

# LA MESURE DIRECTE DES DISTANCES

---

## 1. Principe

La mesure directe consiste à déterminer la distance entre deux points par report d'une longueur étalon. Dans la mesure du possible, il faut essayer d'obtenir la distance horizontale.

La mesure est rapide et ne nécessite pas de matériel onéreux.

Ces mesures servent essentiellement à avoir des cotes d'appoint, de contrôle ou de repérage.

## 2. Le matériel

### 2.1. Le double pas

Le double pas sert uniquement pour avoir une longueur approchée, un ordre de grandeur d'une distance qui permet la recherche d'éléments en milieu rural (bornes, fossés, clôtures, etc.).

La précision, qui dépend, bien entendu, du milieu dans lequel se fait la mesure, est de l'ordre de 2 m à 100 m après étalonnage du double pas.

L'étalonnage du double pas s'effectue en terrain plat sur une base de 100 mètres mesurée à l'aide d'un ruban. Il faut parcourir cette base en aller et retour, ce qui permet d'obtenir un certain nombre de double pas pour une distance de 100 mètres. Pour mesurer une distance particulière, il suffira de faire une proportion après avoir parcouru cette distance.

Pour des distances relativement importantes le recours à un podomètre permet de comptabiliser automatiquement le nombre de double pas.

### 2.2. La roue enregistreuse – odomètre

L'utilisation de cet instrument se pratique exclusivement en milieu urbain. La roue est en liaison avec un compteur qui permet l'affichage de la distance. Il est possible de mettre le compteur à 0 et de faire des mesures précises avec l'index qui est solidaire de la roue.

La précision est d'environ 0,5 m à 100 m.

Cet instrument est trop peu précis pour une utilisation par le géomètre dans un mesurage classique en milieu urbain.

*(Voir page suivante)*



### 2.3. Le fil perdu

Le fil perdu est composé d'une bobine de fil qui lorsqu'elle se dévide fait tourner un compteur. Le mode d'emploi est simple puisqu'il suffit d'attacher le fil à un élément du terrain (arbre, piquet, poteau, etc), puis de mettre le compteur à 0. Après avoir parcouru la distance il faut faire la lecture sur le compteur puis couper le fil.



La précision de la mesure varie entre 0,5 m et 1 m à 100m. En théorie le compteur donne de meilleurs résultats, mais lors du parcours le fil s'accroche et fait perdre de la précision à la



méthode. Le fil perdu est un bon procédé pour des repérages en milieu rural, voire forestier, pour des estimations par exemple.

## 2.4. La canne mesureuse

Cet instrument est présenté sous la forme d'éléments métalliques télescopiques qui permettent de réduire son encombrement et a une longueur maximale dépliée de cinq mètres. La lecture de la distance se fait sur la canne graduée ou pour certains matériels directement sur un ruban placé à l'intérieur du tube.

Cet instrument est très commode car une seule personne peut obtenir la distance entre deux points dont l'un des deux au moins est inaccessible (hauteur sous plafond, limite au-delà d'un obstacle, etc) ou bien entre deux murs (largeur d'une pièce ou d'une fenêtre).

La canne est graduée en millimètres tout le long et a une précision de classe II (voir § 2.5).

## 2.5. Le ruban et le chaînage

### 2.5.1. Le ruban

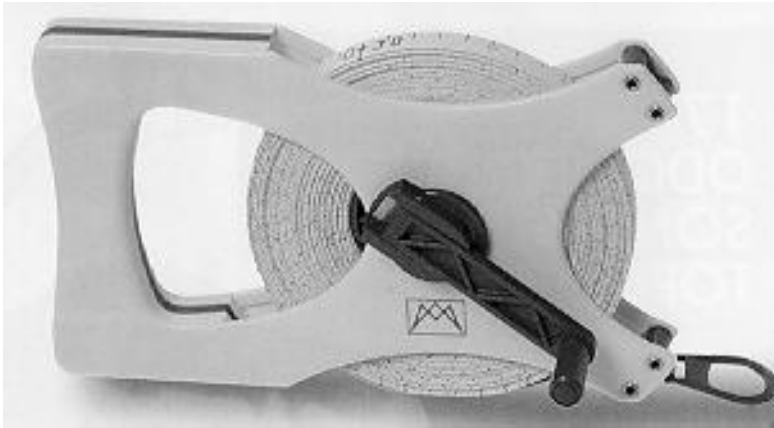
Le décret N° 79-763 du 30/08/79 répartit les mesures de longueurs selon leur degré de précision en 3 classes. L'erreur maximale tolérée en fonction de la longueur nominale L exprimée en mètres est donnée en mm par la formule  $\pm (a + b.L)$  avec :

Classe	a (mm)	b (mm)
I	0,1	0,1
II	0,3	0,2
III	0,6	0,4

En utilisation, l'erreur maximale autorisée est égale au double de la valeur admise en vérification.

