

“

# Chapitre 2

”

## Mesure de distances

# Introduction

La mesure des distances est conditionnée par le degré de précision cherché qui lui-même varie selon la nature des travaux à réaliser. On distingue ainsi deux méthodes :

- ✓ **Mesures directes des distances** : Une mesure est appelée **directe** lorsqu'on parcourt la ligne à mesurer en appliquant bout à bout un certain nombre de fois un étalon de mesure. L'étalon peut être rigide comme une règle ou souple comme un ruban.
- ✓ **Mesures indirectes des distances** : Une mesure est **indirecte** lorsqu'on l'obtient sans avoir à parcourir la longueur à mesurer en comptant le nombre de fois qu'elle contient la longueur étalon. On utilise les procédés stadimétriques parallaxiques.
- ✓ **Mesures graphique des distance** : Lorsqu'il s'agit d'une longueur comprise entre deux points préalablement et parfaitement déterminés (exemple : planchette) ou par le calcul (coordonnées rectangulaires des extrémités).

# MESURE DIRECTE DES DISTANCES

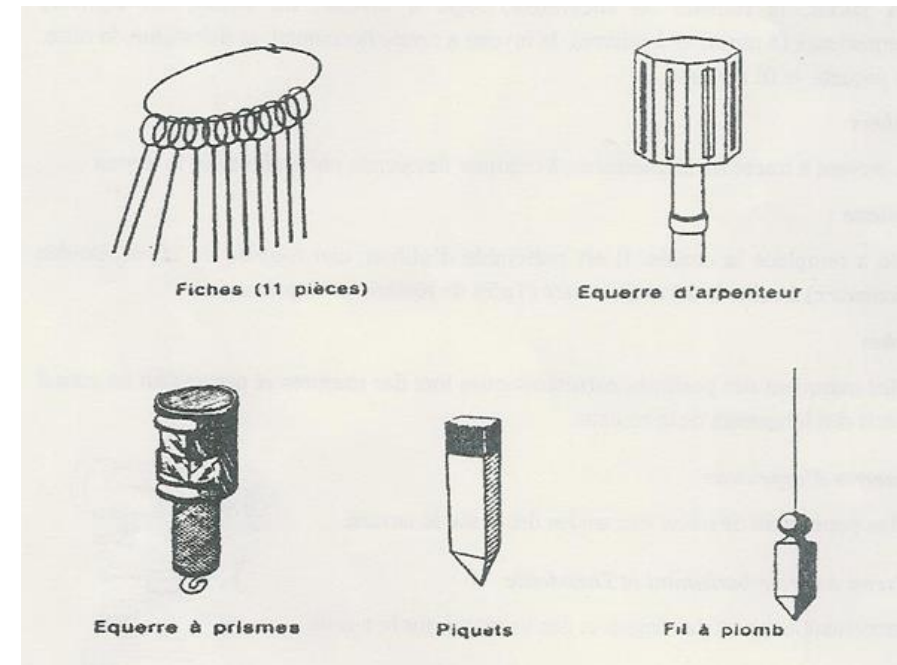
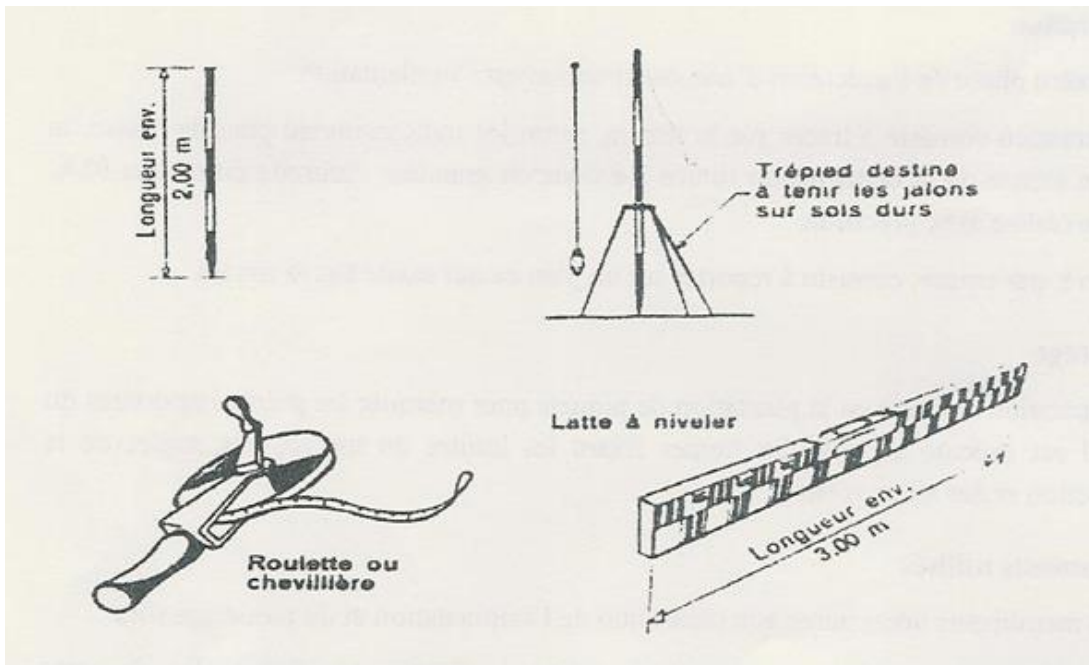
Pour exécuter la mesure directe d'une distance, il existe plusieurs méthodes rapides et approximatives et d'autres rapides et précises:

