

Chapitre 2 : Mesure directes des distances

2.1 Introduction

Jusqu'au XVIII^{ème} siècle l'unité de longueur était **le pied** et la toise. **Le pied** valait environ 0,31 m et la toise mesurait 6 pieds (1,9 m).

A la fin du XVIII^{ème} siècle, à la suite des observations géodésiques, l'académie des sciences proposait un étalon qui ait une réalité physique et soit base sur la largeur de la circonférence terrestre : **le mètre** est alors défini comme l'équivalent de la dix millionième partie du quart du méridien terrestre. Les travaux de mesure de l'arc de méridien DUNKERQUE - BARCELONE donnent au mètre la valeur de 0,513074 toise, et l'étalon est matérialisé par la règle en platine du pavillon de Breteuil a Sevrés. En 1875 le système métrique est adopté par 17 pays.

Actuellement la définition du mètre est basée sur la vitesse de la lumière dans le vide. En pratique au niveau des laboratoires (CERN – Ministère de l'industrie - Bureau des poids et mesures) l'étalon est fourni par un interféromètre a laser base sur le principe des franges d'interférence de Young de précision inférieure a 10 (0,01 mm).

Les procédés de mesures des distances peuvent être classés en deux catégories : *Mesure Direct et, Mesure Indirecte*.

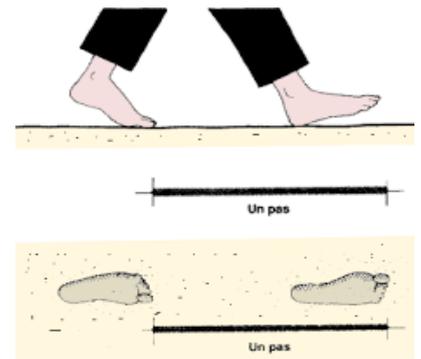
2.1. Mesures directes des distances

Mesurer une longueur directement, c'est la comparer à une mesure étalon (il s'agit alors de chercher combien de fois une certaine longueur dite étalon de mesure est contenue dans la distance a évaluer : mètre, décamètre, double décamètre, ... etc.) que l'on porte bout à bout autant de fois qu'il est nécessaire. L'étalon peut être rigide comme une règle ou souple comme un ruban.

2.1.1 Méthodes de mesures directes

- Pour exécuter la mesure directe d'une distance, il existe plusieurs méthodes rapides et précises, et d'autres approximatives :
 - a) **Compteur kilométrique** : c'est un moyen permettant d'avoir rapidement et approximativement la distance entre deux points suivant le chemin parcouru. Il est utilisé surtout pour les travaux de reconnaissance. Ce procédé est effectué par : un véhicule, un vélo, moto,

- b) **Mesure au pied, pas ou double pas** : c'est une méthode approximative pour évaluer des distances courtes. Ce procédé est valable sur un terrain relativement plat et dégagée. C'est la plus ancienne méthode pour la mesure des distances :



Un pied = 29.64 cm , un pas = 0.74 m , double pas = 1.48 m

Figure 2. 1- Mesure par pas

- c) **Mesure à la roue de reconnaissance** :

En connaissant le rayon R de la roue et marquant un point de départ, la mesure d'une distance entre deux points quelconques sera possible en comptant le nombre de tours de la roue.

$$\text{Distance} = n (\text{nombre de tours}) \times 2R (\text{circonférence de la roue})$$

2.1.2 Instruments de mesure directe

- a) **Le mètre ou le mètre pliant** : le mètre est un ruban métallique enroulé dans un boîtier. Le mètre pliant est un instrument de mesure de précision moyenne. Ils sont utilisés dans la construction, la menuiserie et pour le bricolage.

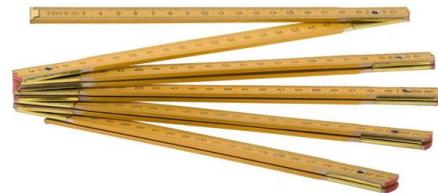


Figure II. 1. Double mètre.

- b) **Le téléscomètre ou canne télescopique** : il est Constitué de plusieurs éléments coulissants, il est télescopique et rigide et permet de mesurer avec précision des détails jusqu'à 5 m au millimètre près, par une seule personne.