Ces tolérances sont indiquées pour une tension de 5 daN et une température au moment de la mesure de 20°C.

Les instruments de classe II couramment employés en topométrie se présentent sous la forme d'un ruban de 20, 30 ou 50 mètres en acier enrobé de nylon polyamide non conducteur, résistant aux pliures et enroulé sur une poignée munie d'une manivelle. Ils sont gradués en centimètres sur toute la longueur et en millimètres sur le premier mètre ou les dix premiers centimètres.

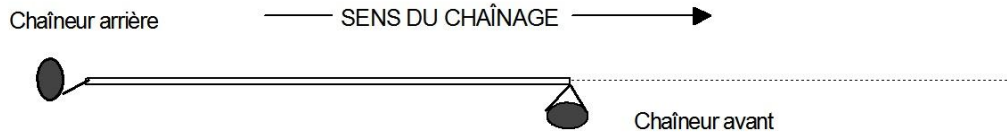


Certains appareils sont en matières synthétiques mais ont une précision inférieure de classe III généralement.

La précision d'une mesure au ruban est comprise entre  $1/5000^{\text{ème}}$  et  $1/2000^{\text{ème}}$  à 100 m, mais peut diminuer rapidement en fonction de la morphologie des lieux (pente, encombrement).

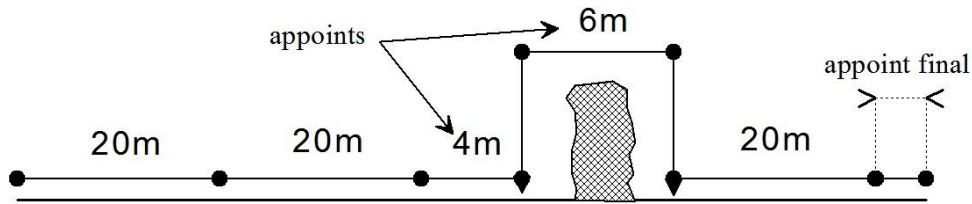
### 2.5.2. Le chaînage - utilisation du ruban

Lorsque la longueur à mesurer est supérieure à la longueur de l'étalon, il faut effectuer une ou plusieurs portées entières et lire un appoint. La principale difficulté est l'alignement. Pour effectuer une mesure correcte, l'opérateur qui est à l'arrière par rapport au sens du chaînage et qui est appelé "chaîneur arrière", tient l'origine du ruban et aligne l'aide, appelé "chaîneur avant", qui se tient de côté pour dégager l'alignement. Le chaîneur avant ne matérialise la portée que lorsque le chaîneur arrière après avoir positionné correctement l'origine annonce "bon".



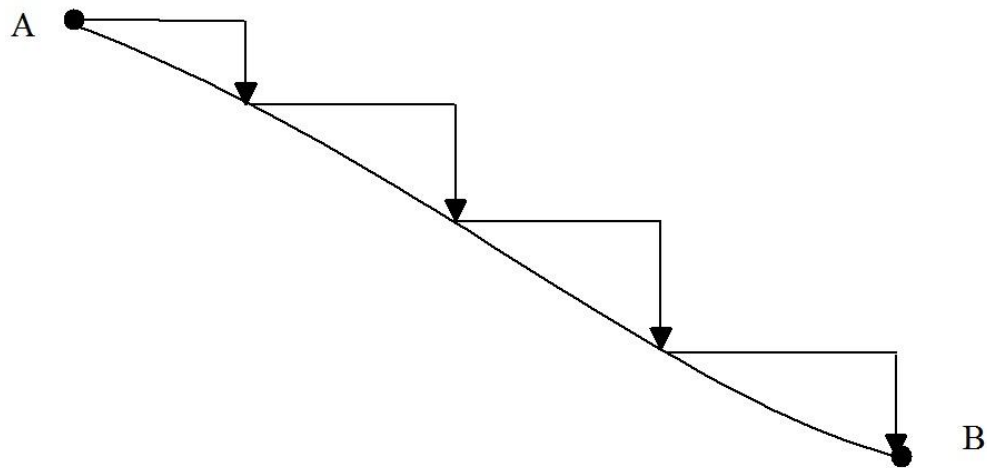
Lors des déplacements le chaîneur arrière lâche le ruban qui n'avance que sous la traction du chaîneur avant pour éviter d'accrocher le ruban.

