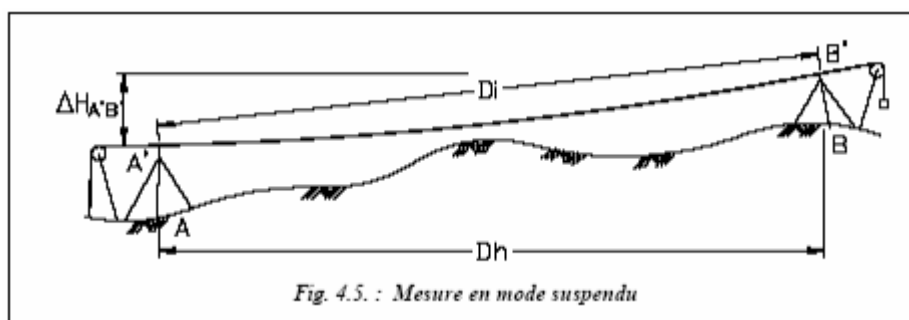
Si l'opérateur mesure une longueur de 50 m avec un écart type valant par exemple $\sigma_L = \pm 10$ mm, la précision obtenue sur une longueur mesurée avec n reports du ruban de 50 m vaut $\sigma_L \sqrt{n}$. Par exemple, une longueur de 125 m exige trois reports de ruban, donc une incertitude minimale de $\pm 10 \cdot \sqrt{3} \approx \pm 17$ mm.

4.2.2. Mesure en mode suspendu

Un fil en matériau stable (Invar) est tendu au-dessus du sol. La tension est maintenue constante par des poids (fig. 4.5.). L'opérateur doit mesurer la dénivelée ΔH entre les sommets A' et B' des tripodes de suspension du fil pour pouvoir calculer la longueur sh en fonction de la distance inclinée Di mesurée :

$$Dh = \sqrt{Di^2 - \Delta H^2}.$$

On sait calculer l'erreur sur la distance due à la forme de chaînette prise par le fil. Il est même possible d'annuler l'erreur de chaînette par un choix judicieux de la tension à appliquer au fil.



Cette méthode donne des résultats satisfaisants en mesurage de précision mais elle est longue à mettre en oeuvre. On obtient une précision millimétrique pour des portées d'une centaine de mètres. Elle est applicable à un ruban.

Remarque

La différence entre la longueur de la corde A'B' et celle de la chaînette peut être considérée comme constante pour une tension donnée et pour un fil donné (elle est fonction de son poids par unité de longueur) si la dénivelée entre A' et B' reste faible.

C'est pourquoi certains constructeurs donnent la correction de chaînette à appliquer pour une tension donnée sous forme d'une correction d'étalonnage spécifique à la mesure en mode suspendu.

4.3. La technique de mesurages des distances avec la roulette



Mesure de la distance horizontale en tenant compte de la boucle



Alignement du décamètre sur les marques tracées





Contrôle de la distance



III. L'ALTIMÉTRIE OU NIVELLEMENT

1. GÉNÉRALITÉ

Qu'est-ce que c'est?

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
- NGF: (nivellement général Français) points établis à vie et représentés par des bornes métalliques encastrées dans des constructions particulières et immuables (château d'eau, ponts...)

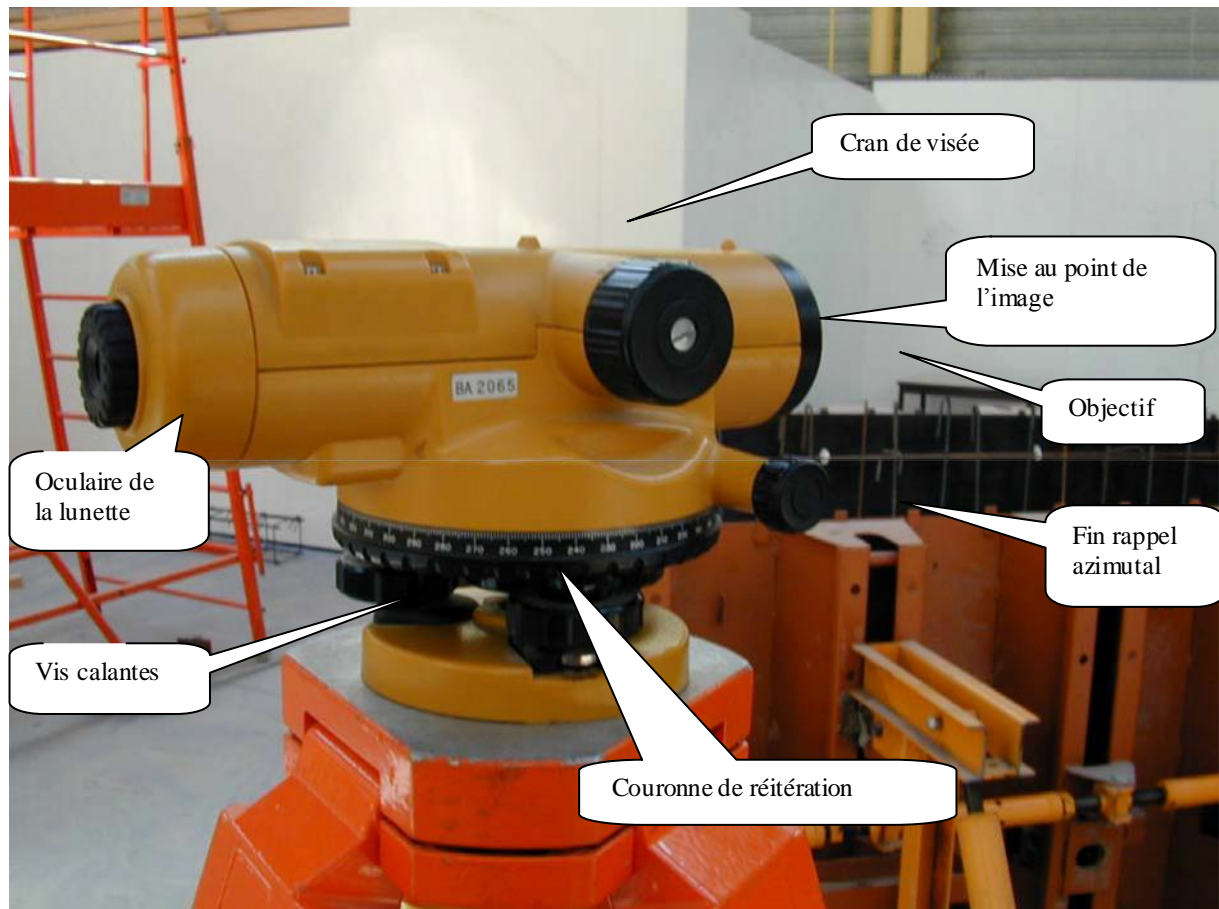


Le nivellement une nécessité pour

- 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 SLOMSNA:

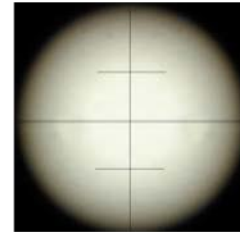


2. LES MATÉRIELES

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 direct

Le nivellement indirect ou trigonométrique

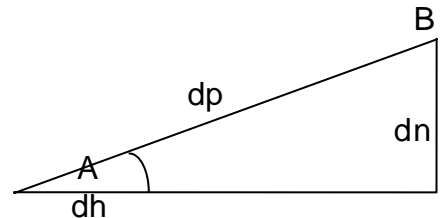
Le nivellement barométrique (calcul des dénivelées par différence de pression atmosphériques) peu précis donc non développé ici.

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 :

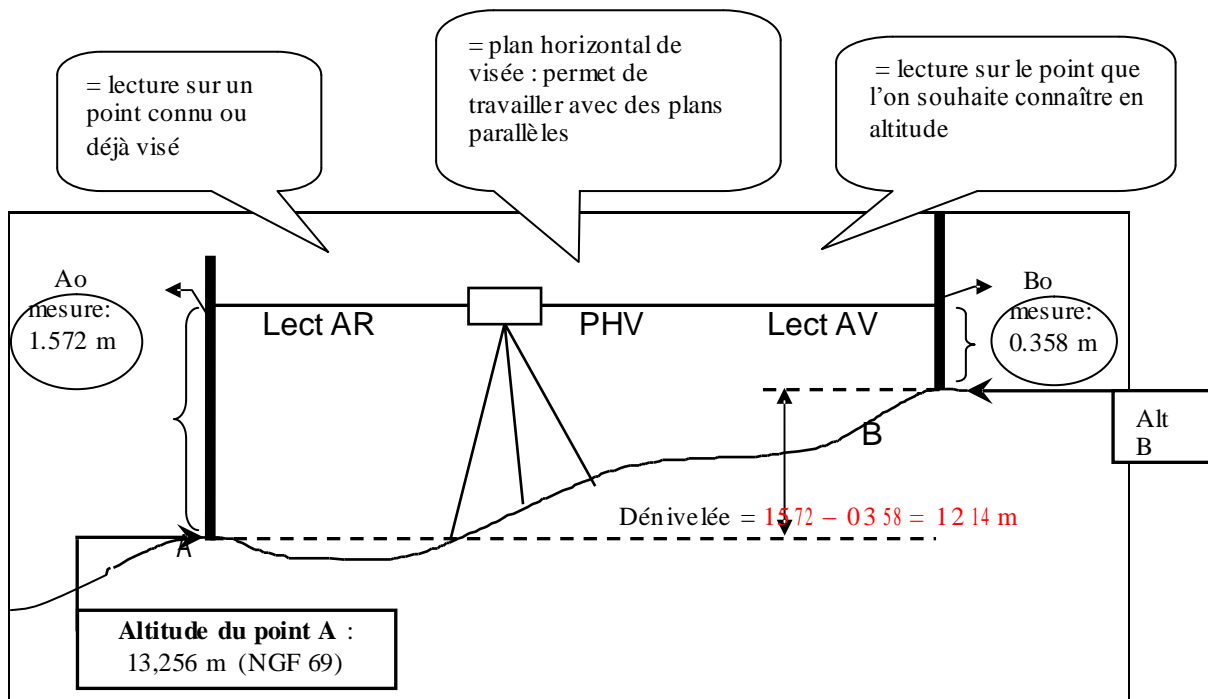
$$\text{dénivelée } dn = dp \times \sin i$$



- Si AB a été mesuré 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 :

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

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

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

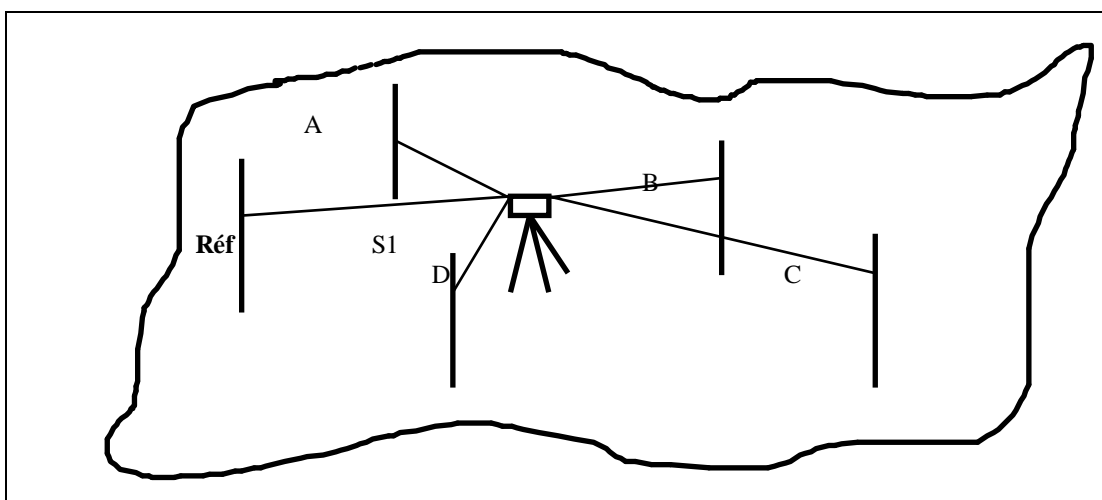
Calcul de l'altitude du point B

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

3.3. Différentes méthodes de nivellement direct

3.3.1. Nivellement rayonné (ou par rayonnement).

Croquis

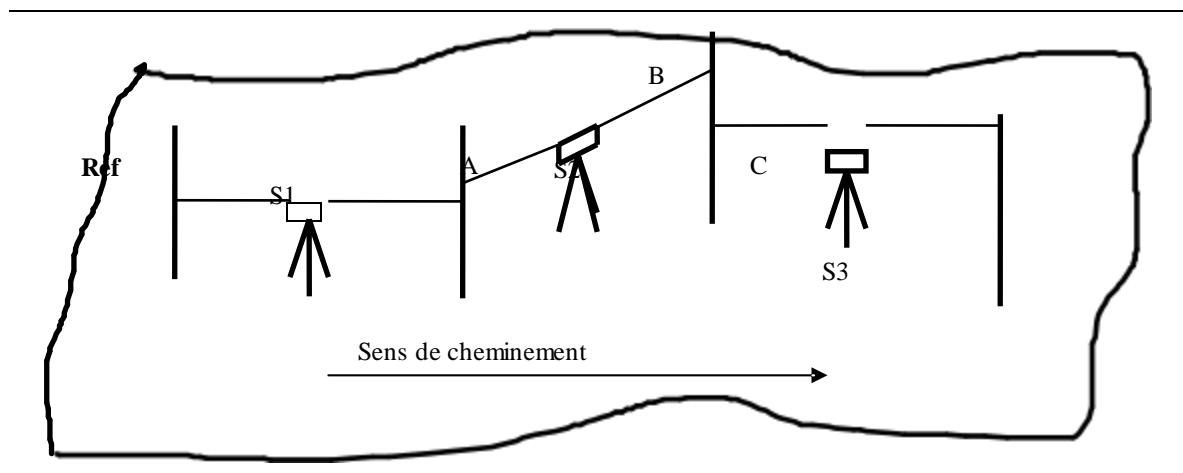


Le nivellement par rayonnement se fait à partir d'une seule station.
On détermine les altitudes des points environnant (ici A, B, C et D) par rapport à un point de référence (ici Réf).

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.

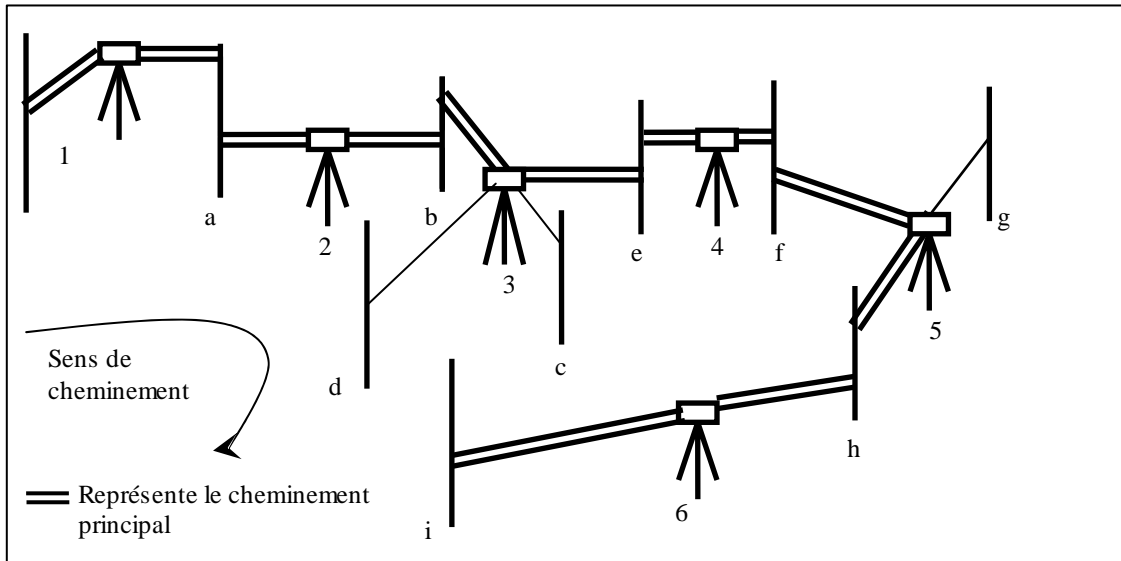
La distance maximale de visée vaut : 30 m \approx 30 pas.

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

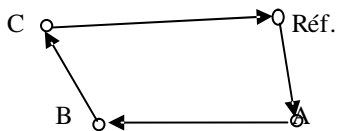


Réf, a, b, e, f, h et i représentent le cheminement principal grâce auquel il est possible de définir l'écart de fermeture du nivellement.

3.4. Méthodes de contrôle du nivellement direct

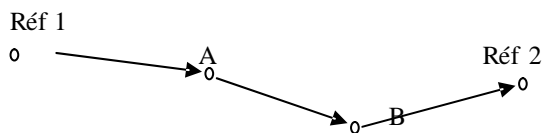
Il existe trois types de cheminements qui se différencient à la fois par le mode opératoire mais surtout pour la précision qu'ils engendrent.

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



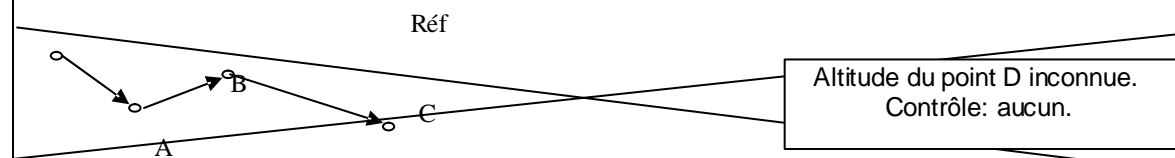
La seule référence est le point de Référence (aucune erreur est autorisée sur son altitude), on détermine successivement les altitudes des points A, B, C à partir de la seule altitude connue : celle de la référence.
Contrôle: La somme des dénivelées est nulle.

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!)



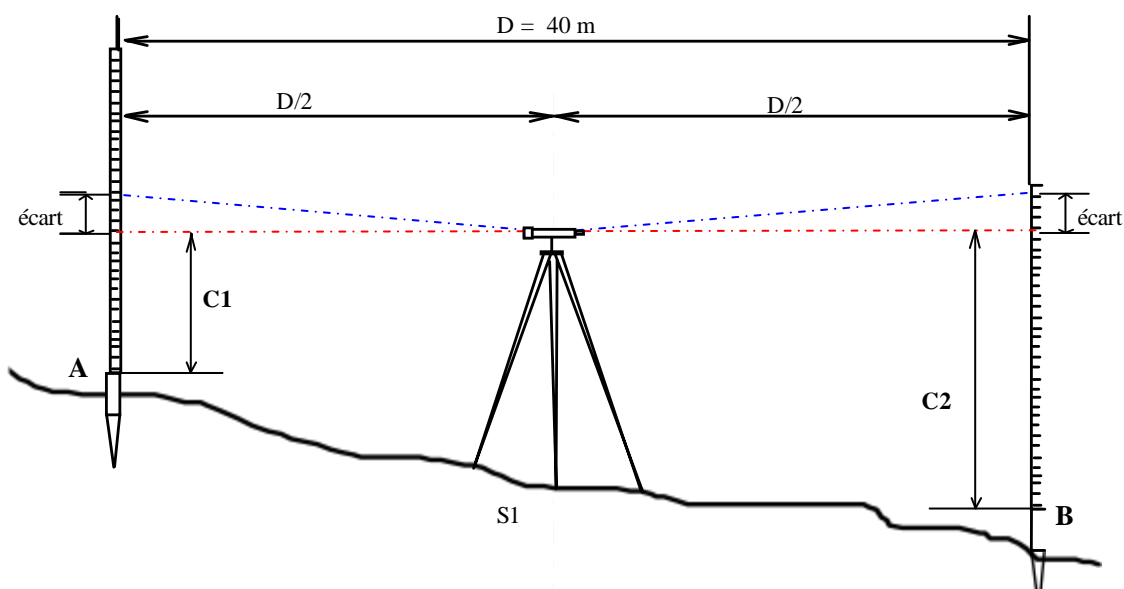
4. VÉRIFICATION DE LA PRÉCISION D'UNE LUNETTE

La nivelle sphérique doit être bien réglée. Si le niveau n'est pas automatique, il faudra régler la nivelle 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.

$D_n(a-b) = \text{dénivelée exacte}$

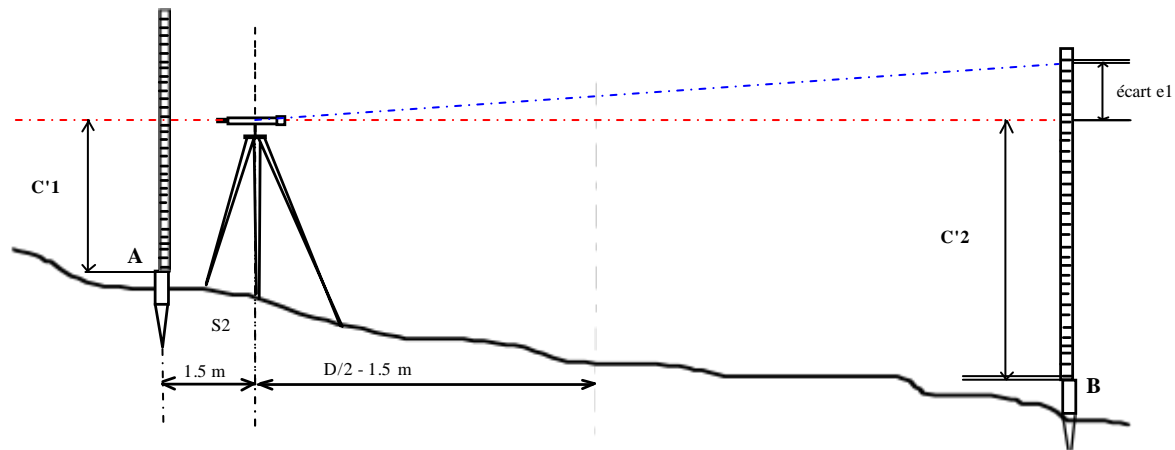
Afin de vérifier l'horizontalité de la visée, il faut se décaler le plus près possible du point de visée arrière (distance de mise au point ~ 1.5 m). On considère alors que la visée se fait à l'horizontale du fait que l'angle de collimation est faible et que l'on est très proche du point visé.

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.

④ 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

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

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

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.

Station	Point visé	Visée arrière	Visée avant	Dénivelée		Altitude calc (m)	Comp (mm)	Altitude comp (m)
		Fils Stadimétriques	Fils Stadimétriques	+ (m)	- (m)			

		-----	-----					
		-----	-----					
		-----	-----					
		-----	-----					
		-----	-----					
		-----	-----					
		-----	-----					
		-----	-----					
		-----	-----					
		-----	-----					

Somme								
Différence								

6. LES NIVEAUX NUMÉRIQUES

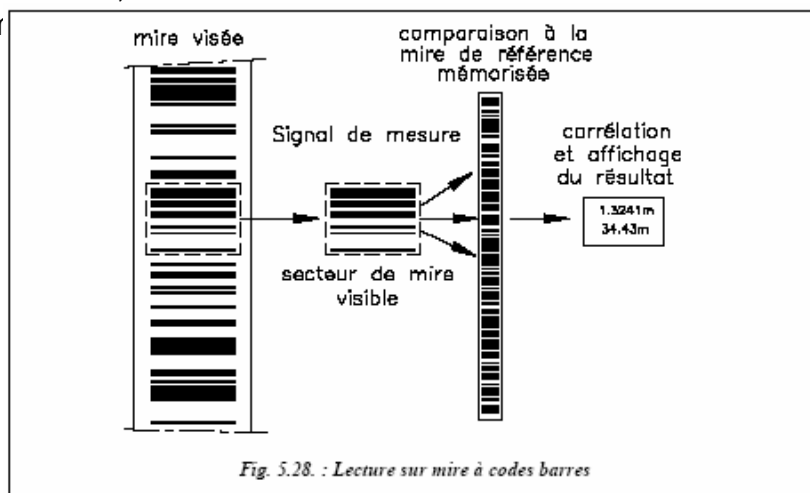


Cette technique est très récente pour le nivellement : le niveau numérique NA2000 de Leica à lecture sur mire à code-barres est commercialisé depuis 1990 (la première évolution en NA2002 date de 1993).

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 con



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.

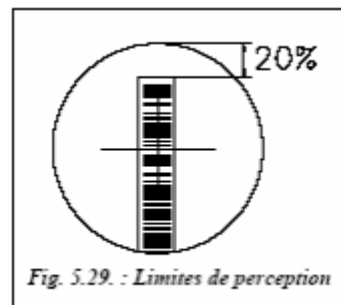


Fig. 5.29. : Limites de perception

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	NA 2002	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 :

- aller de l'ensemble vers le détail ce qui implique de s'appuyer sur un canevas existant ou à créer ;
- prévoir des mesures surabondantes pour un contrôle sur le terrain.

1. IMPLANTATIONS D'ALIGNEMENTS

Un alignement est une droite passant par deux points matérialisés au sol.

1.1. Tracer une perpendiculaire à un alignement existant

1.1.1. Au ruban

On cherche à tracer la perpendiculaire à l'alignement AB passant par C (fig. 9.1.).

Pour cela, on utilise les propriétés du triangle isocèle ou du triangle rectangle.

1.1.1.1. Triangle isocèle

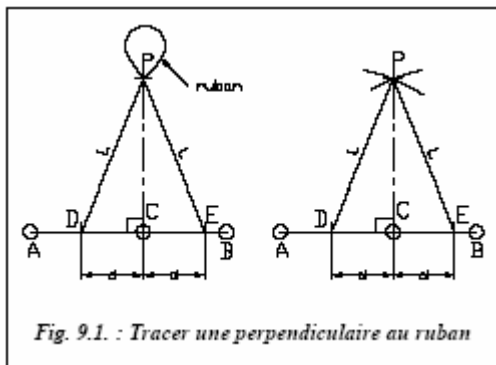


Fig. 9.1. : Tracer une perpendiculaire au ruban

Soit deux points D et E situés à une égale distance de part et d'autre de C ; tout point P situé sur la perpendiculaire est équidistant de D et de E ; on construit un triangle isocèle DPE.

Pratiquement, si l'on dispose d'un ruban de 30 m, un aide maintient l'origine du ruban en D, un autre aide maintient l'extrémité du ruban en E et l'opérateur joint les graduations 13 m et 17 m, ou 14 m et 16 m, etc. (fig. 9.1. à gauche).

Si l'on ne dispose que d'un seul aide, on peut marquer au sol un arc de cercle de centre D et de rayon 15 m et prendre l'intersection avec un arc de cercle de même rayon centré en E (fig. 9.1. à droite).

Le contrôle est effectué en vérifiant que $BP^2 = BC^2 + CP^2$.

1.1.1.2. Triangle rectangle

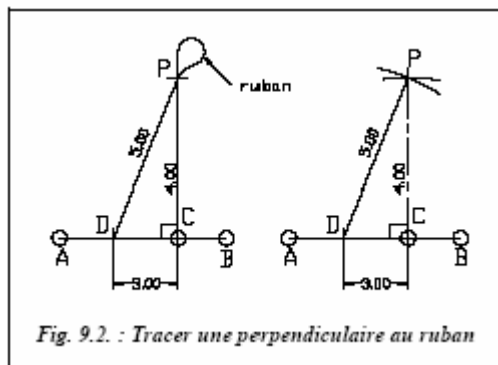


Fig. 9.2. : Tracer une perpendiculaire au ruban

Les trois côtés a, b et c d'un triangle rectangle vérifient $a^2 = b^2 + c^2$ (a étant l'hypoténuse). Cette relation est aussi vérifiée par les nombres suivants : $5^2 = 4^2 + 3^2$.

Donc, si l'on positionne un point D sur AB à 3 m de C, un point P de la perpendiculaire sera distant de 4 m de C et de 5 m de D. Cette méthode est aussi appelée « méthode du 3-4-5 ».

Elle s'applique aussi pour des longueurs quelconques mais nécessite alors l'emploi de la calculatrice. D'autres suites de chiffres possibles sont $10^2 = 8^2 + 6^2$, $15^2 = 12^2 + 9^2$, etc. (multiples de 3, 4 et 5).

Pratiquement, si l'on dispose d'un ruban de 30 m, un aide maintient l'origine du ruban en D, un autre aide maintient l'extrémité du ruban en C et l'opérateur maintient ensemble les graduations 5 m et 26 m du ruban (fig. 9.2. à gauche).

Si l'on ne dispose que d'un seul aide, on peut marquer au sol un arc de cercle de centre D et de 5 m de rayon et prendre l'intersection avec un arc de cercle de 4 m de rayon centré en C (fig. 9.2. à droite).

On contrôlera que $AP^2 = AC^2 + CP^2$

Remarque

Ces méthodes permettent aussi d'abaisser le pied de la perpendiculaire à AB passant par un point C donné; il suffit de permuter les rôles des points C et P (fig. 9.3.).

Ces méthodes ne sont valables qu'en terrain régulier et à peu près horizontal.

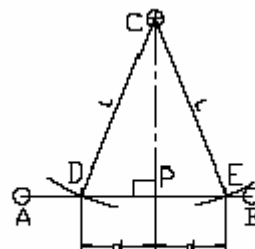


Fig. 9.3. : Abaisser une perpendiculaire

1.1.2. Avec une équerre optique

1.1.2.1. Mener une perpendiculaire depuis un point C de l'alignement AB

On place un jalon en A et en B (fig. 9.4.).

L'opérateur se place à la verticale du point C avec l'équerre optique et aligne visuellement les jalons de A et B dans l'équerre. Ensuite, il guide le déplacement d'un troisième jalon tenu par un aide jusqu'à ce que l'image de ce jalon soit alignée avec les deux premiers. L'aide pose alors son jalon et obtient un point P de la perpendiculaire.

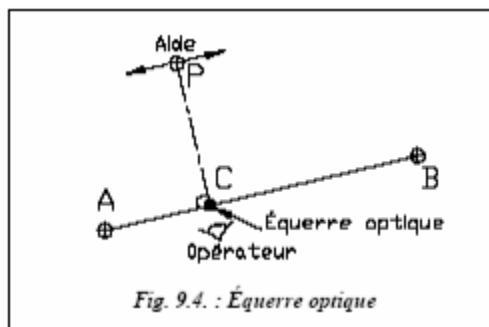


Fig. 9.4. : Équerre optique

1.1.2.2. Abaisser une perpendiculaire depuis un point C extérieur à AB

On dispose trois jalons sur A, B et C (fig. 9.5.). L'opérateur se positionne au moyen de l'équerre sur l'alignement AB en alignant les images des deux jalons de A et B puis se déplace le long de AB jusqu'à aligner le troisième jalon avec les deux premiers. Lorsque l'alignement est réalisé, il pose la canne à plomber et marque le point P, pied de la perpendiculaire à AB passant par C.