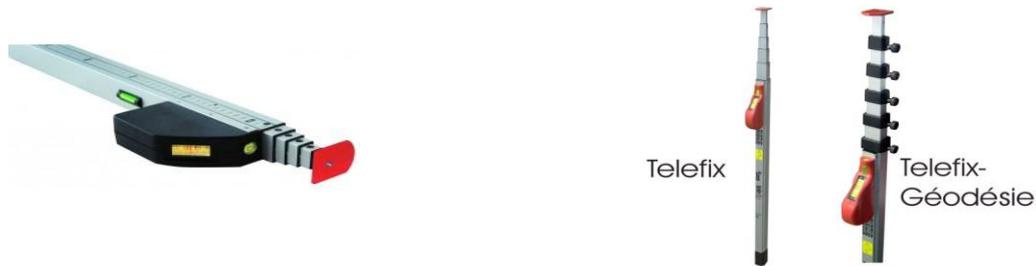


Figure II. 4. Télescomètre ou canne télescopique.

- c) **Le ruban (mètre-ruban ou décamètre)** : il est en acier (ou en inox, plastique, fibre de verre...), de longueur 10, 20, 30, 50, ou 100 m. Il est bien adapté pour tous les travaux topométriques. Les graduations des mètres sont souvent indiquées sur les deux faces.



- d) **La roulette ou Roues enregistreuses** : Connaissant le rayon R de la roue et le nombre de tours, la mesure d'une distance entre deux points quelconques sera possible avec la roulette.

$$\text{Distance} = n (\text{nombre de tours}) \times 2\pi R (\text{circonférence de la roue})$$

Ce procédé donne d'assez bons résultats en terrain plat dégagé.



- e) **Distancemètre, lasermètre, télémètre** : Les mesures des distances horizontales, verticales et

inclinées sont très faciles à mesurer sans aucun effort avec ces instruments.



f) **Le jalon** : c'est un tube métallique de 200x3 cm environ, constitué de un ou plusieurs éléments, peint en rouge et blanc, utilisés pour marquer l'alignement et indiquer la direction à suivre.

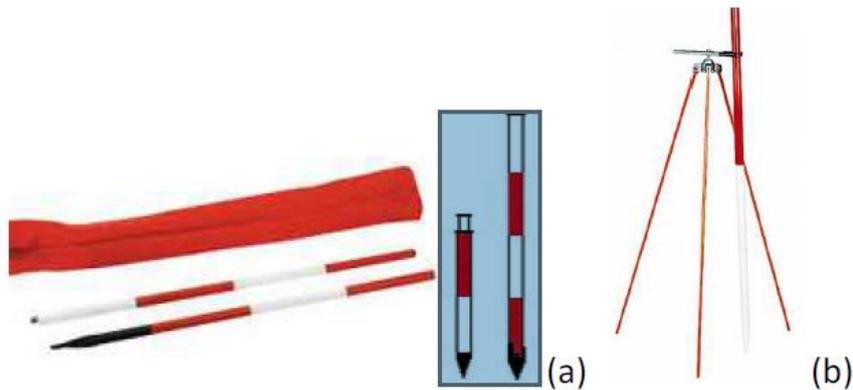


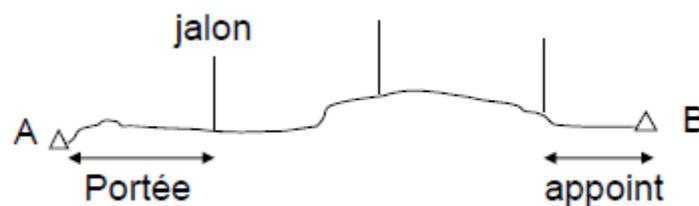
Figure II. 10. Jalons d'alignement (a) et porte jalon (b).

2.1.3 Procédés et exécution d'un chaînage

a) Mesure sur terrain plat

Afin de réaliser un bon chaînage, il est conseillé de:

- Procéder à un alignement entre les deux points, soit à l'œil ou avec l'appareil;
- Exercer une tension sur la chaîne pour la rendre tendue et rectiligne;
- Marquer la portée avec une fiche plantée verticalement;
- Inscrire la mesure du chaînage au fur et à mesure;
- Ecarter la chaîne de la fiche implantée pour éviter de refaire la chaînage;
- Ne jamais tirer sur la chaîne si on sent une certaine résistance car elle peut être bloquée par un obstacle.