En terrain plat la mesure ne cause aucun problème, sauf s'il y a la présence d'un obstacle franchissable.



Dans ce cas il faut le franchir en *mode suspendu* avec fil à plomb et en prenant avant et au-dessus de cette obstacle des appoints de valeurs rondes facilement additionnables mentalement.

En terrain pentu, on opère par ressauts horizontaux, méthode appelée aussi "par cultellation". La difficulté se situe à l'extrémité suspendue du ruban car on doit veiller en même temps à l'horizontalité, la tension, la lecture et le plombage. Une pente excessive amène un nombre élevé de portées courtes donc réduit la précision. Il est alors préférable de mesurer suivant la pente et de déterminer cette pente par un procédé annexe.



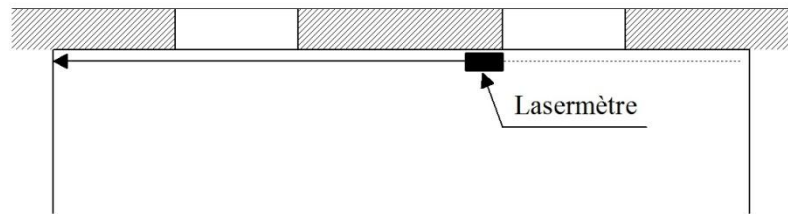
Eviter de mesurer ce type de distance en montant car la difficulté est encore plus grande.

## 2.6. Le lasermètre



Appareil développé pour être utilisé lors des levés d'intérieur. Il permet des mesures de distances sans réflecteur sur des points matérialisés par un impact laser visible. La mesure est faite en quelques secondes.

Il est possible de mesurer des longueurs et des largeurs de pièces mais aussi les diagonales. La mesure de cotes cumulées est possible par un seul opérateur comme le montre le schéma suivant.



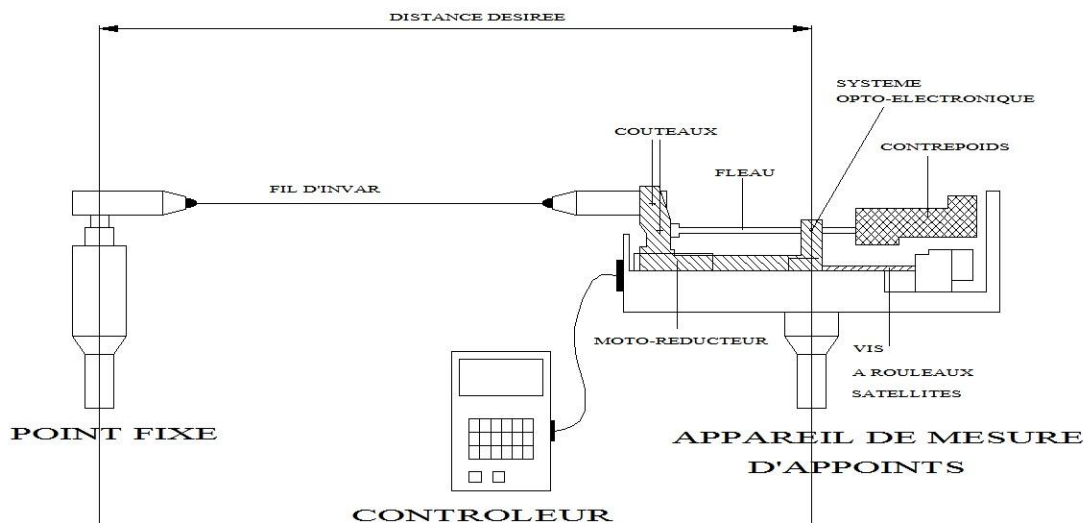
Le calcul de surface et de volume est également possible.

La précision est de l'ordre du centimètre et la portée est de quelques dizaines de mètres.

Certains lasermètres sont adaptables sur des théodolites de bas de gamme, appelés théodolites de chantier.

## 2.7. Le distinvar

Développé par le service de géodésie du C.E.R.N. (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire), cet appareil utilisé pour des mesures de très haute précision, est exclusivement réservé pour une utilisation dans l'industrie.



Il est composé :

- d'un point fixe,
- d'un fil d'invar géodésique d'un diamètre de 1,65 mm et d'une masse de 17,32 g/m. La longueur du fil est fonction de la longueur à mesurer, mais n'est jamais inférieure à 0,5 m et est rarement supérieur à 50 m,
- d'un appareil de mesures d'appoints travaillant comme une balance. Pour assurer la tension exacte du fil, un contrepoids à l'extrémité d'un fléau peut tourner autour d'un couteau. Le point d'équilibre est défini par un système qui détecte la position du fléau. En fonction de l'information fournie par le système de détection, un chariot se déplace en avant ou en arrière au moyen d'un moteur réversible et d'une vis micrométrique. Un compteur solidaire de cette vis indique la position longitudinale du chariot. La course totale du chariot est d'environ 50 mm. Un micro-ordinateur lance la mesure et assure la recherche du point d'équilibre.