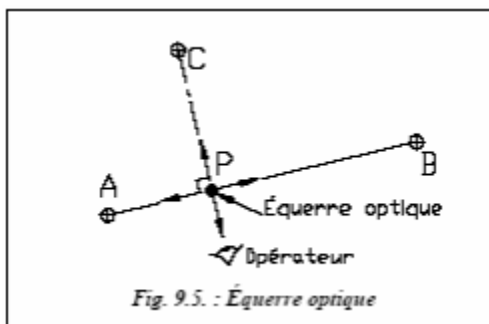


Fig. 9.5. : Équerre optique

L'équerre optique peut s'utiliser en terrain accidenté et donne des résultats d'autant plus précis que les points sont plus éloignés.

1.1.3. Avec un niveau équipé d'un cercle horizontal

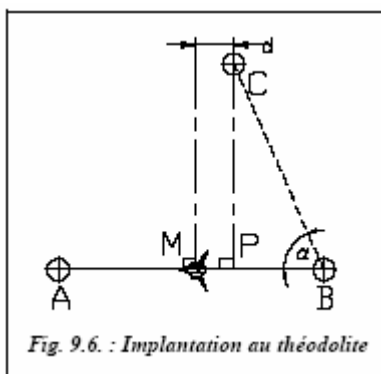


Fig. 9.6. : Implantation au théodolite

Si le point donné C est sur l'alignement AB (fig. 9.4.), il suffit de stationner C, de viser A (ou B) et de pivoter l'appareil de 100 gon (ou 300 gon).

Si le point C est extérieur à l'alignement AB (fig. 9.6.), une possibilité consiste à construire une perpendiculaire d'essai en stationnant un point M de l'alignement AB, choisi à vue proche de la perpendiculaire cherchée. L'opérateur mesure la distance d séparant la perpendiculaire d'essai et le point C et construit le point P sur AB en se décalant de la même distance d. Il obtient une précision acceptable en répétant l'opération deux ou trois fois.

Une deuxième possibilité est de stationner en B (ou en A) et de mesurer l'angle $\angle CBA$. Il faut ensuite stationner sur C et implanter la perpendiculaire à AB en ouvrant d'un angle de $100^\circ - \angle CBA$ depuis B. Il reste à construire l'intersection entre l'alignement AB et la perpendiculaire issue de C.

On contrôlera que $AC^2 = AP^2 + PC^2$.

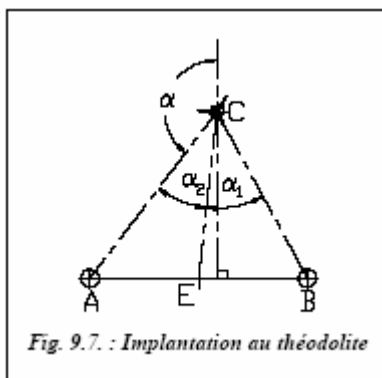


Fig. 9.7. : Implantation au théodolite

Une troisième possibilité est de placer un point E au milieu de AB (fig. 9.7.) puis de stationner en C et mesurer les angles α_1 et α_2 . On en déduit l'angle α à ouvrir sur le théodolite pour obtenir la direction perpendiculaire à AB en résolvant l'équation suivante :

$$\frac{\cos(\alpha_1 + \alpha_2)}{\cos\alpha} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2}$$

L'inconvénient de cette méthode est que la résolution de cette équation ne peut s'effectuer que par approximations successives

1.2. Tracer une parallèle à un alignement existant

Étant donné un alignement AB, on cherche à construire une parallèle à AB passant par un point C ou à une distance d donnée de AB : le point C est alors positionné sur une perpendiculaire située à une distance d de l'alignement AB.

1.2.1. Tracé de deux perpendiculaires

L'opérateur construit au moyen d'une des méthodes traitées au paragraphe 1.1 le point P, pied de la perpendiculaire à AB passant par C, puis la perpendiculaire à CP passant par C : cette dernière est parallèle à AB (fig. 9.8. à gauche).

Si l'on peut mesurer la longueur CP, on peut aussi reporter cette longueur sur une perpendiculaire à AB passant par B (ou A) : on obtient le point C', et la droite CC' est parallèle à AB (fig. 9.8. à droite).

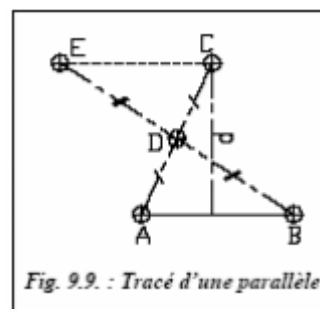


Fig. 9.9. : Tracé d'une parallèle

On contrôlera que PC' = d.

1.2.2. Parallélogramme

Les diagonales d'un parallélogramme se coupent en leur milieu. On peut utiliser ce principe et construire le point D au milieu de l'alignement CA (fig. 9.9.). On construit ensuite le point E en prolongeant DB (DB = DE). La droite CE est parallèle à AB puisque ABCE est un parallélogramme. Ceci peut aussi être fait à partir de points quelconques sur l'alignement AB.

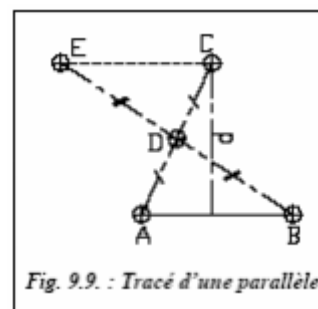


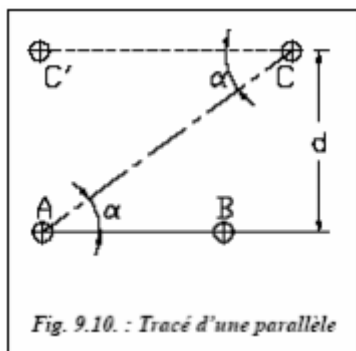
Fig. 9.9. : Tracé d'une parallèle

Le contrôle est effectué en vérifiant que la perpendiculaire à EC passant par A est de longueur d . Une construction équivalente peut être faite en se basant sur les propriétés des triangles semblables.

1.2.3. Angles alternes internes

Si l'on dispose d'un théodolite, on peut stationner le point A et mesurer l'angle $\angle CAB$.

On stationne ensuite en C et on ouvre de l'angle $\angle CAB$ à partir de la ligne CA (fig. 9.10.) pour obtenir la direction CC' parallèle à AB.



Cette méthode, qui s'applique sur tout type de terrain, est certainement la plus précise.

Pour implanter le point C situé à la distance d de AB, l'opérateur peut procéder par rayonnement : il se fixe une valeur arbitraire de l'angle et en déduit que :

$$AC = \frac{d}{\sin \alpha}$$

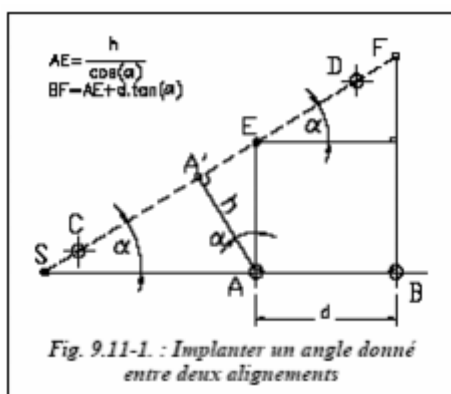
Par exemple : $AC = d / 2$, pour $\alpha = 30^\circ$
 $AC = d / \sqrt{2}$, pour $\alpha = 45^\circ$

On contrôlera que la perpendiculaire à CC' passant par B est de longueur d.

Remarque

La troisième méthode du paragraphe 1.1.3 est également applicable (avec un angle cherché diminué de 100 gon).

1.3. Alignement sécant à un alignement existant



On cherche à implanter l'alignement CD faisant un angle α avec l'alignement existant AB (Fig. 9.11-1.) et situé à une distance h de A.

1 - Si l'on dispose d'un théodolite et que le point S est accessible, on prolonge AB jusqu'à S en reportant $SA = h / \sin \alpha$, puis on stationne S et on ouvre de l'angle $(400 - \alpha)$ la direction SA vers SA' (avec un éventuel double retournement).

Après avoir construit A', on contrôlera que $AA' = h$.

2 - Si le point S est inaccessible, hors chantier par exemple, on peut stationner le point A et ouvrir de l'angle $(300 - \alpha)$ depuis le point B puis implanter le point A' à la distance h de A. Ensuite, on stationne en A' et on ouvre d'un angle de 100 gon depuis A pour obtenir C puis de 300 gon pour obtenir D.

On contrôlera que $BA' = \sqrt{(d + h \sin \alpha)^2 + (h \cos \alpha)^2}$.

3 - Si l'on ne dispose que d'un ruban, on peut procéder comme suit : construire la perpendiculaire à AB issue de A et implanter E à la distance $AE = h / \cos \alpha$ puis mesurer

la distance $AB = d$ et implanter F sur la perpendiculaire à AB issue de B à la distance $BF = AE + d \times \tan \alpha$. On obtient l'alignement EF cherché.

On contrôlera que $EB = \sqrt{d^2 + (h / \cos \alpha)^2}$ et $AF = \sqrt{d^2 + (h / \cos \alpha + d \tan \alpha)^2}$.

1.4. Pan coupé régulier

On rencontre cette situation par exemple dans les angles de rue. L'implantation est réalisée à partir de la détermination du point S construit à l'intersection du prolongement des façades. Connaissant AB , on peut calculer SA et SB de deux manières (fig. 9.11-2.) :

- si l'on connaît l'angle :

$$SA = SB = \frac{AB}{2 \sin(\alpha / 2)}$$

- si α est inconnu, on positionne deux points M et N sur SA et SB tels que $SM = SN$, puis on mesure la distance MN et on en déduit que :

$$SA = SB = SM \frac{AB}{MN}$$

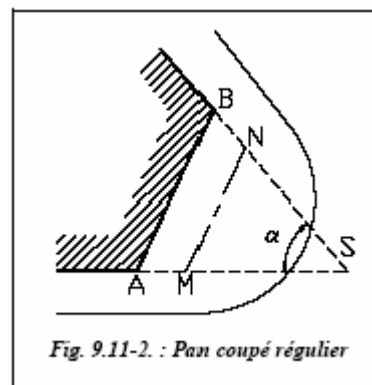


Fig. 9.11-2. : Pan coupé régulier

1.5. Jalonnement sans obstacles

Le jalonnement est l'opération consistant à positionner un ou plusieurs jalons sur un alignement existant, soit entre les points matérialisant cet alignement, soit en prolongement de l'alignement.

On désire implanter un jalon P à 15 m du point A sur l'alignement AB (fig. 9.12.). A et B sont distants de plus de 50 m et l'on ne dispose que d'un ruban de 20 m. On place un jalon sur chacun des deux points A et B ; chaque jalon est réglé verticalement au moyen d'un fil à plomb ; si l'on ne dispose pas d'un fil à plomb, on peut s'aider des façades de bâtiments voisins pour un réglage visuel ;

l'opérateur se place à quelques mètres derrière le jalon A et, en alignant visuellement A et B , il fait placer un jalon par un aide au point C sur AB à moins de 20 m de A . Il ne reste plus qu'à tendre le ruban entre A et C pour implanter P à 15 m de A .

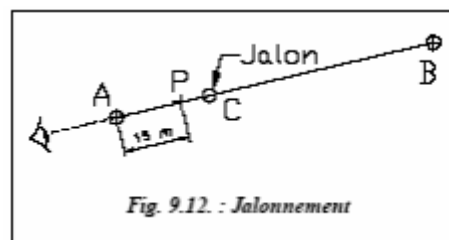
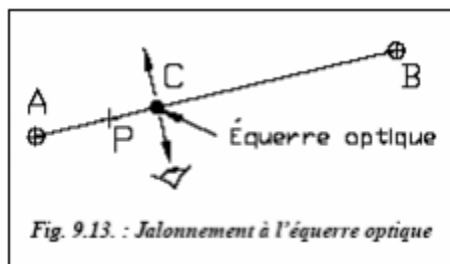


Fig. 9.12. : Jalonnement

La même opération peut être effectuée avec une lunette stationnée en A ou en B. L'opérateur doit viser, si possible, les points au sol pour être le plus précis possible. Lors de l'alignement à vue, il doit donc s'accroupir.

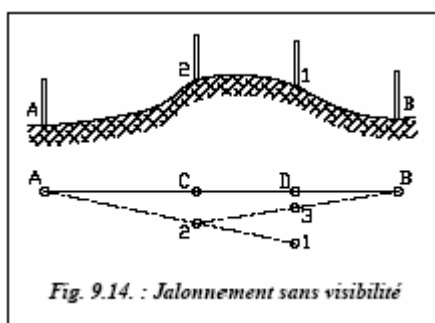


Il est aussi possible d'utiliser une équerre optique (fig. 9.13.).

L'opérateur se place entre A et B, les épaules parallèles à la direction AB. Il se déplace perpendiculairement à la direction AB jusqu'à observer l'alignement des deux jalons en A et B dans l'équerre optique. Il pose alors la canne à plomber de l'équerre au sol et marque le point C.

1.6. Jalonnement avec obstacle

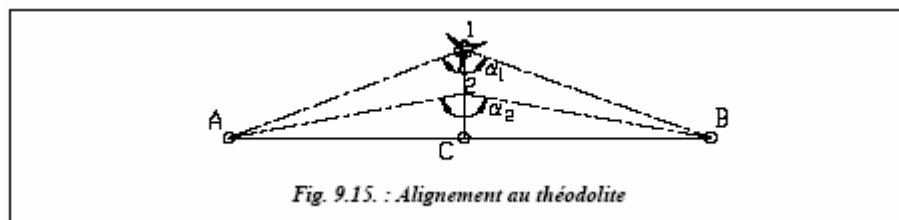
1.60.1. Franchissement d'une butte



Le relief entre A et B fait que l'on ne peut pas voir B depuis A (fig. 9.14.). L'opérateur plante un premier jalon en 1, visible de A et B, puis l'aide plante un jalon en 2, visible de B et situé sur l'alignement A-1. Et ainsi de suite (3, 4, etc.), jusqu'à obtenir un parfait alignement en C et D : cette

méthode est appelée procédé Fourier.

Avec un niveau et pour des alignements de très grande portée, on peut procéder comme suit (fig. 9.15.) :



■ stationner un théodolite au point 1 situé vers le milieu de l'alignement AB puis mesurer l'angle $A1B$ (α_1) ;

■ déplacer ensuite la station de 1 vers 2 et mesurer l'angle $A2B$ (α_2) : 1-2 est perpendiculaire à l'alignement AB (à vue ou bien avec une équerre optique) et de longueur fixée.

On peut ensuite calculer la distance séparant le point 2 du point C situé sur l'alignement :

$$AC = D_{C-1} \times \tan(\alpha_1/2) = D_{C-2} \times \tan(\alpha_2/2); \quad D_{C-1} = D_{C-2} + D_{2-1}$$

$$\Downarrow$$

$$D_{C-2} = D_{2-1} \frac{\tan(\alpha_1/2)}{\tan(\alpha_2/2) - \tan(\alpha_1/2)}$$

1.6.2. Contournement d'un obstacle

Un bâtiment sur l'alignement AB empêche le jalonnement (fig. 9.16.).

On matérialise un nouvel alignement AA' contournant l'obstacle et sur lequel on abaisse BB' perpendiculaire à AA' avec une équerre optique. On mesure ensuite les distances BB' et AB'.

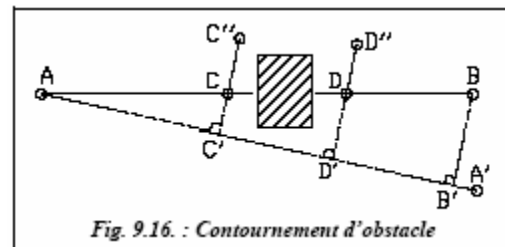


Fig. 9.16. : Contournement d'obstacle

On choisit deux points C' et D' sur l'alignement auxiliaire AB' tels que les perpendiculaires CC' et DD' passant de chaque côté de l'obstacle. On mesure les distances AC' et AD' et on en déduit que : $CC' = AC' \frac{BB'}{AB'}$ et $DD' = AD' \frac{BB'}{AB'}$

On implante C'' et D'' sur la perpendiculaire à AA' puis on positionne enfin C et D.

Si l'on dispose d'un théodolite, on peut stationner un point M quelconque depuis lequel on voit A et B et mesurer l'angle AMB (β) ainsi que les distances AM et BM (fig. 9.17.). On peut alors calculer les angles α_1 ou α_2 . Ensuite, on stationne sur A (ou B) puis, le zéro des angles horizontaux étant fixé sur M, on ouvre de l'angle $(400 - \alpha_1)$ (ou bien α_2 depuis B). On peut écrire (fig. 9.17.) :

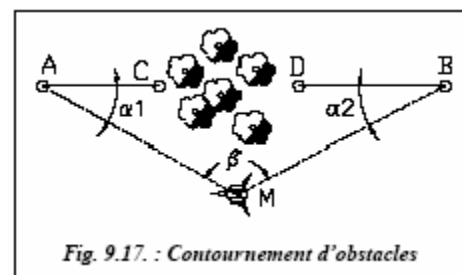


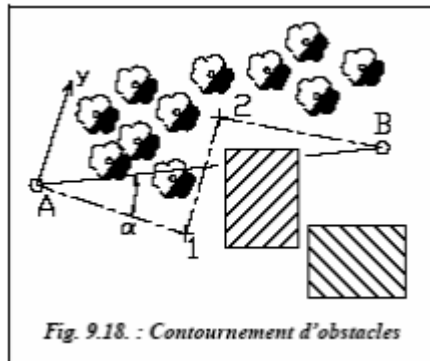
Fig. 9.17. : Contournement d'obstacles

$$\frac{\sin \alpha_1}{BM} = \frac{\sin(200 - \alpha_1 - \beta)}{AM} = \frac{\sin(\alpha_1 + \beta)}{AM}$$

$$AM \cdot \sin \alpha = BM (\sin \alpha \cdot \cos \beta + \sin \beta \cdot \cos \alpha)$$

donc :

$$\cot \alpha = \frac{AM}{BM \cdot \sin \beta} - \cot \alpha \cos \beta$$

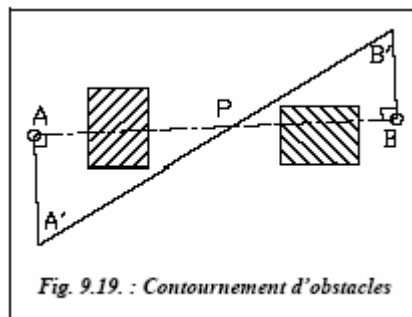


Si les obstacles sont tels que l'on ne puisse pas trouver de point M depuis lequel A et B sont visibles, il faut alors effectuer un cheminement polygonal de A vers B (fig. 9.18.) dans le but de calculer l'angle

Grâce au cheminement A-1-2-B, on calcule les coordonnées (x_B ; y_B) du point B dans le repère local A_{xy} (origine A, angle affiché sur le premier côté de 100gon).

On peut ensuite en déduire que :

$$\tan \alpha = \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}$$



Si l'on ne dispose pas d'un théodolite, on peut aussi utiliser la méthode suivante basée uniquement sur des mesures linéaires (fig. 9.19.) :

Pour construire P sur AB, on élève deux perpendiculaires

à AB, AA' et BB', les points A' et B' étant choisis tels qu'on puisse mesurer A'B'.

On mesure AA' et BB' ainsi que A'B'. Les triangles AA'P et BB'P sont semblables donc on peut écrire :

$$\frac{A'P}{AA'} = \frac{B'P}{BB'} = \frac{A'P + B'P}{AA' + BB'} = \frac{A'B'}{AA' + BB'}$$

$$\text{par suite } A'P = \frac{AA' \cdot A'B'}{AA' + BB'}$$

Grâce à cette cote, on place P sur l'alignement auxiliaire A'B'.

On contrôlera que $PB' = A'B' - A'P$

1.7. Prolongement d'un alignement

1.7.1. Prolonger sans obstacles

Si l'on procède à vue, le procédé est identique au jalonnement sans obstacle exposé au paragraphe 1.5. Pour éviter une perte de précision, il ne faut éviter de prolonger un segment de plus du quart de sa longueur.

Si l'on dispose d'un niveau avec un cercle horizontal gradué, on peut stationner un des deux points de l'alignement à prolonger, puis fixer le zéro du cercle sur l'autre point, et faire pivoter le niveau de 200gon .

Si l'on dispose d'un théodolite et que l'on recherche une grande précision, on peut (fig. 9.20.) stationner un des deux points de l'alignement à prolonger (B), pointer l'autre (A) et basculer la lunette autour de l'axe des tourillons. Ceci donne un point P1.

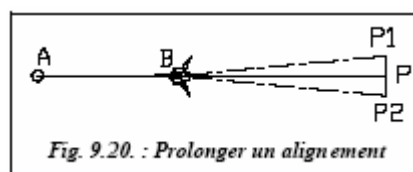


Fig. 9.20. : Prolonger un alignement

On effectue ensuite un double retournement : cela donne un point P2. Si P1 et P2 ne sont pas confondus, le point cherché P est au milieu du segment P1-P2 ; ce procédé est aussi utilisé pour régler un théodolite. Si le théodolite utilisé est parfaitement réglé, P1 et P2 sont confondus aux imprécisions de mesure et de mise en station près.

1.7.2. Prolonger au-delà d'un obstacle

L'alignement AB doit être prolongé au-delà d'un obstacle.

Si l'on ne dispose pas d'un théodolite, on peut construire un alignement A'B' parallèle à AB à une distance d suffisante pour contourner l'obstacle. On revient sur le prolongement de l'alignement AB en construisant l'alignement parallèle à A'B' à distance d (fig. 9.21.).

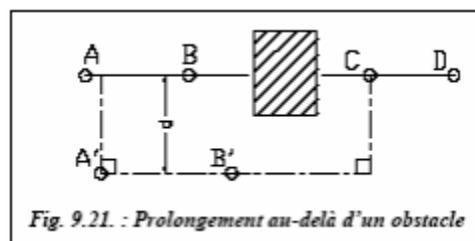


Fig. 9.21. : Prolongement au-delà d'un obstacle

Si l'on dispose d'un théodolite en station sur A, on implante un point E permettant de contourner l'obstacle, on mesure l'angle $\alpha = \angle BAE$ et la distance $d = AE$. Ensuite, en station E, on ouvre de l'angle $(200 - 2\alpha)$ depuis A pour obtenir la direction EC sur laquelle on reporte la distance d : cela donne le point C. Enfin en station en C, on ouvre de l'angle α depuis E et on obtient la direction CD (fig. 9.22). Le triangle AEC est isocèle.

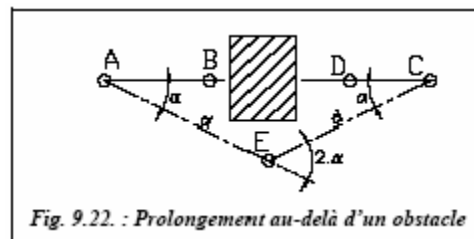


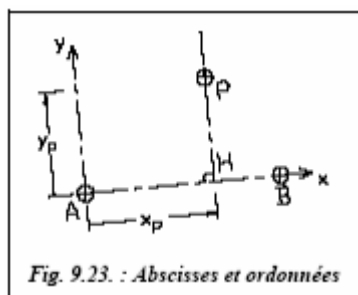
Fig. 9.22. : Prolongement au-delà d'un obstacle

2. IMPLANTATION DE POINTS EN PLANIMÉTRIE

Pour tout chantier, il est indispensable de disposer de points de référence en planimétrie. Ces points permettent l'implantation des travaux et le contrôle de leur avancement. Ils doivent être matérialisés par des bornes ou des repères durables situés à proximité immédiats du chantier, mais hors de l'emprise des travaux. Deux points au minimum sont nécessaires, par exemple A et B, station A et orientation sur B, de coordonnées connues :

- soit en repère général (Lambert) : on les détermine alors par les procédés classiques de densification de canevas ou plus généralement par des cheminements appuyés sur des points proches connus en système général. Étant donné le grand nombre de points présents sur notre territoire, c'est la méthode la plus employée ;
- soit en repère local : on peut alors se fixer une base de deux points qui sert de référence, un point A origine et un point B à une distance donnée de A. L'orientation peut s'effectuer à la boussole pour obtenir une valeur approximative du gisement de la direction AB.

Par abscisses et ordonnées



Cette méthode est utilisable si l'on ne dispose que d'un ruban en terrain régulier et à peu près horizontal ou d'une équerre optique en terrain accidenté. À partir d'un alignement de référence AB, on implante un point P à partir de ses coordonnées rectangulaires dans le repère (A, x, y), l'axe des x étant la ligne AB ; on reporte la cote x_P sur AB (point H) puis on trace la perpendiculaire à AB passant par H et on y reporte la cote y_P , (fig. 9.23.).

On contrôle que $AP^2 = x_P^2 + y_P^2$

Par rayonnement

Ce procédé est adapté aux théodolites, mécaniques ou électroniques avec ou sans IMEL. On connaît les coordonnées polaires topographiques d'un point P dans le repère (A, x, y), y étant un alignement AB donné.

Les coordonnées polaires topographiques sont, dans l'ordre, la distance horizontale $D_h = AP$ et l'angle $\alpha = BAP$ positif en sens horaire (fig. 9.24.).

Attention : si l'on dispose des coordonnées polaires mathématiques (D_h , θ), il faut implanter l'angle $(100 - \theta)$ depuis l'axe y .

Si l'on ne dispose pas d'un théodolite, on plante l'alignement par des mesures linéaires (§ 1.3) et on reporte la distance D_h sur l'alignement AP .

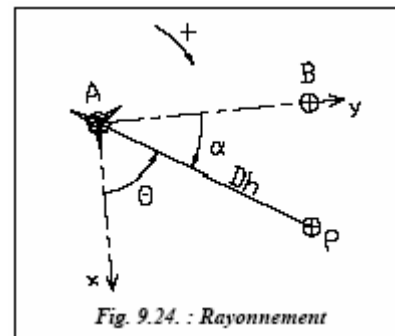


Fig. 9.24. : Rayonnement

Veillez à tenir compte de la dénivelée en terrain incliné : on reporte la distance suivant la pente $D_p = \sqrt{D_h^2 + \Delta H^2}$

Si l'on dispose d'un théodolite et d'un ruban en terrain régulier et à peu près horizontal, l'opérateur stationne le théodolite en A et positionne le zéro du cercle horizontal sur AB. Il ouvre ensuite de l'angle α depuis B et positionne P à la distance horizontale D_h de A.

Le contrôle est effectué en calculant BP et en vérifiant cette cote sur le terrain. BP est calculée par résolution du triangle ABP dans lequel on connaît AB, AP et α .

On réalise l'implantation directe du point P si l'on peut tendre le ruban entre A et P : l'opérateur maintient l'origine du ruban sur le point de station par l'intermédiaire d'un clou ou bien il le maintient au pied et aligne un aide dans la direction AP . L'aide place le point à la distance D_h de la station. Si le point P est hors d'atteinte du ruban, on peut planter deux points de l'alignement autour de P et s'appuyer sur ces points pour tendre le ruban et positionner P.

Si l'on dispose d'un IMEL, l'opérateur en station en A guide un aide tenant le miroir : il l'aligne d'abord dans la direction AP puis effectue une première lecture de la distance station miroir. Il en déduit la valeur à corriger pour se positionner sur le point P, déterminé ainsi en quelques approximations.

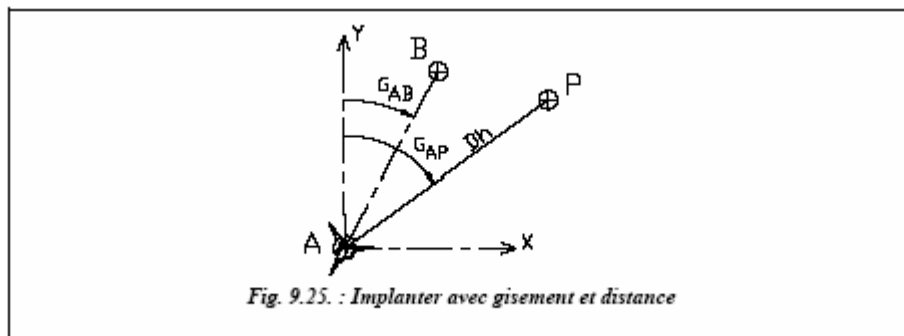
Il est aussi possible de réaliser cette implantation seul au moyen d'une station robotisée : l'opérateur stationne l'appareil en A puis se déplace vers le point P. Il envoie par radio à la station robotisée les coordonnées, rectangulaires ou polaires, du point à planter et l'appareil pointe automatiquement en direction de ce point. L'opérateur déplace alors un récepteur jusqu'à ce que la station robotisée indique qu'il se situe sur le point P.

Remarque

Il arrive fréquemment que l'on connaisse les coordonnées des points à planter et des points de référence A et B en système général (Lambert). Dans ce cas, si l'on ne dispose que d'un théodolite mécanique, sans fonctions de calculs de coordonnées, il est pratique de calculer les coordonnées polaires des points à planter : distance horizontale

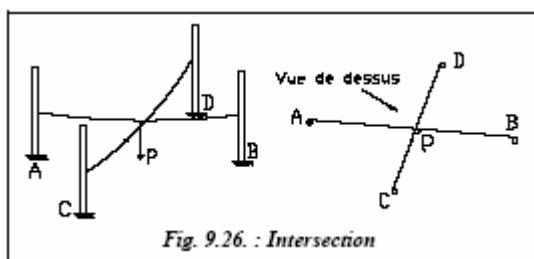
et gisement, et de les reporter directement sur le terrain. Pour cela, il suffit de calculer au préalable le gisement GAB et, lors de la mise en station de l'appareil en A,

d'afficher GAB sur B (fig. 9.25.). Pour implanter un point P, on affiche GAP sur le théodolite et on matérialise P à la distance horizontale Dh. Si les distances dépassent 200 m, il faut faire les calculs de réduction des distances.

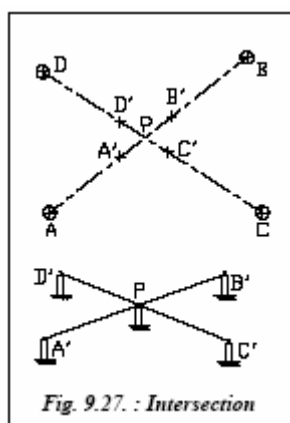


Intersection de deux alignements

On cherche à construire le point P matérialisant l'intersection des alignements AB et CD (fig. 9.26.). Si l'on ne dispose pas d'un théodolite, on peut utiliser le matériel suivant :



- un cordex : c'est un cordeau permettant de laisser une trace bleu ou rouge sur un support en béton, en plâtre, etc. Le cordex est tendu entre les points matérialisant les alignements dont on laisse la trace au sol. P est à l'intersection des deux traces ;



- des cordes ou des fils de fer tendus entre les points définissant les alignements : les cordes sont tendus au-dessus du sol ; l'opérateur fait coulisser un fil à plomb sur l'un des deux cordes jusqu'à toucher l'autre corde ; le point P cherché est matérialisé par l'extrémité du fil à plomb. On tiendra compte de l'éventuel décalage des cordes dû à l'épaisseur des jalons (fig. 9.26.).

Si l'on dispose d'un théodolite (fig. 9.27.), on repère à vue la zone dans laquelle se situe le point d'intersection. Ensuite, en station sur A, l'opérateur vise le point B puis, en abaissant la lunette du théodolite, il guide un aide dans le positionnement approximatif d'un piquet B', ou une chaise d'implantation, au-delà du point P cherché.