En terrain plat et horizontal, le long de la distance AB, le chaîneur et son aide portent bout à bout le nombre suffisant de fois le ruban (la chaîne). Le chaîneur arrière aligne son aide par rapport au point d'arrivée à l'aide de jalons; ce dernier plante une fiche au bout de chaque portée ; le chaîneur prend successivement les fiches plantées. Le nombre de portées sera égale à celui des fiches qu'il a en main.

La distance à mesurer sera égale à ce nombre fois la longueur de la chaîne plus l'appoint.

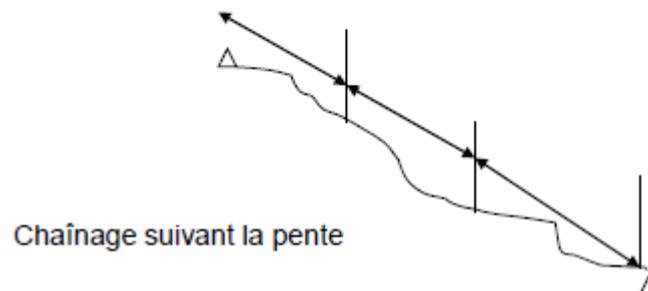
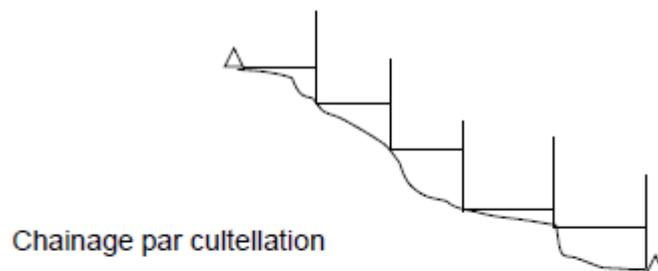
b) Mesure sur terrain accidenté

Pour mesurer la distance horizontale entre deux points situés sur un terrain accidenté, on utilise la méthode de chaînage par cultellation. Le procédé consiste à réaliser des mesures par portées et à utiliser:

- Un jalon pour indiquer la direction à suivre;
- Des fiches pour marquer les portées;
- Des fils à plomb pour avoir la lecture correspondante à la verticale de la fiche plantée.

Dans ce type de mesure, il est conseillé de :

- chaîner dans le sens de pente descendante;
- haîner au pied du jalon arrière et à la hauteur du chaîneur avant;
- veiller à l'horizontalité de la chaîne et à sa tension.



2.1.4 Fautes et erreurs en chaînage

a) Les fautes : Les fautes sont des erreurs grossières qui dépassent la tolérance.

Elles proviennent en général de l'inattention de l'opérateur (mauvaise lecture, omission d'inscription d'une portée, perte d'une fiche..).

- Pour vérifier, il suffit de faire des contrôles direct ou indirect.

b) Les erreurs : ce sont des inexactitudes dues aux imperfections des instruments ou à l'inexpérience de l'opérateur. Ce sont des inexactitudes légères et admissibles jusqu'à une certaine limite.

Il convient de les classer en deux catégories : *les erreurs systématiques et les erreurs accidentelles*.

- **Les erreurs systématiques** qui sont dues à une cause connue, agissant d'une manière constante et permanente, sur la longueur du ruban.

Cette longueur peut varier, soit par l'usure des attaches des poignées (*erreur d'étalonnage*), soit par suite des variations des température (*erreur de dilatation*).

- **Les erreurs accidentelles**

2.1.5 Les erreurs systématique de chaînage

2.1.5.1. Etalonnage

Tout appareillage fournissant une précision donnée doit être garanti par un étalonnage. Celui-ci consiste à comparer les valeurs indiquées à un étalon de mesure généralement bien plus précis (banc d'étalonnage à étalon invar, interféromètre). Les constructeurs doivent être en mesure de fournir des certificats d'étalonnage délivrés par le bureau des Instruments de mesure du Ministère de l'Industrie ou un organisme certifié.