L'écart-type de cet instrument est de l'ordre de quelques dixièmes de millimètres.

L'ensemble appareil de mesures d'appoints, point fixe et fil d'invar n'est qu'un étalon secondaire dont la longueur doit être définie par un étalon primaire.

### **3. Alignement-Jalonnement**

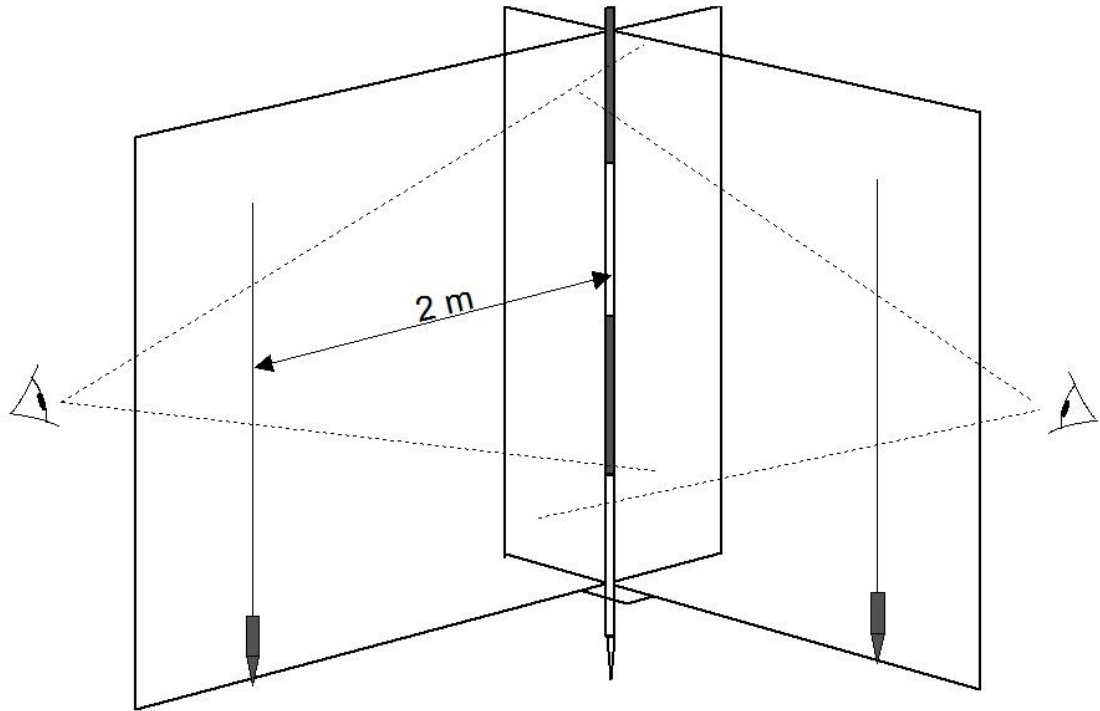
La mesure directe des longueurs comporte toujours le report bout à bout d'une longueur étalon connue, suivant la ligne droite qui joint les termes de la longueur à mesurer.

Le jalonnement est l'opération qui consiste à matérialiser cette ligne droite, en implantant un ou plusieurs jalons, pour assurer l'alignement des portées successives de l'étalon, afin d'améliorer la mesure de la longueur.

Cette opération est nécessaire lorsque :

- les extrémités de la base sont invisibles l'un de l'autre à cause d'obstacles planimétriques ou altimétriques,
- les extrémités de la base sont trop éloignées,
- la précision de la mesure linéaire nécessite un bon alignement,
- l'on désire positionner des pieds de perpendiculaires.

Chaque jalon planté ou implanté sera mis verticalement en le comparant, dans deux plans verticaux perpendiculaires, à un fil à plomb ou à un jalon tenu en suspension (voir figure suivante).



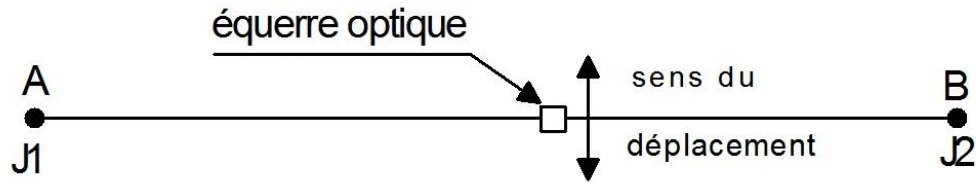
### 3.1. Jalonnement sans obstacle

Les extrémités sont accessibles et visibles l'une de l'autre.

