

# Mesures linéaires et angulaires

## Chapitre 3

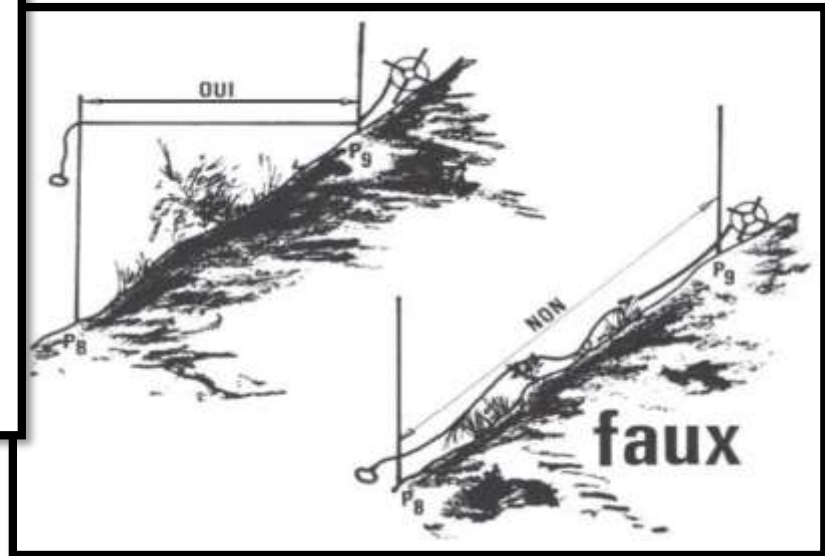
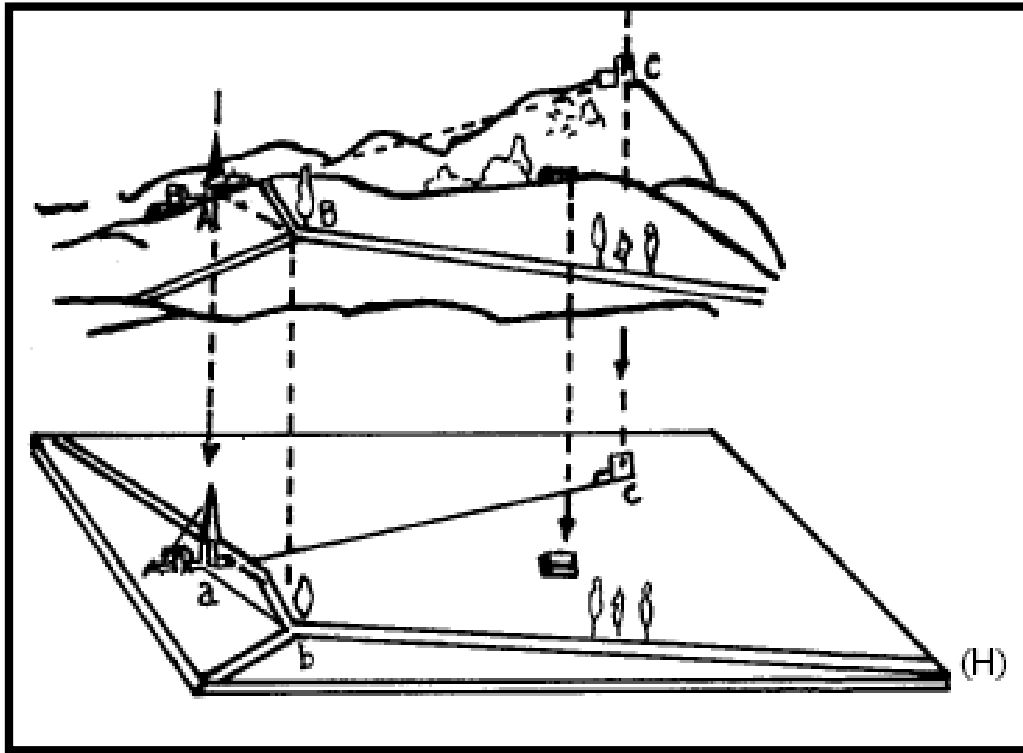
# MESURE DES DISTANCES

# IL S'AGIT DE QUOI ?...

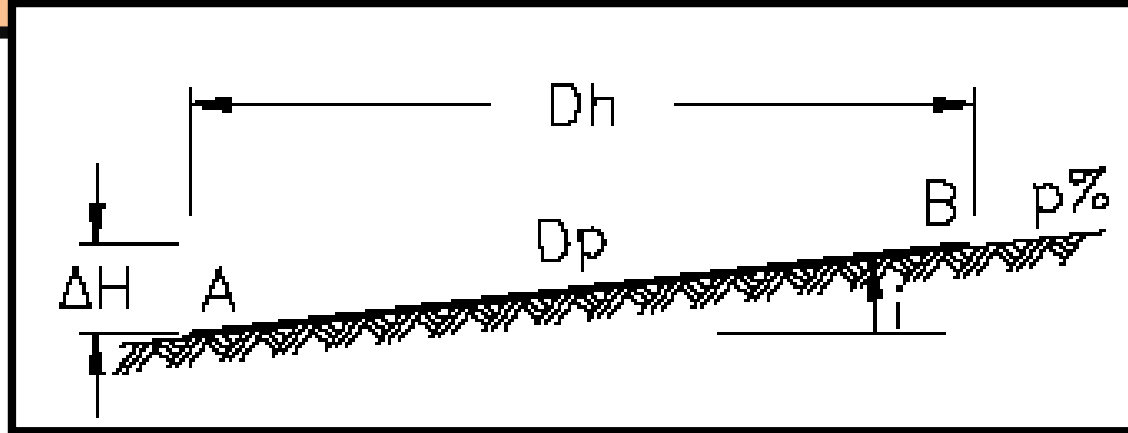
EN PLANIMÉTRIE, LE BUT À ATTEINDRE EST LA REPRÉSENTATION, PAR UN DESSIN, DE LA PROJECTION SUR UN PLAN HORIZONTAL, DE TOUS LES POINTS DU TERRAIN. IL EST DONC NÉCESSAIRE DE CONNAÎTRE LA DISTANCE SÉPARANT LES DIFFÉRENTS POINTS LES UNS DES AUTRES. CE QUE L'ON APPELLE LA **MESURE DES DISTANCES**

Alors que de tout temps on a su facilement mesurer des angles avec précision, la mesure de distances a toujours été un problème pour le topographe. La précision des méthodes classiques de mesure n'était pas homogène avec la précision des mesures angulaires : on savait dès le début du siècle lire des angles à 2,5 dmgon près (ce qui donne un écart de 0,4 mm à 100 m) mais il était très difficile d'obtenir une précision au centimètre sur des bases courtes de 100 m de long... Les mesures très précises au fil Invar demandaient beaucoup de temps et de moyens.

# LES DISTANCES (horizontale et inclinée)



# LES DISTANCES (réduction à plat) [1]



- *Distance en pente ( $D_p$ )*
- *Distance horizontale ( $D_h$ )*

**Réduction à l'horizon (par mesure indirecte)**

$$D_h = D_p \cdot \cos i \quad \text{ou} \quad D_h = \sqrt{D_p^2 - \Delta H^2}$$

**NB.** En topographie, la donnée essentielle est la **distance horizontale** entre deux points). Par conséquent, la mesure linéaire est toujours ramenée, à l'horizontale, soit par calculs, soit par la technique de mesurage.

# LES DISTANCES (réduction à plat) [2]

$$D_{o'} = \sqrt{\frac{D_i^2 - (h_b - h_a)^2}{\left[1 + \frac{h_a}{R_N}\right] \left[1 + \frac{h_b}{R_N}\right]}}$$

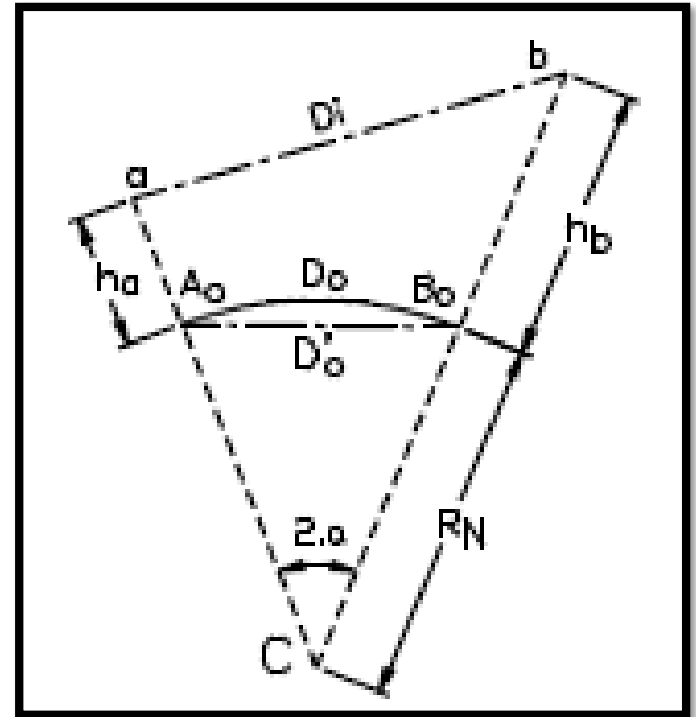
$D_i$  : distance inclinée

$H_a, h_b$  : hauteurs des points  $a$  et  $b$

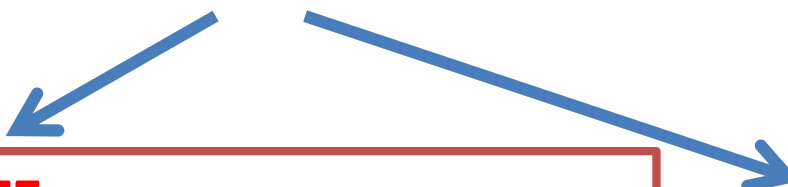
$D_o$  : distance réduite à l'ellipsoïde

$R_N$  : le rayon des sections normales à l'ellipsoïde en  $a$  et  $b$

$D_o'$  : Distance réduite à l'horizontale (corde)