On affine en plantant un clou sur le piquet dans l'alignement AB. La même opération est répétée sur un piquet A' situé en deçà du point P. Il reste à tendre un cordeau entre les deux clous plantés pour matérialiser l'alignement AB autour du point P. On procède de même pour l'alignement CD.

On place un dernier piquet au niveau de l'intersection des deux cordeaux et on plante un clou pour matérialiser le point P. Pour gagner du temps, il est possible de n'implanter que les piquets A' et B' puis positionner directement le point P au théodolite sur l'alignement A'B'.

Si le sol ne permet pas l'utilisation de piquets ni de chaises et si les points de base des alignements sont trop éloignés pour utiliser le cordex, on plante les clous directement dans le support, en s'appuyant sur la visée au théodolite, et l'on tend un cordex ou un cordeau entre ces clous.

2.4. Contrôle d'une implantation

La phase de contrôle d'une implantation est aussi importante que l'implantation elle-même.

Pour être fiable et représentatif de la précision d'implantation, un contrôle doit porter sur des dimensions non implantées déduites par calcul des éléments implantés.

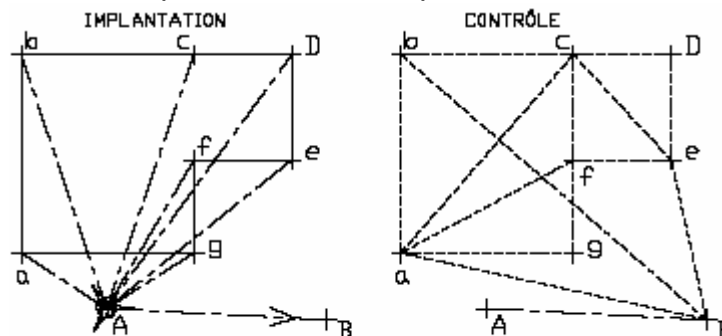


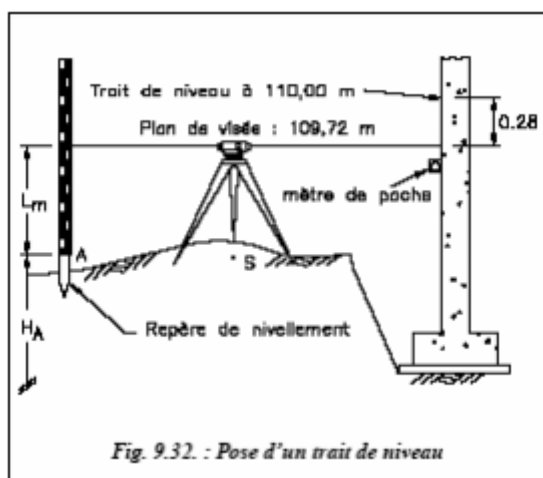
Fig. 9.28. : Contrôles après implantation

Par exemple, si l'on implante une figure polygonale en coordonnées polaires, le premier contrôle à effectuer est la mesure des distances entre les sommets (a-b, b-c, etc., voir fig. 9.28.). Ceci renseigne sur la précision de l'implantation. Un deuxième contrôle consiste en la mesure de diagonales du polygone de manière à s'assurer de l'allure générale de la figure implantée sur le terrain ; un contrôle complet, mais redondant, nécessiterait un découpage en triangles et la mesure de tous les côtés de tous les triangles. Le dernier contrôle est la position du polygone par rapport à un point de référence, si possible non utilisé pour l'implantation ; cela permet de s'assurer qu'il n'y a pas eu d'erreur en orientation angulaire de l'ensemble du polygone. On implante le polygone ab- c-d-e-f-g (fig. 9.28.) depuis A avec une visée de référence sur B et l'on contrôle depuis le point B. En phase de contrôle, on peut voir en pointillé le minimum de mesures linéaires à effectuer pour contrôler l'implantation (en plus des mesures des côtés a-b, bc, etc.).

3. IMPLANTATION DE REPÈRES ALTIMÉTRIQUES

Sur un chantier, des repères altimétriques sont indispensables. Ils sont implantés par des nivellements rattachés au réseau NPF. On place ainsi sur le chantier plusieurs bornes ou repères de nivellement qui doivent être répartis sur l'emprise du chantier et positionnés de sorte qu'ils restent en place pendant la durée des travaux. Le plus simple est de niveler les points qui servent aussi de référence en planimétrie. En théorie, un seul repère de nivellement est nécessaire ; dans la pratique, il est préférable d'en planter plusieurs.

3.1. Pose d'un trait de niveau



Les repères de nivellement servent d'origine à des cheminements courts ou à des visées directes permettant de placer des repères d'altitude en cotes entières appelés traits de niveau. On les réalise au cordex sur des murs existants, des piquets, etc.

Par exemple, pour réaliser l'implantation du trait de niveau 110,00 m sur un mur existant (fig. 9.32.), on stationne le niveau à mi-distance entre le mur et le repère altimétrique A le plus proche. On vise une mire en A et l'on en déduit l'altitude du plan de visée :

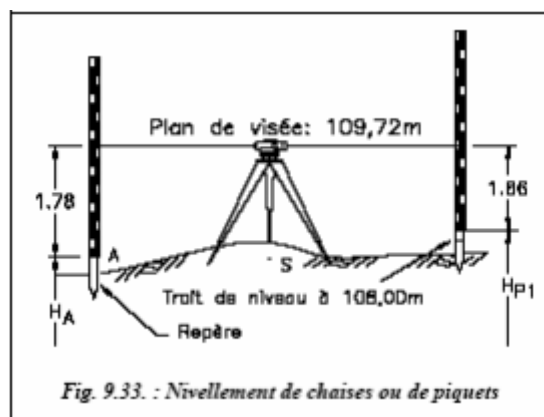
$$H_{\text{plandevisée}} = H_A + L_{\text{mire}}$$

Ici, $H_P = 107,94 + 1,78 = 109,72$ m. L'opérateur vise ensuite le mur sur lequel un aide déplace un mètre de poche jusqu'à ce que l'opérateur lise la graduation 28 cm ($110 - 109,72$) sur le mètre. L'aide place alors un trait sur le mur. On répète la dernière opération plus loin et l'on joint les deux repères au cordex pour obtenir le trait de niveau.

3.2. Nivellement de chaises d'implantation ou de piquets

Il est intéressant de disposer sur tous les piquets un trait de niveau et de régler les chaises à la même altitude pour éviter ainsi les erreurs dans les reports de distance dues aux différences d'altitude.

Les piquets (ou les chaises) étant en général sous le plan de visée, on ne peut pas y poser facilement un mètre de poche (comme sur le mur, de la figure 9.32.). On nivelle donc le sommet du piquet par un nivellement



par rayonnement avec visée arrière sur un point de référence du chantier et l'on reporte au mètre de poche le trait de niveau sur le piquet ; s'il s'agit d'une chaise, on répète cette opération pour les deux piquets et l'on cloue la latte horizontale de la chaise.

Par exemple, sur la figure 9.33., le repère A est à l'altitude $H_A = 107,94$ m ; on place une mire sur A ($L_A = 1,78$ m) puis sur le piquet P1 ($L_{P1} = 1,66$ m). L'altitude de la tête du piquet est donc $H_{P1} = 107,94 + (1,78 - 1,66) = 108,06$ m. On désire placer les chaises à l'altitude 108,00 m. On trace donc un trait de niveau situé à 6 cm sous la tête du piquet. Après avoir fait la même chose pour l'autre piquet, on fixe la latte horizontale de la chaise.

3.3. Utilisation des appareils laser

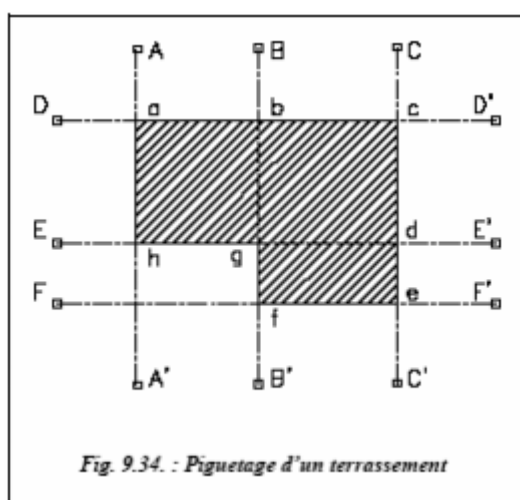
Un laser émet un faisceau lumineux qui se disperse très peu : le diamètre du faisceau lumineux émis est de l'ordre du millimètre à 100 m, et permet donc de matérialiser un axe (laser fixe) ou un plan (laser tournant). En projetant l'émission du laser fixe sur un obstacle, on obtient un point d'un alignement. En projetant l'émission du laser tournant sur un mur, on obtient un trait de niveau ; on peut aussi incliner le laser pour obtenir des lignes de pente donnée jusqu'à des contrôles de verticalité. Après avoir déterminé l'altitude de la station de l'appareil, on peut l'utiliser pour remplacer le trait de niveau ou pour matérialiser un alignement. Les opérations de nivellement peuvent alors être réalisées par un seul opérateur.

4. IMPLANTATION D'UN BÂTIMENT

4.1. Bâtiments courants

Il s'agit des bâtiments de petites et moyennes dimensions (villas, petits immeubles, etc.) généralement fondés superficiellement, c'est-à-dire à de faibles profondeurs par rapport au dernier niveau excavé.

4.1.1. Piquetage de l'emprise des terrassements



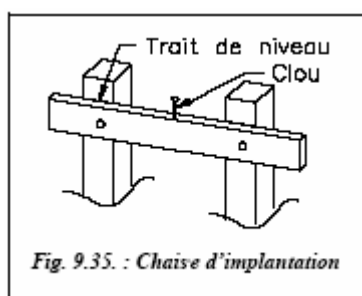
On matérialise cette emprise par les limites extérieures des terrassements, axes AA', BB', CC', etc. de la figure 9.34., les piquets étant placés en dehors de la zone à terrasser.

Pratiquement, le piquetage est réalisé par les méthodes traitées aux paragraphes 1 et 2 en s'appuyant sur des repères connus ou sur les

bâtiments voisins, ou encore sur les constructions du domaine public. Lors de la réalisation des terrassements, on

contrôle la progression par nivellement régulier du fond de fouilles en s'appuyant sur un repère de nivellement.

4.1.2. Positionnement des chaises d'implantation



Une chaise d'implantation (fig. 9.35.) est constituée d'une latte horizontale fixée à deux piquets. La face supérieure de la latte horizontale est positionnée à une altitude donnée (trait de niveau) et on y plante des clous qui matérialisent les axes de la construction. Les chaises sont donc placées autour de la construction, en retrait, de manière à ne pas gêner les travaux (fig. 9.36.). De plus, il faut veiller à régler les lattes de chaque chaise d'un même axe à la même altitude. Ces altitudes sont décalées de quelques centimètres (5 cm par exemple) d'une paire de chaise à l'autre pour éviter les interférences entre cordeaux.

Les chaises matérialisent en général l'axe longitudinal du bâtiment, l'axe des fondations ou des murs à implanter (fig. 9.36.). Elles sont plantées en retrait de la zone de travaux (1 à 2 m) et les cordaux ou fils de fer tendus entre les chaises représentent les axes à implanter (fig. 9.36. et 9.37.).

Le positionnement des chaises est réalisé comme suit : dans le repère local associé au chantier, souvent une simple ligne de base ou un ouvrage existant, l'opérateur calcule la position de deux points d'axe qu'il reporte sur le terrain.

Par exemple les points D et E (fig. 9.36.) placés à partir de la ligne de base AB en prenant les cotes sur le plan d'implantation du bâtiment. Les autres axes sont construits par jalonnement (alignements, perpendiculaires, parallèles, etc.) à partir de l'axe DE. Il en déduit la position des chaises en prolongeant les alignements.

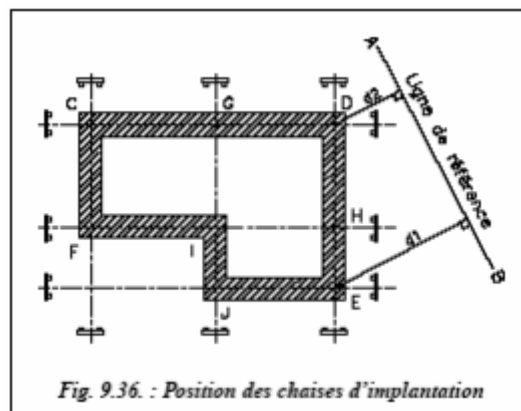


Fig. 9.36. : Position des chaises d'implantation

4.1.3. Report des points d'axe en fond de fouilles

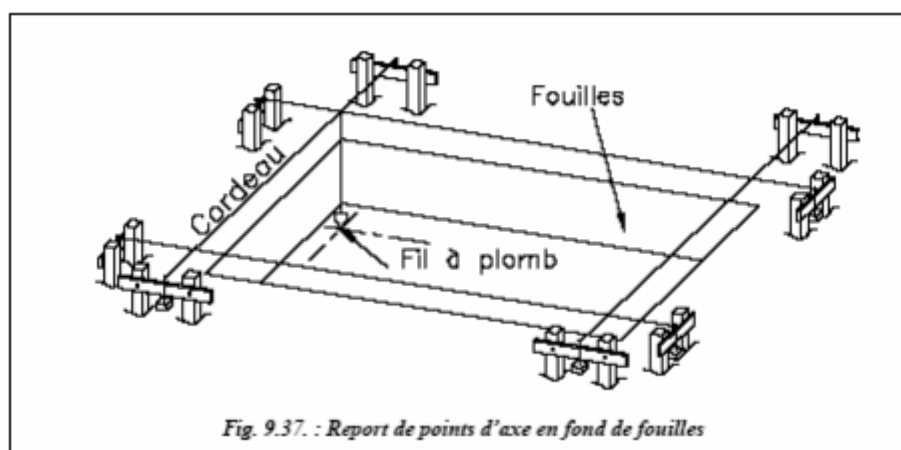
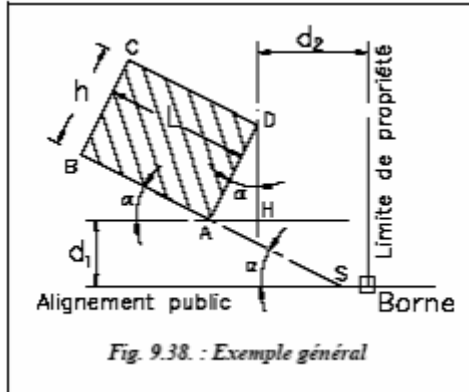


Fig. 9.37. : Report de points d'axe en fond de fouilles

Les points d'axe sont reportés au sol sur le béton de propreté en fixant un fil à plomb à l'un des cordons. Les points d'intersection des axes sont obtenus de même en faisant coulisser le fil à plomb attaché à un cordon jusqu'à ce qu'il touche un cordon perpendiculaire (fig. 9.37.).

4.1.4. Exemple d'implantation



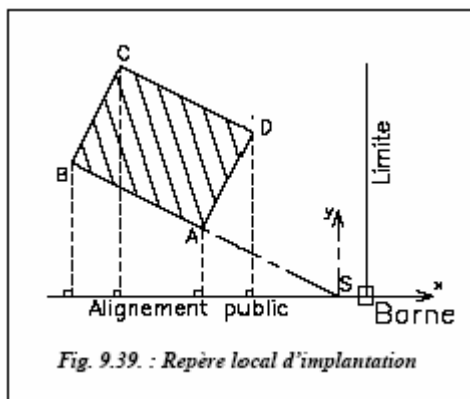
Le plan de masse de la construction (fig. 9.38.) précise le retrait d_1 du bâtiment par rapport à l'alignement public (route) ; d_1 doit être supérieur à une valeur minimale fixée par les services publics. Le plan de masse précise aussi la distance d_2 à la limite de propriété voisine ; d_2 est, elle aussi, supérieure à une valeur minimale. Il fixe en outre l'orientation du bâtiment par l'angle entre son axe longitudinal et l'alignement public servant de référence.

Plusieurs méthodes sont possibles :

1 - Sur un terrain régulier et à peu près horizontal, construisez avec un ruban et des jalons l'alignement DH parallèle à la limite de propriété à la distance d_2 . Construisez l'alignement AH parallèle à l'alignement public à la distance d_1 , puis déduisez en le point H d'intersection de ces alignements. Reportez la distance $h \cdot \sin \alpha$ depuis H vers le point A et la distance $h \cdot \cos \alpha$ vers le point D.

Construisez ensuite

l'alignement BA en implantant BC et CD sont enfin parallèles à AD et AB à distances L et h.



2 - En terrain plus accidenté il est préférable de procéder avec un ruban et une équerre optique : calculez les coordonnées rectangulaires des points A, B, C et D dans le repère (S, x,y) (fig. 9.39.) et implantez ces points par abscisses et ordonnées .

Il faut d'abord positionner S à partir de la borne B :

$$BS = d_1 \cdot \cotan \alpha$$

Les coordonnées des points à planter sont les suivantes :

$$\begin{aligned} A & (-d_1 \cdot \cotan \alpha; d_1) \\ B & (-d_1 \cdot \cotan \alpha - L \cdot \cos \alpha; d_1 + L \cdot \sin \alpha) \\ C & (-d_2 - L \cdot \cos \alpha; d_1 + h \cdot \cos \alpha + L \cdot \sin \alpha) \\ D & (-d_2; d_1 + h \cdot \cos \alpha) \end{aligned}$$

3 - En terrain très accidenté, il vaut mieux utiliser un théodolite et un ruban ou un distance mètre: à partir des coordonnées de A, B, C et D dans le repère (S,x,y), implanter en coordonnées polaires depuis une station en S, référence en B.

Remarque

Si le terrain présente des dénivelées importantes par rapport aux distances horizontales à implanter, il faut en tenir compte dans les distances à reporter : pour cela, on reporte la distance suivant la pente $D_p = \sqrt{(D_h)^2 + (\Delta H)^2}$, la dénivelée ΔH étant mesurée par nivellement direct ou indirect.

Dans tous les cas, il faut contrôler les cotes extérieures du bâtiment et les diagonales.

4.2. Bâtiments sur fondations spéciales, ouvrages d'art

La précision nécessaire à l'implantation des fondations de ce type d'ouvrage (fondations profondes ou semi profondes, certaines fondations du type micro pieux nécessitant des précisions de l'ordre du millimètre...) oblige à utiliser essentiellement le théodolite, d'autant que ce type de chantier est toujours de grande étendue. Une station totale est alors recommandée. L'implantation s'effectue par rayonnement depuis un micro canevas de stations déterminées en repère général ou local. Les points à implanter sont calculés dans le repère utilisé pour le chantier à partir des indications des plans d'exécution. Les précisions à respecter sont de l'ordre de ± 1 à ± 2 cm en planimétrie et de ± 1 cm en altimétrie. L'exercice du paragraphe 2.5 est représentatif de ce type d'implantation.

4.3. Bâtiments de grande hauteur

Les problèmes spécifiques à ce type de bâtiments sont le report de repères dans les étages (altimétrie et planimétrie). En effet, pour un bâtiment de hauteur moyenne, on peut se contenter d'utiliser les axes (ou les nus extérieurs) des éléments porteurs de l'étage inférieur et de les reporter par de simples mesures au mètre de poche sur le plancher de l'étage supérieur. Pour de très grandes hauteurs (au-delà de la dizaine d'étages), le cumul des erreurs de report à chaque niveau peut entraîner des décalages trop importants en fin

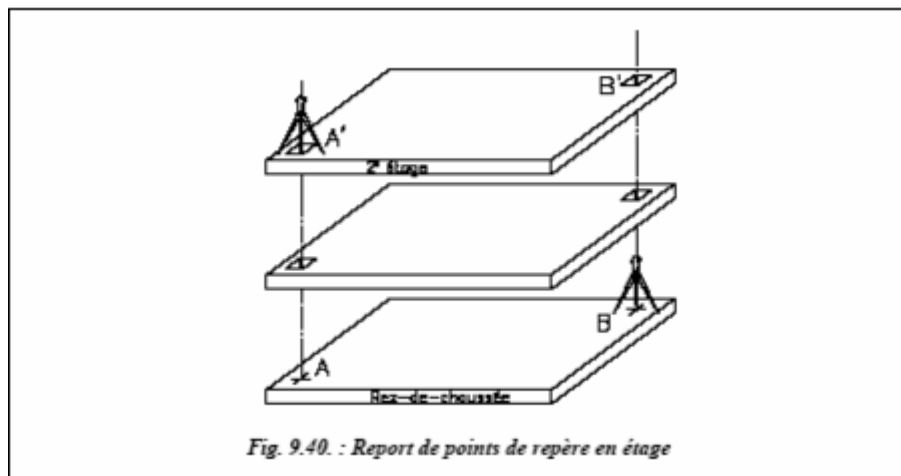
d'ouvrage, décalages généralement plus nuisibles du point de vue esthétique que du point de vue de la résistance de l'ouvrage.

4.3.1. Report de repères planimétriques en étages

Parmi les solutions possibles, citons les suivantes :

1 - Translation des repères planimétriques de l'étage inférieur vers l'étage supérieur. Il faut ménager des trémies de 20 cm x 20 cm à la verticale des points de repère. Ces derniers sont au minimum au nombre de deux afin de disposer d'une base d'implantation complète à l'étage supérieur. On stationne ensuite un théodolite sur le point de référence à l'étage inférieur (point A, fig. 9.40.) ; pour être plus précis, il faut reprendre à chaque

fois la référence au rez-de-chaussée, ce qui oblige à laisser les trémies jusqu'au dernier étage. Ensuite, au moyen d'un oculaire coudé, on vise au zénith pour guider un aide qui positionne une plaque sur la trémie supérieure. On peut aussi stationner à l'étage supérieur à la verticale du point de l'étage inférieur en s'aidant du plomb optique et positionner ensuite une plaque sur la trémie (point B, fig. 9.40.). On y grave la position du repère. Notez que le plomb optique doit être parfaitement réglé.



Le repérage altimétrique peut être réalisé par mesures linéaires, au ruban, depuis les étages inférieurs. Il est également possible de contrôler l'altitude d'un plancher par des visées de nivellement indirect depuis des stations extérieures au bâtiment.



2 - Utilisation d'une lunette nadiro-zénithale (lunette Wild ZNL) : c'est une lunette d'aplomb rigide, précise et résistante qui permet de faire des visées vers le haut ou vers le bas par simple retournement de la lunette qui se monte en centrage forcé dans une embase Wild. Le calage des lignes de visée est effectué par une seule nivelle double face ; la face supérieure et la face inférieure de la nivelle sont incurvées. La précision obtenue avec deux visées diamétralement opposées est de l'ordre de 1 mm à 30 m pour le modèle à nivelle tubulaire et de 0,5 mm à 100 m avec les modèles automatiques ZL (lunette seulement zénithale) ou NL (lunette seulement nadirale). Après utilisation de cette lunette, il est possible de positionner un théodolite sur la même embase (centrage forcé assurant une remise en position au 1/100 de millimètre près).

3 - Utilisation d'un fil à plomb de grande longueur dont l'extrémité baigne dans un bain d'huile pour le stabiliser. La méthode, apparemment simple, est difficile à mettre en oeuvre en pratique (surtout s'il y a du vent). Un autre procédé équivalent, plus précis et surtout plus facile à mettre en oeuvre, est l'utilisation d'un fil à flotteur (fil en acier travaillant sous tension constante et fixé à un flotteur immergé dans un bain de mercure ; il se monte sur un trépied de théodolite). Cet appareil permet d'obtenir une très grande précision : 0,08 mm sur 27 m, mesuré par l'IGN dans une cage d'escalier ; il est toutefois également sensible au vent.

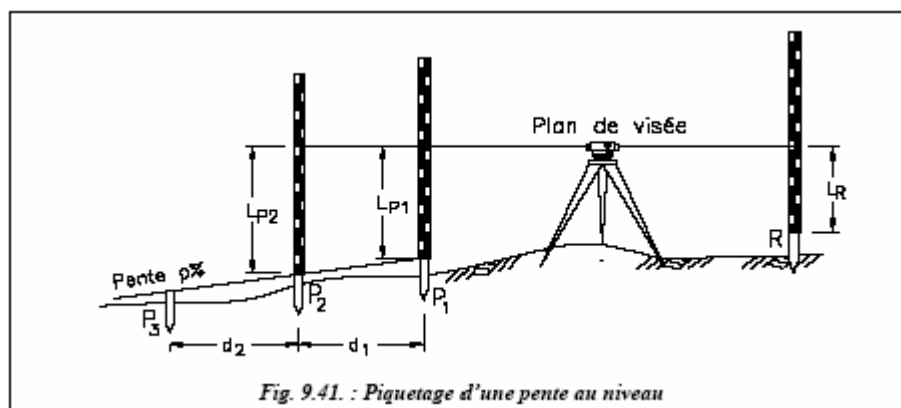
4.3.2. Verticalité des façades

Les appareils laser peuvent être utilisés pour régler et contrôler la verticalité des éléments porteurs lors de la construction. Il est par exemple possible de positionner un laser fixe sur un mur ou près d'un mur porteur du rez-de-chaussée, décalé d'une valeur d du nu extérieur de ce mur. On place une première cible sur un nu extérieur du premier étage pour contrôler le point de passage du laser. On place enfin une cible décalée de la même valeur d sur un porteur en étage ou sur un coffrage, pour l'aligner. La grande portée du laser et la faible dispersion de son faisceau permettent de travailler jusqu'à de très grandes hauteurs.

4.4. Piquetage de pentes

L'implantation d'une pente donnée, par exemple une voie d'accès, peut être réalisée de plusieurs manières.

1 - À l'aide d'un niveau et une mire : si la longueur de l'ouvrage ne dépasse pas 100 m, on peut piqueter les points d'axe d'une pente à partir d'une seule station d'un niveau. Ces points d'axe sont déjà placés en planimétrie. Si la pente à implanter est une ligne droite, on stationne le niveau dans son axe et on place les piquets en les alignant grâce au niveau et à la mire.



L'opérateur stationne un point quelconque en tête d'alignement (fig. 9.41.). L'aide positionne le premier piquet P_1 de la pente par nivellement direct à partir du repère R : $HP_1 = H_R + L_R - L_{P1}$. HP_1 étant connue, l'aide doit enfoncer un piquet jusqu'à ce que l'opérateur lise la cote L_{P1} sur la mire ou bien placer un trait de niveau sur le piquet. Le deuxième piquet P_2 étant à la distance d_1 de P_1 , le sommet de ce piquet doit être à l'altitude suivante :

$HP_2 = HP_1 + p \cdot d_1$, pour une pente donnée de p % avec p algébrique.

Par convention, une valeur de p négative représente une descente et une valeur positive une rampe (montée). Par exemple : $p = -4\%$; P_2 est à 50 m de P_1 à une altitude de 105,23 m ; l'altitude de P_2 sera : $105,23 - 0,04 \cdot 50 = 103,23$ m. On procède de même pour chaque piquet d'axe de la pente. d représente l'abscisse curviligne horizontale, c'est-à-dire la distance en projection horizontale entre points d'axe en suivant la courbe joignant ces points. Par exemple, dans un virage de rayon de courbure R , la distance d ne représente pas la corde mais l'arc de longueur $R \cdot \alpha$ radian pour un angle au centre α radian.

Attention ! la distance d_1 est généralement mesurée suivant la pente, notée D_p . Si la pente est faible ou si d_1 est courte, on peut assimiler la distance horizontale D_h à la distance suivant la pente. Vérifiez que l'erreur commise dans l'exemple numérique précédent serait de l'ordre de 4 cm sur la distance et inférieure à 2 mm sur la dénivelée.

Si l'on estime qu'on ne peut pas négliger l'écart entre D_p et D_h , il faut effectuer le calcul suivant : une pente p fait un angle i avec l'horizontale tel que $p = \tan i$. Donc si l'on mesure la distance suivant la pente D_p , la distance horizontale est $D_h = D_p \cdot \cos(\arctan p)$ et l'altitude du point P_2 est $HP_2 = HP_1 + p \cdot D_h$.

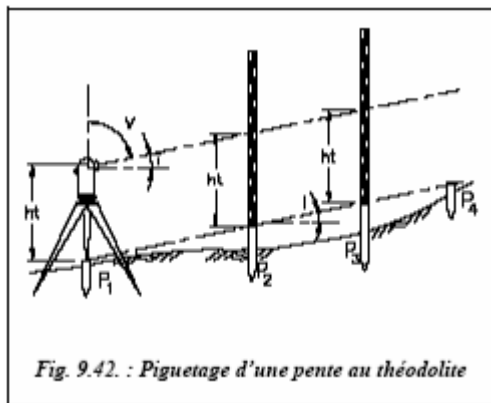


Fig. 9.42. : Piquetage d'une pente au théodolite

2 - À l'aide d'un théodolite : une pente p donne un angle de site i tel que $p = \tan i$.

L'angle zénithal à positionner sur le cercle vertical du théodolite est alors :

$$V = 100 - \arctan p.$$

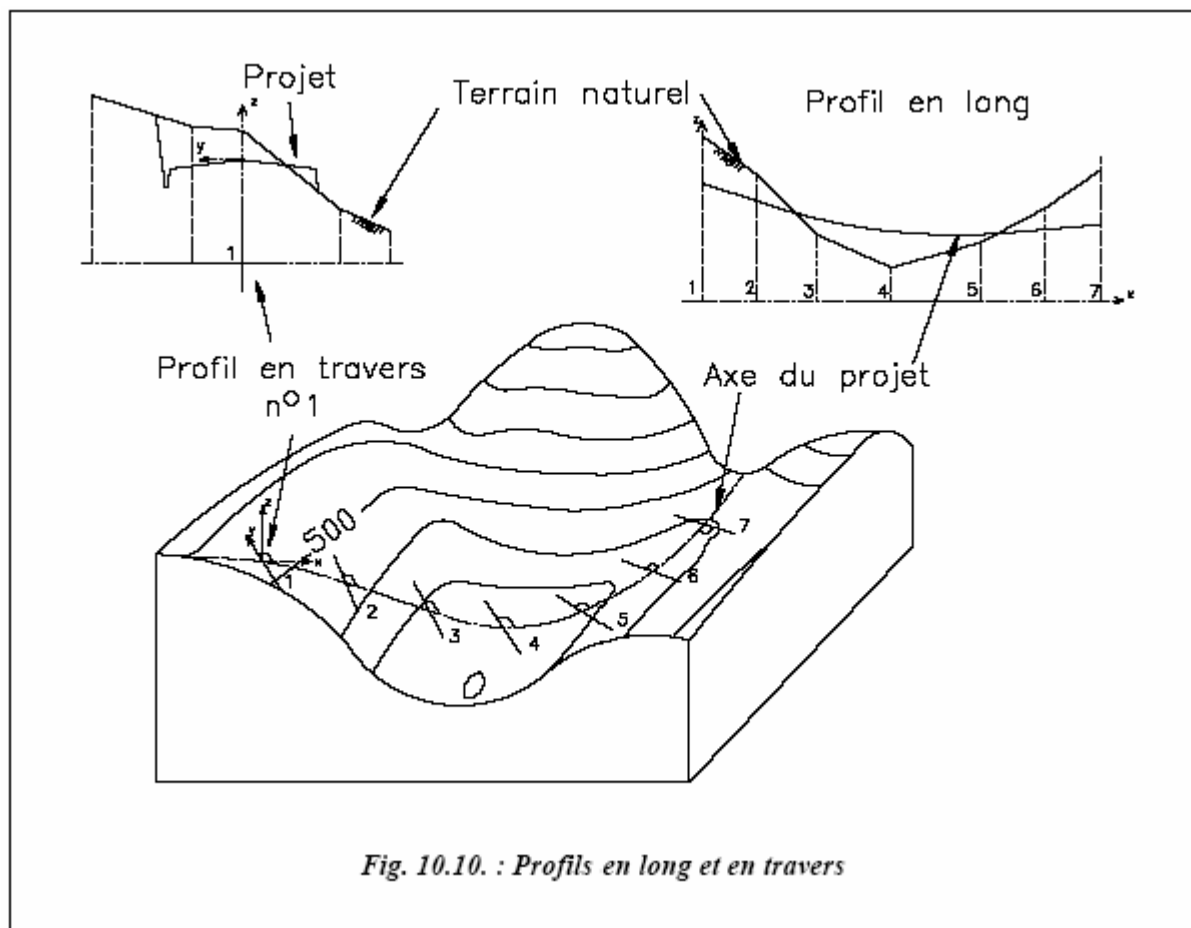
L'opérateur mesure la hauteur des tourillons h_t en station sur le premier point de la pente et guide un aide qui positionne les autres piquets de sorte que la lecture sur la mire soit égale à h_t sur chaque point de la pente (fig. 9.42.).