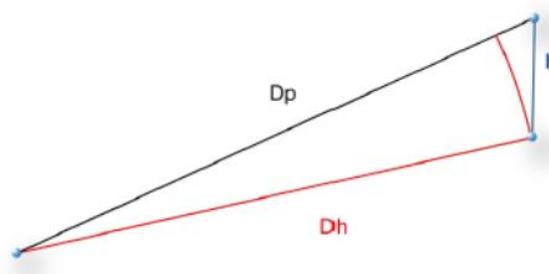
Un étalonnage doit préciser :

- Le mode : à plat ou sous tension
- La température (en général 20°C)
- La tension d'étalonnage

$$D^{Corr} = \frac{D^{mes} \times L_r^{étalonnée}}{L_r^{commercial}}$$

2.1.5.2. Défaut d'alignement ou d'horizontalité

On mesure une distance D_p dite « suivant la pente » que l'on projette à l'horizontale, « D_h », il faut donc mesurer la dénivelée ou le défaut d'alignement h .



On peut calculer par Pythagore, mais on utilise très souvent la correction (Cette correction est *négative*).

$$C = - \frac{h^2}{2D}$$

2.1.5.3. Correction de tension

Comme toute mesure, l'étalonnage doit être fait à **tension constante** connue du ruban, pour cela, on utilise un dynamomètre ou bien un poids accroché au ruban suspendu au dessus du sol.

L'allongement ΔL en mètre d'un ruban d'acier soumis à une tension T s'exprime comme suit :

$$\Delta L = \frac{LT}{ES}$$

L : longueur du ruban exprimée en m.

S : section constante du ruban en mm^2 .

E : module d'élasticité de l'acier $E = 21\,000 \text{ daN/mm}^2$.

T : effort de tension exprimée en daN ($1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$).

La longueur « exacte » est alors :

$$L_{\text{exacte}} = L_{\text{mesurée}} \cdot (1 + k_T)$$

$$k_T = \frac{(T - T_0)}{ES}$$

k_T est appelé le **coefficient de tension**.

Dans l'expression précédente, T_0 est la tension d'étalonnage ($\approx 5 \text{ daN}$).

✚ Exemples :

L'allongement d'un ruban de 50 m, de section $(0,2 \times 13) \text{ mm}^2$ sous une tension de 16 daN est :

$$\Delta L = \frac{LT}{ES} = \frac{50m \times 16daN}{21000daN/mm^2 \times (0,2 \times 13)mm^2} = 0,015m = 15mm$$

Le coefficient de tension k_t :

$$k_t = \frac{T - T_0}{ES} = \frac{16daN - 5daN}{21000daN/mm^2 \times (0,2 \times 13)mm^2} = 0,0002$$

D'où la longueur exacte :

$$L_{\text{exacte}} = L_{\text{mesurée}} \times (1 + k_T) = 50m \times (1 + 0,0002) = 50,01m$$

2.1.5.4. Correction de dilatation

La correction de dilatation se fait par la formule suivante :

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \Delta t) \text{ et } C_{\text{dilatation}} = L_{\text{mesuree}} \cdot (\alpha \Delta t)$$

Avec:

α coefficient de dilatation qui vaut entre 1 à $1,7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ et pour l'acier et $0,1 \times 10^{-5}$ pour l'INVAR.

$\Delta t = t - t_e$; t_e est la température d'étalonnage (20°C en général)

Généralement, le coefficient de dilatation de l'acier est de $1,08 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. On obtient donc :

Ou on peut écrire :

$$L_{\text{exacte}} = L_{\text{mesurée}} \cdot [1 + 1,08 \cdot 10^{-5} \cdot (t - t_e)]$$

✚ Exemple :

Si vous mesurez une longueur de 35,035 m avec un ruban en acier à $t = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$, il faut corriger la valeur lue d'une valeur positive : $\propto \Delta t = 1,08 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times (40 - 20) \text{ } ^\circ\text{C} = + 21,6 \times 10^{-5}$

Donc la longueur « exacte » est :

$$L_{\text{exacte}} = 35,035 \times [1 + 21,6 \times 10^{-5}] = 35,035 \times [1 + 0,22 \times 10^{-3}] = 35,043\text{m}$$

2.1.5.5. Correction de chaînette

C'est la différence entre la corde AB et la longueur AB du fil en équilibre sous son propre poids (P).

$$C_{\text{Chaînette}(m)} = \frac{(L_{(m)})^3 a^2}{24} \text{ avec } a = \frac{p}{T} = \frac{\text{poids/lineaire}_{(g/m)}}{\text{Tension}_{(g)}}$$

En mode mesure la correction est négative (on mesure « trop long »).