# TYPES DE MESURES



### MESURE DIRECTE

*Elle s'effectue au moyen de chaînes, rubans, fils plus ou moins précis suivant la qualité des matériaux qui les composent. Suivant la précision recherchée il faudra tenir compte de diverses corrections. Dans ce cas, la mesure s'effectue de manière directe par comparaison à l'étalon ou à sa dérivée. L'**étalon** pour la mesure des longueurs est le mètre et ses multiples ou sous-multiples.*

*L'opération qui consiste à mesurer une longueur à l'aide d'un étalon s'appelle le **chaînage**.*

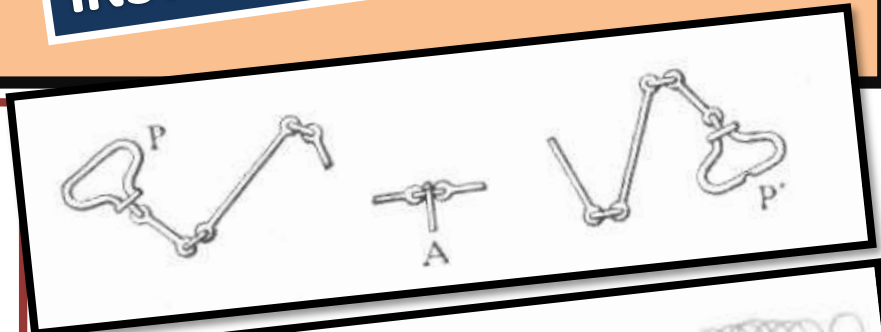
### MESURE INDIRECTE

*On peut aussi déterminer la valeur d'une distance sans la parcourir, c'est-à-dire sans se déplacer. Les mesures indirectes sont basées sur la lecture d'un angle ou du temps de retour des ondes lumineuses ou des ondes radio*

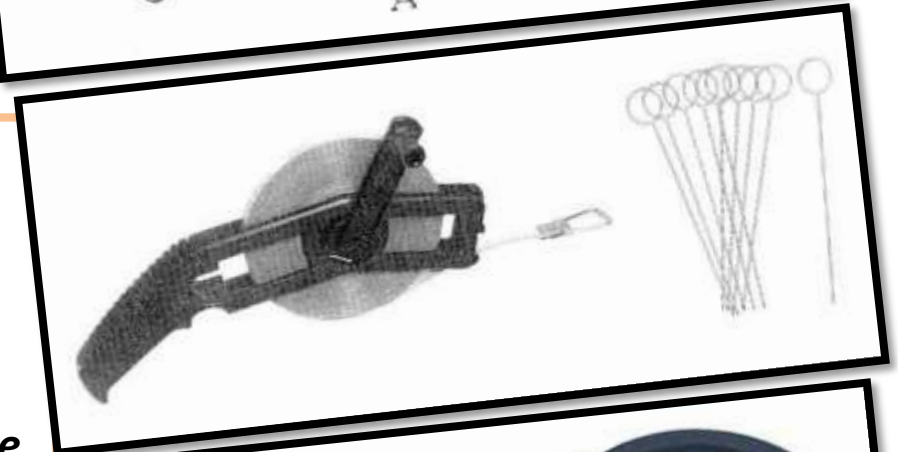
# MESURES DIRECTES

## INSTRUMENTS DE MESURE

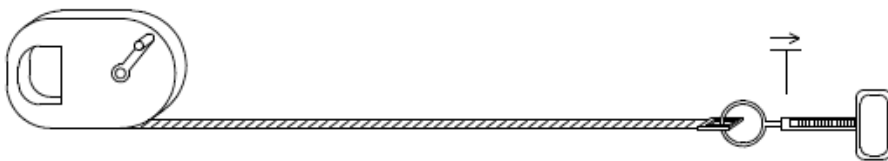
La **chaîne** était une véritable chaîne à maillons étalonnée servant à mesurer les longueurs, appelée également **chaîne d'arpenteur**



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**.



Ruban



# MESURES DIRECTES

## INSTRUMENTS DE MESURE

### **Ruban en acier**

- ❑ *Il existe une grande variété de rubans acier qui peuvent se distinguer : par la longueur 10, 20, 50, 100 m et parfois plus tel les rubans des puits de mine utilisée en mode suspendu.*
- ❑ *par l'intervalle des graduations (millimétrique – centimétrique ou décimétrique) et le type de la graduation (trous, rivets, impression gravée ou chimique ...)*
- ❑ *par la nature du métal : acier inoxydable, acier au chrome, au carbone etc. . . . on les utilise en général à plat sous tension de 5 à 10 kg assurée par un dynamomètre.*
- ❑ *Par leur précision :*
  - *Fine : pour les rubans métalliques ; elle est de 1, 5 mm pour 10 m pour laquelle l'utilisateur peut demander un certificat d'étalonnage.*
  - *Spéciale : rubans acier - carbone ; elle est de 0, 75 mm pour 10 m : ces rubans sont livrés avec un certificat d'Etalonnage.*



# MESURES DIRECTES

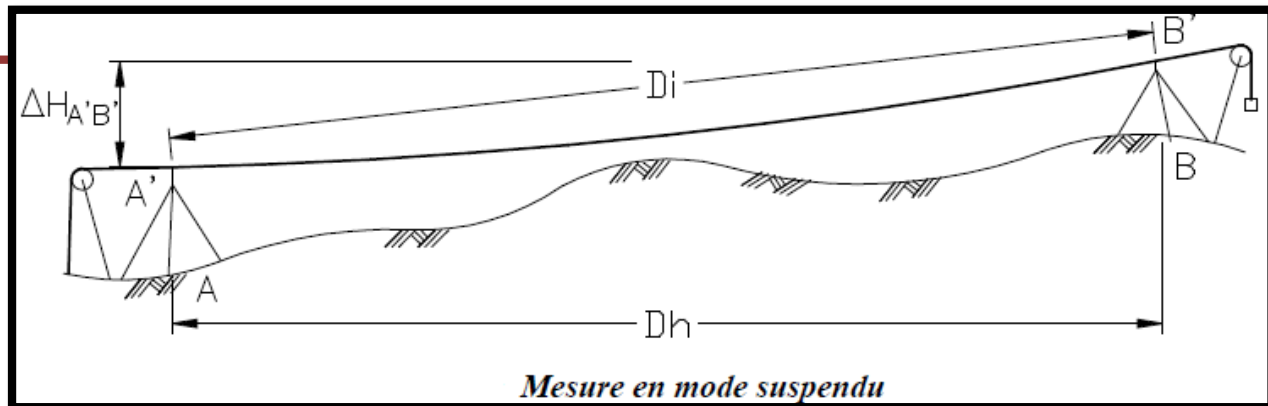
## INSTRUMENTS DE MESURE

### Ruban en toile

*Ils sont fabriqués en tissu de fibre de verre enrobé de matière plastique polyester ; ils sont imputrescibles et résistants et peu extensibles. La tension d'utilisation est de 2 kg environ. Ils sont dits de « précision courante » de 5 mm pour 10 m. Ils sont contrôlés par le fabricant, mais ne possèdent en général pas de certificat d'étalonnage.*

### Ruban (ou fils) Invar

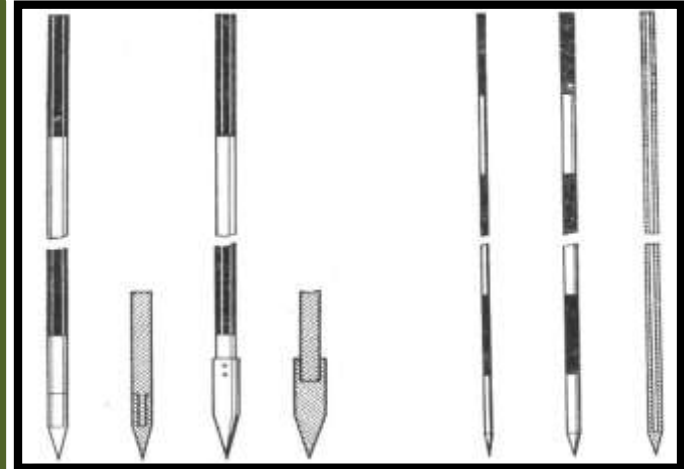
*L'Invar est un alliage de 64 % de fer, 36 % de nickel (environ) auquel sont ajoutés du chrome pour la dureté et du manganèse (étirage) et du carbone. Le coefficient de dilatation est pratiquement nul.*



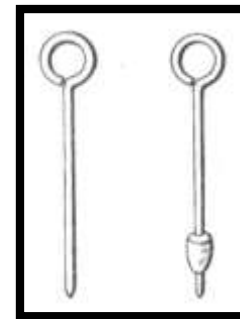
# CHAÎNAGE

## INSTRUMENTS SECONDAIRES

Les **Jalons** matérialisent une ligne formée par deux balises dans les grandes distances et marquent les différents points intermédiaires dans les distances moyennes. On parle de jalonnement d'un alignement. Leur longueur est de 1,50 à 2,50 m



Les **Fiches** sont des tiges de fer de 30 cm de longueur. Elles sont destinées à marquer les points déterminés par l'extrémité de l'instrument de mesure



### MESURE DIRECTE

### AUTRES INSTRUMENTS



**Podomètre** : c'est un appareil en forme de montre servant à compter les pas



**Odomètre** : c'est une roue qu'on pousse à l'aide d'un manche relié à un compteur

**Perche télescopique** : c'est une tige composée de plusieurs éléments qui s'emboîtent et coulissent les uns sur les autres



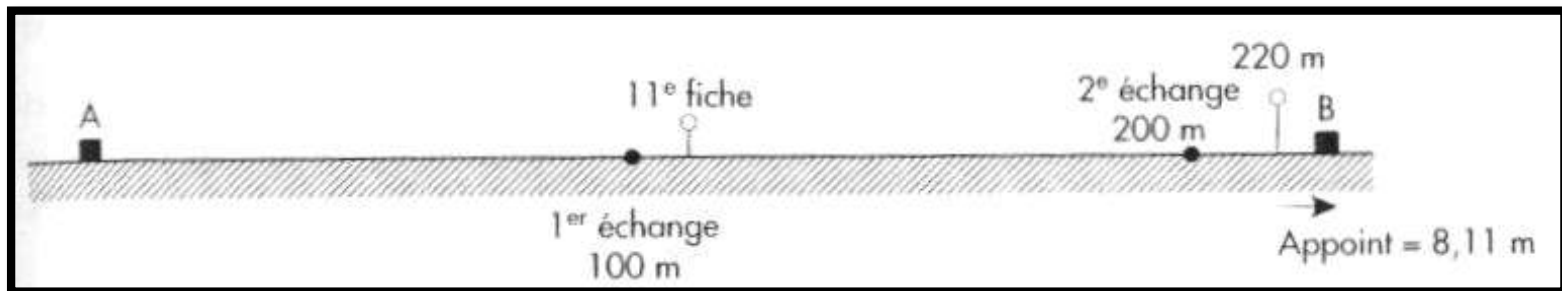
# EXÉCUTION D'UN CHÂÎNAGE

## EXEMPLE

Avec un ruban de 10 m, utiliser un jeu de 11 fiches de manière que l'échange des fiches s'effectue à 100 m =  $10 \times 10$  m, soit 10 fiches ramassées au fur et à mesure par l'opérateur arrière, la onzième restant bien entendu plantée.