- ▶ **le compteur kilométrique** : c'est un moyen permettant d'avoir rapidement et approximativement la distance entre deux points, mais cette distance est suivant le chemin parcouru et non horizontale. Il est utilisé surtout pour les travaux de reconnaissance.
- ▶ **Mesure au pas**: c'est une méthode approximative pour évaluer des distances courtes et pour vérifier grossièrement le chaînage en cas de fautes. Ce procédé est valable sur un terrain relativement plat et dégagé
- ▶ **Mesure à la roue de reconnaissance**: connaissant le rayon  $R$  de la roue et marquant un point de départ, on peut mesurer une distance entre deux points quelconques en comptant le nombre de tours de la roue

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

# MESURE DIRECTE DES DISTANCES

Les instruments ou procédés utilisés pour la mesure directe des distances sont :



# MESURE DIRECTE DES DISTANCES

Les instruments ou procédés utilisés pour la mesure directe des distances sont :

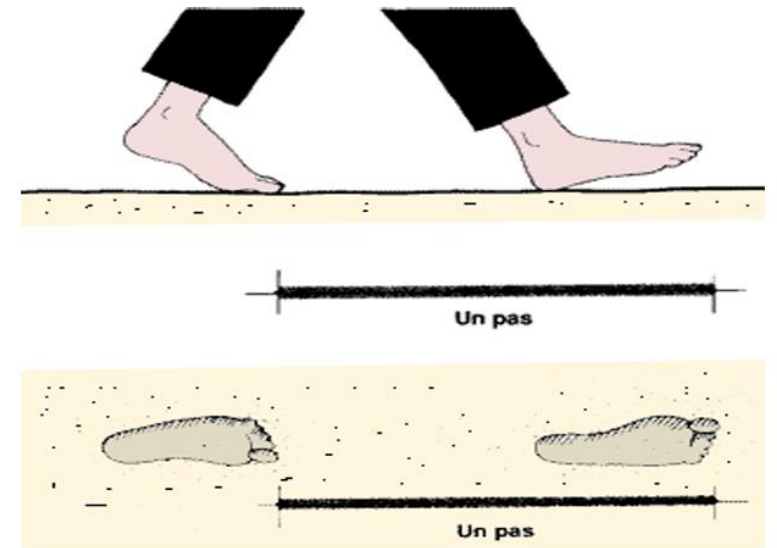
**Le mètre ou double mètre** : est un ruban métallique enroulé dans un boîtier. D'un maintien aisé, il est utilisé pour la mesure de détails



# MESURE DIRECTE DES DISTANCES

Les instruments ou procédés utilisés pour la mesure directe des distances sont :

**Le pas ou double pas :** est une méthode qui permet de mesurer rapidement les dimensions de certains détails pour les levés à petite échelle. Elle permet également de vérifier si une erreur importante n'a pas été commise sur la mesure d'une distance.



# Les instruments de mesures

## ► Les instruments de mesures

Les instruments ou procédés utilisés pour la mesure directe des distances sont :

**La chaîne d'arpenteur** : présente de nombreux inconvénients (maillons de fil de fer, reliés entre eux par des anneaux) et est actuellement abandonnée



# Les instruments de mesures

Les instruments ou procédés utilisés pour la mesure directe des distances sont :

**Le ruban** : est en acier ou en inox, de longueur 10, 20, 30, ou 50 m. Il est bien adapté pour tous les travaux topométriques.

**Le fil à plomb** : est employé pour projeter au sol les points mesurés (Figure II. 8). La pointe doit être tenue à quelques mm du sol. Il faut éviter qu'il balance.



# MESURE DIRECTE DES DISTANCES

Cependant, le procédé le plus utilisé et le plus courant pour mesurer directement une distance est **le chaînage** qui est une opération importante (elle donne la distance sur le terrain) et délicate (introduction de fautes et d'erreurs dans les mesures)

# MESURES DE DISTANCES À L'AIDE 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

Les rubans sont répartis en trois classes de précision : le tableau précédent en donne les tolérances de précision fixées par une norme européenne CEE,

|            | 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 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

# MESURES DE DISTANCES À L'AIDE D'UNE CHAÎNE

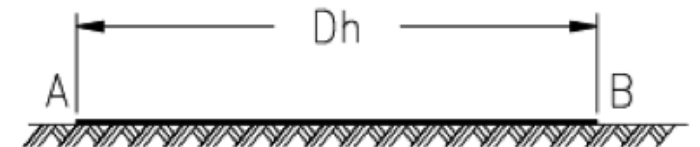
## ► Mesures en terrain régulier

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

### **Terrain régulier et 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. Et il faut respecter l'alignement entre les points intermédiaires

Exemple : Montrons qu'à partir de 2% de pente, une erreur de 1 cm apparaît sur une mesure de 50 m. Nous avons :  $D_p = 50 \text{ m}$ ,  $\Delta H = 0,02 \cdot 50 = 1 \text{ m}$  donc  $D_h = 49,99 \text{ m}$ .