- A vue : on place en A et B respectivement les jalons J1 et J2. L'opérateur se place à 2 ou 3 mètres derrière un de ces jalons de base. En visant suivant la direction AB, il fera placer par un aide un jalon aligné sur AB. Il faut prendre soin de toujours implanter les jalons intermédiaires en commençant toujours par le plus éloigné.



- A l'équerre optique : on place en A et B respectivement les jalons J1 et J2. L'opérateur se déplace perpendiculairement à l'alignement, dans la zone où il désire implanter le jalon, jusqu'à obtenir une vue des jalons de base alignée dans l'équerre optique (voir "L'équerre optique" dans le chapitre " Les mesures angulaires "). L'opérateur est alors sur l'alignement, il n'a plus qu'à remplacer l'impact de la canne de l'équerre optique par un jalon.

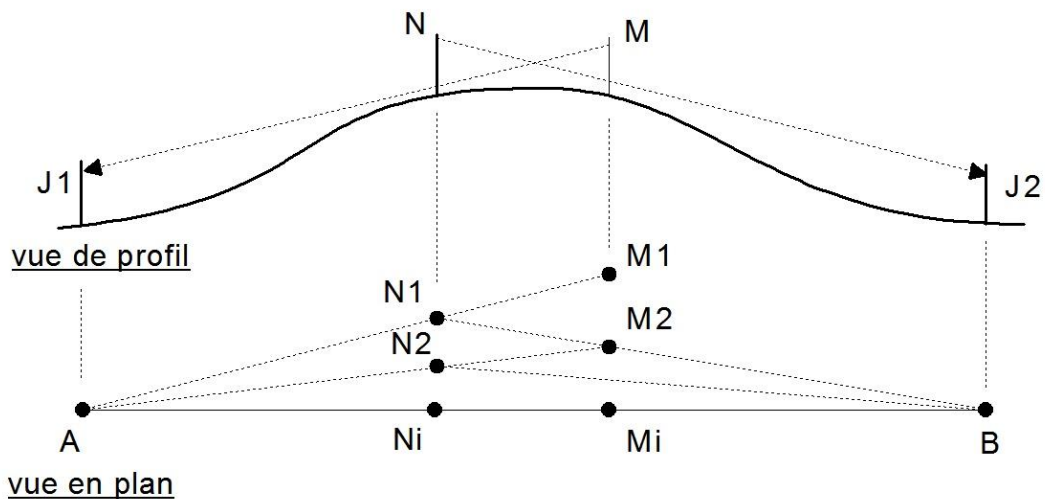


- Au théodolite : L'opérateur stationne une des deux extrémités et oriente la lunette sur l'autre extrémité. Il baisse légèrement la lunette et effectue la mise au point pour guider l'aide à implanter la première fiche. Ici aussi implanter les fiches en commençant toujours par la plus éloignée.

### 3.2. Jalonnement avec obstacle

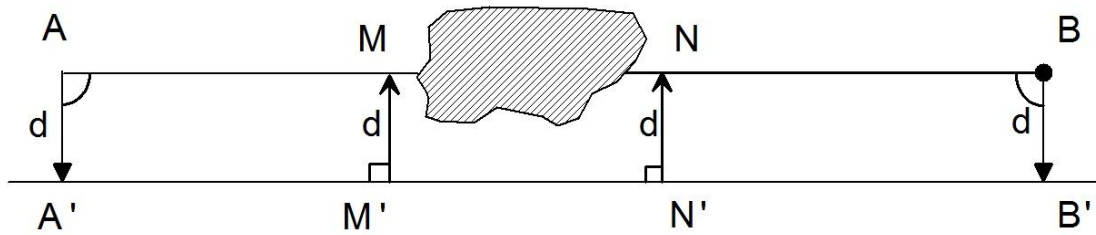
Les extrémités ne sont pas visibles l'une de l'autre.

- Obstacle en altimétrie (méthode du fourrier) :  
On place en A et B respectivement les jalons J1 et J2. L'opérateur choisit deux zones M et N d'où il peut voir les jalons J1 et J2 et muni d'un jalon, il se place au mieux en M1 sur l'alignement AB. Il fait déplacer son aide, lui aussi muni d'un jalon, sur l'alignement M1A. Ce dernier se trouve alors en N1.