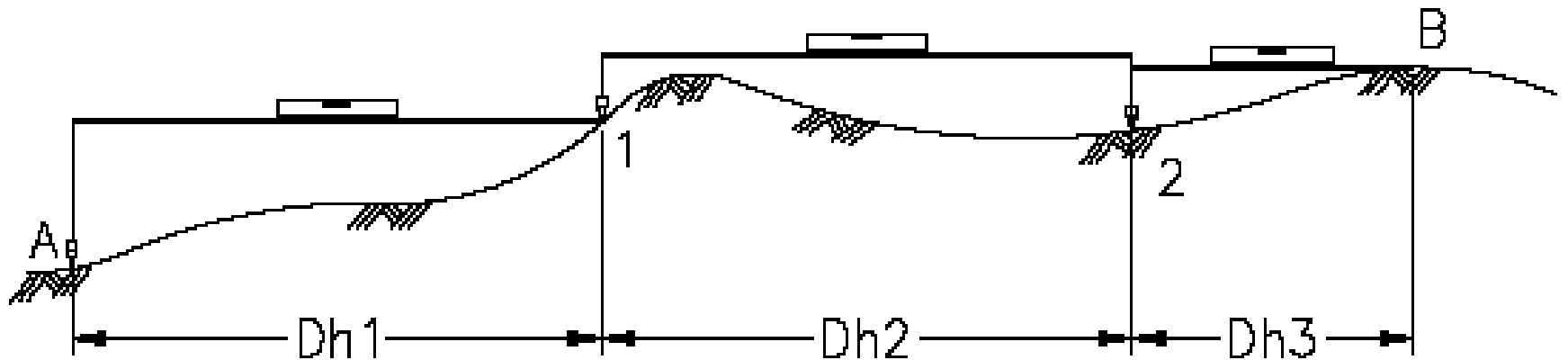
Lorsque les deux opérateurs sont arrivés à l'extrémité B, le décompte de la longueur totale mesurée est simple

$$AB = 2 \text{ échanges} + 2 \text{ fiches} + \text{appoint} = 2 \times 100 + 2 \times 10 + 8,11 = 228,11 \text{ m}$$



## EXÉCUTION D'UN CHÂÎNAGE

MESURAGE PAR **RESSAUTS SUCCESSIFS**  
(OU PAR **CULTELLATION**)

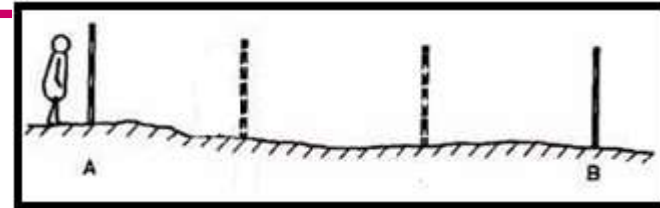


$$AB = Dh1 + Dh2 + Dh3$$

### EXÉCUTION D'UN CHÂINAGE

### JALONNEMENT SANS OBSTACLE

#### *A vue*



*L'opérateur se place à quelques mètres derrière le jalon A, vise le bord du jalon en direction de B et fait placer par un aide les jalons intermédiaires 1, 2 et 3 en commençant de préférence par le plus éloigné*

#### *Avec un théodolite*

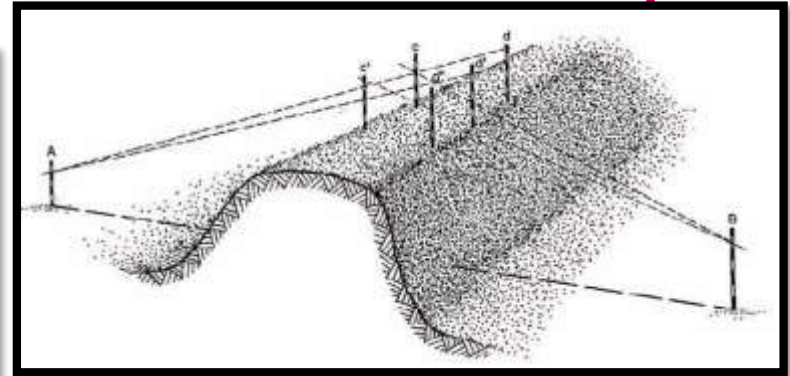
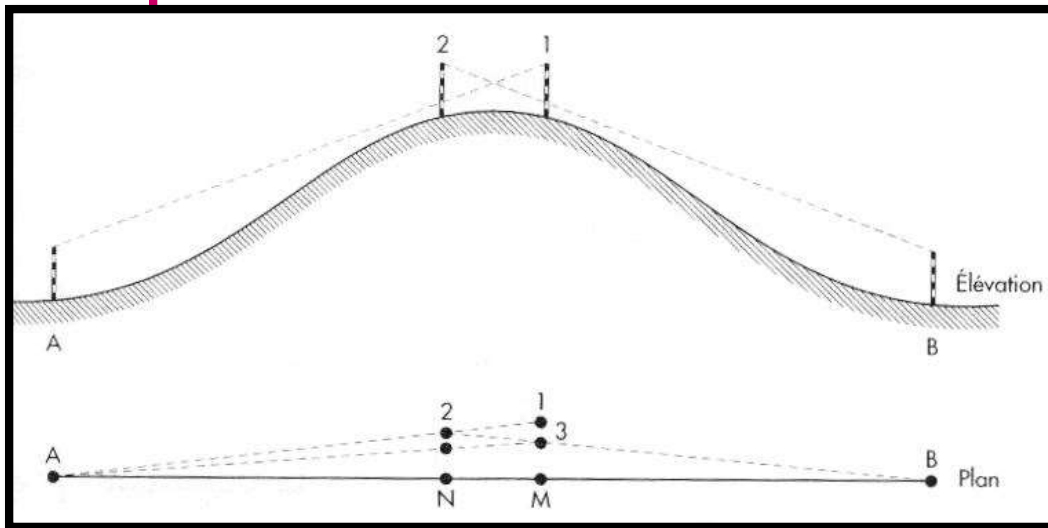


*Après avoir mis le théodolite en station au point A, viser le jalon B à son axe et le plus près possible du sol de façon à réduire l'influence du défaut de verticalité, puis faire placer par un aide les jalons intermédiaires en commençant impérativement par le plus éloigné*

### EXÉCUTION D'UN CHÂINAGE

### JALONNEMENT AVEC OBSTACLE

#### *Franchissement d'une butte*

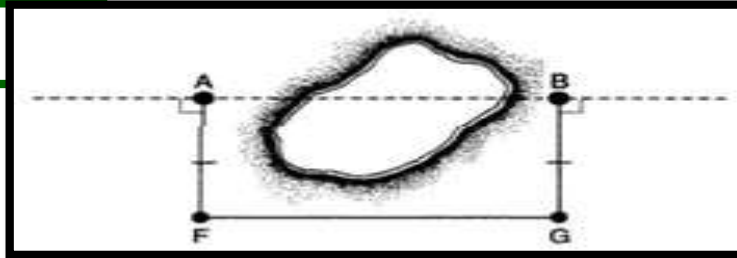


*L'opérateur se place au point 1 sur la butte de manière à apercevoir A et B, puis aligne un aide en 2 sur l'alignement 1-A.  
A son tour, l'aide aligne l'opérateur sur 2-B le jalon 1 venant en 3 et ainsi de suite, alternativement, les jalons arrivant en M et N sur l'alignement après trois ou quatre approximations*

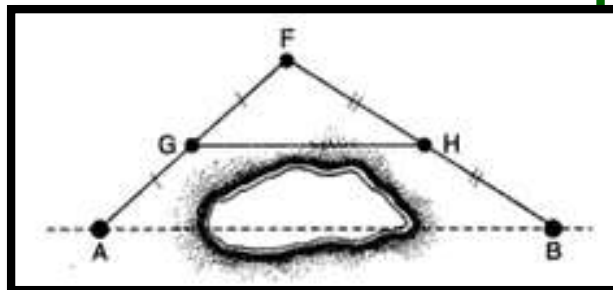
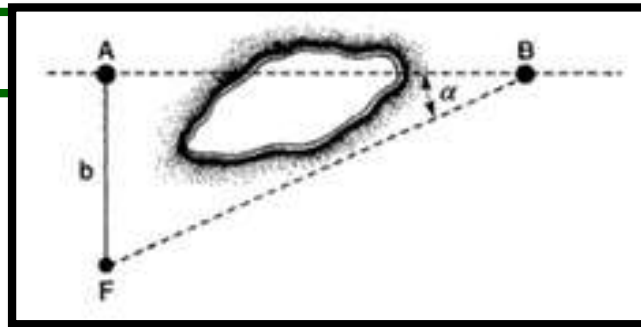
## EXÉCUTION D'UN CHÂÎNAGE

## JALONNEMENT AVEC OBSTACLE

*Droite parallèle*



*Triangle rectangle*



*Triangles semblables*

*On prend un point F à une certaine distance de l'obstacle, on mesure AF et BF, puis on en prend les milieux G et H. La distance AB cherchée est le double de GH*