# MESURES DE DISTANCES À L'AIDE D'UNE CHAÎNE

## Terrain incliné en pente régulière

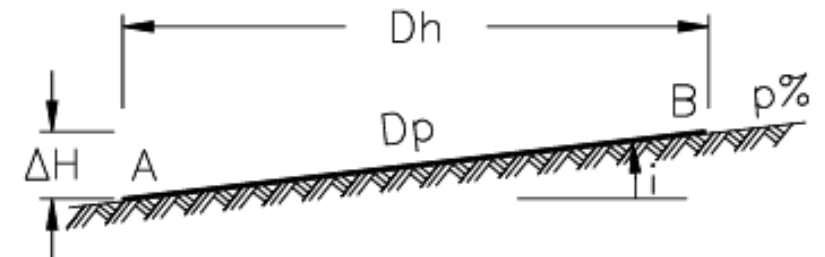
Si le terrain n'est pas parfaitement horizontal, il faut considérer que l'on mesure la distance suivant la pente. Pour connaître la distance horizontale avec précision, il faut donc mesurer la dénivelée  $H \Delta$  entre A et B ou bien la pente  $P$  de AB selon les relations :

$$Dh = \sqrt{Dp^2 - \Delta H^2} \quad \text{ou bien} \quad Dh = Dp \cdot \cos i = Dp \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 i}} = \frac{Dp}{\sqrt{1 + p^2}} \quad \text{sachant que } p = \tan i.$$

**Exemple :** Vous mesurez une distance suivant la pente de 37,25 m et vous mesurez, une pente de 2,3 %. Quelles sont les valeurs de  $Dh$  et de  $\Delta H$

$$Dh = 37,25 / \sqrt{1 + 0,023^2} = 37,24 \text{ m}$$

$$\Delta H = \sqrt{37,25^2 - 37,24^2} = 0,86 \text{ m.}$$



# MESURES DE DISTANCES À L'AIDE D'UNE CHAÎNE

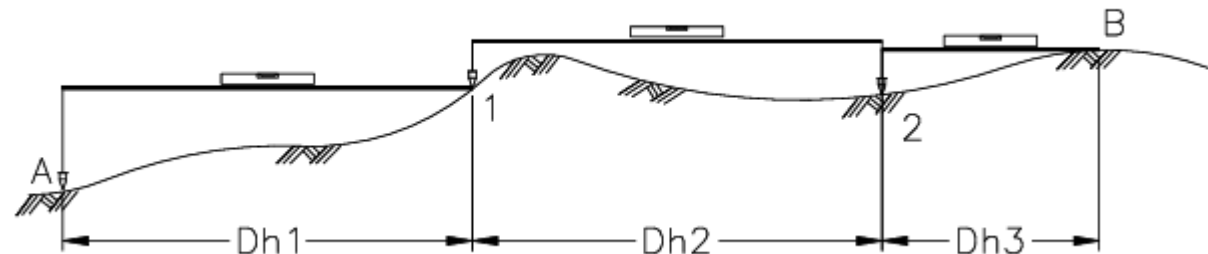
- Mesures en terrain irrégulier ou en forte pente

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  $D_h$

## Mesure par ressauts horizon

Appelée aussi mesure par cultellation. 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 œuvre est longue et le procédé peu précis

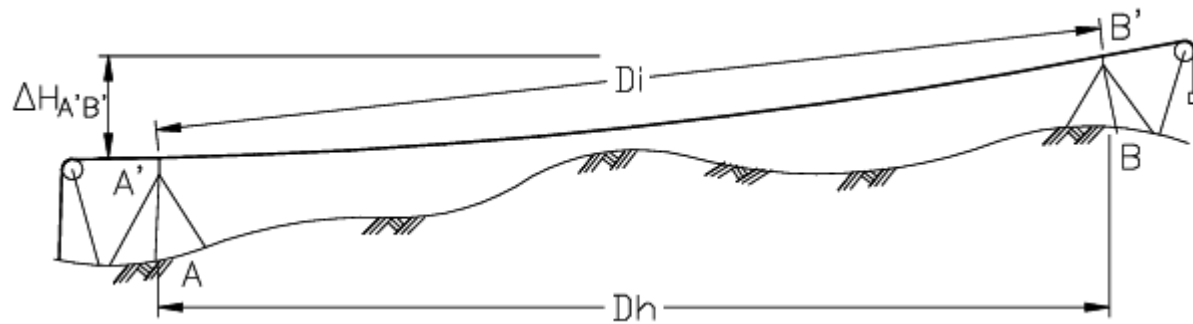
$$D_h = Dh_1 + Dh_2 + Dh_3$$



# MESURES DE DISTANCES À L'AIDE D'UNE CHAÎNE

## Mesure en mode suspendu

Un fil en matériau stable (Invar) est tendu au-dessus du sol. La tension est maintenue constante par des poids. L'opérateur doit mesurer la dénivelée  $\Delta H$  entre les sommets  $A'$  et  $B'$  des tripodes de suspension du fil pour pouvoir calculer la longueur  $D_h$  en fonction de la distance inclinée  $D_i$  mesurée :  $D_h = \sqrt{D_i^2 - \Delta H^2}$ .



# ETALONNAGE D'UN RUBAN

L'étalonnage, c'est l'ensemble des opérations ayant pour but de déterminer les valeurs des erreurs d'un instrument de mesurage. Pour faire des mesures de haute précision avec un ruban, il faut l'étalonner. Ceci se fait en mesurant la longueur d'une base connue très. La construction d'une base d'étalonnage précise se fait à l'aide du fil invar. Le fil invar est un alliage d'acier et de nickel. Son coefficient de dilatation est très faible

# Les Fautes et les erreurs :

## ► Les fautes :

Ce sont des erreurs grossières qui sont dus à l'oublie ou mal adresse :

- Fautes dans le pointage des tiges
- Fautes de lectures sur le ruban
- Mauvaise identification de l'origine
- Mauvaise transposition des chiffres
- Mauvaise interprétation des virgules

► Les erreurs :

Les erreurs systématiques :

■ Etalonnage du ruban

**k<sub>E</sub>** est le coefficient d'étalonnage déterminé en mesurant la longueur d'une base d'étalonnage connue.

On appelle correction d'étalonnage le terme  $C_E = k_E \cdot L_{\text{mesurée}}$ .