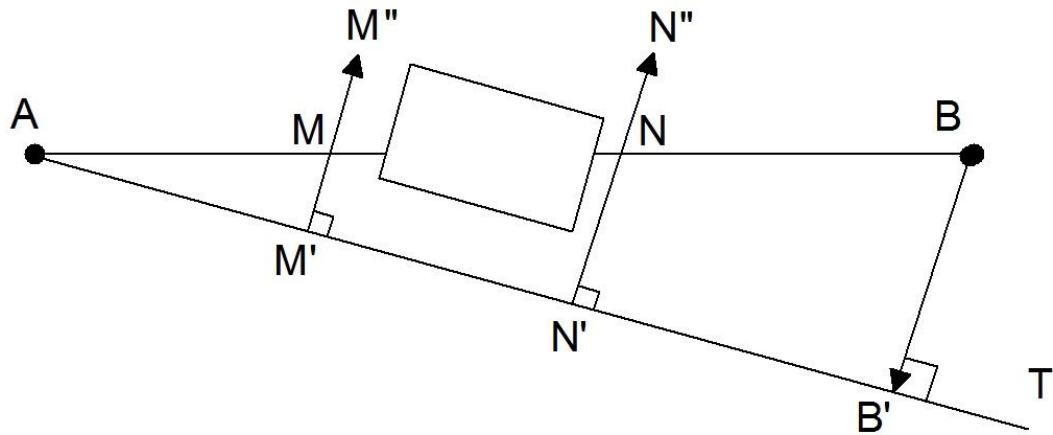
L'opérateur se fait à son tour aligner sur la ligne N1B et vient donc se positionner en M2. De ce dernier point, il aligne à nouveau son aide en N2 sur la ligne M2A et ainsi de suite jusqu'à ce que les deux jalons intermédiaires soient parfaitement alignés sur AB.

- Obstacle en planimétrie  
Si le déport représenté par l'obstacle est faible, on élève aux extrémités A et B des perpendiculaires estimées permettant d'implanter respectivement les points A' et B' telles que  $AA' = BB' = d$ . Ne pas dépasser 3 mètres pour d.



Compte tenu de la faible largeur de l'obstacle on peut admettre que  $A'B'$  est parallèle à  $AB$ . On plante des jalons en  $A'$  et  $B'$  et sur cette parallèle on choisit deux points  $M'$  et  $N'$ , de part et d'autre de l'obstacle. De chacun de ces points on élève une perpendiculaire à l'équerre optique sur une longueur  $d$  permettant d'implanter les points  $M$  et  $N$ . La distance  $AB$  peut être obtenue en additionnant les longueurs  $AM$ ,  $M'N'$  et  $NB$ .

Si l'obstacle est de plus grande importance, il faut choisir une ligne d'opération annexe partant d'une des extrémités, par exemple  $AT$ . Planter les jalons en  $A$  et  $T$ . Abaisser avec l'équerre optique la perpendiculaire issue de l'autre extrémité  $B$  d'où le point  $B'$ .



Mesurer les longueurs  $AB'$  et  $BB'$ .

Choisir deux points  $M'$  et  $N'$  de part et d'autre de l'obstacle sur l'alignement  $AT$ . De ces deux points élever les perpendiculaires et implanter les points  $M''$  et  $N''$  si possible au-delà de l'alignement  $AB$ . Mesurer  $AM'$  et  $AN'$ .

$$\text{Calculer : } N'N'' = \frac{B'B}{AB'} \times AN' \quad \text{et} \quad M'M'' = \frac{B'B}{AB'} \times AM'$$

Porter ces deux cotes sur les alignements  $M'M''$  et  $N'N''$ , pour implanter les points  $M$  et  $N$  sur l'alignement  $AB$ .

En prolongeant AM et BN vers l'obstacle, nous obtenons l'impact de cet alignement sur cet obstacle.

La distance AB peut-être obtenue par  $\sqrt{AB'^2 + B'B^2}$ .

La même méthode peut être utilisée mais avec un théodolite : Choisir un point B' sur l'alignement AT. Mesurer l'angle AB'B. Reporter cet angle en M' et en N'.

## 4. Les fautes et les erreurs

Les fautes et les erreurs décrites ci-après ne sont en rapport qu'avec les mesurages effectués au ruban.

### 4.1. Les fautes

- Oubli d'une portée dans le mesurage d'une grande distance.
- Mauvaise lecture sur le ruban, surtout si la chiffraison est écrite à l'envers par rapport à la position de lecture.
- Mauvaise transcription de la lecture.