### PRECISION DANS LE CHAÎNAGE

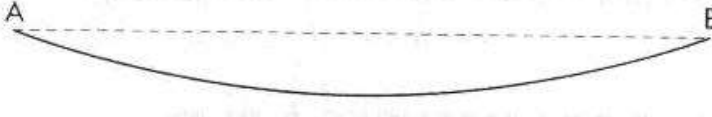
### ERREURS SYSTEMATIQUES

*Elles sont généralement constantes en grandeur et en signe, elles s'ajoutent systématiquement les unes aux autres. Une erreur systématique prise isolément peut paraître négligeable, mais peut fausser certainement un résultat, et une répétition des mesures n'améliore pas un résultat entaché d'erreurs systématiques. Elles sont dues à des défauts permanents de l'instrument de mesure ou de son emploi. On ne peut pas les éviter puisque le défaut est permanent, mais on peut les déterminer par des mesures appropriées.*

### PRECISION DANS LE CHAÎNAGE

### ERREURS SYSTEMATIQUES

On distingue :

- ❑ **L'erreur d'étalonnage** : différence entre la longueur vraie du ruban et sa valeur de principe.
- ❑ **L'erreur de dilatation** : due à la variation de la température.
- ❑ **L'erreur d'élasticité** : si le ruban est trop tendu il s'allonge
- ❑ **L'erreur de chaînette**  

- ❑ **L'erreur de l'alignement** : défaut de contact du ruban avec le plan vertical de l'alignement
- ❑ **L'erreur d'horizontalité** : défaut d'horizontalité de la corde joignant les extrémités

### PRECISION DANS LE CHAÎNAGE

### ERREURS SYSTEMATIQUES

#### *L'erreur d'étalonnage*

Différence entre la longueur vraie du ruban et sa valeur de principe. C'est la valeur à ajouter ou soustraire à l'observation (lecture) pour obtenir la vraie valeur.

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

Avec  $k_E$  : coefficient d'étalonnage

$$k_E = \frac{L_{\text{base}} - L_{\text{indiquée par le ruban}}}{L_{\text{indiquée par le ruban}}}$$

On appelle correction d'étalonnage le terme

$$C_E = k_E \cdot L_{\text{mesurée}}$$

### PRECISION DANS LE CHAÎNAGE

### ERREURS SYSTEMATIQUES

#### *L'erreur de dilatation (due à la température)*

Une variation de la température du ruban correspond à une variation de la longueur du ruban.

Un ruban est généralement étalonné à la température  $t_e = 20\text{ °C}$ . La correction de dilatation est positive si la température est supérieure à la température d'étalonnage. Cette correction est négative si la température est inférieure à la température d'étalonnage.

Le coefficient de dilatation de l'acier est  $k = 1,08 \cdot 10^{-5}\text{ °C}^{-1}$ .

On obtient donc :

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

### PRECISION DANS LE CHAÎNAGE

### ERREURS SYSTEMATIQUES

#### *L'erreur d'élasticité (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 «  $\Delta L$  » en mètre d'un ruban d'acier soumis à une tension «  $T$  »

s'exprime comme suit :

$L$  : longueur du ruban exprimée en m.

$S$  : section constante du ruban en  $\text{mm}^2$ .

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

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

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

La longueur « exacte » est alors :

$k_T$  est appelé le coefficient de tension.

$T_0$  est la tension d'étalonnage ( $\approx 5 \text{ daN}$ )

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

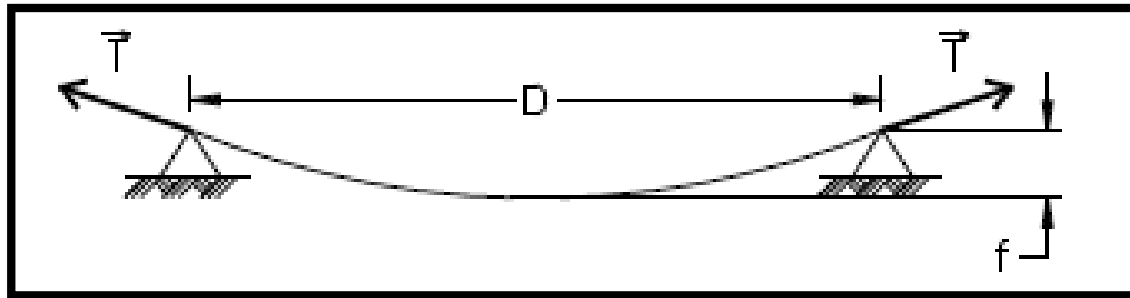
$$k_T = \frac{(T - T_0)}{ES}$$

### PRECISION DANS LE CHÂÎNAGE

### ERREURS SYSTEMATIQUES

#### *L'erreur de chaînette [1]*

Lors d'une mesure en mode suspendu, le ruban prend une forme dite de chaînette (déformation libre d'une chaîne tendue entre deux points A et B.



La flèche  $f$  de cette chaînette peut être réduite par augmentation de la tension mais ne peut pas être annulée. La correction est toujours négative.

### PRECISION DANS LE CHAÎNAGE

### ERREURS SYSTEMATIQUES

#### *L'erreur de chaînette [2]*

Elle s'exprime comme suit:

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

avec

$$k_C = - \frac{p^2 \cdot D^3}{24 \cdot L \cdot T^2}$$

T est la tension de la chaîne (daN).

D est la distance rectiligne entre les supports du ruban (m).

L est la longueur suivant le ruban c'est-à-dire  $L_{\text{mesurée}}$ .

$p$  est le poids du ruban par mètre de longueur (daN/m). Le poids volumique de l'acier étant de  $7,85 \cdot 10^3$  daN/m<sup>3</sup>, pour une section classique  $(0,2 \times 13)$  mm<sup>2</sup>, le poids linéaire est  $p = 7,85 \cdot 10^3 \times 0,2 \cdot 10^{-3} \times 13 \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10^{-3}$  daN/m.

### PRECISION DANS LE CHÂÎNAGE

### ERREURS SYSTEMATIQUES

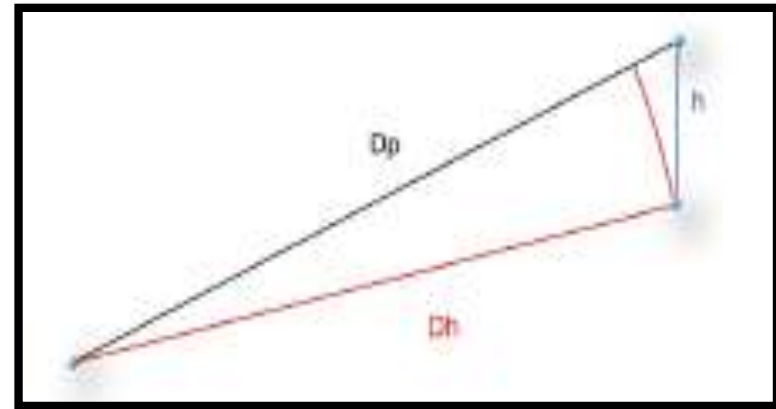
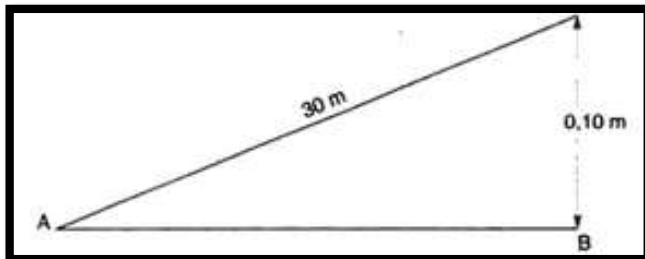
#### *L'erreur d'horizontalité et d'alignement*

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 qui est toujours

Négative :

$$C = -h^2/2D_p$$



$$C = \frac{(0,10)^2}{2 \times 30} = 0,000\,17\text{ m} \quad \text{ou} \quad 0,17\text{ mm}$$



### PRECISION DANS LE CHAÎNAGE

### ERREURS ACCIDENTELLES

*Elles sont dues à un oubli, ou à une maladresse ; elles représentent souvent un écart très grand ; et n'ont pas le même signe tantôt positif, tantôt négatif. On distingue :*

- ☐ *Erreur de matérialisation des extrémités des portées comme par exemple :*
  - *A la « descente au sol » de l'extrémité du ruban avec un fil à plomb ;*
  - *Une fiche plantée non verticale ;*
  - *Un mauvais tracé avec la pointe de la fiche sur un sol dur...*
- ☐ *Erreur de lecture, lors de l'estime du centimètre et du millimètre*
- ☐ *Erreur d'inscription des lectures sur le carnet*
- ☐ *Erreur de lecture d'appoint*
- ☐ *Erreur lors du comptage des fiches et oubli de ramassage d'une fiche*

**N.B.** *Ces fautes doivent être éliminées : un résultat non vérifié peut cacher une faute, donc il doit être rejeté. Le mesurage aller et retour élimine ces erreurs et améliore le résultat.*

### PRECISION DANS LE CHAÎNAGE

*Les rubans sont répartis en trois classes de précision : le tableau qui suit en donne les tolérances de précision fixées par une norme européenne .*

|            | 10 m                 | 20 m                 | 30 m                  | 50 m                  | 100 m                 |
|------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| CLASSE I   | $\pm 1,1 \text{ mm}$ | $\pm 2,1 \text{ mm}$ | $\pm 3,1 \text{ mm}$  | $\pm 5,1 \text{ mm}$  |                       |
| CLASSE II  | $\pm 2,3 \text{ mm}$ | $\pm 4,3 \text{ mm}$ | $\pm 6,3 \text{ mm}$  | $\pm 10,3 \text{ mm}$ | $\pm 20,3 \text{ mm}$ |
| CLASSE III | $\pm 4,6 \text{ mm}$ | $\pm 8,6 \text{ mm}$ | $\pm 12,6 \text{ mm}$ | $\pm 20,6 \text{ mm}$ |                       |

*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  $\pm 10,3 / 2,7 = \pm 3,8 \text{ mm}$ .*

### MESURE INDIRECTE

### MESURAGE OPTIQUE

*La mesure optique, désormais peu utilisée, est une mesure indirecte, la distance cherchée étant calculée à partir de mesures auxiliaires et n'étant pas parcourue par l'opérateur muni d'un étalon*