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

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

► Les erreurs :

Les erreurs systématiques :

■ Etalonnage du ruban

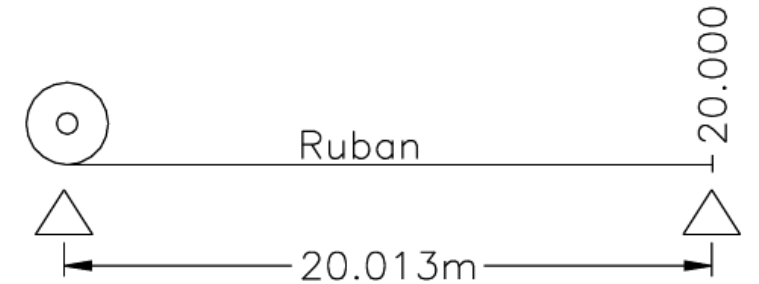
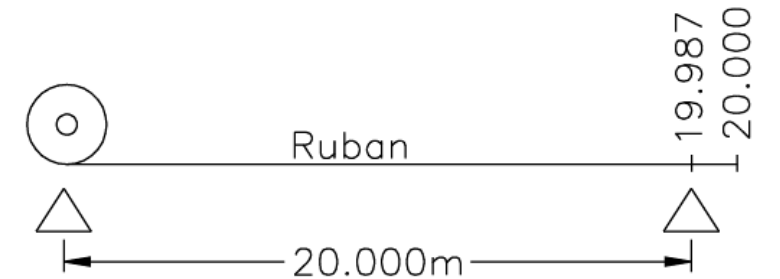
Par exemple : un double déca mètre indique 19,987 m en mesurant une base de 20,000 m; Il est donc trop long de 0,013 m et donne des valeurs trop petites. Il faut le corriger de 0,013 m tous les 20 m.

Dans le cas de la ; on obtient :  $k_E = 6,5 \cdot 10^{-4}$

Si l'opérateur mesure avec le même ruban une longueur de 20,000 m, elle vaut en réalité  $20 \cdot (1 + 6,5 \cdot 10^{-4}) = 20,013$  m.

S'il mesure sur le terrain une longueur de 18,655 m, sa valeur « réelle » est :

$L_{\text{exacte}} = 18,655 \cdot (1 + 6,5 \cdot 10^{-4}) = 18,667$  m



► Les erreurs :

Les erreurs systématiques :

■ Dilatation du ruban :

Un ruban est généralement étalonné à la température  $t_e = 20^\circ\text{C}$ . La correction de dilatation est positive si la température est supérieure à la température d'étalonnage. Dans ce cas, un ruban trop long donne des résultats trop petits. Cette correction est négative si la température est inférieure à la température d'étalonnage. Dans ce cas, un ruban trop court donne des résultats trop grands. Le coefficient de dilatation de l'acier est  $K = 1,08 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ .

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

► Les erreurs :

Les erreurs systématiques :

■ Correction de tension (ou d'élasticité du ruban)

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 mm<sup>2</sup>.

$E$  : module d'élasticité de l'acier  $E = 21\,000$  daN/mm<sup>2</sup>.

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

$k_T$  est appelé le coefficient de tension.

Dans l'expression précédente,  $T_0$  est la tension d'étalonnage

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

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

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

► Les erreurs :

Les erreurs systématiques :

■ Correction de chaînette

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)

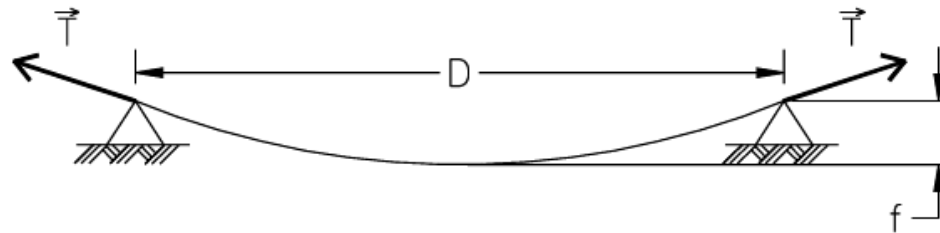
La flèche  $f$  de cette chaînette peut être réduite par augmentation de la tension mais ne peut pas être annulée. La correction est toujours négative car l'effet de chaînette est identique à un allongement de la chaîne.

$T$  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).



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

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



► Les erreurs :

Les erreurs systématiques :

■ Dilatation du ruban :

Exemple :

Si vous mesurez une longueur de 35,035 m avec un ruban en acier à  $t = 40\text{ °C}$ ,  
il faut corriger la valeur lue d'une valeur positive  $(40 - 20) \cdot 1,08 \cdot 10^{-5}$  soit  $+ 0,22\text{ mm/m}$ .  
Donc la longueur « exacte » est :  $35,035 \cdot (1 + 0,22 \cdot 10^{-3}) = 35,043\text{ m}$



► Les erreurs :

Les erreurs accidentelles

- Erreurs de la verticalité et la stabilité de la fiche
- Erreurs d'alignement des portées
- Erreurs de mise bout à bout de l'extrémité