3 - À l'aide d'un appareil laser : on utilise par exemple un laser tournant décrivant un plan horizontal ou un plan incliné de la pente p . Le principe est identique au niveau, à savoir que le piquetage peut être fait par une seule personne disposant par exemple d'une mire avec un capteur de position du faisceau laser.

V. PROFILS EN LONG ET EN TRAVERS

1. DÉFINITION

Un profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire (route, voie ferrée, canalisation, etc.). Le profil en long est complété par des profils en travers qui sont des coupes verticales perpendiculaires à l'axe du projet. Leur établissement permet en général le calcul des mouvements de terres (cubatures) et, par exemple, permet de définir le tracé idéal d'un projet de manière à rendre égaux les volumes de terres excavés avec les volumes de terre remblayés. L'informatique joue ici aussi un rôle déterminant puisque ces calculs sont répétitifs. En effet, il faut plusieurs essais lors d'une recherche de tracé avant d'arriver au tracé définitif.



Par exemple, sur la figure 10.10., un projet routier est figuré en trait d'axe. Le profil en long constitue un développement suivant son axe sur lequel sont représentés le terrain naturel et le projet. Les profils en travers, régulièrement espacés, sont une vue en coupe qui fournit l'inscription de la route dans le relief perpendiculairement à l'axe.

2. LE PROFIL EN LONG

Le profil en long est un **graphique** (fig. 10.11.) sur lequel sont reportés tous les points du terrain naturel et de l'axe du projet. Il est établi en premier lieu. On s'appuie sur ce document pour le dessin des profils en travers (fig. 10.12.). Ce graphique s'oriente de la gauche vers la droite ; les textes se rapportant au projet sont en rouge, écriture droite et ceux qui se rapportent au terrain naturel en noir et en italique (si l'on travaille exclusivement sur un support en couleur, on peut ne pas utiliser la représentation en italique). Distances et altitudes sont données en mètres au centimètre près.

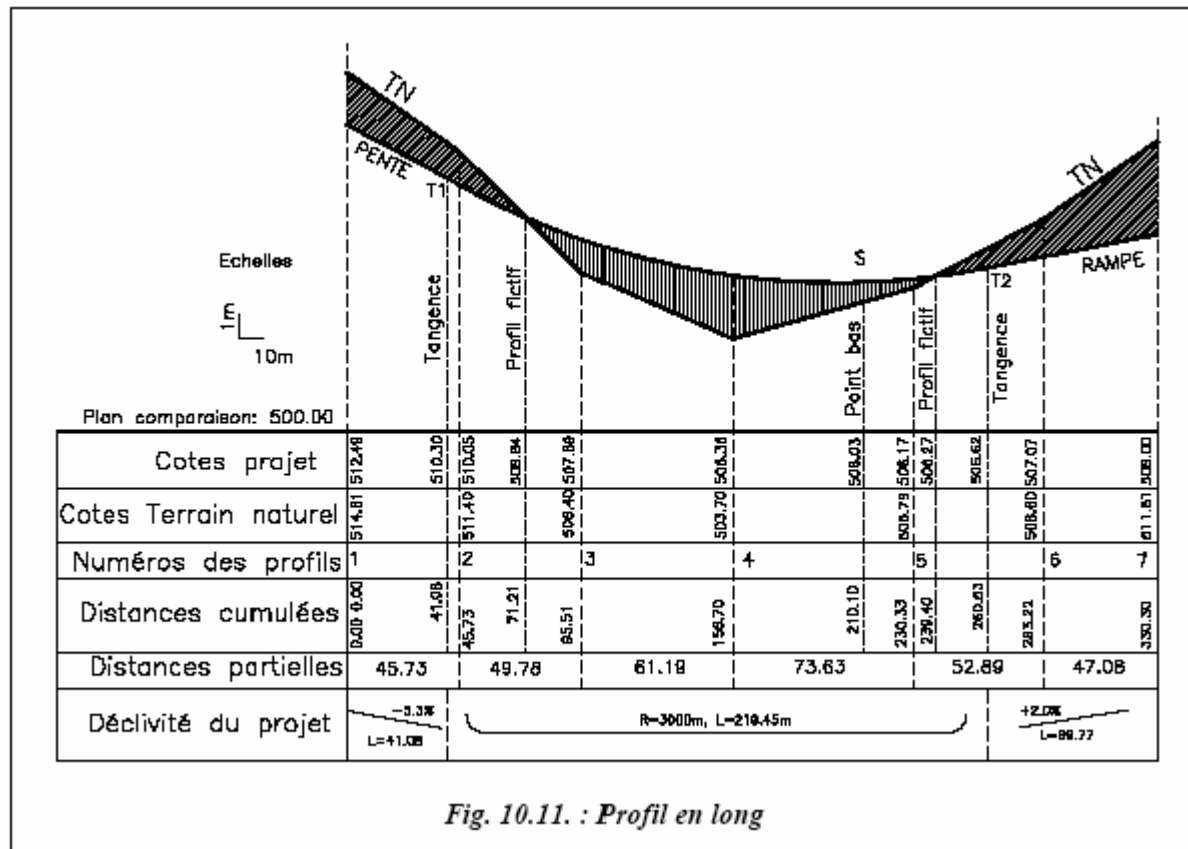
On choisit en général un plan de comparaison d'altitude inférieure à l'altitude du point le plus bas du projet ou du terrain naturel. Ce plan de comparaison est l'axe des abscisses du graphique sur lequel sont reportées les distances horizontales suivant l'axe du projet. Sur l'axe des ordonnées, sont reportées les altitudes. Les échelles de représentation peuvent être différentes en abscisse et en ordonnées (en rapport de l'ordre de 1/5 à 1/10) de manière à souligner le relief qui peut ne pas apparaître sur un projet de grande longueur.

On dessine tout d'abord le terrain naturel (TN), généralement en trait moyen noir. Son tracé est donné par la position de chaque point d'axe d'un profil en travers, le terrain naturel étant supposé rectiligne entre ces points. On reporte en même temps dans le cartouche des renseignements en bas du graphique : les distances horizontales entre profils en travers dites distances partielles, les distances cumulées (appelées aussi abscisses curvilignes) depuis l'origine du projet et l'altitude de chaque point.

On positionne ensuite le projet (trait fort rouge) en tenant compte de tous les impératifs de visibilité : pente maximale, égalité des déblais et des remblais, etc. Ce tracé donne des points caractéristiques comme les points de tangence entre droites et parties courbes, les points hauts (ou sommets situés à la fin d'une rampe et au début de la pente suivante), les points bas (situés à la fin d'une pente et au début de la rampe suivante). Une rampe est une déclivité parcourue en montant dans le sens du profil ; une pente est parcourue en descendant. Un parcours horizontal est aussi appelé palier. Les déclivités des parties droites, les longueurs projetées des alignements droits et des courbes ainsi que les rayons de courbure sont reportés en bas du cartouche ; on reporte également les longueurs développées des courbes.

Les cotes des points caractéristiques du projet sont reportées dans les lignes de renseignement en bas du graphique : distance à l'origine du projet (distance cumulée) et altitude. Dans la phase d'avant-projet sommaire, elles sont mesurées sur le graphique du profil en long. Elles sont calculées exactement en phase de projet d'exécution, à partir du profil en long et des profils en travers réels, levés sur le terrain. La manière la plus efficace de faire ce calcul est de construire le profil sur un logiciel de DAO et d'y lire les coordonnées des intersections.

Les calculs des positions des points caractéristiques se ramènent à des intersections droites - droites, droites - cercles ou droites - paraboles dans le repère associé au profil en long.



On peut colorier de manière différente les **remblais** (en rouge) et les **déblais** (en bleu). Les profils en travers fictifs (surface nulle) dont on doit déterminer la position (abscisse et éventuellement l'altitude) sont les points d'intersection entre le terrain naturel et l'axe du projet ; ces profils particuliers sont utiles pour le calcul des cubatures. Il faut connaître leur position en abscisse par rapport aux deux profils en travers qui les encadrent.

Remarque

Veillez à ne pas confondre le système de coordonnées dans lequel sont repérés le profil en long et le profil en travers (x, y associé au graphique, l'axe des y représentant les altitudes) avec le repère général (ou local) dans lequel les points du terrain sont exprimés pour les implantations (altitudes cotées sur l'axe des Z).

Attention au fait que l'on utilise des échelles différentes en abscisse et en ordonnée. Les pentes sur le graphique sont multipliées par un facteur d'échelle qui est le rapport de l'échelle des ordonnées sur celle des abscisses. Les courbes sont aussi transformées mais de manière non homothétique (puisque seule l'échelle en ordonnée varie) : un cercle devient donc une ellipse et les rayons de courbure sur le graphique n'ont plus

rien à voir avec la réalité... Cette erreur peut facilement être évitée par une construction graphique avec un logiciel de DAO : la construction est faite à l'échelle 1 en abscisse et en ordonnée (on en déduit les cotes réelles) et, ensuite, pour les besoins de la représentation, on peut multiplier l'échelle des ordonnées par 5 ou 10.

3. LE PROFIL EN TRAVERS

Les profils en travers (sections transversales perpendiculaires à l'axe du projet) permettent de calculer les paramètres suivants :

- la position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements ;
- l'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel ;
- les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

Le profil en travers (fig. 10.12.) est représenté en vue de face pour une personne qui se déplacerait sur l'axe du projet de l'origine à l'extrémité du projet. La voie de gauche doit donc se situer sur la partie gauche du profil.

On commence par dessiner le terrain naturel à partir d'un plan horizontal de référence qui n'est pas forcément celui du profil en long, de manière à obtenir le profil en travers à l'échelle maximale sur le format choisi. L'échelle de représentation est de l'ordre de 1/100 à 1/200 (jusqu'à 1/50 pour les voies les moins larges). Il n'y a pas d'échelle différente en abscisse et en ordonnée de manière à pouvoir mesurer directement sur le graphique des longueurs dans toutes les directions ou bien des surfaces (mesure sur papier au planimètre ou sur informatique, par exemple à l'aide de la commande *AIRE* d'AutoCAD). L'abscisse de chaque point du terrain naturel (ou du projet) est repérée par rapport à l'axe du profil en travers (donc négative à gauche et positive à droite), l'ordonnée est toujours l'altitude du point. Cette représentation logique introduit un repère (x, y, z) non direct (fig. 10.10.).

On y superpose ensuite le gabarit type du projet (largeur de chaussée, accotements, fossés et pentes de talus) à partir du point d'axe dont l'altitude a été déterminée sur le profil en long. Sur informatique, ce gabarit est un dessin type (sous forme de bloc) mis en place à chaque profil. En dessin manuel, on utilise un fond de plan.

Cela permet de calculer la position des **points d'entrée en terre**.

Les conventions de couleur et d'écriture doivent être les mêmes que pour le profil en long.

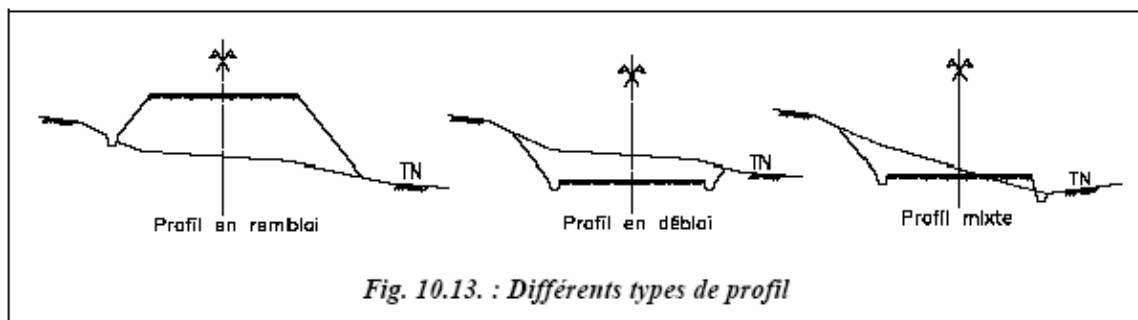
Les fossés ne sont pas repérés comme les autres points caractéristiques puisque, de manière à simplifier le calcul, ils n'interviennent pas dans la décomposition de la surface en triangles et trapèzes. Ils sont calculés séparément.



Le numéro du profil et sa position (P.K. ou point kilométrique) dans le projet doivent figurer sur le graphique.

On indique aussi l'abscisse curviligne à l'axe du projet (distance suivant l'axe depuis l'origine du projet).

Il existe trois types de profils en travers (fig. 10.13.) : les profils en remblai, en déblai ou bien les profils mixtes.



Notons que la présence du fossé sur ces différents types de profils n'est nécessaire qu'en cas d'impossibilité d'écoulement naturel des eaux. Par exemple, comparez le profil en remblai et le profil mixte.

4. APPLICATION

La construction graphique sur ordinateur à l'aide d'un logiciel de DAO facilite le travail du projeteur puisque les calculs sont effectués simultanément au dessin : il suffit de relever les positions des points dans un repère associé au profil. De plus, les éléments répétitifs tels les symboles, les cartouches, le profil type de la chaussée peuvent être mis en mémoire sous forme de bloc et rappelés si besoin.

Énoncé : à partir des données du tableau suivant, déterminez le profil en long qui minimisera les cubatures et les mouvements de terre en essayant d'équilibrer les volumes de remblai et de déblai, sachant que la déclivité ne doit pas dépasser 4 %, que tout raccordement dans le sens du profil en long est réalisé par un arc de cercle d'un rayon d'au moins 2 500 m et que la route est horizontale au départ et à la fin de la portion de projet étudiée. La largeur de la chaussée est de 10 m, le dévers du revêtement est de 2 % de part et d'autre de l'axe de la chaussée, la pente des talus de 2/1, les fossés ont une largeur de 20 cm en fond pour une profondeur de 30 cm.

Profils	Dh (m)	-10.00 m	-5.00 m	0.00 m	5.00 m	10.00 m
1	0,00	110,95	111,05	110,82	110,76	110,45
2	50,10	110,74	110,45	110,21	110,02	109,74
3	100,30	108,13	107,95	107,78	107,14	106,69
4	150,90	106,05	105,32	104,98	104,32	103,78
5	201,20	105,77	104,37	103,75	103,14	102,31
6	251,50	104,96	104,52	104,12	103,78	103,64
7	301,90	106,84	106,77	106,67	106,54	106,33
8	351,50	109,87	109,79	109,75	109,76	109,84
9	402,00	110,01	110,20	110,25	110,37	110,58
10	450,00	109,87	110,34	110,60	110,94	111,47

Le tableau précédent donne les altitudes relevées à chaque profil en travers : à l'axe, colonne 0,00 m, à - 5,00 m et - 10,00 m à gauche de l'axe et à 5,00 m et 10,00 m à droite de l'axe. Dh représente la distance horizontale cumulée à chaque profil depuis l'origine.

Résolution graphique à l'aide d'AutoCAD LT

Commencez par la création des **calques** utiles au dessin : un calque PROJET en rouge, un calque TN en vert. Réglez l'unité de sortie sur papier pour que l'on puisse dessiner directement en mètres : case de dialogue IMPRIMER du menu FICHIER, dans l'encadré **Échelles**, entrez les valeurs suivantes :
1000 mm tracés = 1 unité dessin (1 000 mm dans la réalité = 1 unité écran).

4.4.1. Préparation du dessin

Créez un **style de texte** PROJET dont le texte sera en italique et la hauteur des caractères de 2,5 mm sur papier. Commande $STYLE\zeta$ nom du style $PROJET\zeta$ police $ROMANS.SHX\zeta$ hauteur 0.0025ζ angle d'inclinaison 15ζ (degrés) ; pour toutes les autres questions, répondez par ζ qui valide les valeurs par défaut.

Créez de même un style TN qui servira à tous les textes relatifs au terrain naturel : commande $STYLE\zeta$ nom du style $TN\zeta$ police $ROMANS.SHX\zeta$ hauteur 0.0025ζ angle d'inclinaison 0ζ . Ceci permettra de dessiner les éléments de mise en page (textes et cartouches) en mètres ; par exemple, un format A4 aura pour dimensions 0,21 m par 0,297 m. Nous utiliserons ensuite les possibilités de **l'espace papier** pour régler l'échelle de sortie des profils.

Remarque

L'espace papier d'AutoCAD, dans lequel on bascule en cochant l'option ESPACE PAPIER du menu VUE, permet de faire de la **mise en page** ; on peut y juxtaposer plusieurs fenêtres qui sont autant de vues différentes des objets dessinés dans l'espace objet. On peut ainsi représenter un seul et même objet vu de plusieurs perspectives différentes. C'est la facilité de la mise à l'échelle grâce à la commande **Zoom** option **XP** spécialement conçue pour préparer la sortie sur papier.

4.4.2. Dessin du profil en long du terrain naturel

Dans le calque TN, dessinez en poly ligne le profil du terrain naturel : $POLYLIGNE\zeta$ du point $0,110.82\zeta$ au point $50.1, 110.21\zeta$ au point $100.3, 107.78\zeta$ etc. au point $450,110.6\zeta$. Dessinez le plan de comparaison, par exemple à 102 m, et la position des profils en travers : $LIGNE\zeta$ du point $0,102\zeta$ au point $450,102\zeta$ puis $LIGNE\zeta$ de l'**EXTrémité** de chaque tronçon de la poly ligne à **perpendiculaire** à la droite figurant le plan de comparaison.

La visibilité du relief doit être accentuée pour la recherche du tracé du profil en long de la route. Multipliez par 10 la hauteur de chaque droite verticale marquant un profil en travers. Commande *ECHELLE* ⏏, sélection de l'objet : cliquez sur une droite, point de base : *intersection* entre la droite et le plan de comparaison, facteur d'échelle 10 ⏏.

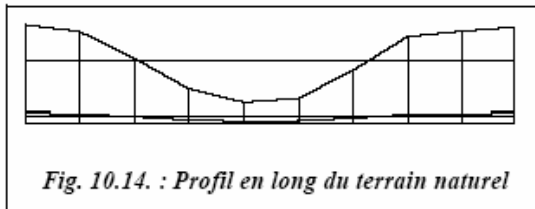


Fig. 10.14. : Profil en long du terrain naturel

Répétez ceci pour chaque profil (voir le résultat fig. 10.14.). Pour cette série de tracé où les accrochages *extrémité* et *intersection* sont très utilisés, passez en accrochage permanent (touche F3 ou menu OPTIONS / ACCROCHAGE AUX OBJETS, cochez les deux cases Extrémité et Intersection). N'oubliez pas de désactiver cet accrochage permanent en fin d'opération, par exemple, en appuyant à nouveau sur la touche F3.

4.4.3. Choix du tracé du profil en long du projet

Pour réaliser au mieux l'égalité des remblais et déblais, il faut trouver une droite horizontale qui partage le terrain naturel en deux surfaces égales. Ceci peut se réaliser graphiquement (par calcul : voir le redressement de limite au chapitre 3 du tome 2, § 3). Dans le calque PROJET, dessinez à vue une ligne séparant la figure en deux surfaces équivalentes (fig. 10.14.), puis mesurez la surface de remblai et les surfaces de déblai avec la commande *AIRE* : cela peut être très rapide si on est en accrochage permanent *intersection* et si on utilise l'option *Ajouter* pour obtenir directement la somme des deux surfaces de déblais qui sont séparées. Par approximations successives, en positionnant une ligne à 157,61 m on obtient deux surfaces de l'ordre de 5 190 m². Dessinez la position réelle de cette droite qui est à l'altitude $102 + (157,61 - 102) / 10 = 107,561$ m ; cela peut se faire graphiquement en appliquant la commande *ECHELLE* avec un facteur d'échelle de 0.1.

Il reste à positionner le tracé du profil en long de la route le plus symétriquement possible par rapport à cette droite.

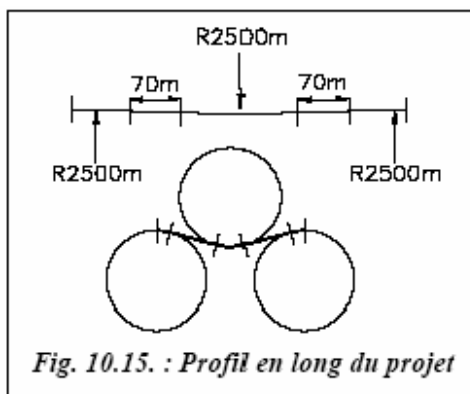


Fig. 10.15. : Profil en long du projet

Le tracé est choisi en fonction de critères de visibilité, de déclivité maximale, du type de route, etc. Nous choisissons pour simplifier un tracé symétrique composé de trois parties circulaires d'un rayon de 2 500 m, raccordées par des alignements droits d'une longueur de l'ordre de 70 m (voir fig. 10.15.). Dessin du cercle de gauche : commande *CERCLE* ⏏ de centre l'extrémité gauche de la ligne de partage et de rayon 2 500 ⏏.

Dessin du cercle de droite : *COPIER*_i le cercle précédent (option *Dernier objet dessiné*) de l'extrémité gauche de la ligne de partage vers l'extrémité droite.

Demandez un Zoom Etendu pour voir l'ensemble du dessin.

Dessin du cercle central : *CERCLE*_i option *TTR*_i (tangent, tangent, rayon), tangent aux deux autres cercles en partie supérieure, rayon 2 500_i

Pour obtenir des alignements droits entre les parties circulaires, *DEPLACER*_i le cercle central de 0.5 m vers le haut puis dessinez deux segments tangents aux deux cercles : *LIGNE*_i de *tangent* à *tangent*... (voir figure 10.15. : l'allure réelle est en haut de la figure, seuls les arcs de cercles de raccordement sont dessinés ; en bas, un schéma permet de mieux visualiser l'allure du raccordement). Pour réduire les cercles aux arcs de cercles, utilisez la commande *COUPURE*_i (option *P* pour premier point) ; attention au sens positif de rotation, donnez les intersections comme points de coupure.

4.4.4. Positionnement du profil du projet sur le terrain naturel et lecture des points caractéristiques

On cherche à positionner le profil en long du projet (fig. 10.16. et 10.17.) symétriquement sur la droite de partage du terrain naturel (fig. 10.14.). Pour cela, *DEPLACER*_i l'ensemble du profil du projet depuis le *MILieu* de l'un des deux segments de raccordement de 70 m au point *perpendiculaire* à la droite de partage (à sa position réelle). Il ne reste plus qu'à lire les altitudes du projet au niveau de chaque profil en travers. Cela donne :

Profils	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Z projet (m)	109,84	109,34	107,94	106,38	105,39	105,42	106,46	107,99	109,38	109,84

Il faut aussi connaître l'abscisse des **profils fictifs** : elles sont de 91,29 m, altitude 108,22 m et 292,31 m, altitude 106,18 m. On les ajoute en bleu sur le profil réel. Pour exagérer le profil en long du projet de manière à améliorer la lisibilité, procédez de même que pour le terrain naturel au paragraphe 2.4.2. On déconnecte ensuite le profil réel du profil agrandi en déplaçant ce dernier en mode *ORTHO* vers le haut de l'écran (voir fig. 10.16.).

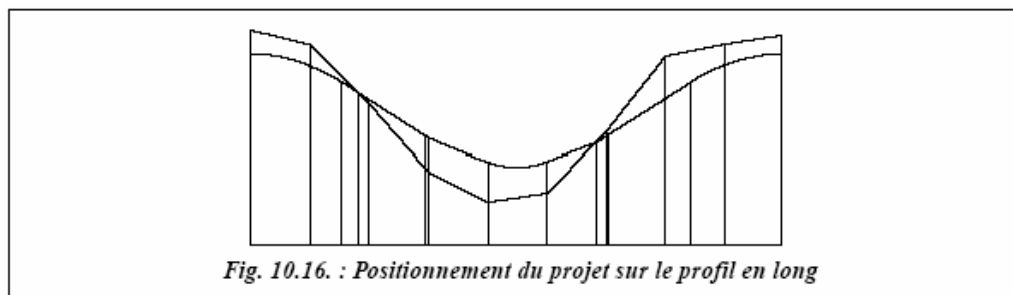


Fig. 10.16. : Positionnement du projet sur le profil en long

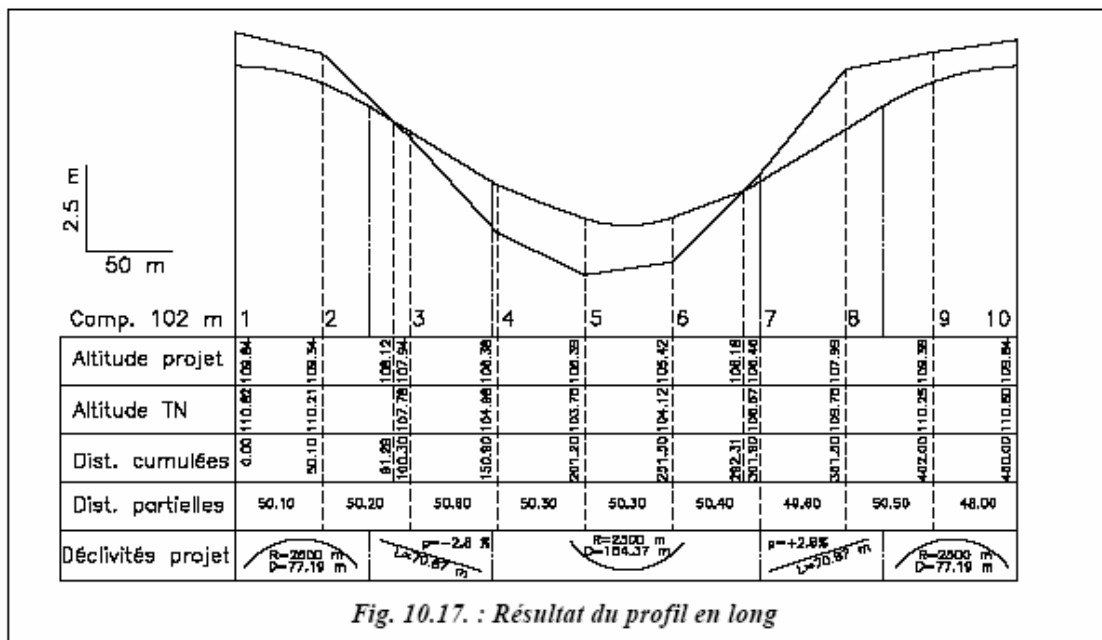
4.4.5. Dessin du profil complet en espace papier

Passez en espace papier, menu VUE / ESPACE PAPIER. Pour sortir ce profil sur format A4 horizontal, on dessine dans le calque 0 un $RECTANGLE_{\bar{z}}$ du point $0,0_{\bar{z}}$ au point $@0.297,0.21_{\bar{z}}$ (format A4 horizontal 29,7 cm par 21 cm). En espace papier, l'espace objet apparaît à l'intérieur de fenêtres qui sont dessinées avec la commande $FMULT_{\bar{z}}$ (ou menu VUE / FENETRE EN MOSAÏQUE / 1 FENETRE). Dessinez cette fenêtre dans le format A4 en laissant une marge de 1 cm. L'espace objet complet apparaît dans cette fenêtre mais les objets à l'intérieur de la fenêtre ne sont pas directement accessibles. Seule la fenêtre globale peut être modifiée. Pour accéder aux objets situés à l'intérieur, il faut passer en **espace objet local** avec le raccourci de commande $EP_{\bar{z}}$ ou en cliquant sur le bouton E de la barre d'outils. On peut alors régler l'échelle de sortie grâce à la fonction **Zoom option XP** : le dessin doit être sorti à l'échelle 1/2 000 pour entrer dans le format A4 horizontal ($450 / 2\ 000 = 0,225$ m) : donc entrez la commande $Zoom_{\bar{z}} 0.0005XP_{\bar{z}}$. L'espace objet apparaît alors comme il sera sur un format A4. Il reste à centrer les objets dans la fenêtre avec la commande $PANoramique$. Vous obtenez en format A4 l'équivalent de la figure 10.17. après

avoir ajouté les lignes du cartouche de légende. Sur cette figure, la taille des textes a été augmentée pour la lisibilité.

Remarquez que la symbolisation des raccordements et des alignements employée dans la

rubrique « déclivité projet » est différente de celle proposée à la figure 10.11.



Les textes sont dessinés directement en espace papier dans leurs calques et polices respectives. Pour les textes écrits en vertical, on donne une orientation de 90 degrés.

Il reste à imprimer le graphique : menu FICHIER / IMPRIMER, réglez le format du papier de l'imprimante ou du traceur, son orientation (paysage) et lancez l'impression ; on peut aussi préparer la sortie papier de ce graphique sans utiliser l'espace papier, mais l'espace papier est plus performant et nous vous conseillons de toujours l'utiliser.

4.4.6. Dessin d'un profil en travers

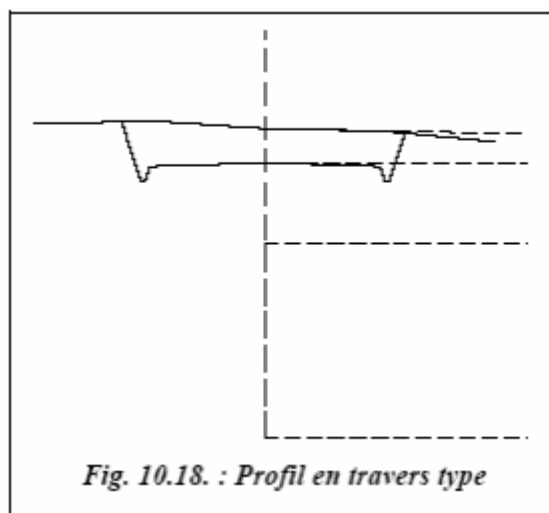
Préparez un profil type de la chaussée qui resservira dans chaque profil en travers. En espace objet dans un nouveau calque Projet_1 en rouge, dessinez le profil type de la chaussée (fig. 10.18.) : *LIGNE* du point, point quelconque en dehors du profil en long, au point @5,-0.1 à au point @0.2,-0.4 à au point @0.2,0 à au point @0.2,0.4 puis *MIROIR* de ces objets en mode *ORTHO* par rapport au point de départ (*extrémité*).