### 4.2. Les erreurs

#### 4.2.1. Erreur d'étalonnage

Erreur systématique due au fait que le ruban ayant subi des détériorations (pliures, cassures, ...) ne fournit plus des longueurs dans la précision du décret N° 79-763.

Il convient alors d'effectuer l'étalonnage du ruban par rapport à une distance connue exactement. Cette distance peut être obtenue par un procédé plus précis que le ruban, par exemple distancemètre utilisé dans certaines conditions. Dans certaines grandes villes le service du cadastre a établi une base d'étalonnage constituée de plots alignés dont l'écartement est connu au millimètre près (voir annexe 1) et mis à la disposition du public.

Par comparaison de la longueur exacte  $B_E$  de la base avec la valeur  $B$  mesurée, on calcule la correction d'étalonnage :

$$B_E = m_E \cdot B \quad \text{avec } m_E \text{ le module d'étalonnage}$$

$$m_E = 1 + k_E \quad \text{avec } k_E \text{ le coefficient d'étalonnage}$$

$k_E$  est la correction par unité de longueur

d'où

$$k_E = m_E - 1 = \frac{B_E}{B} - 1$$

$$k_E = \frac{B_E - B}{B}$$

L'étalonnage doit toujours être effectué pour une température donnée et est généralement ramené à 100 m.

$$k_{E \ 100/^{\circ}C} = \frac{B_E - B}{B} \cdot 100$$

Pour une distance D mesurée la valeur corrigée de l'étalonnage  $D_M$  sera :

$$D_M = m_E \cdot D = (1 + k_E) \cdot D$$

$$D_M = D + k_E \cdot D$$

$$D_M = D + c_E$$

La correction d'étalonnage est alors  $c_E = k_E \cdot D$

#### 4.2.2. Erreur de dilatation

Erreur systématique qui est due à la variation de température entre le moment de la mesure et celui de l'étalonnage. Corrigée par la formule :

$$D_C = D_M \cdot (1 + \lambda \cdot \Delta t)$$

$\lambda$  : coefficient de dilatation (pour l'acier  $\lambda = 1,25 \cdot 10^{-5}$  et pour l'INVAR  $\lambda = 1,25 \cdot 10^{-6}$ )

$\Delta t = t_M - t_E$  : différence de température en  $^{\circ}C$  entre le moment de la mesure et celui de l'étalonnage.

Par exemple :

Sur une base de 120.020 m un opérateur effectue 10 fois la mesure avec un ruban en acier de 50 m et obtient une moyenne de 120.045 m. La température au moment de la mesure est de  $24^{\circ}C$ .

Quelques jours plus tard, avec le même ruban l'opérateur mesure une distance par  $12^{\circ}C$  de température et trouve 83.42 m.

Donc si au moment de cette mesure il avait fait  $24^{\circ}C$  la longueur mesurée aurait été de :

$$D_C = 83,42 \cdot (1 + 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot (12 - 24)) = 83,4075 \text{ m}$$

Le coefficient d'étalonnage de ce ruban pour  $24^{\circ}C$  est de :

$$k_{E \ 100/24^{\circ}C} = \frac{120,020 - 120,045}{120,045} \cdot 100 = -0,0208255$$

d'où la distance exacte

$$D_{\text{exacte}} = 83,4075 + (-0,0208 \times 0,834)$$

$$D_{\text{exacte}} = 83,4075 + (-0,01737) = 83,3901 \text{ m}$$

soit 83,39 m

*Il est à remarquer qu'un ruban trop long mesure trop court et réciproquement.*

On notera enfin que la température de l'air ambiant n'est pas forcément celle du ruban qui est beaucoup plus difficile à obtenir.

### 4.2.3. Erreur d'élasticité

Cette erreur est due à la différence de tension que l'on exerce sur le ruban pour le tendre, entre une mesure et l'étalonnage. En théorie il faudrait un dynamomètre ou mieux encore des poids tenseurs, mais dans la pratique cette tension est faite à l'estime. Les rubans modernes doivent être utilisés avec une tension de 5 daN pour répondre au décret N° 79-763.