# Mesures indirectes

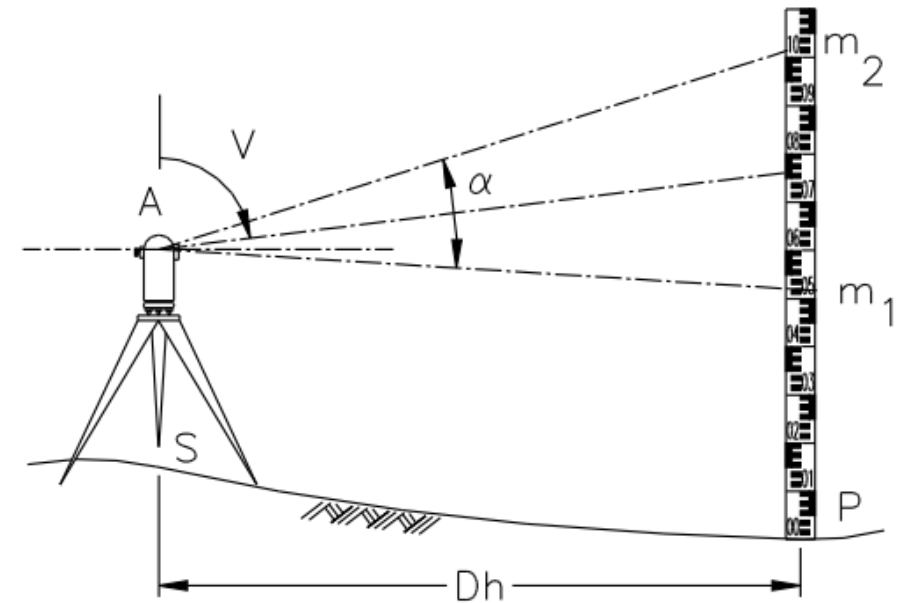
Une distance est indirecte lorsqu'elle est déterminée sans avoir à la parcourir avec un étalon. Elle résout le problème de mesurage sans déplacement de l'opérateur. C'est un procédé beaucoup plus rapide pour les grandes distances et il a surtout l'avantage de permettre des mesures en terrains accidentés ou impossible.

Les mesures s'effectuent soit avec des mesures stadimétriques, parallactiques ou électroniques.

# Mesures stadimétriques

La stadimétrie est une méthode moins précise que les précédentes. Elle permet la mesure indirecte d'une distance horizontale en lisant la longueur interceptée sur une mire par les fils stadimétriques du réticule de visée. Le point A, centre optique d'un théodolite, est situé à la verticale du point stationné en S ; l'opérateur vise une mire posée en P et effectue la lecture interceptée par chaque fil sur la mire soit  $m_1$  et  $m_2$ .

La distance horizontale peut s'exprimer par : 
$$Dh = \frac{m_2 - m_1}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} \sin^2 V$$



# Mesures stadimétriques

- ▶ Stadimétrie à angle constant

Si l'angle  $\alpha$  est constant dans l'appareil utilisé, on a :  $Dh = K (m_2 - m_1) \sin^2 V$

Avec K :  $K = \frac{1}{2 \tan(\alpha/2)}$

La constante K est appelée constante stadimétrique. Elle vaut généralement égale à 100 ; c'est pourquoi l'expression de Dh devien :  $Dh = 100(m_2 - m_1) \sin^2 V$

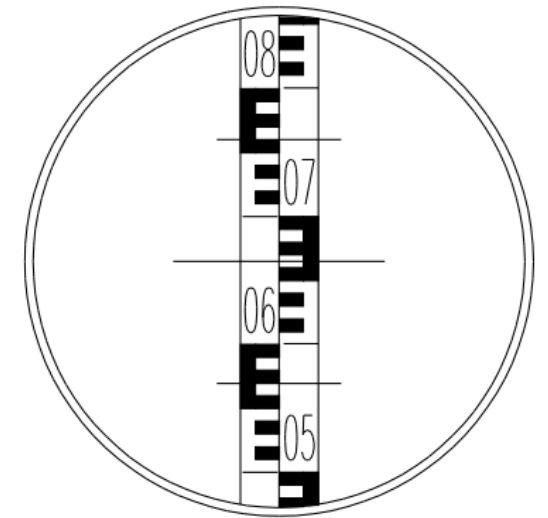
- ▶ Précision obtenue sur la mesure de Dh avec un niveau

Pour un niveau,  $V = 100$  gon, d'où :  $Dh = 100(m_2 - m_1)$

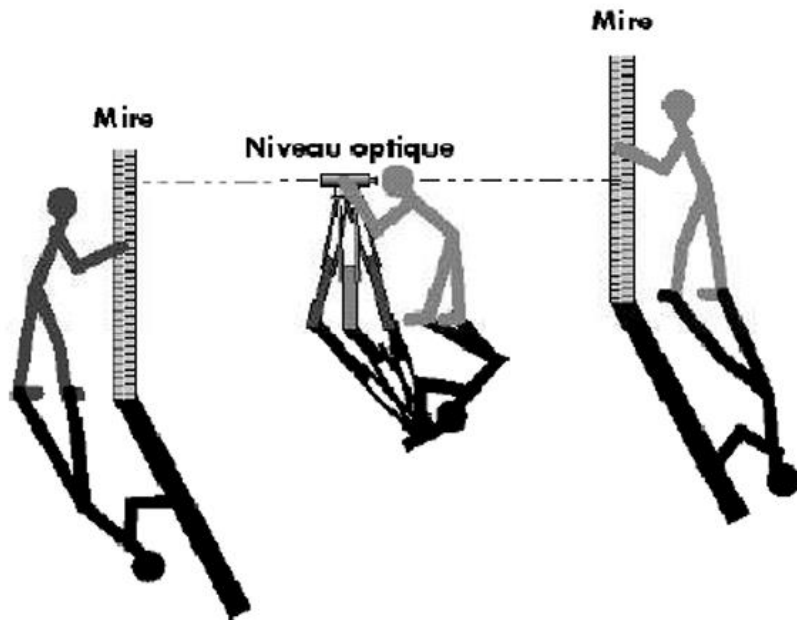
**Exemple** de lecture dans l'optique d'un niveau de chantier (fig) :