Créez un bloc, ou groupe d'objets, à partir de ce profil type : menu DESSIN / CRÉER UN BLOC ; choisissez les objets puis donnez comme point de base le point d'axe

de la chaussée et donnez un nom au bloc, par exemple Chaussée.

Vous vous appuyerez sur le profil en long réel pour positionner facilement les profils en travers.

En zoom autour du profil n° 1 (fig. 10.18.), insérez le bloc Chaussée au point d'axe de la chaussée en le décomposant ; cochez la case décomposer de la boîte de dialogue INSERER UN BLOC du menu DESSIN.



Dans un nouveau calque TN1 en vert, dessinez le profil en travers du terrain naturel : *LIGNE* du point -10,110.95 à au point -5,111.05 à au point *intersection* de... au point 5,110.76 à au point 10,110.45. Il reste à construire les points d'entrée en terre et l'emprise du projet au moyen de la commande *PROLONGER* (ou *AJUSTER*).

Le dessin des autres profils peut être fait de la même manière. Notez que pour dessiner facilement au niveau de chaque profil en travers, il faut déplacer l'origine du repère général ainsi : *SCU* *Origine* *.X* de (donnez un point sur le profil en travers, par exemple avec l'accrochage *extrémité* de...) *YZ* demandés 0,0. Retour au *SCU* général avec *SCU*.

Dans l'espace papier et dans le calque 0, *COPIER* le format A4 qui a été dessiné pour le profil en long et positionnez le à un endroit quelconque de l'écran. En zoom autour de ce format, dessinez le cartouche type et ajoutez-y les textes dans les plans Projet_1 et TN1 que l'on retrouve à chaque profil (fig. 10.19.).

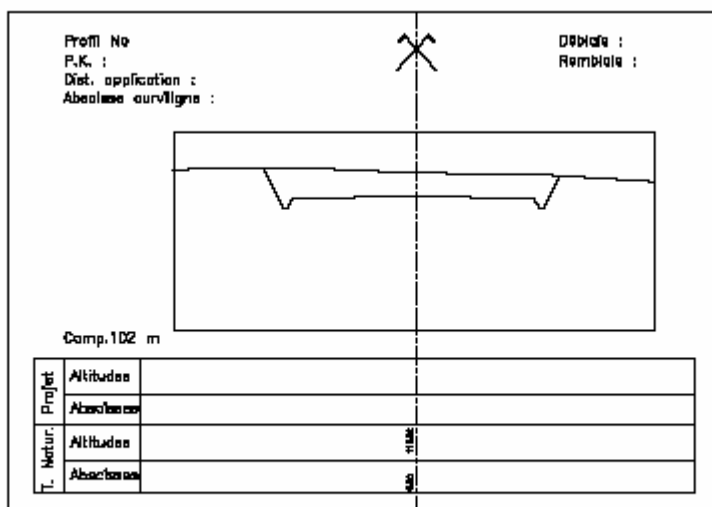


Fig. 10.19. : Présentation du profil en travers

Dessinez ensuite dans ce format A4 et dans le calques Fenêtres une fenêtre sur l'espace objet (menu VUE / FENETRES MOSAÏQUE / 1 FENETRE). Passez en espace objet local avec la commande EO ☐ et réglez à l'intérieur de cette fenêtre le facteur de zoom à 0.01XP (échelle 1/100), puis centrez l'axe du profil sur celui du cartouche (commande DEPLACER).

On peut geler certains calques uniquement dans l'espace papier pour faire disparaître le contour de la fenêtre et les éléments du profil en long : dans la case de dialogue PLAN (commande DDPMODES), sélectionnez les calques Fenêtres, TN et Projet puis cliquez sur le bouton F.Cr / GELER (ce qui signifie : geler dans la fenêtre courante). Vous devez obtenir l'équivalent de la figure 10.19. sans le contour de la fenêtre sur l'espace objet laissé volontairement pour l'illustration.

Créez neuf copies de cet original avec la commande RESEAU, choix des objets : faites une fenêtre autour du format complet, type de réseau Rectangulaire, nombre de rangées 1, nombre de colonnes 10, espace entre colonnes 0.3. Ajustez dans chaque fenêtre d'espace objet la vue sur chaque profil en travers (commande panoramique). Pour sélectionner une fenêtre, son contour doit être visible.

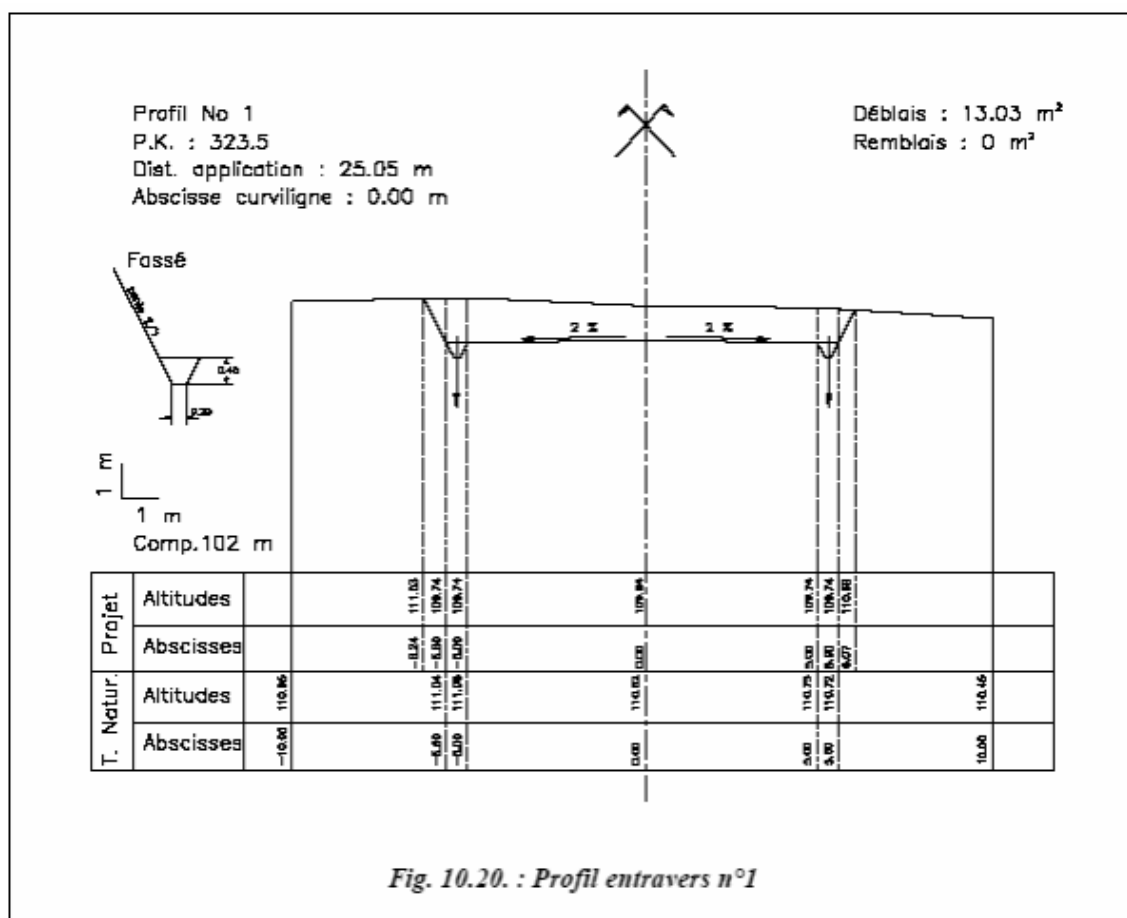
Il reste à calculer la surface de déblai et de remblai dans chaque profil (commande AIRE en accrochage permanent intersection) et à coter la position des points d'entrée en terre que l'on relève par Identification en espace objet local et dans un SCU local attaché à l'axe du profil en travers. Les textes sont écrits dans les plans Projet_1 et TN1.

Le résultat pour le profil n° 1 est représenté à la figure 10.20. Les renseignements nécessaires au calcul manuel figurent sur ce profil bien que les calculs des surfaces aient été réalisés directement avec le logiciel de DAO.

Le tableau suivant donne les résultats pour l'ensemble des profils.

Profil	Déblai m ²	Remblai m ²	E. terre gauche		E. terre droite	
			abscisse	altitude	abscisse	altitude
1	13,03	0,00	-6,24	111,03	6,07	110,69
2	11,36	0,00	-6,24	110,52	5,96	109,97
fictif	0,66	1,80	-5,74	108,31	5,23	107,56
3	0,35	2,50	-5,67	107,97	5,37	107,11
4	0,00	15,49	-5,45	105,39	6,03	104,21
5	0,00	17,34	-5,40	104,48	6,17	102,95
6	0,00	13,09	-5,38	104,55	5,78	103,76
fictif	0,85	0,27	-5,73	106,34	5,05	105,98
7	3,23	0,00	-5,81	106,78	5,68	106,51
8	22,58	0,00	-6,56	109,82	6,55	109,78
9	11,38	0,00	-6,04	110,16	6,17	110,42
10	10,15	0,00	-5,86	110,26	6,26	111,07

La figure 10.20. ci-dessous montre le profil en travers de départ (profil n° 1).



VI. PLANIMÈTRE MÉCANIQUE

1. GÉNÉRALITÉS.

Le *planimètre* est un appareil mesureur intégrateur qui fournit mécaniquement la superficie d'un contour fermé dessiné à une échelle déterminée.

2. CONSTRUCTION D'UN PLANIMÈTRE POLAIRE A POLE FIXE

a) Lectures

Il est constitué de 4 parties :

- un bras polaire de longueur fixe $PA = p$, tournant autour d'un pôle P fixe(fig.54) ; le cercle (P,p) est appelé cercle de base ;
- un bras moteur de longueur $AB = l$ réglable,articulé en A à l'extrémité du bras polaire et portant une loupe B ;
- une roulette intégrante R perpendiculaire à AB, située à la distance fixe λ de A;
- un dispositif indicateur à affichage LCD qui enregistre les déplacements de la roulette ; cet « affichage digital » remplace désormais les anciens compteurs à échelle à traits et verniers.

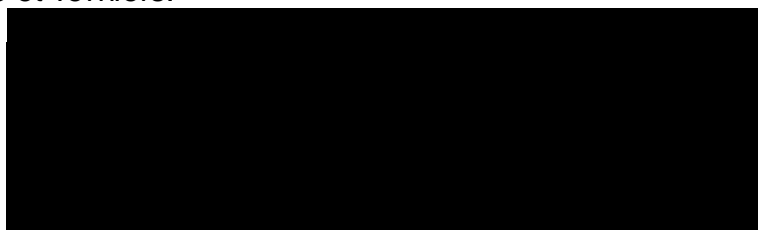


Fig. 54

Le *vernier* est une petite échelle à traits située à la suite de l'index dans le sens de chiffraison du limbe(fig. 55) ; sa longueur est égale à $(n-1)$ longueurs d'échelon du limbe et il est lui-même divisé en n parties égales.

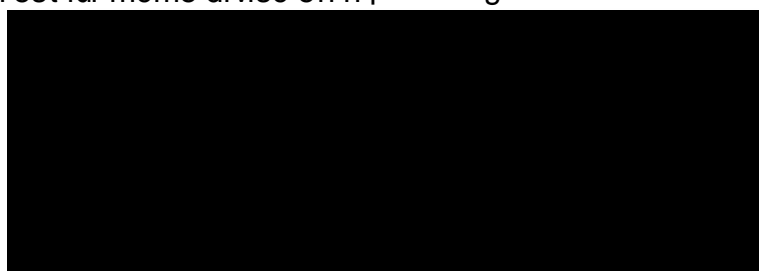


Fig. 5

$(n-1) \cdot L = n \cdot v \Rightarrow v = (n-1)/n \cdot L$. La différence entre une longueur d'échelon du limbe et du vernier vaut : $d = L - v = L - (n-1)/n \cdot L \Rightarrow d = L/n$;

Lorsque l'index est exactement en prolongement d'un trait du limbe, la division 1 du vernier est en retard de la division du limbe de L/n , etc. et la division i de $i \cdot L/n$. Si on déplace l'alidade portant l'index et son vernier d'une fraction d'échelon égale à $i \cdot L/n$, la valeur de ce déplacement représente l'appoint ; celui-ci est donc donné par la valeur du trait i du vernier qui se trouve exactement en prolongement d'un trait du limbe. Un vernier au $1/n$ permet d'évaluer l'appoint au $1/n$ de la valeur d'échelon, généralement au $1/10$ pour les planimètres.

Afin de faciliter la lecture, les graduations du vernier sont parfois chiffrées de manière à donner la valeur nominale de l'appoint et non selon leur rang ; il est en tout cas conseillé de les « lire » de cette façon.

Règle de lecture :

1. reconnaître la valeur de l'échelon du limbe et du vernier ;
2. enregistrer la valeur du trait du limbe précédant immédiatement l'index ;
3. après avoir estimé l'appoint, chercher dans la région correspondante du vernier le trait de celui-ci qui se trouve exactement en prolongement d'un trait du limbe ; la valeur de ce trait représente la valeur de l'appoint ;
4. pour une valeur d'échelon du vernier égale à 2, si deux traits consécutifs du vernier sont compris entre deux traits consécutifs du limbe, prendre la moyenne de leurs valeurs.

b) Intégration

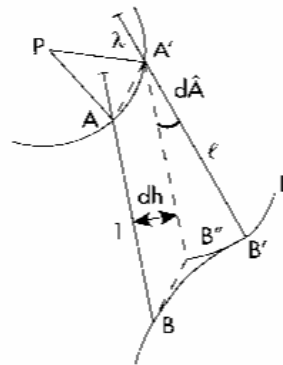


Figure 56: déplacements infinitésimaux

Soit, sur une ligne de contour L , deux points infiniment voisins B et B' (fig. 56).

Soit dS l'aire infiniment petite comprise entre les deux positions AB et $A'B'$ du bras moteur, le cercle de base et la ligne L .

Le déplacement de B en B' peut être décomposé :

- en une translation de AB en $A'B''$, la roulette enregistrant dh par glissement ;
- suivie d'une rotation de $A'B''$ en $A'B'$, la roulette enregistrant $\lambda \cdot d\hat{A}$, avec $d\hat{A}$ en rad.

La roulette a donc enregistré : $dx = dh + \lambda \cdot d\hat{A} \Rightarrow dh = dx - \lambda \cdot d\hat{A}$.

Par ailleurs : $dS \approx dS_{AA'B''B} + dS_{A'B''B'} + dS_{BB'B'}$, en négligeant l'aire du segment AA' .

Soit, en négligeant également l'aire $dS_{BB'B'}$,

$$dS \approx \ell \cdot dh + \frac{\ell^2}{2} \cdot d\hat{A} = \ell \cdot dx - \ell \cdot \lambda \cdot d\hat{A} + \frac{\ell^2}{2} \cdot d\hat{A} = \ell \cdot dx - \left(\ell \cdot \lambda - \frac{\ell^2}{2} \right) \cdot d\hat{A}$$

D'où en intégrant :

$$S = \ell \cdot x - \left(\ell \cdot \lambda - \frac{\ell^2}{2} \right) \cdot \int d\hat{A}$$

Quand l'opérateur parcourt un contour fermé, il va d'abord de B en B_1 , balayant l'aire BAA_1B_1 par exemple (fig. 57), pour revenir en B en balayant dans l'autre sens l'aire $A_1B_1BA + S$, soit $-BAA_1B_1 + S$; la somme algébrique au dispositif indicateur correspond donc à la seule superficie S .

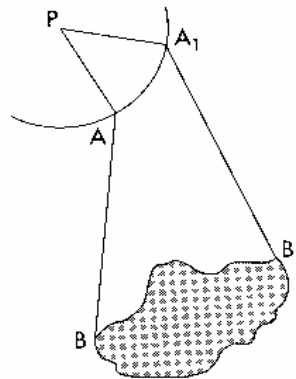


Figure 57: balayages

En outre, du fait du retour à la position de départ, il vient : $\int d\hat{A} = 0 \Rightarrow S = \ell \cdot x$.

En pratique, on multiplie la différence des lectures au dispositif indicateur, avant et après parcours, par la valeur en superficie de l'unité du dispositif indicateur, appelée *surface-chiffre* ou du compteur, appelée *unité du vernier*.

Cette valeur de l'unité, appliquée à un comptage par impulsions fonction de la longueur du bras moteur et de l'échelle du dessin, est donnée par le constructeur ; à l'échelle 1/1 elle est le plus souvent égale à 0,1 cm².

Exemple.—

Sur un plan à l'échelle 1/500 les lectures après et avant parcours valent respectivement 6954 et 6678.

D'où : $x = 6954 - 6678 = 276$ unités ou impulsions.

À cette échelle, et pour la longueur de bras moteur utilisée, la surface-chiffre ou unité du vernier vaut 2,5 m².

La superficie est donc égale à : $276 \times 2,5 = 690$ m², hors jeu du papier.

c) Mesurage

Pôle à l'extérieur de la surface (fig.58)

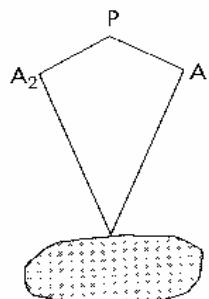


Figure 58 : pôle à l'extérieur de la surface

Deux mesures, faites en inversant le sens de parcours ainsi que les positions relatives des deux bras, fournissent un résultat contrôlé, expurgé des erreurs systématiques.

Pôle à l'intérieur de la surface (fig. 59)

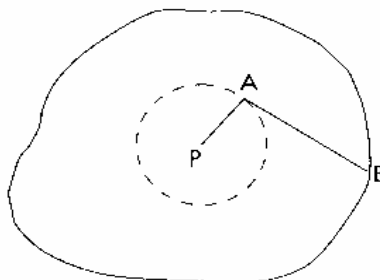


Figure 59: pôle à l'intérieur de la surface

Une grande superficie se mesure pôle à l'intérieur ; elle est égale à la somme de la superficie fournie par le dispositif indicateur et de la superficie du cercle de base donnée par le constructeur.

Les planimètres sont souvent munis d'une réglette d'étalonnage qui permet de mesurer l'aire connue d'un cercle ; en pratique, il est préférable de mesurer la superficie de quelques carreaux décimétriques du quadrillage du plan, puis de déterminer le coefficient de correction tenant compte du jeu du papier.

Les instruments actuels à affichage digital possèdent des fonctions préprogrammées parmi lesquelles :

- mise à zéro et étalonnage électronique ;
- sélection de l'unité : cm^2 , m^2 , km^2 , unités anglaises diverses ;
- échelles courantes, avec la possibilité d'introduire deux échelles différentes, en X ou « à l'horizontale » et en Y ou « à la verticale », intéressante pour les profils en long par exemple ;
- mémorisation, sommes, différences, moyennes de superficies répétées ou non.

La précision d'un planimètre dépend beaucoup de la forme de la figure, les meilleurs résultats étant obtenus pour des contours proches du carré ou du cercle ; erreur relative de l'ordre de 0,2 % soit 2 m^2 pour $1\,000 \text{ m}^2$.

d) Planimètre polaire à disque

La caractéristique essentielle de cet instrument est d'avoir une roulette intégrante qui se déplace sur un disque tournant de coefficient de glissement adapté et homogène, au lieu d'être en contact avec le plan (fig. 60).

Lors du parcours le disque fait tourner la roulette, les positions et mouvements relatifs des deux organes étant les mêmes que pour le planimètre polaire.

Le pôle est remplacé par une masse polaire qui confère une grande stabilité à l'instrument ; le rayon de contournement est important. Le planimètre à disque est environ deux à trois fois plus précis que le planimètre à pôle fixe.

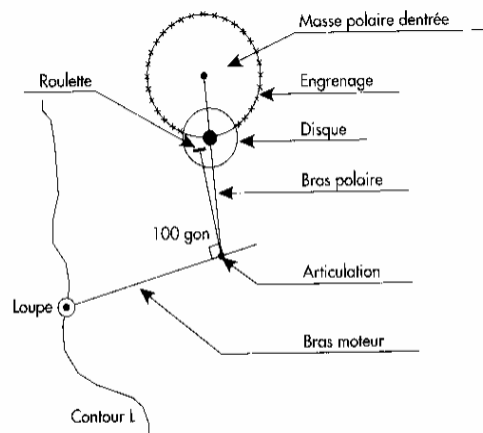


Figure 60 : planimètre polaire à disque

3. SURFACE- CHIFFRE OU UNITÉ DU VERNIER

Soit : $S_1 = a_1^2$ la superficie de papier d'un carré de côté a_1 , égale à la surface-chiffre ou unité du vernier d'un planimètre.

À l'échelle $\frac{1}{E}$, ce côté a_1 du papier correspond à une longueur a telle que : $a_1 = a \cdot \frac{1}{E} \Rightarrow a_1^2 = \frac{a^2}{E^2}$.

Si S désigne la surface-chiffre du planimètre à l'échelle $\frac{1}{E}$ il vient :

$$S_1 = \frac{S}{E^2} \Rightarrow S = S_1 \cdot E^2$$

Exemple.—

$$S_1 = a_1^2 = 0,1 \text{ cm}^2, \frac{1}{E} = \frac{1}{1\,000} \Rightarrow S = 0,1 \cdot 1\,000^2 = 10 \text{ m}^2$$

a) Règle pratique

La surface-chiffre à l'échelle $\frac{1}{E}$ s'obtient en multipliant la surface-chiffre de base, ou surface-papier à l'échelle $\frac{1}{E_1} = \frac{1}{1}$, par le carré du dénominateur de l'échelle.

À l'échelle $\frac{1}{E_i}$ la surface-chiffre S_i vaut $S_i = S_1 \cdot E_i^2$.

Soit :

$$\frac{S_i}{S} = \frac{E_i^2}{E^2} \Rightarrow S_i = \left(\frac{E_i}{E} \right)^2 \cdot S$$

Exemple.—

$$\frac{1}{E_i} = \frac{1}{500} \rightarrow S_{500} = \left(\frac{500}{1\,000} \right)^2 \cdot 10 = 2,5 \text{ m}^2$$

VII. PLANIMÈTRE ÉLECTRONIQUE

1. GÉNÉRALITÉS.

Planimètres Electroniques sont de très grande qualité pour obtenir la surface de n'importe quelle figure d'une manière très simple et très précise.

2. DIFFERENCES AVEC LE PLANIMETRE MECANIQUE



Fig. 61

Le pôle est porté par un chariot qui se déplace en ligne droite (fig.61), la roulette intégrante, parallèle à l'axe de ce chariot lorsque le bras moteur est sur l'axe de translation, n'enregistre aucune impulsion.

Cet instrument, actuellement le plus diffusé, est donc particulièrement adapté au mesurage de superficies « allongées », la batterie interne autorisant une grande liberté de mouvement ; la distinction pôle à l'extérieur ou pôle à l'intérieur n'a plus de signification.

Mêmes fonctions préprogrammées que le planimètre à pôle fixe ; précision comparable.

3. AVANTAGE DE CET APPAREIL

- possibilité d'introduire n'importe quelle échelle.
- possibilité d'introduire des échelles horizontales et verticales différentes.
- possibilité de sélection du système métrique ou anglo-saxon.
- possibilité de sélection de l'unité de mesure : cm, m, km, inch, feet, acre.
- possibilité de mémorisation des valeurs mesurées.
- possibilité de détermination de la valeur moyenne d'une surface mesurée jusqu'à 9 fois.
- possibilité d'addition des valeurs de plusieurs surfaces.

4. PLANIMETRE POLAIRE A CHARIOT PLANIX 7

a) Caractéristiques techniques

Alimentation :

Courant alternatif avec adaptateur pour 220V, 240V, 50/60 Hz :

Par accus cadmium- nicel rechargeables 4N- 110 5.8V 11mAh ;

Autonomie :

16 heures avec les accus Cd-Ni 4N-110 (charge 8 heures) ;

Méthode d'affichage :

LCD (cristaux liquides) avec suppression des zéros de tête ;

Capacité d'affichage :

8 chiffres entrée/sortie

SCALE (échelle), SCALE X, SCALE Y, HOLD (maintien) MEMO (mémoire), Batt,E, unités cm^3 , m^2 , km^2 , in^2 , ft^2 , acres ;

Champ d'action :

300 cm x 30 cm (120in. X 12in);

Résolution:

Un chiffre correspond a:

0.1 cm^2 (0.01 in^2) ;

Précision:

Meilleure que $\pm 0.2\%$ ($\pm 2/1000$ impulsions) ;

Poids :

500g (1,1 lbs) ;

Dimensions :

Largeur : 150, hauteur : 39, longueur : 240 ;

b) Construction (Fig. 62)

I.(DESSUS)

1. axe du rouleau
2. prise
3. affichage
4. bras conducteur
5. rouleau
6. touches de fonctionnement
7. loupe

II.(COTE)

8. roulette intégrante
9. codeur optique
10. accus Cadmium-Nickel

III. (DESSOUS)

IV.

Malette de transport avec adaptateur courant alternatif

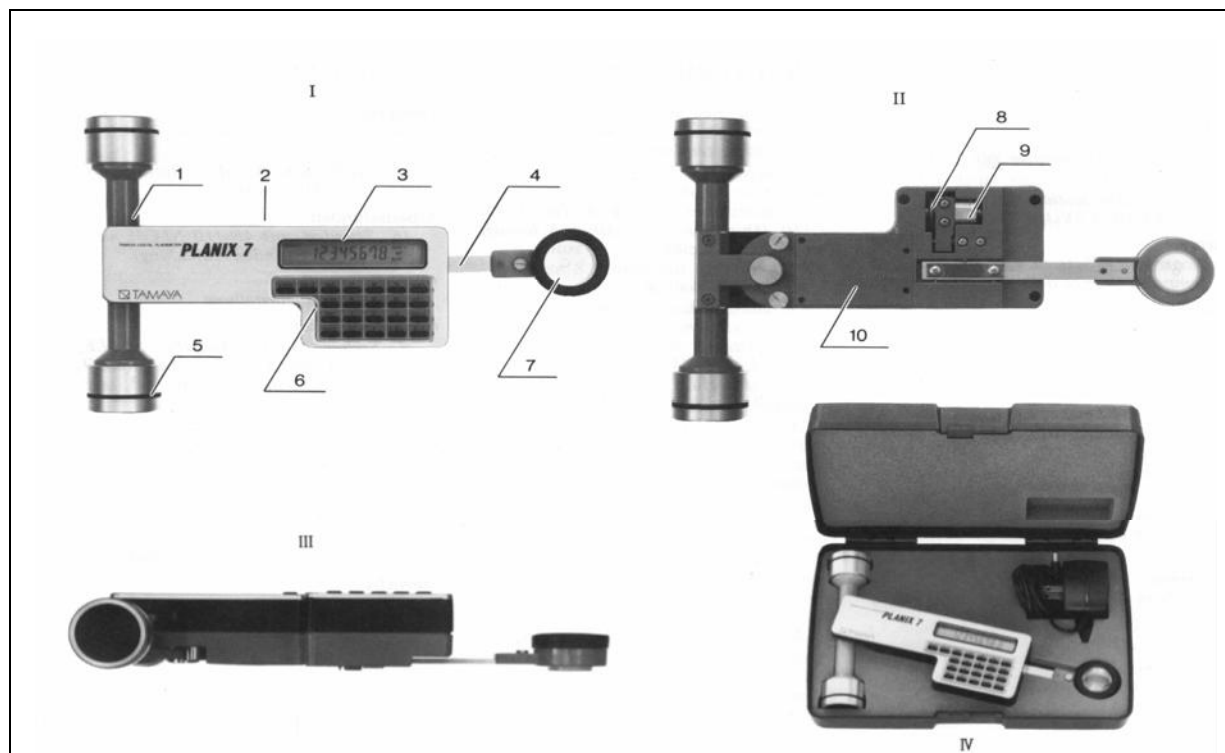


Fig. 62

c) Symboles affiches

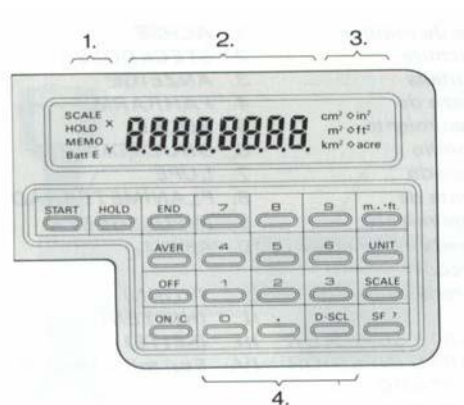


Fig. 63

1. Symboles ; 2. Affichage ; 3. Unités de mesure ; 4. Touches numériques ;

SCALE - Indique qu'un facteur d'échelle est enregistré

HOLD - Indique que la touche HOLD a été pressée et que le nombre affiché est gelé

MEMO - S'affiche quand la touche END est pressée. Le nombre affiché est mémorisé.

Batt – Indique le faible niveau de accus

E - Indique 1) dépassement (plus de 8 chiffres sur l'affichage. 2) que la touche END a été pressée plus de 10 fois pour calculer la moyenne de la surface mesurée plusieurs fois. La limite est 9 fois.

$\text{cm}^2 \blacklozenge \text{in}^2$ – Indique le système sélectionné par la touche $\text{m} \leftrightarrow \text{ft.}$: soit le système $\text{m}^2 \blacklozenge \text{ft.}^2$ - métrique (cm^2 , m^2 , km^2) ou le système anglo- saxon (in^2 , ft.^2 , acre) $\text{km}^2 \blacklozenge \text{acre}$

\blacklozenge - Indique l'unité sélectionné par la touche UNIT. Si aucune unité n'est repérée par l'index, le comptage se fait uniquement par impulsions.

X - Lorsqu'on presse une fois la touche SF ?, la valeur de l'échelle horizontal mise en mémoire vient d'afficher accompagnée du symbole X.

Y - Lorsqu'on presse deux fois la touche SF ?, la valeur de échelle verticale mise en mémoire vient s'afficher accompagnée du symbole Y.

d) Touches de fonctionnement

START – Prêt pour la mesure. L'affichage indique "0".

HOLD - Rtient le chiffre affiché. Si on appuie une deuxième fois, la touche HOLD est liberée et le comptage continue. L'addition de différentes surfaces est donc possible grâce à cette touche.

END - Utilisé pour mesurer plusieurs fois la même surface.

AVER - Chaque mesure est enregistrée en appuyant sur la touche END et la moyenne est faite en appuyant sur la touche AVER.

ON/C - En marche/ efface le chiffre mémorisé ou affiché.

OFF - Arrêt

0 ~ 9 - Touches numérales

m ↔ ft. – Sélectionne le système métrique ou le système anglo- saxon.

UNIT - Sélectionne, au moyen d'un index repère, l'unité de mesure : cm^2 , m^2 , km^2 dans le système métrique et in^2 , ft^2 , acre dans le système anglo-saxon. Dans les deux cas, on peut également sélectionner le mode de comptage uniquement par impulsions.