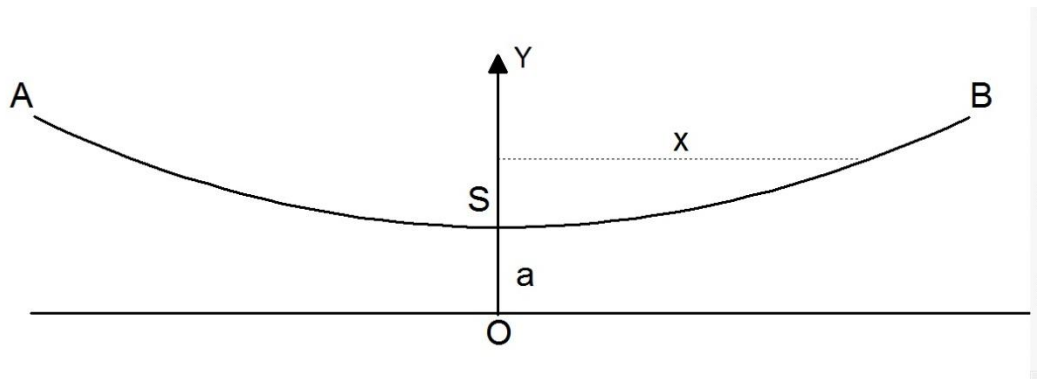
Il est impossible de donner une valeur chiffrée de cette erreur du fait que l'on ne connaît pas exactement la tension exercée. L'allongement du ruban, qui rétrécit d'autant la distance, est donc fourni par la formule théorique :  $e = \frac{\Delta T \times l}{E \times s}$

avec  $\Delta T$  la différence de traction en daN entre la mesure et l'étalonnage,  $l$  la longueur en m,  $s$  la section en mm<sup>2</sup>,  $E = 21\ 000$  le coefficient d'élasticité (module de Young) pour l'acier doux et  $e$  sera en m.

Soit un allongement de 1,8 mm pour un ruban de 50 m de long et de 2,6 mm<sup>2</sup> de section et une différence de traction de 7 daN. L'erreur sur la distance sera alors de -1,8 mm.

### 4.2.4. Erreur de chaînette

Cette erreur n'apparaît que lorsque l'on opère en mode suspendu. Le ruban prend alors la forme d'une courbe appelée chaînette proche d'une parabole.

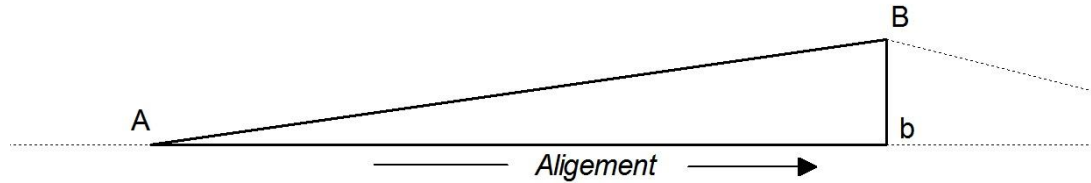


Cette erreur a pour effet de rallonger systématiquement les mesures. Par contre la valeur de l'erreur est accidentelle car elle dépend de la tension exercée sur le ruban. La distance est rallongée de :

$$e = \frac{p^2 \times l^3}{24 \times T^2}$$

avec  $p$  le poids linéaire en daN par m,  $l$  la longueur en m,  $T$  la tension en daN et  $e$  sera en m.

#### 4.2.5. Erreur d'alignement



Cette erreur provient du défaut d'alignement du ruban dans le plan horizontal, lors d'une mesure de distance entre deux points éloignés de plus d'une portée.

$$Bb^2 = AB^2 - Ab^2 = (AB - Ab) \cdot (AB + Ab)$$

La quantité  $AB + Ab$  est assimilable à  $2 \cdot AB$  car les deux valeurs  $AB$  et  $Ab$  sont très proches et la quantité  $AB - Ab$  est très petite, d'où :

$$Bb^2 = (AB - Ab) \cdot 2 \cdot AB$$

$$e = AB - Ab = \frac{Bb^2}{2 \cdot AB}$$

Sur une portée de 30 m et avec un défaut d'alignement de 0,5 m nous avons une erreur de 4 mm. Donc l'alignement n'a pas besoin d'être très précis, il suffit d'être soigneux dans sa mesure.

Comme la chaînette, cette erreur est systématique par son signe (la longueur mesurée est toujours plus grande que la valeur réelle), mais accidentelle par sa quantité.

#### 4.2.6. Erreur d'horizontalité

Cette erreur est identique à l'erreur d'alignement mais intervient cette fois dans le plan vertical.

#### 4.2.7. Erreur de lecture

Sur un ruban gradué en centimètres, une erreur de lecture peut intervenir lors de l'estime du millimètre. Cette erreur est entièrement accidentelle.

#### 4.2.8. Erreur de matérialisation des extrémités de portées

Cette erreur accidentelle est la résultante de plusieurs petites erreurs :

Le zéro du ruban n'est pas exactement sur l'origine de la distance ou de la portée.

Le marquage de la portée est erroné parce que le trait à la craie est grossier ou bien la mise en place de la fiche est légèrement déviée par la consistance du sol (caillou).