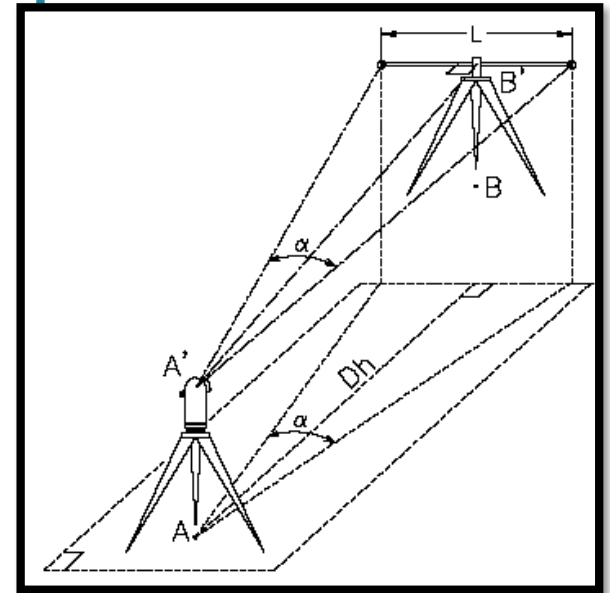
#### Méthode parallactique : (cas de la stadia)

*Ce type de mesure parallactique nécessite l'emploi d'un théodolite et d'une stadia. Une stadia est une règle comportant deux voyants (triangulaires ou circulaires) dont l'écartement est connu (généralement 2 m). Ce procédé donne des distances directement réduites à l'horizon : **il est dit autoréducteur***

$$\cotan(\alpha / 2) = Dh / (L / 2)$$

$$\Rightarrow Dh = (L / 2) \times \cotan(\alpha / 2)$$

$$L = C^{te} = 2 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad Dh = \cotan(\alpha / 2)$$



### MESURE INDIRECTE

### MESURAGE OPTIQUE

#### Méthode cliséométrique

#### Mesure par variation de pente

Si  $p_1$  est la pente de  $Tl_1$  et  $p_2$   
la pente de  $Tl_2$  alors :  $p_1 = \tan \alpha_1$

$$\text{et } p_2 = \tan \alpha_2$$

On a aussi :  $l_2 - l_0 = p_2 \times Dh$

—  $l_1 - l_0 = p_1 \times Dh$

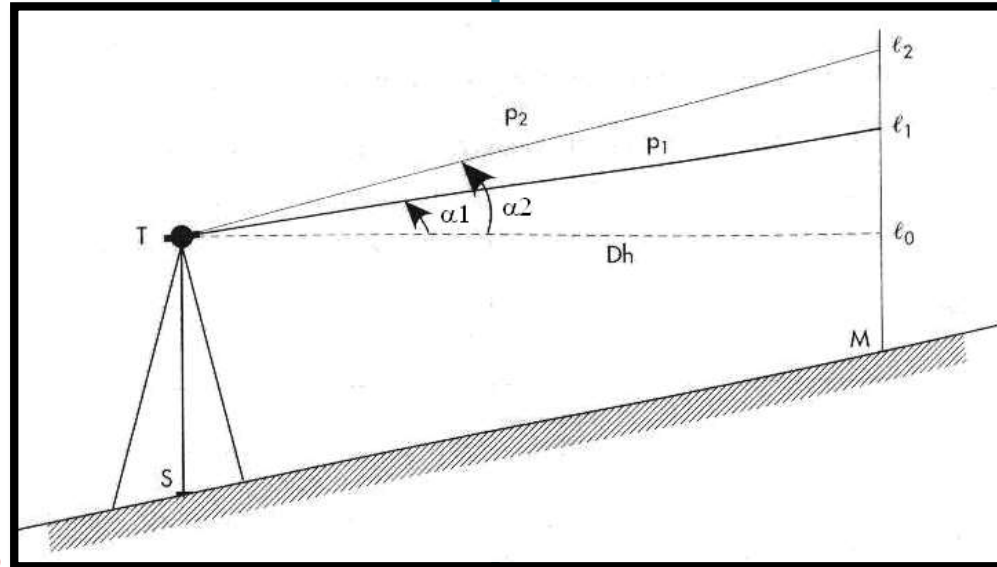
$$l_2 - l_1 = (p_2 - p_1) \times Dh$$

d'où :  $Dh = l_2 - l_1 / (p_2 - p_1)$

N. B. Si par le dispositif de construction de l'appareil on a :

$p_2 - p_1 = 1 / 100$ , alors :  $Dh = 100 \times (l_2 - l_1)$

Donc la distance est automatiquement réduite à l'horizon  $\Rightarrow$   
principe autoréducteur.



# MESURE INDIRECTE

# MESURAGE OPTIQUE

## Mesure stadimétrique

### Stadimètre à angle constant (cas du niveau)

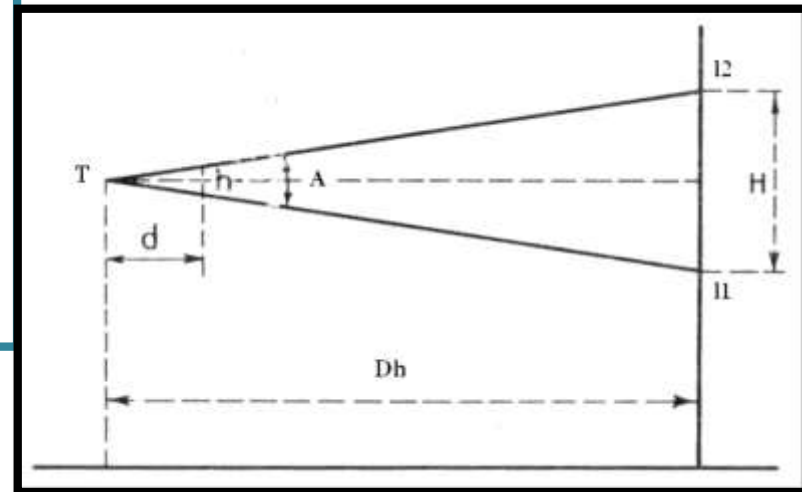
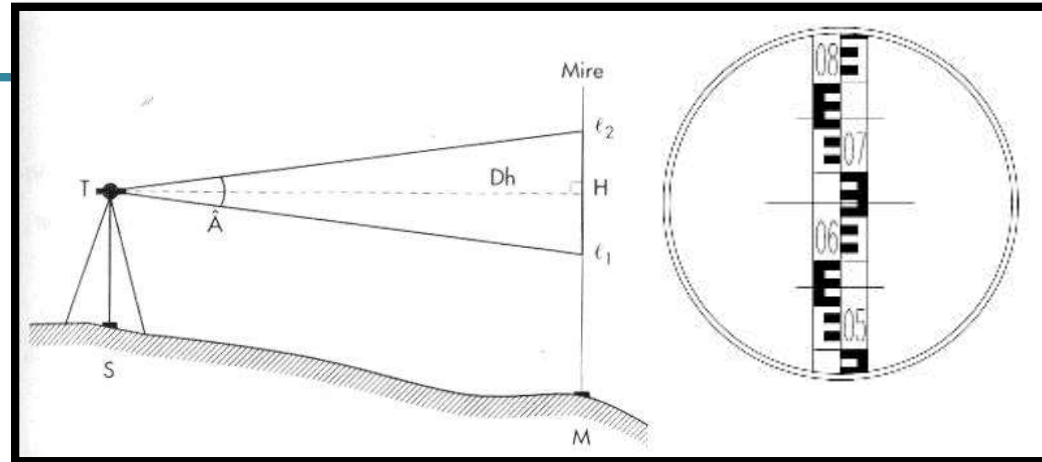
La relation des triangles semblables (théorème de Thalès) nous donne :

$$H / h = Dh / d \Rightarrow Dh = H \times (d / h)$$

$k = d / h$  est la constante stadimétrique et est, pour des raisons de commodité, calculée une fois pour toutes, d'où :

$$Dh = H \times k$$

Dans le cas du niveau WILD NK01, la constante stadimétrique est de 100



### MESURE INDIRECTE

### MESURAGE OPTIQUE

#### Mesure stadimétrique

##### Stadimètre à angle variable

$i$  : angle de site.

$V$  : angle vertical ou angle zénithal.

La quasi-totalité des lunettes stadimétriques ont, pour des raisons de commodité, un rapport stadimétrique égal à 100 on a alors :

$$Dd = \frac{1}{2 \tan \frac{A}{2}} \times mn$$

$$Dd = 100 \times mn$$

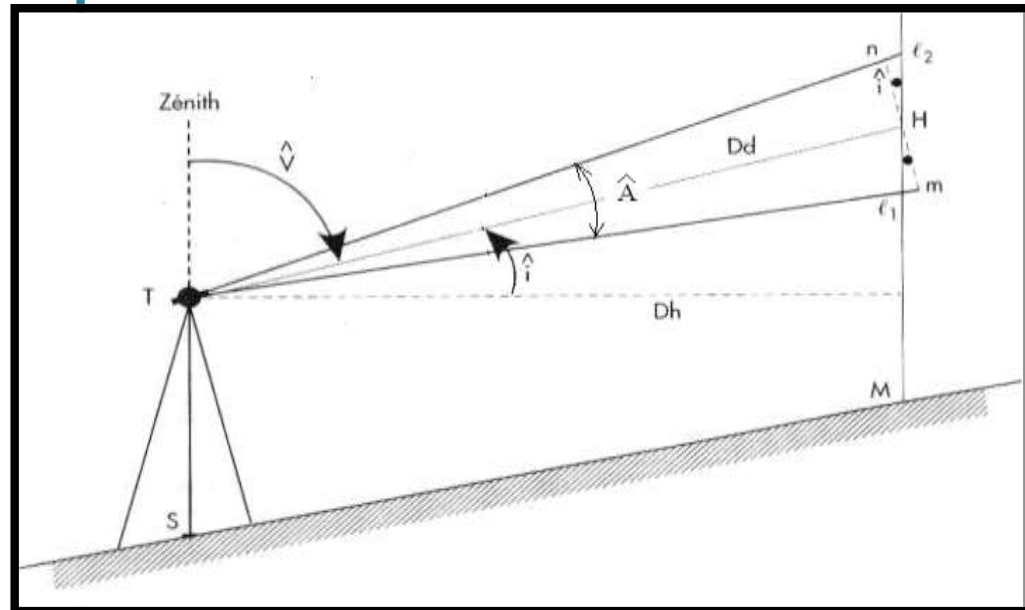
$$mn = H \times \cos i$$

$$\Rightarrow Dd = 100 \times H \times \cos i$$

La longueur  $Dd$  réduite à l'horizon est :