SCALE – Touche d'introduction du facteur d'échelle

D-SCL - Touche d'introduction d'un double facteur d'échelle

SF ? - Interrogation sur le facteur d'échelle introduit. Si l'échelle de la carte est 1/N et que N est enregistré comme échelle.

e) Alimentation

Le PLANIX7 fonctionne sur courant alternatif ou avec accus rechargeables

(1) Accus rechargeables

L'appareil contient un accu cadmium-nicel dont le remplacement ne sera nécessaire que quand sa capacité de recharge sera très réduite.

(2) Courant alternatif

Le planimètre fonctionne sur courant alternatif grâce à un adaptateur spécial branché sur une prise de courant alternatif. Le corps de l'appareil comporte une fiche pour la connexion du cordon. Si l'adaptateur est connecté et que le planimètre est au repos, l'accu cadmium-nicel peut être rechargé en env. 8 heures (l'accu assure au PLANIX 7 une autonomie de fonctionnement de 16 heures). Economie dans l'utilisation de l'accu : l'alimentation est automatiquement coupée si le planimètre reste inutilisé plus de trois minutes.

f) Procédure de mesure

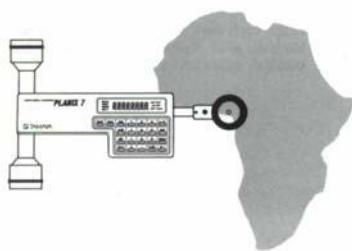


Fig. 64

Preliminaires

Poser à plat et fixer le document à planimètre (par ex. avec des rubans adhésifs) sur une planche à dessin réglée à peu près à l'horizontale. Poser le PLANIX 7 de façon à ce que l'axe du rouleau et le bras conducteur forment un angle droit l'un par rapport à l'autre, et placer le bras conducteur approximativement sur la ligne médiane de la surface de l'objet. Le planimètre travaillera alors dans les meilleures conditions.

Mise en Marche

Appuyer sur la touche ON/C. Le compteur indique "0".

Sélection du système METRIQUE ou ANGLO- SAXON

Key (A)	Display (B)
ON/C	<input type="checkbox"/> $\frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2}$ acre
m ↔ ft	<input type="checkbox"/> $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$ $\frac{\text{km}^2}{\text{km}^2}$ Metric system (C)
m ↔ ft	<input type="checkbox"/> $\frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2}$ acre English system (D)
m ↔ ft	<input type="checkbox"/> $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$ $\frac{\text{km}^2}{\text{km}^2}$ Metric system (E)

Fig. 65

Appuyer sur la touche m ↔ ft. , les unités du système métrique et du système anglo-saxon sont affichées en alternance sur le côté droit de l'affichage. Sélectionner et introduire l'unité choisie. (Si aucun symbole n'est affiché alors que l'appareil a été mis en marche, cela signifie que le PLANIX 7 est pour l'instant en mode comptage par impulsions.

Appuyer une fois ou plus sur la touche UNIT et l'unité de mesure choisie s'affichera).

L'unité km^2 (ou acre) n'est pas suivie d'un autre symbole mais par le mode de comptage par impulsions. Dans ce cas, une impulsion correspond à 0,1 cm^2 pour des surfaces à échelle 1 : 1.

* Une fois introduits, le système d'unités et le choix des unités seront protégés même après arrêt du planimètre, à moins d'appuyer sur les touches m ↔ ft. et UNIT

- (A) Touche (C) Système métrique
(B) Affichage (D) Système anglo-saxon
(E) Système métrique

Selection de l'unité de mesure

Key	Display
<input type="checkbox"/>	$\frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$ $\frac{\text{km}^2}{\text{km}^2}$... cm^2
UNIT	<input type="checkbox"/> $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$ $\frac{\text{km}^2}{\text{km}^2}$... m^2
UNIT	<input type="checkbox"/> $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$ $\frac{\text{km}^2}{\text{km}^2}$... km^2
UNIT	<input type="checkbox"/> pulse count (A)
Key	Display
<input type="checkbox"/>	$\frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2}$ acre ... in^2
UNIT	<input type="checkbox"/> $\frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2}$ acre ... ft^2
UNIT	<input type="checkbox"/> $\frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2}$ acre ... acre
UNIT	<input type="checkbox"/> pulse count (A)

Fig. 66

Chaque fois que la touche UNIT est pressée, l'index-repère passe à l'unité supérieure (par ex. de cm^2 (in^2) à m^2 (ft^2), ou de m^2 (ft^2) à km^2 (acre) et éventuellement retourne à l'unité inférieure si on renouvelle l'opération. L'unité sélectionnée est celle qui comporte l'index-repère à sa hauteur.

* si une surface ne peut pas être couverte par l'unité affichée à cause du dépassement, l'unité affichée passe automatiquement à l'unité supérieure (par ex. $\text{cm}^2 \rightarrow \text{m}^2 \rightarrow \text{km}^2 \rightarrow$ comptage par impulsions).

Au cas où il y a dépassement même avec l'unité la plus grande (km^2), le comptage par impulsions est automatiquement mis en oeuvre et la mesure n'est pas perdue. (Le compteur revient à 0 et continue à additionner après être arrivé à 99999).

(A) comptage par impulsions

Mesure d'une surface

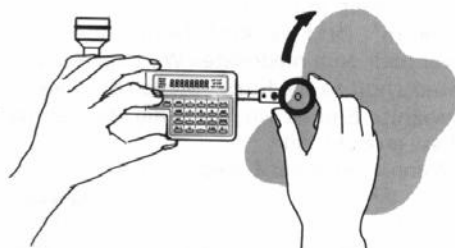


Fig. 67

Repérer par une marque le point de départ choisi sur le contour de la surface à mesurer. Amener le réticule de la loupe sur ce point. Appuyer sur la touche START et contrôler que le "0" est bien affiché (avec un son bip). Suivre alors le contour de la surface à mesurer, jusqu'à revenir au point de départ. Le chiffre affiché indique la surface de l'objet mesuré.

Memorisation des Valeurs Mesurées Grace à la Touche HOLD

Les chiffres affichés sont gelés grâce à la touche HOLD. Dans ce mode de comptage, les deux symboles HOLD apparaissent sur le côté gauche de l'affichage. Ceci permet d'éviter la perte éventuelle par inadvertance du résultat mémorisé.

Addition de Surfaces Grace à La Touche HOLD

La touche HOLD peut être utilisée pour mesurer en plusieurs fois une surface importante qui ne peut pas être mesurée d'un seul coup ou pour mesurer deux ou plusieurs surfaces différentes et en additionner les valeurs. Pour mesurer et additionner plusieurs surfaces, contourner la première surface et appuyer sur la touche HOLD, placer le réticule de la loupe sur le point de départ du contour de la

deuxième surface, appuyer sur HOLD et la contourner, et réappuyer sur HOLD. Renouveler cette opération pour la troisième, quatrième etc... Pour recommencer une mesure au cours d'une opération d'addition de surfaces (au cas où par ex ; une erreur de suivi du contour est décelée), appuyer sur HOLD, revenir sur le point de départ de la surface en cours de suivi et appuyer sur ON/C ce qui a pour effet de réafficher la somme des mesures précédentes. Continuer alors le travail comme prévu.

Key	Display		
[START]	0	cm ² m ² km ²	
1st (A)	23	cm ² m ² km ²	
[HOLD]	HOLD 23	cm ² m ² km ²	Hold (B)
[HOLD]	23	cm ² m ² km ²	Release Hold (C)
2nd (D)	58	cm ² m ² km ²	...23cm ² + 35cm ²
[HOLD]	HOLD 58	cm ² m ² km ²	Hold (E)
[HOLD]	58	cm ² m ² km ²	Release Hold (F)
3rd (G)	84	cm ² m ² km ²	...58cm ² + 26cm ²
[HOLD]	HOLD 84	cm ² m ² km ²	Hold (H)

Fig. 68

- (A) 1^{ère} mesure
- (B) HOLD
- (C) Libérer HOLD
- (D) 2^{ème} mesure
- (E) HOLD
- (F) Libérer HOLD
- (G) 3^{ème} mesure
- (H) HOLD

Précautions à prendre pour mesurer une surface importante: Le PLANIX 7 peut mesurer et afficher une surface d'env. 300x30 cm en une seule fois. Une surface plus importante peut être mesurée en la divisant en plusieurs morceaux et en additionnant les surfaces. Le cumul est limité à 8 chiffres ; Si le montant cumulé excède cette limite, l'unité de mesure passe automatiquement à l'unité supérieure.

Lors de la mesure d'une grande surface en une seule fois, il peut y avoir lieu d'ajouter une surface de valeur équivalente à 100000 impulsions au chiffre obtenu car le compteur retourne à "0" après un comptage de 99.999. La valeur à additionner est 100000 multipliée par une constante de surface dépendant de l'échelle du document).

[REMARQUE] en appuyant deux fois sur la touche ON/C, on perd la mesure gelée et l'affiche indique "0".

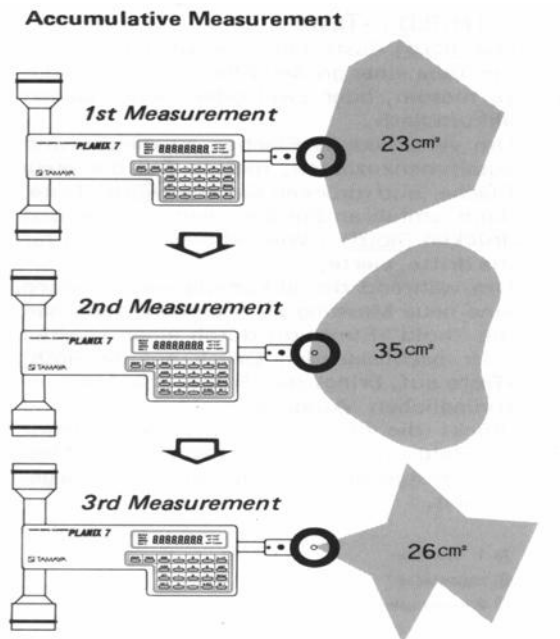


Fig. 69

Moyenne des Mesures par la Touche AVER

La même surface peut être mesurée jusqu'à neuf fois en vue de déterminer une moyenne très précise. La façon d'opérer est la suivante :

Mesurer une première fois une surface, appuyer sur la touche END, et remesurer cette même surface. Renouveler cette opération plusieurs fois. A la fin, appuyer sur la touche AVER pour obtenir la moyenne finale. Quand on appuie sur la touche END, l'affichage indique "0". Cette valeur n'est pas gelée. Si un faux mouvement fait que l'affichage n'indique pas "0" sur le point de départ de la mesure suivante, il suffit d'appuyer sur ON/C pour ramener l'affichage à "0". On est sûr alors de repartir sur la valeur précédemment cumulée, c'est-à-dire celle qui était affichée avant qu'on appuie sur END. La moyenne obtenue à la fin est gelée.

(A) 1^{ère} mesure ; (B) 2^{ème} mesure (C) 3^{ème} mesure

Key	Display	
START	0	cm ² * m ² km ²
	19.8	cm ² * m ² km ² 1st measurement (A)
END	MEMO 0	cm ² * m ² km ² ...
	MEMO 20	cm ² * m ² km ² 2nd measurement (B)
END	MEMO 0	cm ² * m ² km ² ...
	MEMO 20.2	cm ² * m ² km ² 3rd measurement (C)
END	MEMO 0	cm ² * m ² km ² ...
AVER	20	cm ² * m ² km ²

Fig. 70

Mesures de Plans a Échelle Reduite

Echelle réduite 1 :N

Enregistrer "N" avec les touches numériques (09) et la touche SCALE avant de mesurer la surface sur un plan tracé à l'échelle 1 :N. Le microprocesseur du PLANIX 7 fait la conversion nécessaire et(affiche une valeur exacte dans l'unité choisie et affichée.

Exemple : plan à échelle 1 :10

Key	Display
<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/>	1 <input type="text" value="0"/> Reduced scale value set (A)
<input type="text" value="SCALE"/>	SCALE 1 <input type="text" value="0"/> 1:10 set (B)
<input type="text" value="START"/>	<input type="text" value="0"/> Measurement started (C)

Fig. 71

(A) Valeur d'échelle réduite enregistrée ; (B) 1 : 10 enregistrée ; (C) la mesure commence ;

Mesures de Plans a Echelle Plus Grande Que 1

Echelle plus grand N :1

Le résultat de mesures sur des plans dont d'échelle est supérieure à 1 peut s'obtenir en lecture directe, comme dans le cas précédant (plans à échelle inférieur à 1) ; la seule différence dans la manière de procéder est qu'il faut alors enregistrer l'inverse de "N", c'est à dire "1/N". Calculer la valeur décimale 1/N pour l'enregistrer en la tapant au clavier.

Exemple : plan à échelle 10 :1

Key	Display
<input type="text" value="0"/> <input type="text" value="."/> <input type="text" value="1"/>	0.1 Enlarged scale value set (A)
<input type="text" value="SCALE"/>	SCALE 0.1 10:1 set (B)
<input type="text" value="START"/>	<input type="text" value="0"/> Measurement started (C)

Fig. 72

(A) valeur d'échelle plus grande enregistrée ; (B) 10 :1 enregistrée ; (C) la mesure commence ;

Mesure sur plans dont les échelles horizontale et verticale sont différents

Echelle horizontale : 1 : M

Echelle verticale : 1 : N

Enregistrer soit "M" et appuyer sur la touche D-SCL. Enregistrer ensuite l'autre nombre et appuyer sur la touche SCALE.

* Si on ne précise pas l'échelle, le microprocesseur calcule automatiquement les surfaces à échelle 1/1.

ATTENTION° L'ECHELLE DOIT ÊTRE EXPRIMÉE DE FAÇON COHERENTE

Exemple : Si l'échelle indiquée sur le plan est "1 mm pour 1m" (ou bien "1inch pour 100 feet"), on devra convertir cette expression en "1mm pour 1000mm"(ou 1inch pour 1200inches) et enregistrer dans le planimètre la valeur 1000(ou 1200).

Exemple : Echelle horizontale 1/10 et échelle verticale 1/1

Key	Display	
[1] [O]	1 O	Horizontal scale value set (Either axis may precede) (A)
[D-SCL]	SCALE x 1 O	Ready to set vertical (B) scale value
[1]	1	Vertical scale value set (C)
[SCALE]	SCALE y 1	Both 1:10 and 1:1 set (D)
[START]	O	Measurement start (E)

Fig. 73

(A) Valeur de l'échelle horizontale enregistrée (on peut commencer par n'importe quel axe)

(B) Prêt à enregistrer la valeur d'échelle verticale

(C) Valeur d'échelle verticale enregistrée

(D) Les deux valeurs 1 :10 et 1 :1 sont enregistrées

(E) La mesure peut commencer

Annulation ou changement de l'échelle mémorisée

L'échelle choisie reste consignée en mémoire même lorsque l'appareil est mis hors tension ; elle n'est effacée que si on la modifie ou bien lorsqu'on branche le chargeur sur l'appareil. On peut intraduire à tous moments une nouvelle échelle . Il suffit pour cela, l'appareil étant sous tension, de taper la nouvelle valeur N' et appuyer sur la touche SCALE ; l'ancienne valeur N est effacée et la nouvelle valeur N' apparaît à l'affichage. Pour annuler toute échelle, c'est-à-dire mesurer en grandeur nature, taper 1 suivi de SCALE.

Contrôle de l'échelle mémorisée

Pour retrouver la ou les valeurs d'échelle mémorisées, appuyer sur la touche SF ?. La première pression sur la touche affiche la valeur horizontale et la deuxième, la valeur verticale.

Exemple : Echelle 1/5000

Key	Display	
	50000	cm ² m ² * km ²
	SCALE 50000	cm ² m ² * km ²
		cm ² m ² * km ²
	SCALE x 50000	cm ² m ² * km ²
	SCALE y 50000	cm ² m ² * km ²

Fig. 74

Exemple : Echelle horizontale 1/30.
Echelle verticale 1/50

Key	Display	
	30	cm ² m ² * km ²
	SCALE x 30	cm ² m ² * km ²
	50	cm ² m ² * km ²
	SCALE y 50	cm ² m ² * km ²
	SCALE x 30	cm ² m ² * km ²
	SCALE y 50	cm ² m ² * km ²

Fig. 75

Figure comportant un figure inscrite plus petite

Si on décrit le contour d'une surface en tournant dans le sens inverse des aiguilles de la montre, le PLANIX 7 indique un résultat négatif. Il est ainsi possible de soustraire d'une surface la mesure de surfaces plus petites inscrites dans cette surface.

1) Décrire d'abord le contour de la figure A dans le sens des aiguilles de la montre et "geler" le résultat en appuyant sur la touche HOLD. Déplacer l'appareil jusqu'à la figure B.

2) Relancer le compte en appuyant sur HOLD et décrire le contour de la figure B En tournant dans le sens contraire des aiguilles de la montre. Le PLANIX 7 soustrait la surface de la figure B de la surface mémorisée de la figure A.

3) procéder de même pour le figure C. De cette manière, on peut avec la PLANIX 7 mesurer la surface des figures les plus complexes.

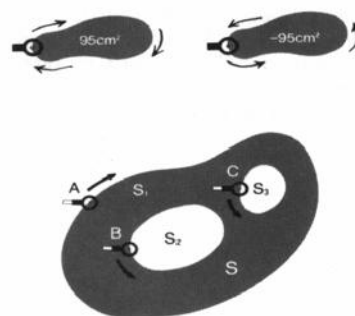


Fig 76

Mesure de Surfaces en Unités Autres que cm^2 , m^2 , km^2 , in^2 , ft^2 et Acre

Une surface peut être mesurée et lue directement en ha ou toute autre unité autre que cm^2 , m^2 , km^2 , in^2 , ft^2 et acre.

Exemple : surface à échelle réduite 1 :5000 mesurée en ha au lieu de m^2

Etant donné que $1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$, utiliser l'échelle $N = 5000 : 10 \hat{=} 50$. Bien que la mesure soit affichée en m^2 , la surface peut en fait être mesurée en ha sur une base d'échelle réduite 1 :5000.

Calcul d'une Surface Avec Comptage par Impulsions

Si l'on n'a pas introduit d'unité de surface, le mode de comptage par impulsions est automatiquement sélectionné. Il faut dans ce cas multiplier la valeur mesurée, exprimée en nombre d'impulsions par une constante qui n'est autre que la valeur de la surface réelle correspondant à une impulsion, c'est-à-dire à $0,1 \text{ cm}^2$. Par exemple, si la mesure donne 3210 impulsions pour une surface portée sur une carte à échelle 1 :1000, la surface effective est $3210 \times 1000^2 \times 0,1 \text{ cm}^2 \hat{=} 321.000.000 \text{ cm}^2 = 321.000 \text{ m}^2$. Le facteur " $1000^2 \times 0,1 \text{ cm}^2$ " est appelé constante unitaire de surface. Les constantes unitaires de surface pour les échelles réduites les plus fréquentes sont les suivantes :

Scales	area/digit
1:1	$0,1 \text{ cm}^2$
1:10	10 cm^2
1:50	250 cm^2
1:100	$0,1 \text{ m}^2$
1:200	$0,4 \text{ m}^2$
1:250	$0,625 \text{ m}^2$
1:300	$0,9 \text{ m}^2$
1:400	$1,6 \text{ m}^2$
1:500	$2,5 \text{ m}^2$
1:600	$3,6 \text{ m}^2$
1:1000	10 m^2
1:1500	$22,5 \text{ m}^2$
1:2000	40 m^2
1:2500	$62,5 \text{ m}^2$
1:5000	250 m^2
1:10000	1000 m^2
1:25000	6250 m^2
1:50000	25000 m^2

Fig. 77

g) Quelques conseils pratiques

Correction d'erreurs Accdentelles

Lors du contournement, vous devez déplacer exactement la loupe conductrice sur le contour de la surface. Si vousz pencez avoir dépassé légèrement sur la goche de la ligne, cette ereur peut être compensée de suite en dépassant de façon équivalente sur la droite. Ceci est affaire de technique personnelle et s'apprend par la pratique et l'expérience ; cela puet vous être d'un grand service en réduisant le temps réel de la mesure.



Fig. 78

A = erreur accidentelle ;

b= erreur correctrice ;

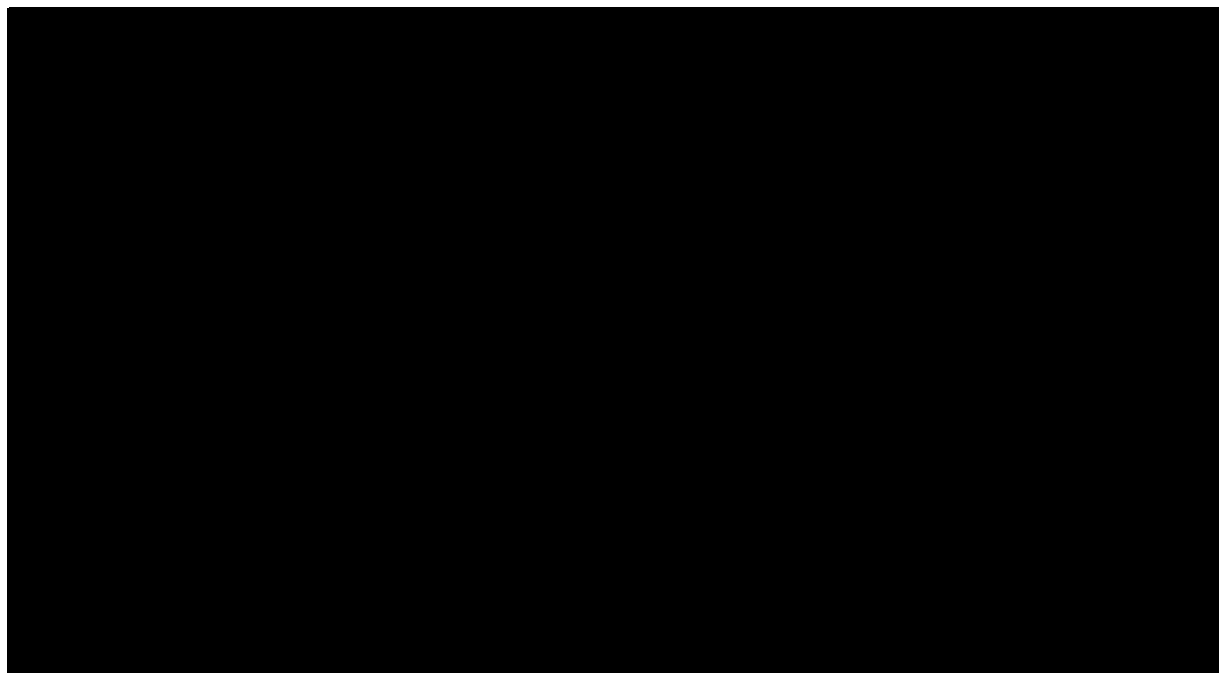
**TRAVAUX PRATIQUES
EN INITIATION
EN TOPOGRAPHIE
GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES**

I. Travail pratique n°1 : MESURAGE DIRECT UN ALIGNEMENT COMPRENANT DES POINTS INTERMEDIAIRES

I.1. Objectif visé : Toutes les distances mentionnées sur les plans, sauf Indications particulières, sont des distances horizontales.

- Il import donc, sur le terrain, de les reporter horizontalement !

- Le report des cotes cumulées (distance de chaque pont par rapport à une même origine est de loin préférable, car présentant moins de risques d'erreur, au report des cotes partielles. L'erreur de l'une d'entre elles modifiant la situation des autres points (fig. 79).



I. 2. Durée du TP : 4 heures

I. 3. Equipement : Un ruban d'acier de 10 à 20 m avec son épaisseur de 0,3 à 0,4mm (fig. 80).

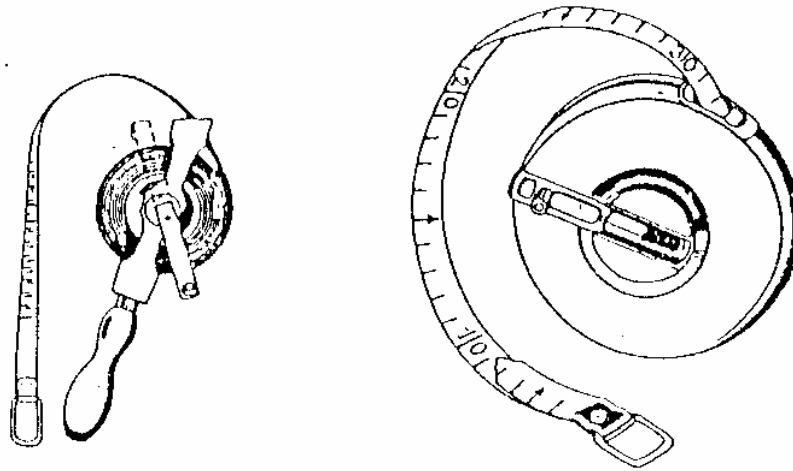


Fig.80

I. 4. Description du TP : Mesurer l'alignement AB, dont les points intermédiaires sont C – D – E (fig. 79).

- a) En terrain plus ou moins horizontal (max 2.5 % de pente - erreur négligeable de 3 mm sur 10 m).
- A plat sur le sol, l'aide maintient l'origine du ruban au point de départ et indique l'alignement à l'opérateur. Celui-ci tend le ruban correctement et marque la première portée soit d'un trait de craie ou de crayon, soit en plantant une fiche bien verticalement.
 - La même opération est successivement répétée jusqu'à ce que l'opérateur lise l'appoint de la dernière portée.

b) En terrain incliné (> 2.5 % de pente).

- On procède par cultellation.
- Pour ce faire, on mesure toujours en descendant la pente.
- L'aide maintient l'origine du ruban au point de départ et indique l'alignement à l'opérateur. Celui-ci tend fortement le ruban à l'horizontale et laisse glisser le fil à plomb jusqu'au sol où un second aide marque la portée.

N.B : Au lieu du fil à plomb, on peut utiliser la fiche plombée mais avec moins de précision.

A la place du ruban, on peut utiliser plus aisément une latte à niveler ou une latte graduée avec un niveau à bulle (fig.2.3.2.2), ce qui permet un travail plus précis, mais plus lent car de longueur plus restreinte (2 à 3 m).

c) Note sur la précision des mesures au ruban

- Il est évidemment très malaisé de déterminer la précision des mesures. En effet, les conditions de travail (nature du sol, mesurage à plat ou par cultellation) ont ici une influence primordiale.
- On peut néanmoins admettre les chiffres suivants selon que le mesurage est effectué avec un minimum ou avec un maximum de soins :
 - a) mesurage à plat sur terrain facile (trottoir pavé par exemple) sur 100 m - de 2 à 5 mm environ;
 - b) mesurage par cultellation ou sur terrain

difficile (labours, prairies, etc...) sur 100 m
- de 2 à 4 cm environ.

d) PRINCIPES A RESPECTER POUR ELIMINER CERTAINES
CAUSES D'ERREURS.

- 1) Chaque fois que cela est possible (sol à peu près horizontal et sans obstacles) matérialiser l'alignement à mesurer, au moyen d'un cordeau tendu entre les piquets d'extrémité et intermédiaires; cela permet de mesurer directement le long de la ficelle, sans avoir à guider l'aide.
- 2) Tendre correctement le ruban mais en y exerçant une traction constante : si l'effort de traction varie, l'allongement élastique du ruban varie; les opérateurs conservent le ruban tendu lorsqu'ils se déplacent.
- 3) Repérer, de manière indélébile et nette, chaque dizaine ou vingtaine de mètres mesurée, au moyen de marques appropriées au sol ou à l'ouvrage concerné : piquets métalliques, traits de crayon, etc.
- 4) Lire attentivement les nombres sur le ruban et éventuellement l'appoint sur le double-mètre, et les inscrire immédiatement sur le carnet, sans confusion possible en formant correctement les chiffres.
- 5) Vérifier en mesurant en sens inverse : l'erreur sur 100 m ne devrait pas dépasser 2 cm sur terrain plat.

- b) Ne pas s'entêter de vouloir mesurer au ruban d'acier de longues distances horizontales sur des terrains en pente. l'erreur peut atteindre 30 cm et plus sur 100 m. Il est alors préférable de mesurer l'axe à implanter selon la ligne de pente, en repérant les points de changement. On relève l'angle de chaque pente en mesurant les dénivelées successives à l'aide d'une mire et d'un niveau à lunette. Les distances horizontales successives peuvent alors être calculées par trigonométrie ou à l'aide d'une table appropriée (ce qui fera l'objet d'une autre leçon).
- c) Vérifier si l'anneau du ruban est compris ou non dans la mesure, en repérant l'origine de la graduation.
- d) Nettoyer le ruban après usage en l'essuyant d'abord avec un chiffon sec, puis avec un autre chiffon légèrement enduit de pétrole.

I. 5. Déroulement du TP :

- soit l'alignement AB
- mesurer en premier lieu les distances partielles A-C, C-D, D-E et E-B;
- mesurer ensuite les cumulées A-C, A-D, A-E et A-B (le point d'origine 0 étant en A) ;
- à partir de B, faire l'opération inverse ;
- vérifier les mesures partielles par rapport aux cumulées, ainsi que les cumulées de A vers B et de B vers A.

II. Travail pratique n°2 : MISE EN STATION UN NIVEAU DE CHANTIER

II.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de mise en station un niveau de chantier.

II.2. Durée du TP : 2 heures

II.3. Equipement : Un niveau de chantier et un trépied

Les éléments constitutifs d'un niveau sont les suivants :

- | | |
|--------------------------------|---|
| - 1. Embase | - 7. Oculaire |
| - 2. Vis calantes (3 vis) | - 8. Anneau amovible |
| - 3. Rotation lente | - 9. Contrôle de l'automatisme |
| - 4. Mise au point sur l'objet | - 10. Compensateur à pendule |
| - 5. Objectif | - 11. Cercle horizontal (option sur le NA2) |
| - 6. Viseur d'approche rapide | - 12. Nivelles sphériques (invisible ici) |

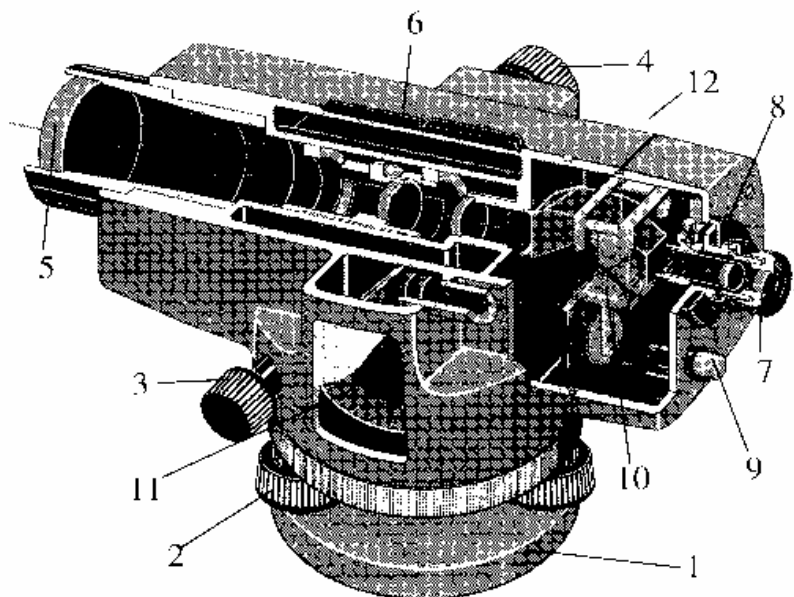


Fig.81: NAK2 (vue en coupe)

II.4. Description du TP : Le niveau n'étant pas (ou très rarement) stationné sur un point donné, le trépied est posé sur un point quelconque.