l'opérateur lit :  $m_2 = 7,60$  dm et  $m_1 = 5,69$  dm

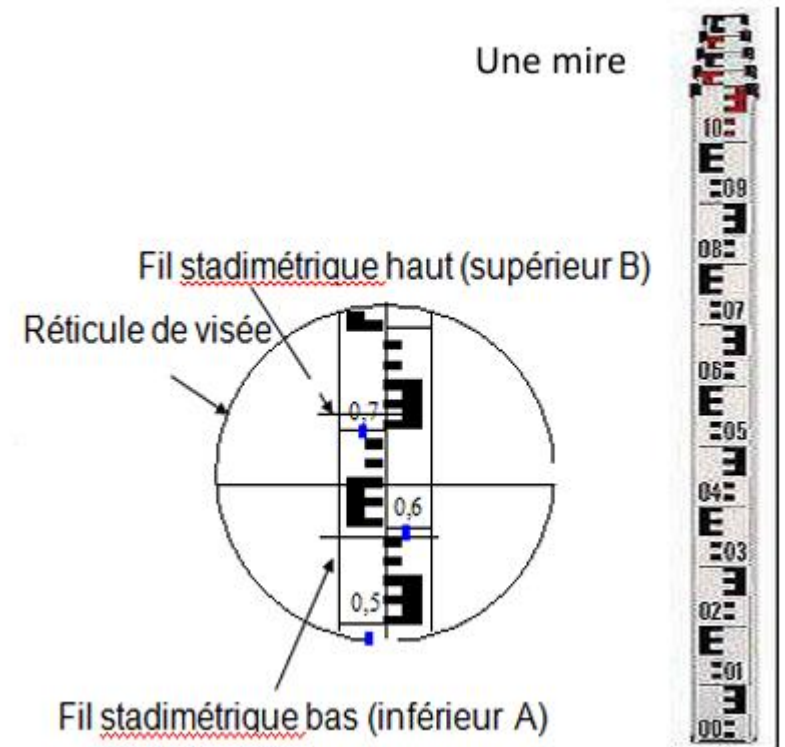
on obtient  $Dh = 19,1$  m



# Mesures stadimétriques



*NAK20 de Leica*



# Mesures stadimétriques

## ► En terrain incliné

Dans la plupart des cas, la visée principale est inclinée, son angle avec la mire principale n'est alors plus un angle droit. Par contre, le réticule reste toujours perpendiculaire à cette visée. Le faisceau stadimétrique intercepte sur la mire un segment trop long et la lecture faite est trop forte. Plusieurs positions de mire sont à exposer dans ce qui suit.

**On a :**

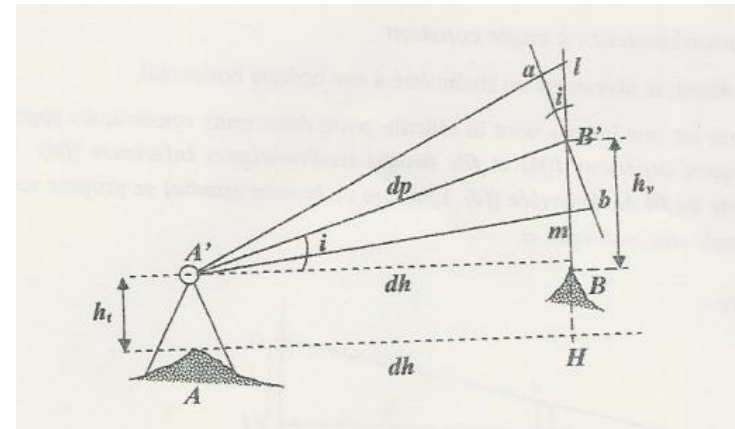
$$\begin{aligned} aB' &= l B' \cos i \\ aB' &= l B' \cos i \\ bB' &= m B' \cos i \\ bB' &= m B' \cos i \\ ab &= l m \cos i \\ ab &= l m \cos i \end{aligned}$$

**D'où :**

$$dp = A'B' = lm \cdot 100 \cdot \cos(i)$$

$$dh = dp \cos(i) = lm \cdot 100 \cdot \cos^2(i)$$

$$\text{Soit : } dh = (fss - fsi) \cos^2(i) \cdot 100$$



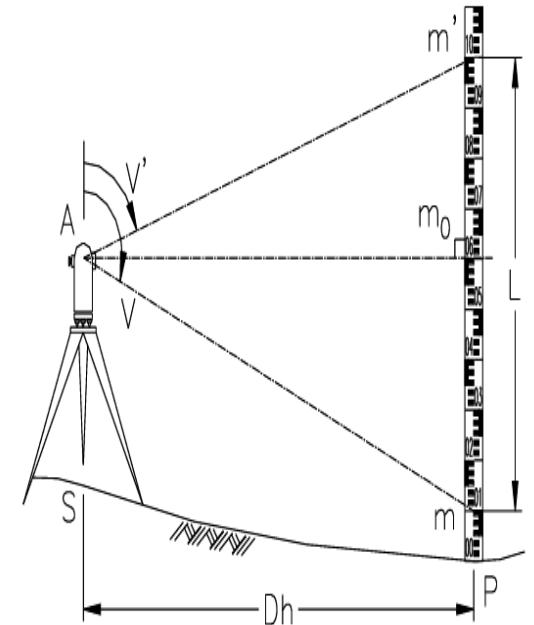
# Mesures stadimétriques

## ► MESURE PAR VARIATION DE PENTE

La méthode générale consiste à lire (fig) les angles  $V$  et  $V'$  correspondant à des graduations  $m$  et  $m'$  de la mire interceptées par le fil horizontal du réticule (axe de visée). On pose pour la suite  $L = m' - m$