✚ Exemple

La correction de chaînette pour une chaîne de longueur $L = 20 \text{ m}$, un poids propre $P = 20 \text{ g/m}$, soumise à une tension $T = 10 \text{ kg}$ est de :

$$C_{\text{Chaînette}} = \frac{20^3}{24} \times \left(\frac{20}{10^4}\right)^2 = - 1,3 \times 10^{-3} = - 1,3\text{mm}$$

2.1.5.6. Correction de poids en mode suspendu

On peut utiliser également des chaînages pour mesurer des différences d'altitudes. Le fil est alors en mode « suspendu » et s'allonge aussi sous l'action de son propre poids (P).

$$\Delta L_{(m)} = \frac{1}{E} \times \frac{p}{s} \times \frac{L_{(m)}^2}{2}$$

Avec ; $P =$ poids linéaire en g/m et $S =$ section en mm^2 .

✚ Exemple

Pour un fil de 80m en « invar » avec un poids propre $P = 20\text{g/m}$ et $S = 2\text{mm}^2$. On trouve :

$$\Delta L_m = \frac{1}{16000} \times \frac{17}{2} \times \frac{80^2}{2} = 1,7 \times 10^{-3} = 1,7\text{mm}$$

Cette correction s'ajoute à la correction de tension (elle est également positive).

NB : afin d'éviter les oscillations du fil ou propose des tensions proportionnelles à la longueur de celui-ci tel que $T_{\text{kg}} = 10 + 0,08 \cdot L_m$

2.1.5.7. Les erreurs de support

De telles précisions ne peuvent être obtenues que si les supports sont suffisamment conséquents pour recevoir des tractions de 10 à 20 kg.

2.1.5.8. Les erreurs mécaniques

Les erreurs de jeux d'axes, de non alignement des réglets peuvent être très importantes lorsque la précision avoisine 0,1 mm.

Application :

Calculez la valeur exacte de la mesure suivante effectuée en mode suspendu en terrain horizontal, avec un ruban en acier de classe I, de 2,6 mm² de section, de longueur 50 m :

$L_{\text{mesurée}} = 365,145$ m. La température du ruban est mesurée à 28 °C et reste constante pendant toute la mesure ; la tension constante est de 10 daN.

La mesure est faite en sept portées de 50 m et une portée d'appoint (toutes les portées sont considérées parfaitement alignées).

Le ruban a été étalonné au préalable dans les conditions suivantes : $T_0 = 4,5$ daN, $t_e = 20$ °C.

On a mesuré l'indication du ruban sur une base connue de 50 m, soit 49,986 m.

Solution :

Pour chaque portée de 50 m, on calcule la longueur exacte.

- Après correction d'étalonnage, la longueur réelle d'une portée de ruban à 20 °C est :

$$50 \cdot [1 + (50 - 49,986)/49,986] = 50,0140 \text{ m.}$$

- Après correction de température, la longueur effective du ruban à 28 °C est :

$$50,0140 \cdot [1 + 1,08 \cdot 10^{-5} (28 - 20)] = 50,0183 \text{ m.}$$

- 1 Après correction de tension, la longueur du ruban tendu à 10 daN est :

$$50,0183 \cdot [1 + (10 - 4,5)/(21\ 000 \cdot 2,6)] = 50,0234 \text{ m.}$$

- 1 Après correction de chaînette, la longueur finale de D est :

$$50,0234 \cdot [1 - (20,41 \cdot 10^{-3})^2 \cdot D^3 / 24 / 102 / 50,0234].$$

On calcule D par approximations successives et on obtient $D = 50,0017$ m. Ce qui est proche de la valeur étalon. La longueur exacte des sept premières portées est donc de 350,012 m.

Le calcul de la mesure d'appoint de 15,145 m est faite à l'aide du même principe ; comme précédemment, on reprend chaque correction :

- correction d'étalonnage : $15,145 \cdot (1 + 2,8 \cdot 10^{-4}) = 15,1492$ m
- correction de température : $15,1492 \cdot (1 + 8,64 \cdot 10^{-5}) = 15,1505$ m
- correction de tension : $15,1505 \cdot (1 + 1 \cdot 10^{-4}) = 15,1521$ m
- correction de chaînette : longueur finale $D = 15,1515$ m.