Le stagiaire doit reculer après avoir positionné le trépied afin de s'assurer de l'horizon lité du plateau supérieur. Lorsque le plateau est approximativement horizontal, le stagiaire y fixe le niveau.

II.5. Déroulement du TP :

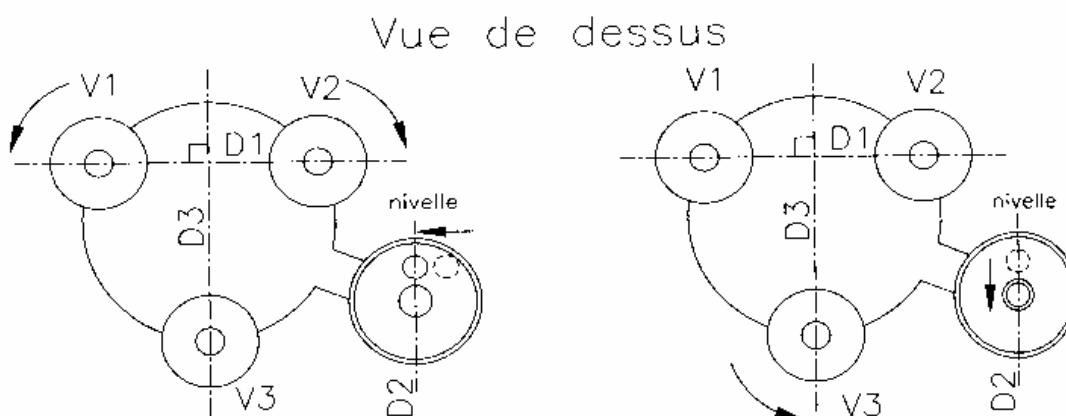


Fig.82 : Calage de la nivelle sphérique

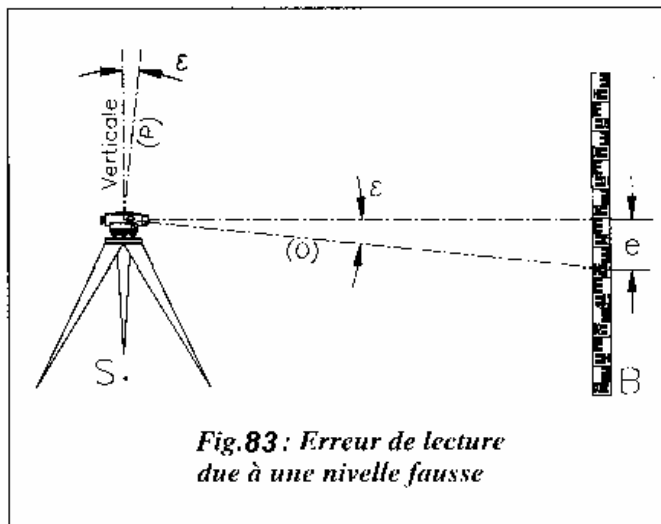
Le calage de la **nivelle sphérique** se fait au moyen des vis calantes, comme indiqué sur la figure **82** : en agissant sur les deux vis calantes V1 et V2 (en les tournant en sens inverse l'une de l'autre), l'opérateur fait pivoter le corps du niveau autour de la droite D3. Il amène ainsi la bulle de la nivelle sur la droite D2 parallèle à D3. En agissant ensuite sur la vis calante V3, il fait pivoter le niveau autour de la droite D1 et centre ainsi la bulle dans le cercle de centrage de la nivelle sphérique.

Ce calage n'est pas très précis car la nivelle sphérique est d'une **sensibilité** relativement faible : par exemple, pour un NA20, la sensibilité de la nivelle sphérique est de $8\frac{1}{2}$ mm soit une rotation angulaire de 15 cgon pour un déplacement de 2mm. Une erreur de calage de la bulle de 0,2 mm entraînerait donc une erreur angulaire de ± 15 cgon.

La visée sur une mire placée à 35 m donne un écart $e = 35.10^3. \tan \varepsilon \approx 8$ mm sur la mire (voir fig. 83). Nous verrons que les lectures sur mire sont appréciées au millimètre près : cette erreur due à l'imprécision de la nivelle est donc inacceptable.

En fait, sur un niveau moderne (dit « automatique »), le calage de la nivelle sphérique ne sert qu'à **approcher** l'axe principal de la verticale. L'horizontalité de la ligne de visée est ensuite calée plus finement par un **automatisme** qui ne fonctionne correctement que lorsque l'axe vertical est proche de la verticale.

Sur un niveau sans automatisme, une **nivelle torique** de directrice parallèle à l'axe optique permet un calage précis de la ligne de visée, mais elle doit être calée avant **chaque pointé** sur mire. Son calage et son réglage obéissent aux mêmes principes que les nivelles toriques des théodolites .



III. Travail pratique n°3 : ETABLISSEMENT D'UN ANGLE DROIT AVEC UN NIVEAU DE CHANTIER.

III.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de mise en station un niveau de chantier et d'établir un angle droit sur le terrain.

III.2. Durée du TP : 2 heures

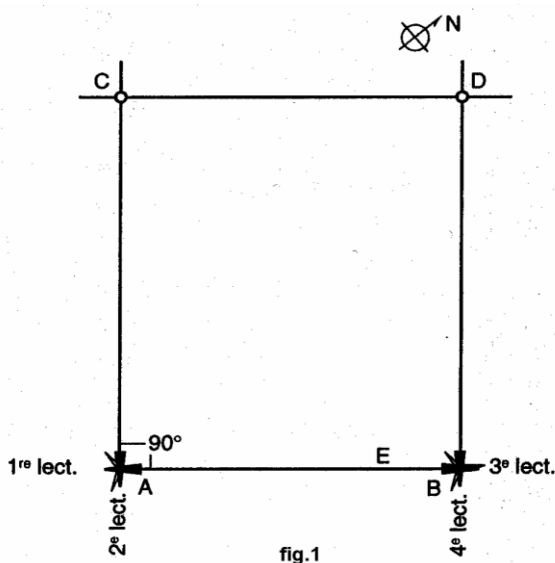
III.3. Equipement : Un niveau de chantier, un trépied, une mire, nivelle de de mire ou niveau de menuisier.

III.4. Description du TP : Les stagiaires doivent faire la mise en station d'un niveau de chantier et l'établissement d'angles droits de quatre coins selon la méthode de la fig. 1 et ceci très précisément.

III.5. Déroulement du TP :

Marche à suivre :

1. Positionnez convenablement votre trépied.
2. Accrochez le fil à plomb et positionnez le au dessus du point A. (fig. 1)
3. Placez votre instrument sur le trépied.
4. A l'aide des vis calant, ajustez la nivelle.



Votre mise en station est terminée et votre fil à plomb est positionné comme à la figure 1. En supposant maintenant que votre niveau de chantier se trouve au dessus du point A de la figure 1, continuez avec établissement d'un angle droit sur les quatre coins, en suivant la marche :

5. Délimitez au sol un point B à 4m de A.
6. Faites placer votre aide avec la mire sur le point B (attention au niveau de la mire).
7. Positionnez la lunette vers la mire et bloquez la.
8. Positionnez le cercle horizontal face à l'index de lecture (première lecture de la figure 1)
9. Débloquez la lunette et pivotez de 100^{gr} vers le point C à 4 m de A.

10. Bloquez celle ci à cet angle.

11. Faites déplacer l'aide avec la mire face au fil vertical du réticule.

12. Marquez au sol le point C (deuxième lecture de la figure 1).

Faites vérifier votre travail

13. Inversez les rôles de l'instrumentiste et de l'aide et répétez les opérations à partir de l'étape 8

Faites vérifier votre travail !

14. Rangez soigneusement votre niveau de chantier dans sa boîte.

IV. Travail pratique n°4 : DETERMINATION DE LA PROFONDEUR D'EXCAVATION D'UN BATISSE

IV.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de détermination de la profondeur d'excavation d'un bâtisse.

IV.2. Durée du TP : 2 heures

.....

IV.3. Equipement : Un niveau de chantier, un trépied, une mire, nivelle de mire ou niveau de menuisier, papier – crayon.

IV.4. Description du TP : Les stagiaires en équipe de deux personnes et à tour de rôle, doivent délimiter la profondeur d'excavation du plan de figure 1.

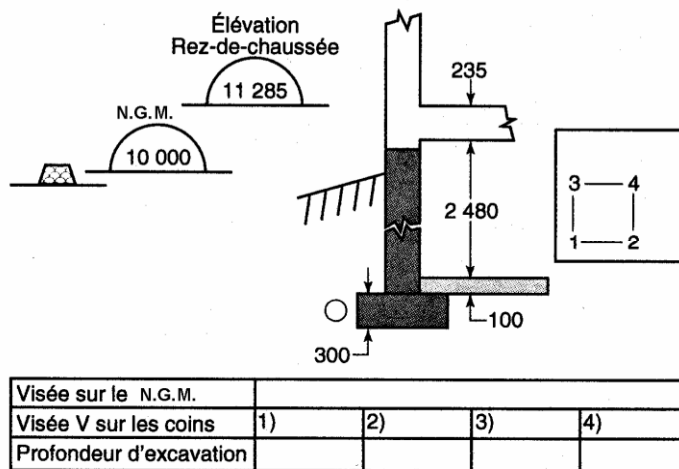


FIG. 1

IV.5. Déroulement du TP :

Marche à suivre :

1. Etudiez attentivement le plan de la figure 1.
2. Le premier stagiaire effectue la mise en station.
3. Effectuez la visée arrière.
4. Indiquez la hauteur de votre niveau de chantier.
5. Faites la visée avant sur le point 1 et indiquez sur votre feuille la lecture effectuée.
6. Faites les visées avant sur les trois autres points et indiquez les lectures effectuées.
7. faites vos calculs de profondeur d'excavation à chaque coin.

Faites vérifier votre travail !

8. Le deuxième stagiaire effectue sa mise en station.
9. Répétez les étapes 3 à 9.

Faites vérifier votre travail !

V. Travail pratique n°5 : IMPLANTATION D'UNE PENTE EXISTANT SUR LE TERRAIN NATURELLE

V.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de faire implantation d'une pente existante sur le terrain

V.2. Durée du TP : 4 heures

V.3. Equipement : Un niveau de chantier, un trépied, une mire, 5 piquets en fer, un marteau et une roulette de 30 m

V.4. Description du TP : On doit faire Implantation d'une pente de 1.25% sur le terrain avec des piquets en fer.

V.5. Déroulement du TP : La classe est divisée en groupe par trois stagiaires

Avec le niveau de chantier on doit implanter une ligne tout droite sur une distance de 25 mètres avec 5 piquets en fer. Les distances doivent être mesurées avec une roulette de 30 m. On doit sortir du premier piquet et selon la mesure sur la mire avec fil niveleur de calculer les lectures sur la mire, posée sur chaque piquet, nécessaires pour implantation d'une pente de 1.25% et de faire une vérification pour la distance totale de 25 m. Après cette opération on doit commencer avec un marteau de planter le premier piquet et de contrôler avec le niveau de chantier la lecture sur la mire, posée sur le piquet jusque le moment ou la lecture est égale avec la lecture, calculée avant. La même opération se répète sur les autres trois piquets.

Le groupe de trois stagiaires doit présenter :

1. Les résultats de mesure
2. Les calculs
3. Une note explicative

VI. Travail pratique n°6 : CALCULE D'UN NIVELLEMENT DIRECT PAR RAYONNEMENT

VI.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de faire calcule du carnet d'un nivellement par rayonnement

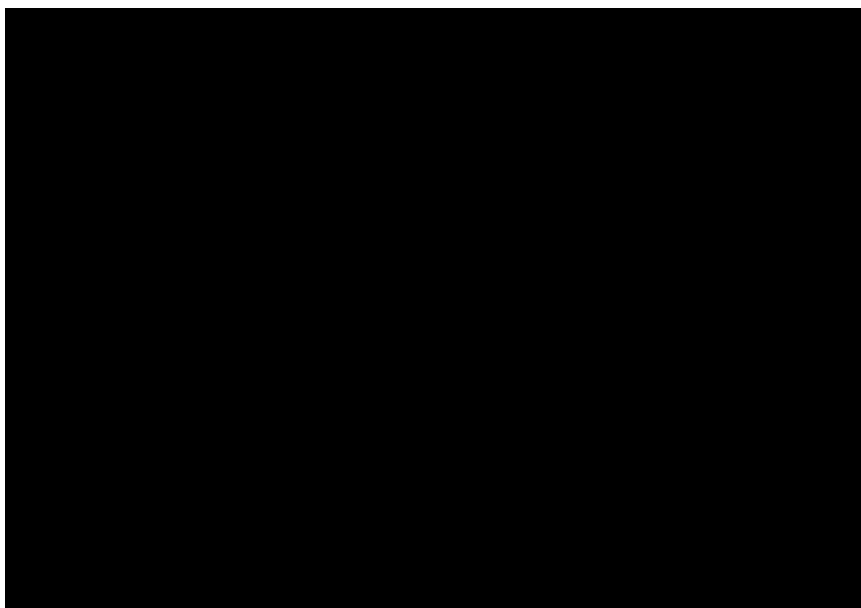
VI.2. Durée du TP : 4 heures

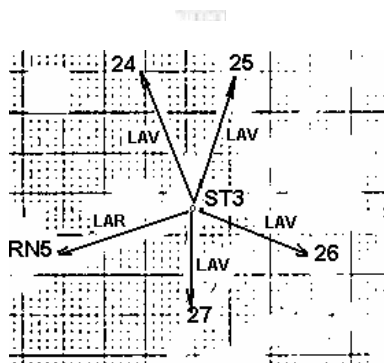
VI.3. Equipement : Un carnet de nivellement, une calculatrice et un crayon ou un stylo

VI.4. Description du TP : Le nivellement a été fait par rayonnement, à partir d'une station S_1 et dans les limites d'emploi d'un niveau de chantier, on a visé des points RN5, 24, 25, 26 et 27. Les stagiaires doivent calculer le carnet de nivellement.

VI.5. Déroulement du TP :

1^{ere} disposition : Calcul par rapport au plan de visée





a) *Calcul* : L'altitude du plan de visée est égale à l'altitude du RN5 plus la moyenne des lectures faites sur ce point :

$$46,149 + 1,654 = 47,803.$$

L'altitude de chaque point est obtenue en retranchant de l'altitude du plan de visée la moyenne des lectures faites sur ce point.

b) *Vérification* : Le total de la colonne 5 est égal à la moitié du total de la colonne 4. Le total des colonnes 5 et 7 est égal au total de la colonne qui vaut 5 fois, puisqu'il y a 5 points, l'altitude du plan de visée.

2^{eme} disposition : Calcul en cheminement :

N° DES		DISTANCES	LECTURES	MOYENNES	LECTURES	MOYENNES	DIFFÉRENCES		ALTITUDES	OBSERVATI
Stations	Points		AR	AR	AV	AV	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	RN 5	70	1,656 1,652	1,654			1,514		46,149	
	24	56		0,140	0,138 0,142	0,140		1,175	47,663	
	25	28		1,315	1,316 1,314	1,315		1,638	46,488	
	26	30		2,953	2,952 2,954	2,953	1,906		44,850	
	27	47			1,048 1,046	1,047			46,756	
				6,062 5,455	10,910	5,455	3,420 2,813	2,813	46,149 0,607	
				0,607			0,607		46,756	

On répète pour les points sauf le dernier la moyenne AV de la colonne 7 en moyenne AR dans la colonne 5. Le calcul est identique à celui du cheminement.

3^{eme} disposition : Rayonnement

N° DES		DISTANCES	LECTURES	MOYENNES	LECTURES	MOYENNES	DIFFÉRENCES		ALTITUDES	OBSERVATIONS
Stations	Points		AR	AR	AV	AV	+	—		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	RN 5	70	1,656 1,652	1,654			1,514		46,149	
	24	56			0,138 0,142	0,140	0,339		47,663	
	25	28			1,316 1,314	1,315		1,299	46,488	
	26	30			2,952 2,954	2,953	0,607		44,850	
	27	47			1,048 1,046	1,047			46,756	
				1,654 × 4 = 6,616 — 5,455 1,161	10,910	5,455	2,460 1,299 1,161	1,299	231,906 46,149 × 5 = 230,745 ± 1,161 231,906	

Les dénivelées est les altitudes sont calculées à partir de RN5, comme si pour chaque point on faisait une lecture arrière, toujours la même, sur lerepere. Les vérifications sont identiques à celles d'un cheminement dans lequel on aurait autant de lectures arrière identiques qu'il y a de lectures avant, soit 4 dans l'exemple ci-dessus

Nota : Lorsqu'on utilise un niveau sans retournement, les lectures sont inscrites dans les colonnes 5 et 7.

VII. Travail pratique n°7 : CALCULE D'UN NIVELLEMENT DIRECT PAR CHEMINEMENT ENTRE 2 REPERES N. G M.

VII.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de faire calcule du carnet d'un nivellement par cheminement

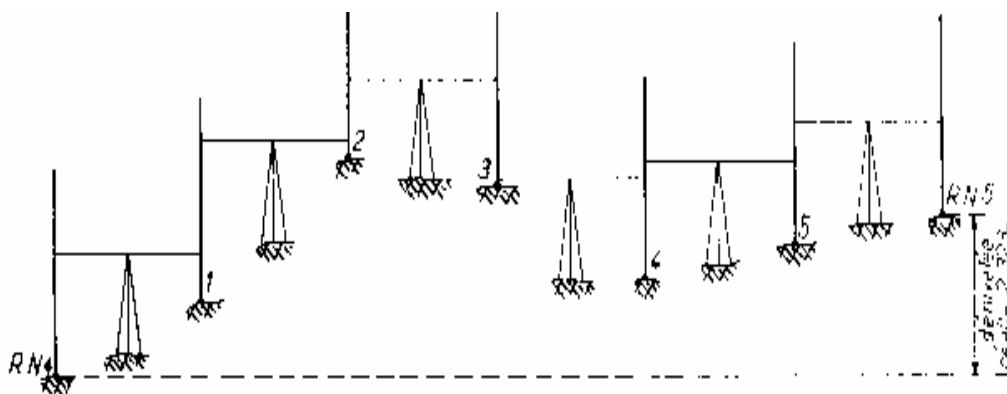
VII.2. Durée du TP : 4 heures

VII.3. Equipement : Un carnet de nivellement, une calculatrice et un crayon ou un stylo.

VII.4. Description du TP : Le nivellement a été fait par cheminement entre 2 repères N.G.M. et dans les limites d'emploi d'un niveau de chantier. Les stagiaires doivent calculer le carnet de nivellement.

VII.5. Déroulement du TP :

POINTS	DISTANCES		LECTURES AR	MOYENNE AR	LECTURES AV	MOYENNE AV	DIFFÉRENCES		ALTITUDES	OBSERVATIONS
	partielles	cumulées					+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RN 4			1,842 1,846	1,844					43,826	
	120						1,088 + 1			
1		120	2,427 2,431	2,429	0,758 0,754	0,756			44,915	
	140						2,109 + 1			
2		260	1,256 1,260	1,258	0,322 0,318	0,320			47,025	
	100							0,374 - 1		
3		360	0,026 0,030	0,028	1,634 1,630	1,632			46,652	
	150							2,449 - 1		
4		510	1,732 1,736	1,734	2,479 2,475	2,477			44,204	
	120						0,521 + 1			
5		630	1,854 1,858	1,856	1,215 1,211	1,213			44,726	
	130						1,422 + 1			
RN 5		760			0,436 0,432	0,434			46,149	
	760		18,298	9,149 6,832	13,664	6,832	5,140 2,823	2,823 5,140	43,826 + 2,317	Calcul de la fermeture
				2,317			2,317	7,963	46,143 ε = - 0,006	



a) *Tenue du carnet.*

On inscrit en colonne 4 les lectures faites sur la mire arrière et en colonne 5 la moyenne. On fait de même dans les colonnes 6 et 7 pour les lectures obtenues sur la mire avant.

On fait ensuite pour chaque côté de nivellement la différence « Lecture arrière — Lecture avant » qu'on porte selon le signe dans les colonnes 8 ou 9.

Pour obtenir l'altitude d'un point, on ajoute algébriquement la différence à l'altitude du point précédent.

b) *Vérifications des calculs.*

Les totaux des colonnes 5 et 7 sont respectivement égaux à la moitié des totaux des colonnes 4 et 6.

Les différences entre les totaux des colonnes 5 et 7 d'une part, et 8 et 9 d'autre part sont égales.

Dans la colonne 10, la différence de niveau totale + 2,317 ajoutée à l'altitude de départ donne l'altitude d'arrivée qui montre que l'écart de fermeture est de — 6 mm. Étant dans les limites de la tolérance, il est réparti dans les colonnes 8 et 9. On en déduit les altitudes des points dans la colonne 10.

NOTA : Lorsqu'on utilise un niveau sans retournement, on ne fait qu'une lecture sur chaque mire. On l'inscrit pour la visée arrière, dans la colonne 5, et pour la visée avant, dans la colonne 7.

VIII. Travail pratique n°8 : RELEVÉ D'UN PROFIL EN LONG SUR LE TERRAIN

VIII.1. Objectif visé : On doit vérifier si les stagiaires ont appris le manier de faire relevé d'un profil en long sur le terrain entre deux points avec le niveau de chantier.

VIII.2. Durée du TP : 4 heures

.....

VII.3. Equipement : Un niveau de chantier, un trépied, une mire, calculatrice, des carnets pour les mesures des distances et des altitudes.

VII.4. Description du TP : Effectuez sur le terrain un relevé d'un profil en long entre deux points avec le niveau de chantier.

VIII.5. Déroulement du TP : La classe est divisée en groupes par trois stagiaires.

Déterminez les éléments de ce profil avec deux lignes tout droites. Sortez d'une borne NGM, fixée sur le terrain avec une altitude 100.000 pour déterminer les altitudes des points, ou le terrain change. Les distances entre les points doivent être mesurées avec les fils stadia du réticule.

Après les travaux sur terrain on doit présenter :

1. Croquis pour le profil
2. Les tableaux avec des mesures pour les distances et les altitudes
3. Le dessin de profil sur la grille
4. Une note explicative pour les travaux.

Exercice formatif : Mise au net d'un relevé et calcul d'altitudes

Le chef du chantier où vous venez d'être embauché cherche à connaître et à tester vos possibilités. Vous lui avez servi de porte-mire lors de relevés altimétriques et il vous demande de lui déterminer les altitudes des points visés et de lui remettre un tableau complet afin d'archiver les relevés effectués lors du chantier.

Objectifs pédagogiques :

- Citer le type de nivellement effectué.
- Connaître la tenue d'un carnet de nivellement.
- Calculer les dénivelées et les altitudes.
- Déterminer la tolérance du nivellement.
- Compenser les altitudes obtenues.

Travail demandé :

Voici les deux nivellements effectués, on vous demande pour chacun :

- De citer le type exact du nivellement effectué
- De remplir correctement (avec vérification) le carnet de nivellement
- De faire une représentation, sous forme de croquis du nivellement effectué
- De déterminer les altitudes des différents points visés.

Application N°1 :

Contrôle d'un point de référence déjà implanté d'altitude supposée : 98.000 m

Station	Point arrière	Point avant	Lecture arrière	Lecture avant
1	Réf : alt. = 97.500 m	A : bordure de trottoir	0.325	1.235
2	A	B : centre de plaque d'égout	0.957	1.952
3	B	C : coin de bâtiment	2.872	1.657
4	C	D : bordure de trottoir	2.551	1.341
5	D	P : repère déjà implanté	1.256	0.476

Application N°2 :

Contrôle d'un point de référence déjà implanté d'altitude supposée : 98.000 m

Station	Point arrière	Point avant	Lecture arrière	Lecture avant
1	P : repère à 98.000 m	R : crapaud	0.892	0.956
2	R	S : Piquet de station	1.395	1.452
3	S	T : Piquet implanté	0.957	1.645
		U : Piquet implanté		1.341
		V : Piquet implanté		1.448
4	V	W : Piquet implanté	1.457	1.348
		K : repère d'arpentage		1.236
5	K	X : Piquet implanté	0.953	0.349
		Y : Bordure de trottoir		0.964
6	Y	P	1.245	0.839

Activité n°1 : contrôle d'un niveau optique

Les données de l'intervention topographique

Dans le cadre de la redéfinition de l'assainissement du quartier Croix Rouge, la zone pavillonnaire située à proximité du lycée Arago, doit faire l'objet d'un raccordement à un système unitaire d'évacuation des eaux usées et de pluie.

Afin de raccorder ce futur réseau au réseau existant, il convient de contrôler les appareils susceptibles d'être utilisés.

Objectifs pédagogiques

Matérialiser deux points au sol à 30 m de distance.

Mettre le niveau optique en station.

Lire correctement les valeurs indiquées par les trois fils stadimétriques sur la mire.

Autocontrôle des valeurs relevées.

Calculer la dénivelée entre deux points.

Conclure quant à la validité de l'appareil.

Calcul de l'angle de collimation du niveau suivant l'écart obtenu entre les 2 dénivelées.

Travail demandé

On vous demande d'organiser le travail afin de vérifier le niveau optique semi-automatique puis du niveau manuel, qui vous seront attribués pendant l'année.

1°) Matérialisez 2 points à une distance de 30 mètres l'un de l'autre. Faites un schéma à main levée représentant les deux points dans leur environnement proche.

2°) Mettez l'appareil en station à mi-distance des 2 points à ± 10 cm. Complétez le schéma en représentant en rouge le niveau et le trépied.

3°) Effectuez une lecture arrière sur A et une lecture avant en B en relevant les valeurs indiquées par les 3 fils horizontaux. Contrôlez vos lectures par le calcul de la valeur moyenne des trois fils. Indiquez vos résultats sous forme de tableau en dessous du schéma.

4°) Placez l'appareil en station à 1.500 m du point A (toujours sur la droite AB). Faites un nouveau schéma.

5°) Effectuez une lecture arrière sur A et une lecture avant en B en relevant les valeurs indiquées par les 3 fils horizontaux. Contrôlez vos lectures en recommençant le calcul de la valeur moyenne. Indiquez vos résultats sous forme de tableau en dessous du schéma.

6°) Calculez la dénivelée réelle et la dénivelée probable. Comparez ces 2 valeurs et concluez à savoir si vous pouvez utiliser cet appareil sans vous soucier des distances entre les points que vous viserez.

7°) Déterminez l'angle de collimation du niveau en fonction de la valeur d'écart obtenue.

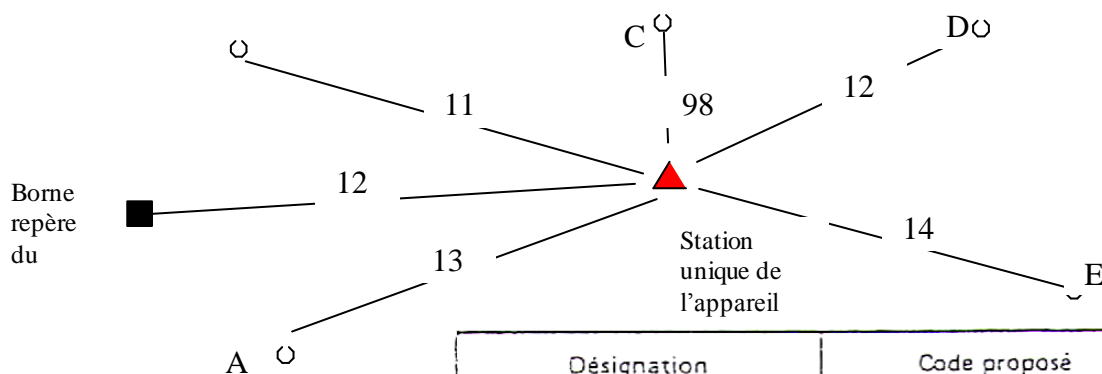
8°) Recommencez l'ensemble de la manipulation avec le niveau manuel.

partie: le nivellement par rayonnement

PRINCIPE

Une seule station.

Un seul plan horizontal de visée qui servira de plan de référence pour le calcul de toutes les altitudes cherchées.

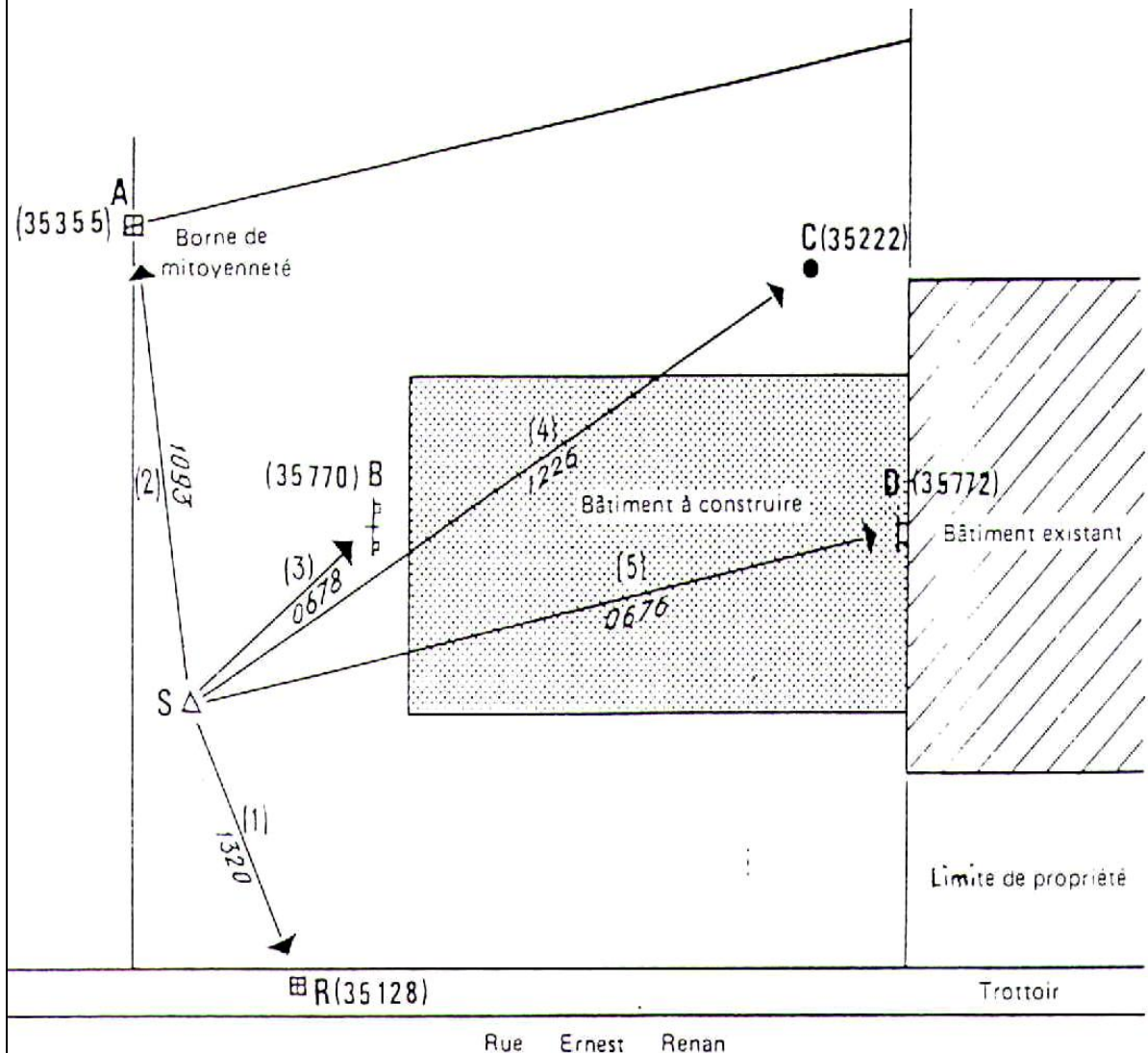


LE CARNET DE NIVELLEMENT

Le croquis de terrain est indispensable afin de « retrouver » les points visés. Voici les principaux codes de représentation du croquis.