Pour calculer  $Dh$ , on fait intervenir la lecture  $m_0$  faite sur la mire lorsque l'appareil est horizontal  $V = 100$  gon, mais sa connaissance est inutile puisqu'elle s'élimine dans le calcul :

$$\left. \begin{array}{l} \tan V' = \frac{Dh}{(m' - m_0)} \Rightarrow m' - m_0 = \frac{Dh}{\tan V'} \\ \tan V = \frac{Dh}{(m - m_0)} \Rightarrow m - m_0 = \frac{Dh}{\tan V} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{Dh = \frac{L}{\cotan V' - \cotan V}}$$



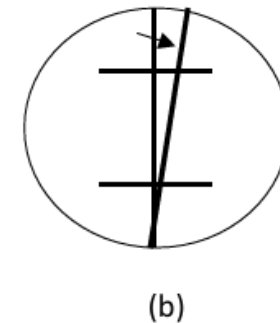
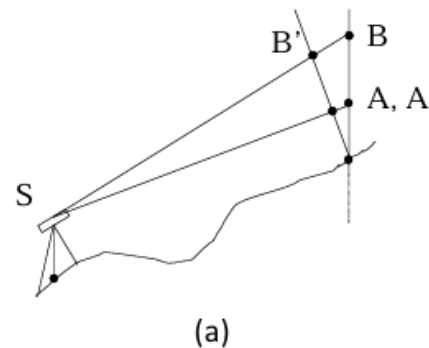
# Mesures stadimétriques

## ► Précision des mesures

Avec un stadimètre réglé et étalonné. Les causes d'erreur peuvent être la conséquence de :

Mauvaise position de la mire

- Inclinaison latérale de la mire (longueur interceptée trop grande).
- Défaut de verticalité (incidence d'autant plus grande que l'inclinaison de la visée est plus forte (Figure))



# Mesures stadimétriques

- ▶ Erreur de perspective

Variation de la longueur de la mire, Influence de la température et de l'humidité.

- ▶ Erreur de pointé et de lecture

Erreurs prépondérantes, plus fortes dans les stadimètres à angles variables.

- ▶ Erreur de réfraction

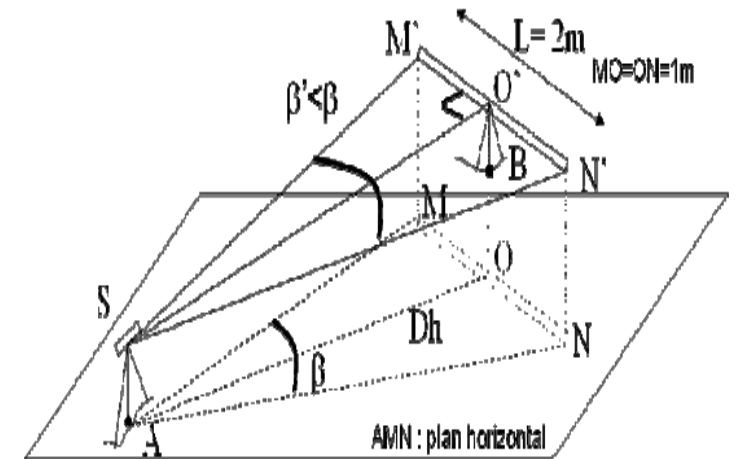
Les deux rayons limitant le faisceau stadimétrique subissent des réfractions différentes dans le plan vertical, d'où une erreur sur l'angle. On limite cette erreur en évitant d'utiliser le demi-mètre inférieur de la mire.

# Mesures parallactiques

Ce type de mesure 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). Il existe des stadias Invar pour des mesures de haute précision. La stadia est dotée d'une nivelle sphérique et d'un viseur pour régler sa perpendicularité par rapport à la ligne de visée  $SO'$

L'opérateur dispose en A d'un théodolite (ou un cercle d'alignement) et en B d'une stadia horizontale perpendiculaire à la distance à mesurer AB.

Le réglage en hauteur est inutile : l'angle mesuré est l'angle projeté sur le plan horizontal



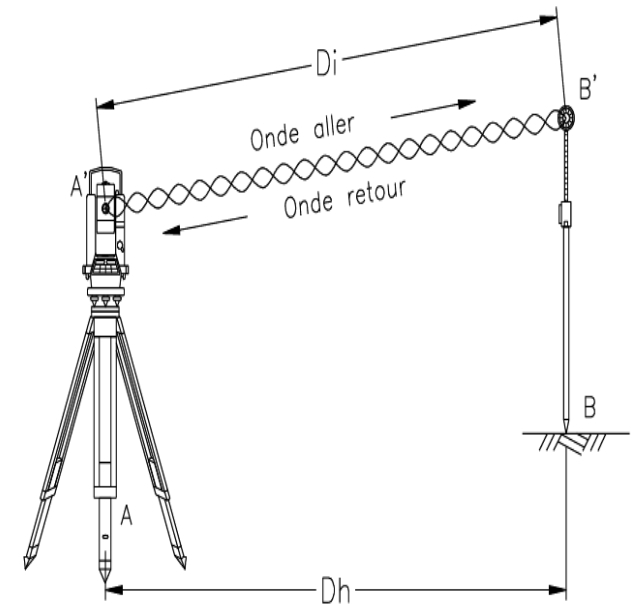
$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{L}{2Dh}$$



# Mesures électroniques

Les instruments de mesure de longueurs (I M E L) ou appelés encore les instruments de mesure électronique des distances (I M E D) fonctionnent comme des chronomètres. Ils utilisent les ondes électromagnétiques qui se propagent en ligne droite, à une vitesse constante et connue. L'intensité de l'onde porteuse (limeuse, centimétrique et électromagnétique) est modulée à l'émission par une fréquence plus basse. L'onde porteuse est émise par un poste émetteur récepteur et renvoyée par celui-ci, soit par un réflecteur, soit par un deuxième (ondes radio). Les I M E L mesurent en fait des temps de parcours.