$$Dh = Dd \times \cos i$$

$$Dh = 100 \times H \times \cos^2 i$$



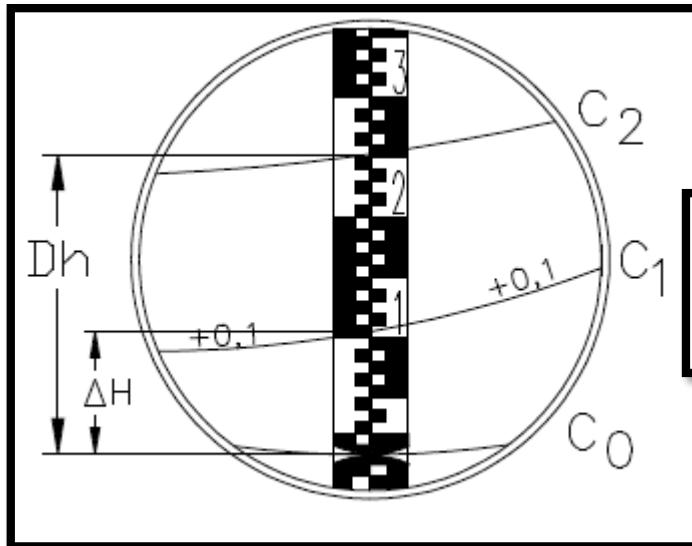
### MESURE INDIRECTE

### MESURAGE OPTIQUE

$$Dh = 100 \times (I_2 - I_1) \times \cos^2 i$$

Dans ce cas l'appareil est dit **non réducteur**.

Si par le dispositif de construction de l'appareil la constante stadimétrique inclus le  $\cos^2 i$ , alors la distance est automatiquement réduite à l'horizon et l'appareil est dit **autoréducteur**



$$Dh = 100 \times 2,53 \text{ dm}$$
$$\text{soit : } 25,30 \text{ m} \pm 11 \text{ cm}$$

### MESURE INDIRECTE

### DISTANCOMETRE

*Les mesures de distances électroniques datent de la 2ème guerre mondiale avec l'apparition des RADARS. Les premiers distance-mètres à usage géodésique apparaissent aux environs de 1960 (Géodimètre - Telluromètre), ils permettent de mesurer des distances de plusieurs dizaines de km quasi instantanément, alors qu'elles auraient nécessité auparavant plusieurs mois à plusieurs personnes (bases mesurées au fil invar).*

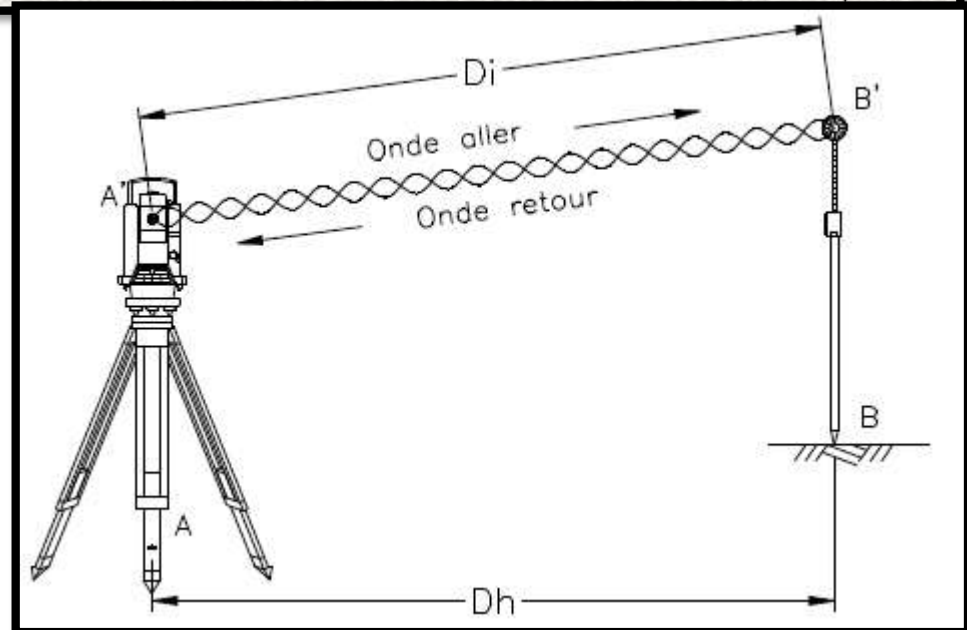
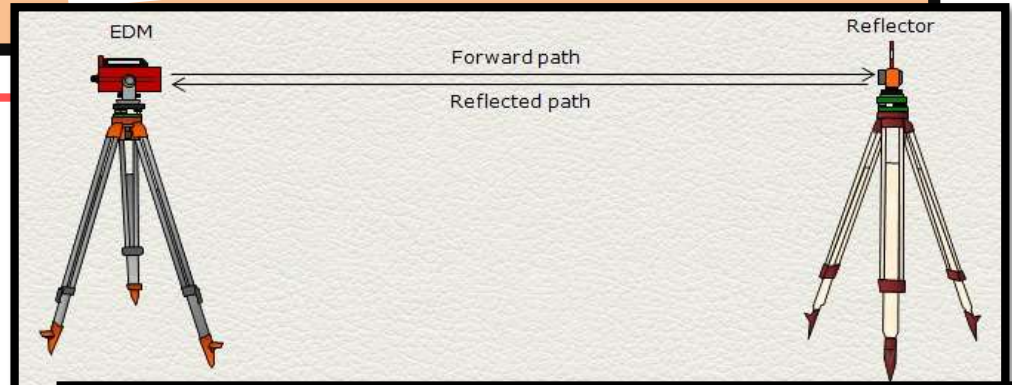
*Un **IMEL** (**Instrument de Mesure Électronique des Longueurs**) ou **EDM** (**Electronic Distance Measurement**) ou **distancemètre** ou **télémètre...**, est un appareil qui fonctionne par émission d'une onde (les ondes magnétiques, les ondes radio et les ondes lumineuses) et qui permet la mesure du déphasage de l'écho de cette onde renvoyée par un réflecteur*



### MESURE INDIRECTE

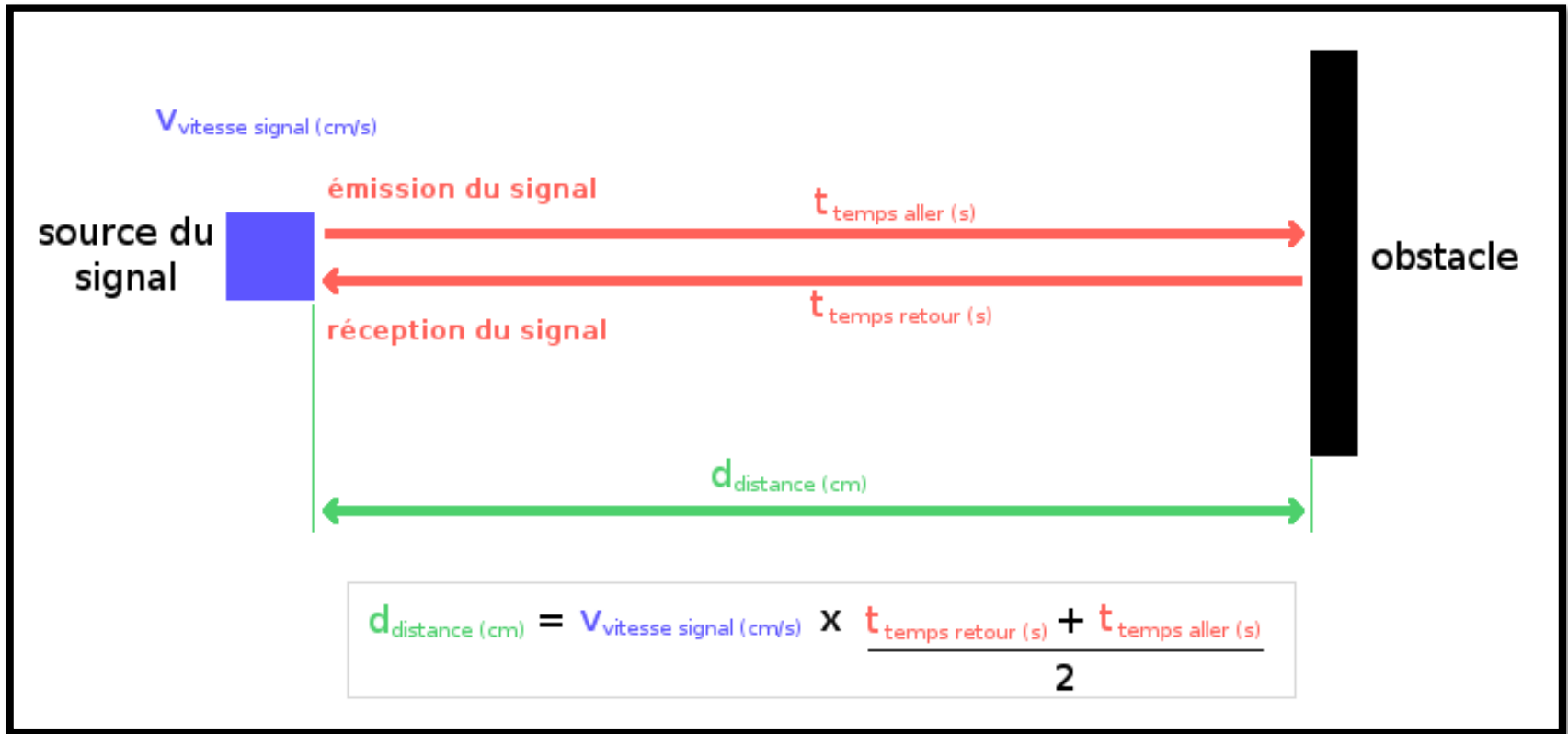
### DISTANCEMETRE

*Les ondes se propagent en ligne droite à vitesse finie et constante. Ces propriétés permettent la mesure des distances, une onde émise qui parcourt aller-retour une distance directe revient au point d'émission en présentant un retard fonction de la longueur du trajet. Un instrument de mesure électronique des distances est donc un appareil qui produit un train d'ondes, le projette sur un réflecteur, analyse l'écho et convertit le retard de l'onde reçue en une distance*