Désignation	Code proposé
Stations de l'appareil	<div> <div>△</div> <div>S₁</div> </div> <div> <div>△</div> <div>S₂</div> </div> <div>etc</div>
Repères fixes... NGF <ul style="list-style-type: none"> — Borne chantier — Divers (Tampon égout borne PTT etc) 	<div>Ⓡ</div> <div>⊠</div> <div>⊞</div>
Points nivelés <ul style="list-style-type: none"> — Intermédiaires — Remarquables, utiles 	<div> <div>x</div> <div>1</div> </div> <div> <div>x</div> <div>2</div> </div> <div> <div>x</div> <div>3</div> </div> <div>etc</div> <div> <div>• A</div> <div>• B</div> </div> <div>etc</div>
Orientation des visées et numérotation chronologique et cote lue sur la mire	<div>(1) →</div> <div>(5) →</div> <div>1727 →</div>
Sens général du cheminement	→
Indication des altitudes sur les schémas	<div> <div>27340</div> <div>~~~~~</div> <div>(5027)</div> </div> <div> <div>35216</div> <div>X</div> <div>(14185)</div> </div>

EXEMPLE DE CROQUIS DE NIVELLEMENT



Tracé d'épures

Principe

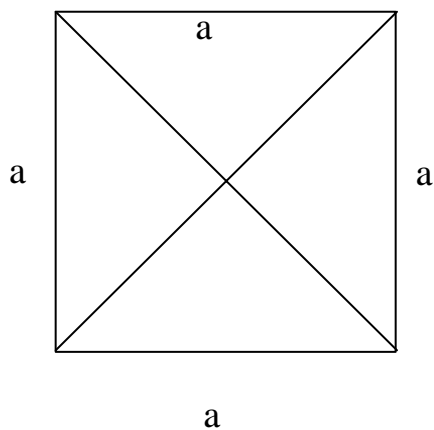
C'est l'étude de forme simple, représentée graphiquement permettant de concevoir et d'assembler les éléments de coffrage, de définir la position, le contrôle de forme des éléments à positionner sur le chantier.

Le rappel des formes courantes:

Le carré

Quadrilatère à 4 côtés égaux, dont les angles sont droits.

Les diagonales sont de même longueur et sont perpendiculaires en leur milieu.



$$\text{Périmètre} = 4 * a$$

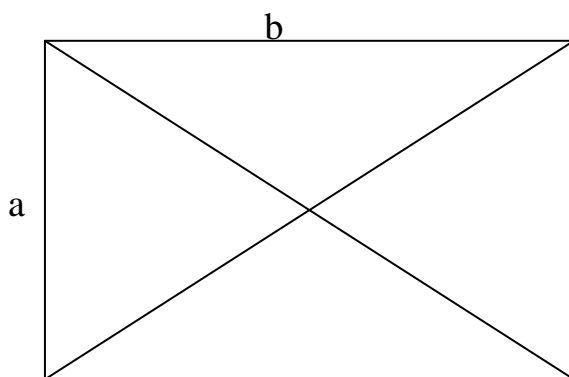
$$\text{Aire} = a^2$$

$$\text{Diagonale} = a * \sqrt{2}$$

Le rectangle :

Quadrilatère dont les côtés sont égaux deux à deux et dont les angles sont droits.

Les diagonales sont de même longueur et se coupent en leur milieu.



$$\text{Périmètre} = 2*(a + b)$$

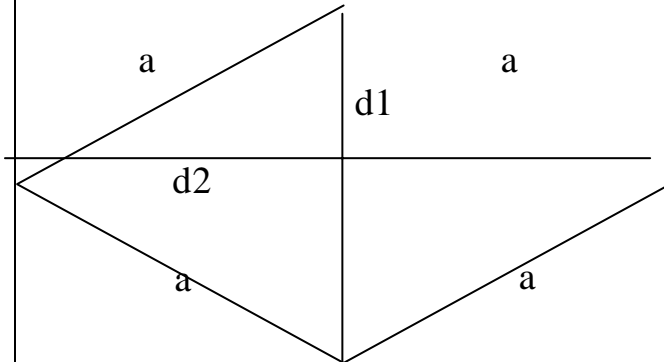
$$\text{Aire} = a * b$$

$$\text{Diagonale} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Le losange :

Quadrilatère dont les 4 côtés ont la même longueur.

Les diagonales sont perpendiculaires et se coupent en leur milieu.

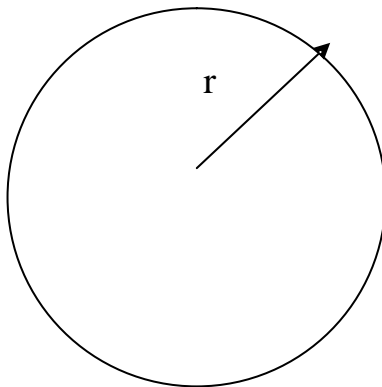


$$\text{Périmètre} = 4 * a$$

$$\text{Aire} = \frac{1}{2} * (d1 * d2)$$

Le cercle

Courbe dont tous les points sont à la même distance du centre = le rayon.



$$\text{Périmètre} = 2 * \pi * r$$

$$\text{Aire} = \pi * r^2$$

Les tracés

Angle droit = se retourner à l'équerre

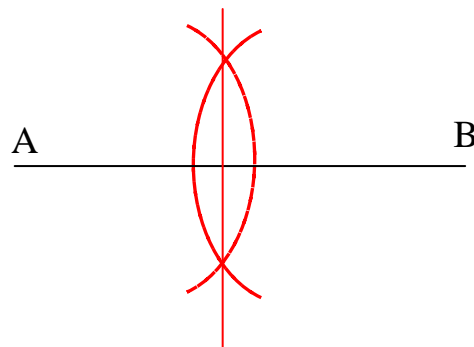
1°) méthode de la médiatrice

Sur le segment [AB] tracez un angle droit en son milieu.

Remarque : si on peut tracer un angle droit n'importe où sur (AB) , on se fixe deux points sur cette droite

Méthode :

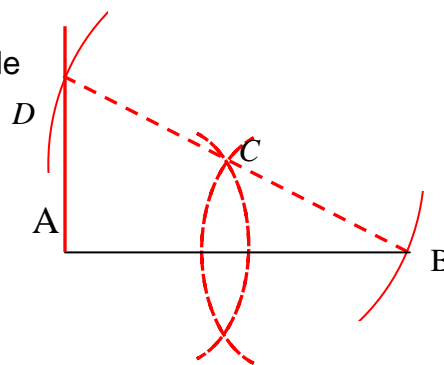
- Tracer un arc de cercle centré en A
- Tracer un arc de cercle centré en B et de même rayon
- Relier les deux points d'intersection des cercles



2°) Report de la médiatrice pour se retourner à l'équerre à l'extrémité d'un segment
Sur le segment [AB] tracez un angle droit en A

Méthode :

- Tracer un arc de cercle centré en A
- Tracer un arc de cercle centré en B et de même rayon
- Tracer la droite joignant B à un point de l'intersection des cercles (C)
- Tracer le cercle de centre C et de rayon [CB] soit D le point obtenu avec (BC)
- Relier le point D avec A



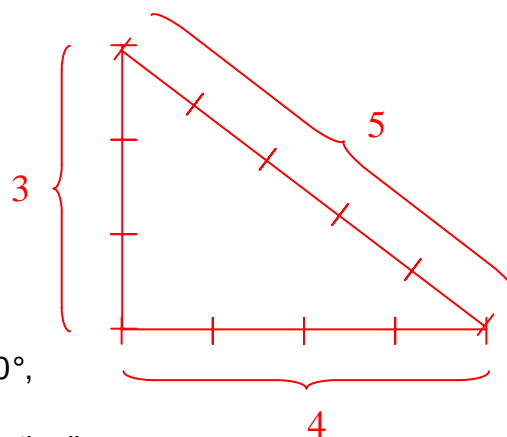
3°) Méthode du 3, 4, 5

A partir d'une chute de bois ou autre, on reporte 3 fois cette longueur. A chaque extrémité, on fait joindre les segments de 4 fois cette même longueur et de 5 fois cette longueur.

On obtient donc un angle droit. Car par Pythagore : $5^2 = 4^2 + 3^2$

Remarque : cette méthode est valable pour toutes les valeurs multipliées par 3, 4 et 5.

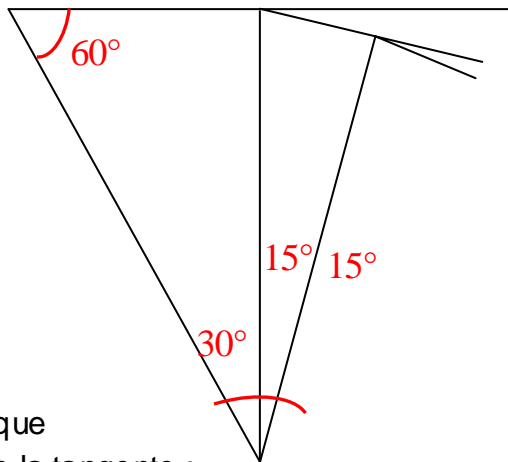
Par exemple : 1.5, 2, 2.5 ou 12, 16, 20.



Angle particulier exemple : 75°, 60°, 45°, 30°, 15°...

Tableau permettant d'obtenir ces angles particuliers :

Valeur d'angle	Méthode
60 °	Tracez un triangle équilatéral
30°	Tracez la médiatrice d'un côté du triangle
15°	Tracez une nouvelle médiatrice
7,5°	Tracez une nouvelle médiatrice



Angle quelconque

1°) Méthode de la tangente :

Prenons l'exemple d'un angle de 34° à tracer ; $\frac{\text{Côté opposé}}{\text{Côté adjacent}} = \tan 34 =$

Posons le calcul : $\tan 34 = 0.6745$

Il faut s'imposer la longueur du côté adjacent en fonction de la taille du tracé réalisé ; Prenons le côté adjacent = 10 m. il faut alors tracer une longueur de 6.745 m pour le côté opposé.

Tracé :

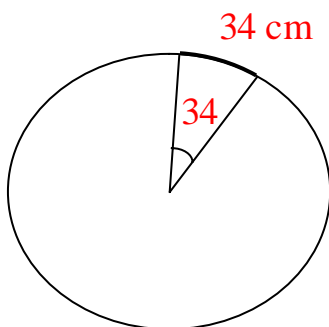
On trace un segment de 10 m, on se retourne à l'équerre à l'une des extrémités et on trace sur le retour une longueur de 6.745 m. On joint les 2 extrémités libres et on obtient un angle de 34°



2°) Méthode du chaudronnier: 10 m

La méthode du chaudronnier consiste à tracer un cercle de 360 cm de périmètre et de se dire que le tour complet faisant 360° , alors 1 cm de périmètre correspond à 1° .

Dans l'exemple ci-dessus, on mesurera 34 cm de périmètre afin d'obtenir 34° au centre du cercle.



Déterminons le rayon du cercle permettant d'obtenir un périmètre de 360 cm

$$2 * \pi * R = 360 \text{ cm}$$

$$R = 57.3 \text{ cm}$$

Tracé d'arc de cercle de centre inaccessible

Méthode dite du quart :

C'est une méthode de tracé approchée de l'arc de cercle

Objectif : tracer un arc de cercle correspondant à une corde de 12 m et un rayon de 10 m.

Calcul : il faut déterminer la flèche que cet arc va créer : Flèche = $r - \sqrt{r^2 - (corde / 2)^2}$

Application numérique : flèche = 2 m.

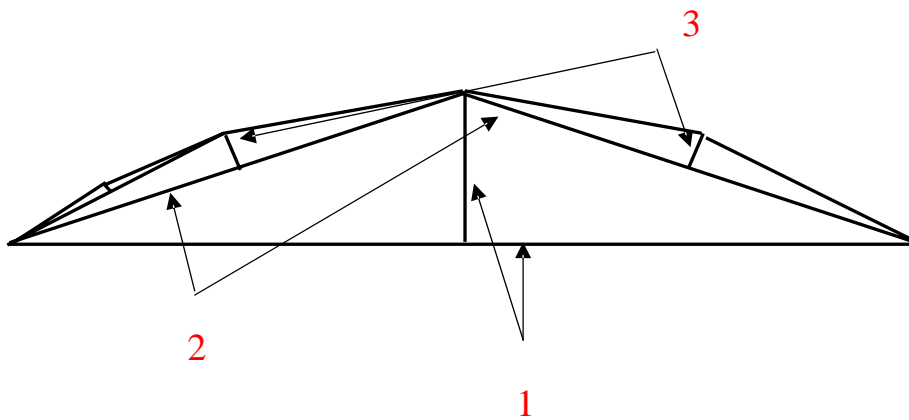
Méthode de tracé :

1°) tracer la corde puis la flèche.

2°) joindre les extrémités de la flèche et de la corde ; on obtient deux nouvelles cordes

3°) tracer les nouvelles flèches à la longueur du quart de la flèche précédente.

4°) recommencer les étapes N°2 et 3 jusqu'à obtenir une valeur que l'on ne peut représenter.



Activité n°3 : tracé et report de trait de niveau

Les données de l'intervention topographique :

Dans le cadre de la Construction des salles du multiplex, vous êtes chargé de reporter les traits de niveau, de matérialiser la pente d'accès de des salles et de tracer les éléments de coffrage des gradins de la salle 7. De plus, vous devez régler les éléments de coffrage du chantier : « Le jardin du renouveau ».

Objectifs pédagogiques

Tracer les éléments courants sur chantier.

Notions et tracé de pente.

Réglage d'éléments de coffrages.

Trait de niveau et décalage.

Positionnement de réservations

Réglage de coffrages de plancher.

Condition de réalisation

Le matériel à disposition :

- Crayon, mètre ruban, corde
- Niveau à lunette de chantier.
- Mire, pige.
- Banches collées, banches courbes, étais, trépieds pour étais, fourches amovibles et poutrelles.

Travail en binôme.

Autonomie totale.

Repère de niveau à 20 m.

Critères de performance

Précision attendue : ± 3 mm.

Exactitude des résultats.

Respect des conditions de sécurité.

Connaissances et savoir-faire associés :

Altimétrie dans le B.T.P.

Utilisation du trait de niveau.

Notions de mises en œuvre.

Travail demandé

Chantier Multiplex :

Tracer au sol la position de la pente de sortie des fauteuils roulants de la salle 7.

Reporter sur une surface verticale le trait de niveau.

Tracer l'élévation de cette pente et la sous face de gradins jusqu'au niveau +1.80.

Chantier les jardins du renouveau :

Régler l'horizontalité et la verticalité d'une banche à compas.

Tracer l'emprise d'un mannequin à partir du trait de niveau

Tracer la position de l'about de mur, de la porte, des aciers de reprise pour les voiles V9 et V10.

Tracer l'arase de bétonnage (ou réglage des banquettes à la cote d'arase).

Régler en hauteur les poutrelles de coffrages du plancher.

Contrôler

La verticalité.

L'alignement.

Les côtes de niveau.

Les implantations (ouverture et inserts).

Application supplémentaire :

A partir des deux points A et B présentés sur le terrain, définissez 3 points intermédiaires matérialisant la pente passant par les deux points A et B. Ces points seront régulièrement espacés entre eux.

Application du laser rotatif

Application du laser dans le bâtiment et les travaux publics

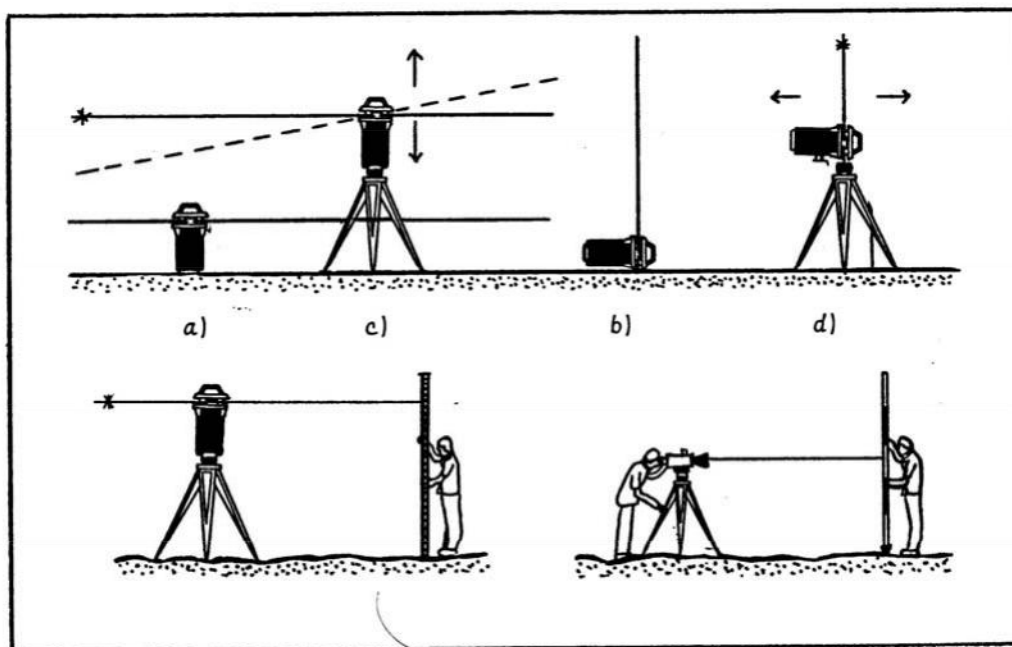
Comment fonctionne le laser.

Quelles sont les applications.

Quels sont les avantages comparé aux méthodes traditionnelles.

LE FONCTIONNEMENT D'UN LASER

Un des critères les plus importants du laser est de conserver un diamètre de spot constant quelque soit la distance, c'est à dire qu'il conserve en distance un spot suffisamment fin pour qu'il puisse servir de référence. Les lasers ont non seulement la possibilité de pointer le rayon laser à 360°, mais ce rayon, en tournant à grande vitesse, génère un plan de lumière laser. Ce plan de lumière laser peut être utilisé comme plan de référence horizontal, vertical ou suivant une pente. Le nivellement s'effectue automatiquement.



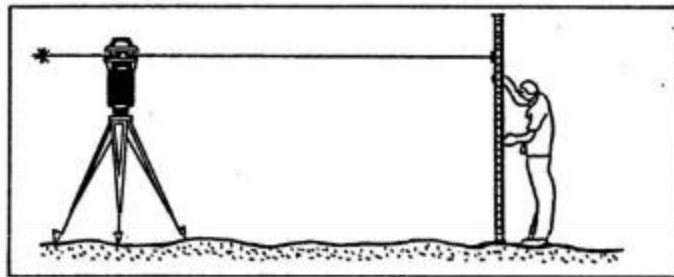
APPLICATIONS

- a) + b) Le laser est posé à même le sol : le rayon laser en tournant fournit un plan vertical ou horizontal.
- c) Le laser est monté sur un trépied et fournit un plan laser horizontal ou suivant une pente. On utilise un trépied lorsque le plan laser doit être à une certaine hauteur.
- d) Le laser est monté sur un trépied et fournit un plan laser vertical. Le faisceau est réceptionné sur une mire ou une cible.

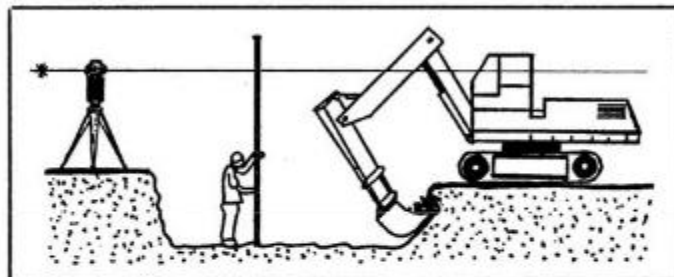
EXEMPLES D'APPLICATIONS

1. Relevé de terrain.

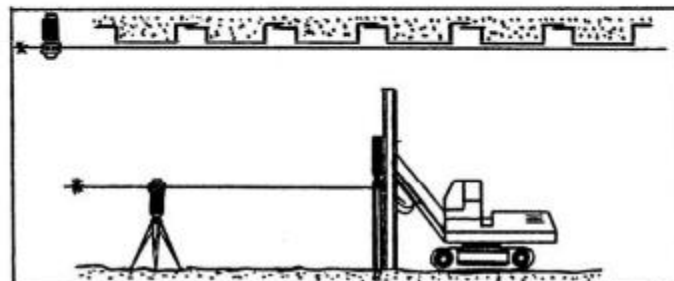
Un récepteur photoélectrique est utilisé pour détecter le rayon laser et mesurer la différence de hauteur.



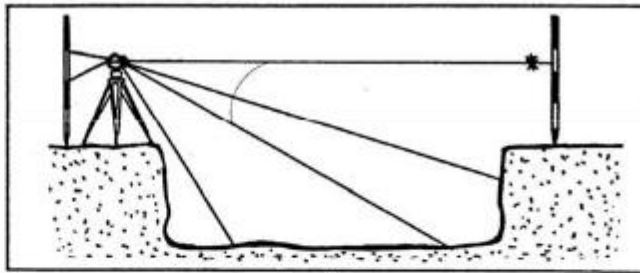
2. Contrôle de la profondeur.



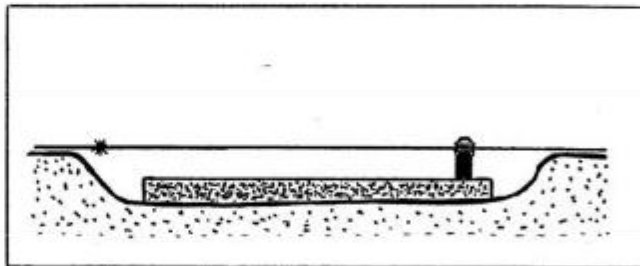
3. Contrôle en profondeur & alignement.



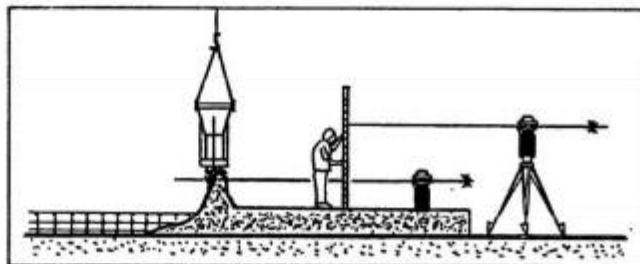
4. Visualisation d'un axe
en fond de fouille.



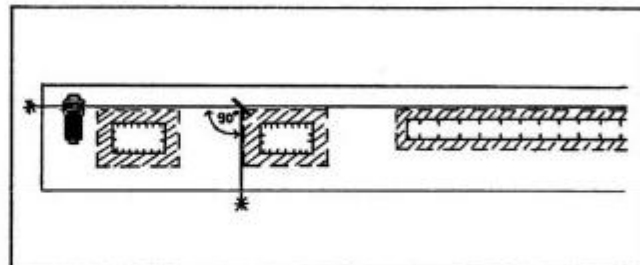
5. Référence d'embase
d'échafaudage.



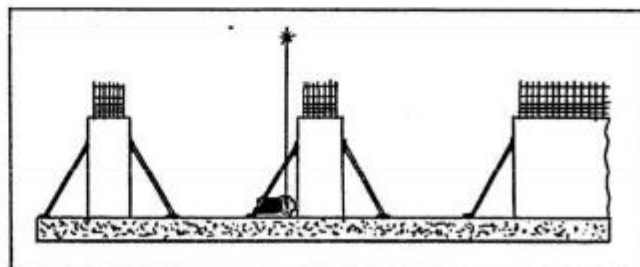
6. Contrôle de l'épaisseur
d'une dalle coulée.



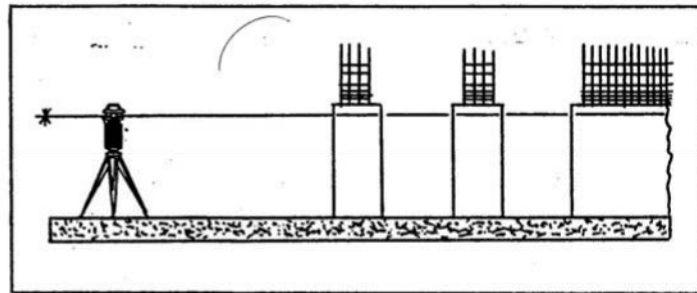
7. Implantation de piliers.



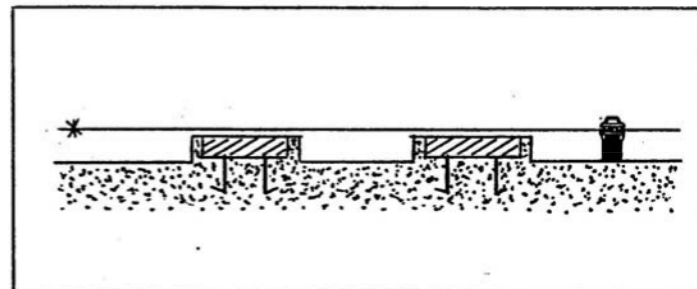
8. Référence & contrôle pour
échafaudage & coffrage.



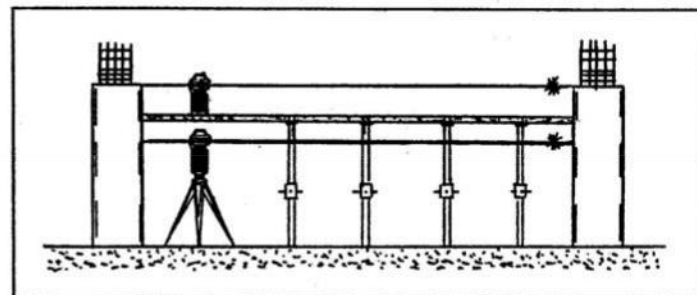
9. Référence à 1 m.



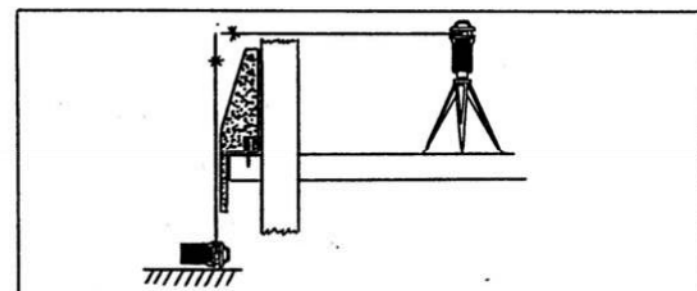
10. Implantation de plaques de base.



11. Contrôle des dalles.



12. Positionnement des éléments préfabriqués.



13. Façades, habillages.



Les avantages apportés par le laser rotatif par rapport aux méthodes conventionnelles.

Toutes les opérations décrites ci-dessus sont exécutées par une seule personne.

Comparé aux appareils classiques de visée, il n'est plus nécessaire de viser et de focaliser sur la mire ; le porte mire n'est désormais plus utile.

Il n'est plus nécessaire de régler l'appareil à hauteur d'homme : les plans laser peuvent se trouver à n'importe quelle hauteur.

Plusieurs personnes peuvent utiliser la référence laser sur le même chantier pour effectuer des travaux différents en même temps.

Le laser permet de travailler de jour comme de nuit, dans un endroit sombre ou au soleil.

Le laser s'amortit rapidement car il s'utilise très souvent en raison de ses multiples applications possibles.

Le laser est facile à transporter et à utiliser : grâce à ses automates, le laser est utilisable par tous les corps de métiers.

**TRAVAUX PRATIQUES
EN INITIATION
EN TOPOGRAPHIE**

EVALUATION DE FIN DE MODULE

Filière : T.S. Géomètre Topographe (APC)

Epreuve : Pratique

Durée : 6 h

Barème : /60

<p>But : On doit vérifier si les stagiaires ont appris la méthode de faire l'implantation d'une pente sur le terrain avec un niveau de chantier pour les besoins d'un plan.</p> <p>Mise en situation</p> <p>La classe est divisée en groupes de trois stagiaires et chaque groupe doit effectuer l'implantation d'une pente de 2.05% sur le terrain avec un niveau de chantier et des piquets en fer.</p> <p>Marche à suivre</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Avec le niveau de chantier on doit implanter une ligne tout droite sur une distance de 30 mètres et sur la quelle on doit implanter 6 piquets en fer. Les distances de 5 mètres entre les piquets doivent être mesurées avec une roulette de 30 m. 2. On doit sortir du premier piquet et selon la mesure sur la mire avec fil niveleur de calculer les lectures sur la mire, posée sur chaque piquet, nécessaires pour implantation d'une pente de 2.05%. 3. On fait une vérification pour la distance totale de 30 m. 4. Après cette opération on doit commencer a planter le premier piquet à l'aide d'une marteau et de contrôler avec le niveau de chantier la lecture sur la mire, posée sur le piquet jusque le moment où la lecture est égale avec la lecture, calculée avant 	<p>/12</p> <p>/8</p> <p>/8</p> <p>/9</p>
---	--

5. La même opération se répète sur les autres quatre piquets.	/10
A la fin chaque groupe doit présenter la documentation suivante :	
1. Le carnet avec les résultats de mesure de distances et de calculs.	/9
2. Note explicative pour le contenu du travail.	/4
Total :	/60
Equipement :	
<ul style="list-style-type: none"> - un niveau de chantier - un trépied - une mire - une calculatrice - un carnet pour les mesures des distances et des altitudes - une roulette de 30 m - 6 piquets en fer - un marteau 	

Viii. LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

AUTEUR	TITLE	EDITION
MICHEL BRABANT	MAITRISER LA TOPOGRAPHIE	2000
SERGE MILLES et JEAN LAGOFUN	TECHNIQUE DE MESURE ET DE REPRESENTATION	1992
LUCIEN LAPOINTE et GILLES MEYER	TOPOGRAPHIE APPLIQUE AUX TRAVAUX PUBLIQUE, BÂTIMENTS ET LEVERS URBAINS	1991