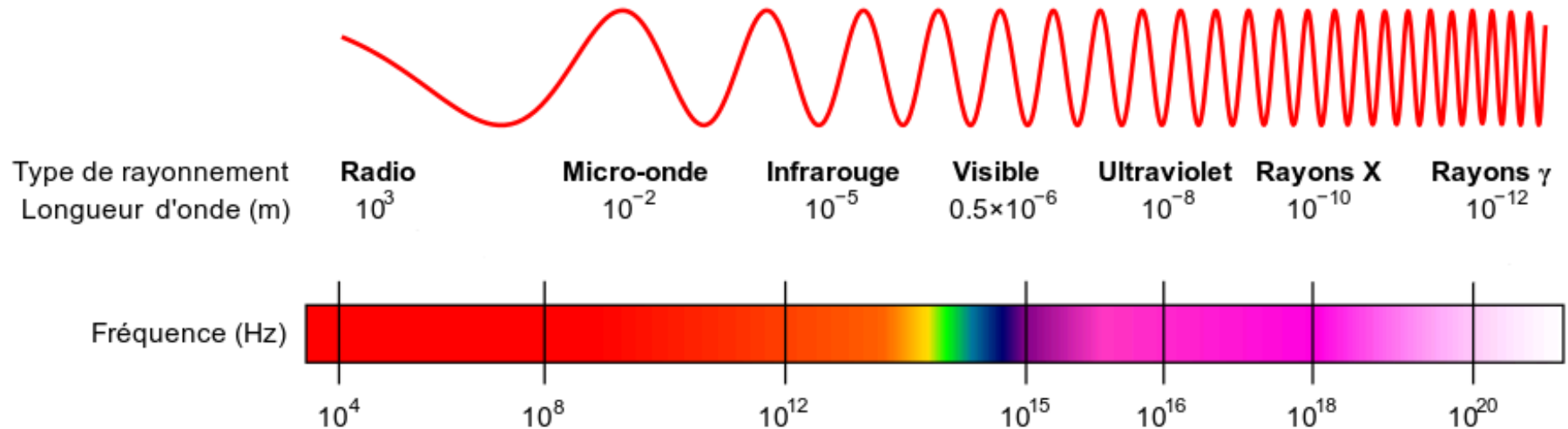
# MESURE INDIRECTE

# DISTANCEMETRE



# DISTANCEMETRE

## Ondes électromagnétiques



### MESURE INDIRECTE

### DISTANCEMETRE

#### *Propriétés de la propagation des ondes*

La **fréquence**, notée  $f$ , et la **vitesse de propagation d'une onde dans le vide**, notée  $c$  pour **célérité**, sont constantes entre le point d'émission et le point de réception. La **longueur d'onde** est notée  $\lambda$ . Ces termes sont liés par la relation

$$c = \lambda \cdot f$$

Dans le vide, la vitesse de propagation d'une onde électromagnétique est de  $c_{\text{vide}} = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;

Le rapport entre la vitesse de propagation d'une onde dans l'atmosphère, notée  $V$ , et sa vitesse dans le vide est appelé **indice de réfraction**, noté  $i_r$ , de cette onde de fréquence  $f$  ; on a  $i_r = c / V$ .

**L'indice de réfraction de l'atmosphère est déterminé expérimentalement**

et a pour valeur approximative  $i_r = 1,0003$  dans des conditions normales de température et de pression.

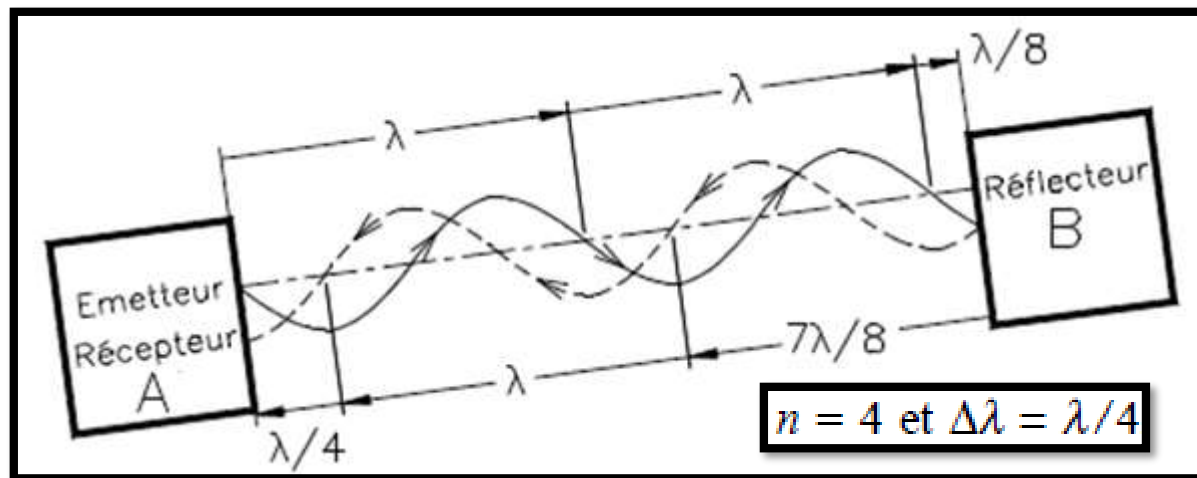
**Quelle est la longueur d'onde si la fréquence et l'indice de réfraction du milieu sont respectivement de  $10^7 \text{ Hz}$  et de  $1,00037$ .**

### MESURE INDIRECTE

### DISTANCEMETRE

Le signal émis par l'IMEL est une série d'ondes sinusoïdales dont la **longueur d'onde  $\lambda$**  correspond à la distance rectiligne parcourue par l'onde pendant un temps  $T$  appelé **période** :  $T = \frac{1}{f} = \frac{\lambda}{c_{\text{air}}}$

Entre l'émetteur et le récepteur (par l'intermédiaire du réflecteur), il existe un nombre entier  $n$  de longueurs d'onde plus une fraction  $\Delta\lambda$  de longueur d'onde



$$D_{AB} = \frac{1}{2} (n\lambda + \Delta\lambda)$$

### MESURE INDIRECTE

### DISTANCOMETRE

Le problème consiste à présent de compter le nombre entier  ***$n$  de longueurs d'onde*** nécessaire au parcours aller-retour. *On appelle cela une **ambiguïté sur la distance**.*

L'ambiguïté peut être levée par l'utilisation de **fréquences multiples**

|               |                          |                               |        |                     |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|--------|---------------------|
| Par exemple : | fréquence de base        | $\lambda = 20 \text{ m}$      | mesure | 1,45 m              |
|               | 2 <sup>e</sup> fréquence | $\lambda = 200 \text{ m}$     | mesure | 21,4 ..m            |
|               | 3 <sup>e</sup> fréquence | $\lambda = 2\,000 \text{ m}$  | mesure | 321.....m           |
|               | 4 <sup>e</sup> fréquence | $\lambda = 20\,000 \text{ m}$ | mesure | <u>6 320 .....m</u> |

La lecture finale est composée de toutes les lectures sur chaque fréquence : 6 321,45 m.

# DISTANCEMETRE

## Phénomènes parasites

### Erreurs dues au système de mesure

L'émetteur et le système de mesure de phase induisent deux types d'erreur :

1. une erreur **cyclique, qui reprend périodiquement la même valeur** . Elle est due à des défauts d'isolation entre la zone d'émission et de réception;
2. une erreur proportionnelle due à un **défaut de fréquence de l'émetteur**.

Un décalage de fréquence de  $\Delta f$  entraîne une erreur  $\Delta D$  sur la distance, soit  $D \approx K \cdot \lambda$

donc  $\Delta D = -D \Delta f / f$  (L'erreur est proportionnelle à la distance mesurée)

Ces deux erreurs impliquent des calibrages réguliers de l'émetteur et du système de mesure de phase.

# DISTANCEMETRE

## Phénomènes parasites

### Densité de l'atmosphère

*La propagation d'une onde électromagnétique est gênée par les molécules de l'atmosphère : plus le milieu traversé est dense, plus l'indice de réfraction du milieu augmente et plus l'onde est ralentie. Cela influe donc **sur le déphasage qui est faussé** puisque la distance mesurée augmente si la vitesse de propagation diminue. L'indice de réfraction est fortement dépendant de la température et de la pression, mais indépendant de l'humidité pour des ondes lumineuses. Pour des ondes centimétriques, l'humidité est à prendre en compte.*

La mesure directe de la distance inclinée  $D_i$  **doit donc subir une correction atmosphérique** qui peut être faite de trois manières différentes :

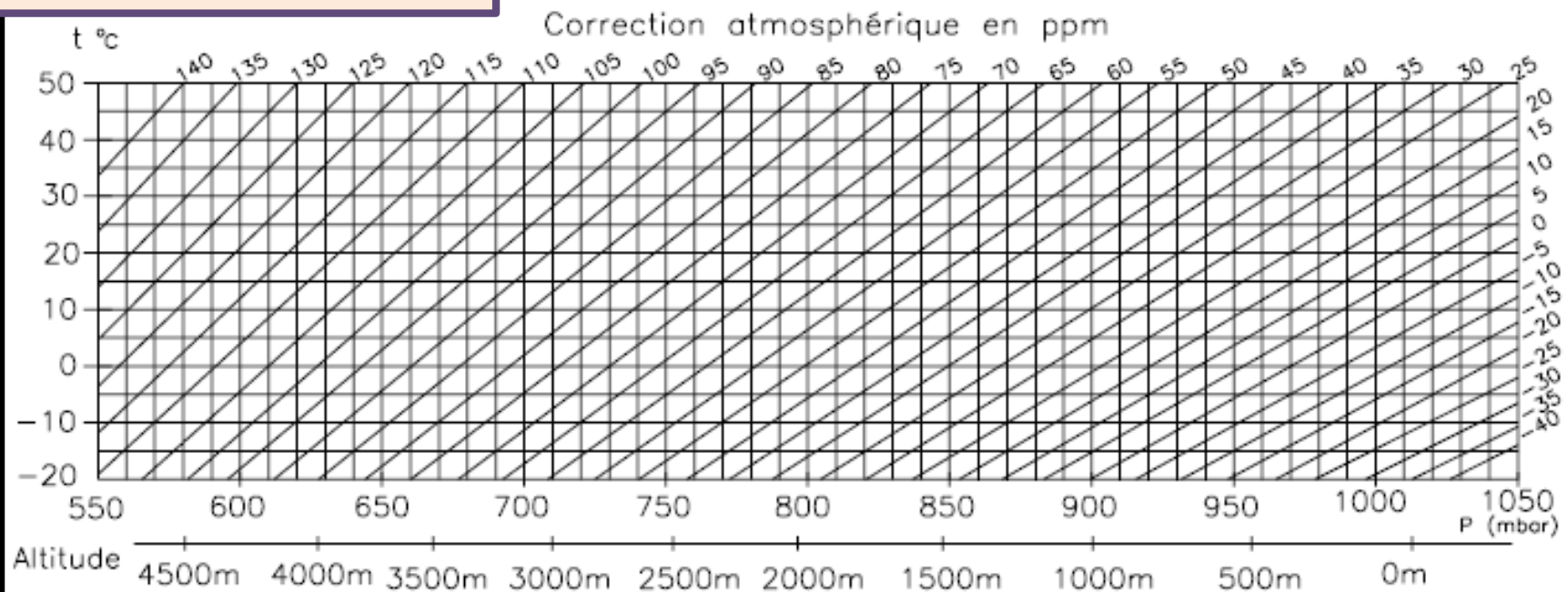
1. **Automatiquement** par l'appareil en entrant la température et la pression sur le lieu de mesure. Ce dernier affiche directement la valeur corrigée.
2. **Semi-automatiquement** en entrant dans l'appareil une correction en ppm correspondant à l'erreur commise sur la distance.
3. **Manuellement** : La correction peut aussi être lue sur un abaque fourni par le constructeur dans la documentation technique de l'appareil.



# DISTANCEMETRE

## Phénomènes parasites

### Densité de l'atmosphère



*Abaque de détermination des ppm pour le distancemètre Wild DI4L*

# DISTANCEMETRE

## Phénomènes parasites

### Absorption de l'atmosphère

L'inertie de l'atmosphère crée un phénomène d'absorption qui tend à diminuer l'amplitude de l'onde émise, c'est-à-dire que l'énergie de l'onde est consommée par la mise en mouvement ondulatoire des molécules de l'atmosphère. Ce phénomène n'influe pas sur le déphasage ; il ne fausse donc pas les mesures mais il **limite simplement la portée des visées**.

### Dispersion du faisceau lumineux

La source d'émission de l'onde n'étant ni strictement ponctuelle ni parfaitement focalisée, Le faisceau émergent est de **forme conique centré sur l'axe de l'IMEL**. La **tache** lumineuse envoyée par ce dernier augmente donc au fur et à mesure de la distance parcourue par l'onde. Cela crée une dispersion de l'énergie puisque seule une partie de l'onde émise frappe le réflecteur et limite ainsi la portée de l'appareil. Sur de grandes portées, on utilise des réflecteurs à plusieurs miroirs juxtaposés.

### Trajet de l'onde

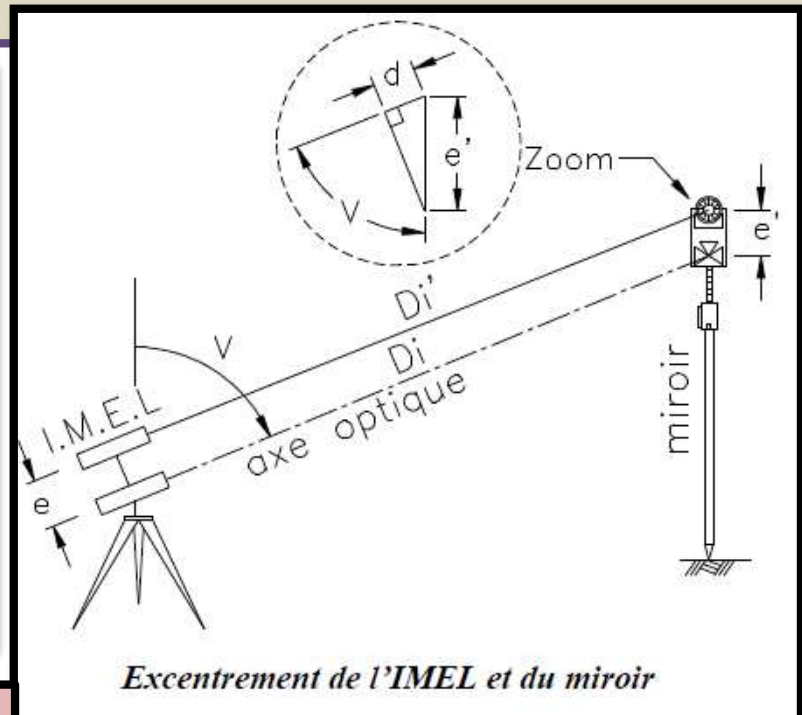
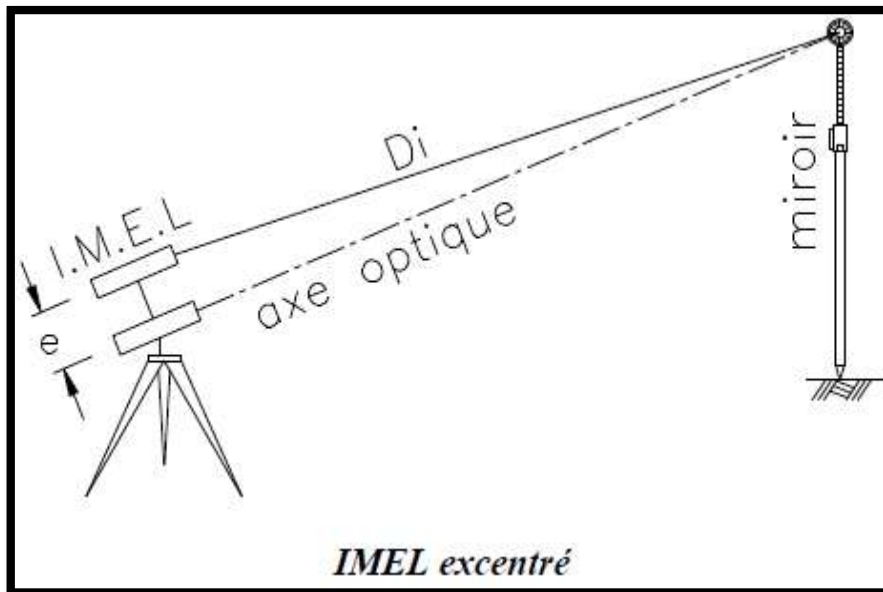
La distance inclinée mesurée par l'appareil doit subir les corrections dues à la sphéricité terrestre, à la réfraction atmosphérique et aux réflexions parasites de l'onde.

# DISTANCEMETRE

## Phénomènes parasites

### Excentrement de l'IMEL

L'émetteur peut être décalé de l'axe optique de l'appareil, ce qui entraîne une erreur d'excentrement qu'il est possible de chiffrer. Si l'IMEL est excentré de  $e$  par rapport à l'axe de l'appareil, le miroir doit aussi être excentré de  $e$  par rapport à la cible de façon que le rayon lumineux envoyé par l'IMEL frappe directement le centre du miroir lorsque l'opérateur vise le centre de la cible.



# MESURE INDIRECTE

# DISTANCOMETRE



*Prisme*



# MESURE INDIRECTE

## DISTANCEMETRE



Tachéomètre



Scanner-Laser



## MESURE INDIRECTE

## DISTANCEMETRE



# MESURE INDIRECTE

# DISTANCEMETRE



### Applications [1]

#### Application 1 *Précision dans le chaînage*

Calculez la valeur exacte de la mesure suivante effectuée en mode suspendu en terrain horizontal, avec un ruban en acier de classe I de  $2,6 \text{ mm}^2$  de section, de longueur 50 m

$L_{\text{mesurée}} = 365,145 \text{ m}$ . La température du ruban est mesurée à  $28^\circ\text{C}$  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 horizontales et alignées). Le ruban a été étalonné au préalable dans les conditions suivantes :  $T_0 = 4,5 \text{ daN}$ ,  $t_e = 20^\circ\text{C}$ . On a mesuré l'indication du ruban sur une base connue de 50 m, soit 49,986 m.



### Applications [2]

#### Application 2 *Mesure stadimétrique à angle constant*

Afin de mesurer une distance entre deux points A et B, nous disposons d'un niveau dont la constante stadimétrique est de 100, et d'une mire. On stationne sur A et on fait les lectures suivantes en B :

$$FI = 2133 \text{ mm},$$

$$FS = 2587 \text{ mm}.$$

- 1) *Comment appelle-t-on ce procédé de mesure des distances ?*
- 2) *Calculez la distance entre A et B et dire de quelle distance s'agit-il ?*
- 3) *Si on possédait une chaîne, quelle serait la méthode la plus précise pour mesurer la distance entre A et B : l'utilisation du niveau et la mire ou la chaîne ?*

#### Application 3 *Mesure parallactique*

A l'aide d'un théodolite stationné au point A, on vise les extrémités d'une stadia de 2,0 m se trouvant au point B et on a fait les lectures angulaires suivantes :

$$Az_1 = 123,258 \text{ gr}, \quad Az_2 = 124.538 \text{ gr}.$$

- 1) *De quel type de Mesure s'agit-il ?*
- 2) *Quelle est la distance entre A et B ?*

### Applications [3]

#### Application 4 *Réduction de la distance à l'horizontale*

Quelle est la distance horizontale, ramenée au niveau moyen de la mer, entre deux points, si la valeur qu'on obtient d'un distancemètre est de 6357,70 m, l'altitude du point A, de 108,00 m et l'altitude du point B, de 590,00 m? (on peut considérer la terre comme une sphère dont le rayon est de 6371 km)

#### Application 5 *Réduction de la distance à l'horizontale*

En mesurant une distance avec un distancemètre, on obtient la valeur de 280,65 m. Si le réflecteur est placé à 6 cm au dessus de la cible et que l'angle vertical est de 20,551 gr, quelle est la distance horizontale?