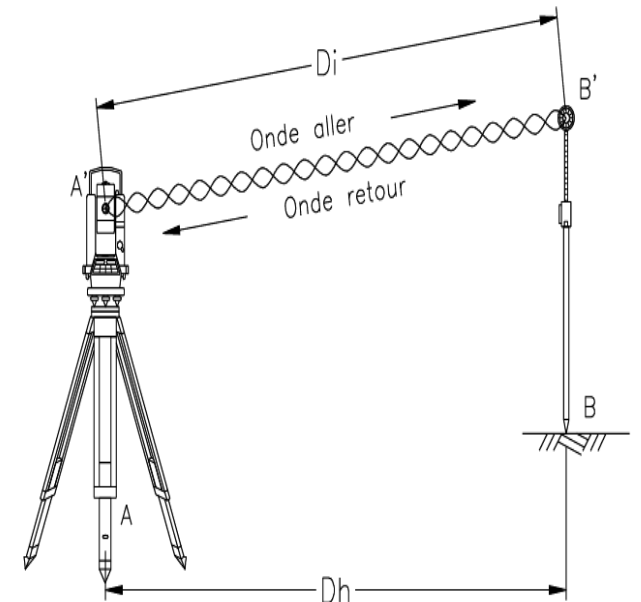
Ces mesures sont effectuées grâce à des Instruments de Mesure Électronique des Longueurs (I M E L) qui utilisent les ondes électromagnétiques se propageant en ligne droite à une vitesse constante et connue.



# Mesures électroniques

## ► Principe de la mesure

Pour mesurer une distance  $D_i$  entre deux points avec un IMEL, l'opérateur stationne l'appareil sur le point A et on place un réflecteur à la verticale du point B. Un train d'ondes est émis de A' vers B' : c'est son retour au point A' après réflexion sur le réflecteur (miroir) B' qui permet de calculer la distance  $D_i$  parcourue. La mesure de la distance sera faite par la mesure du déphasage de l'onde retour par rapport à l'onde aller. 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  $T = 1 / f$  avec  $f$  = fréquence.



# Mesures électroniques

## ► Les réflecteurs

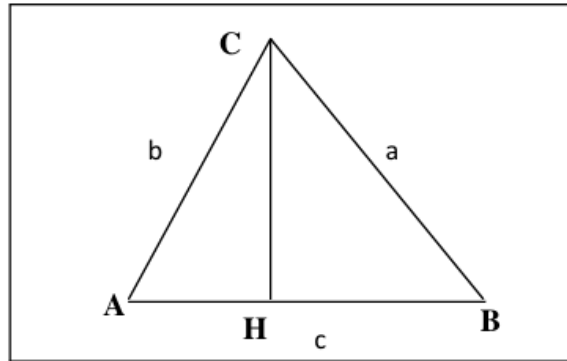
Ils sont constitués par des prismes à trois faces utiles qui renvoient un rayon réfracté parallèlement au rayon incident. (Pour assurer ce parallélisme, les tolérances de fabrication sont très sévères et entraînent un coût élevé). Plus la distance est grande plus on utilise de prismes



**a- La relation des sinus** dans un triangle quelconque donne :

$$\frac{AB}{\sin C} = \frac{AC}{\sin B} = \frac{BC}{\sin A}$$

Connaissant  $AB$ , on peut calculer  $AC$  et  $BC$



$$AC = AB \cdot \sin B / \sin C$$

$$BC = AB \cdot \sin A / \sin C$$

$$CH = AC \sin A = BC \sin B$$

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} AB \cdot CH$$

Si on pose que  $AB = c$  ;  $BC = a$  et  $AC = b$  alors on aura

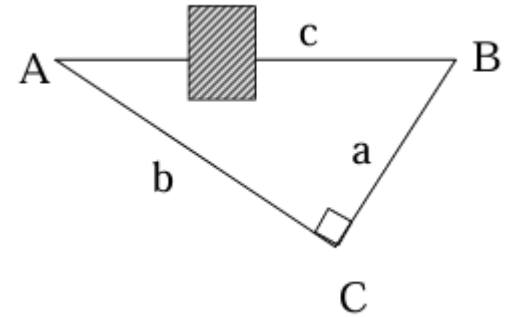
$$S_{ABC} = \frac{1}{2} a \cdot b \sin C \quad S_{ABC} = \frac{1}{2} a \cdot c \sin B \quad S_{ABC} = \frac{1}{2} b \cdot c \sin A$$

# Exercice

- On veut réaliser l'alignement AB (Schéma ) présentant un obstacle sur le parcours. On a mesuré les côtés AC et BC. Quelle est la distance AB ainsi que les valeurs des angles en A et B.

**Solution :**

1. Dans le triangle rectangle ABC :  $AB^2 = AC^2 + BC^2$ , d'où  $AB = 294,965 \text{ m}$
2.  $\frac{a}{\sin A} = \frac{c}{\sin C} \Rightarrow \sin A = \frac{a \sin C}{c} = \frac{a}{c}$  d'où l'angle en A = 32,133 gr
3.  $\frac{c}{\sin C} = \frac{b}{\sin B} \Rightarrow \sin B = \frac{b \sin C}{c} = \frac{b}{c}$  d'où l'angle en B = 67,867 gr.



On donne :

Angle en C = 100 gr

Longueur AC = 258,182 m

Longueur BC = 142,640 m

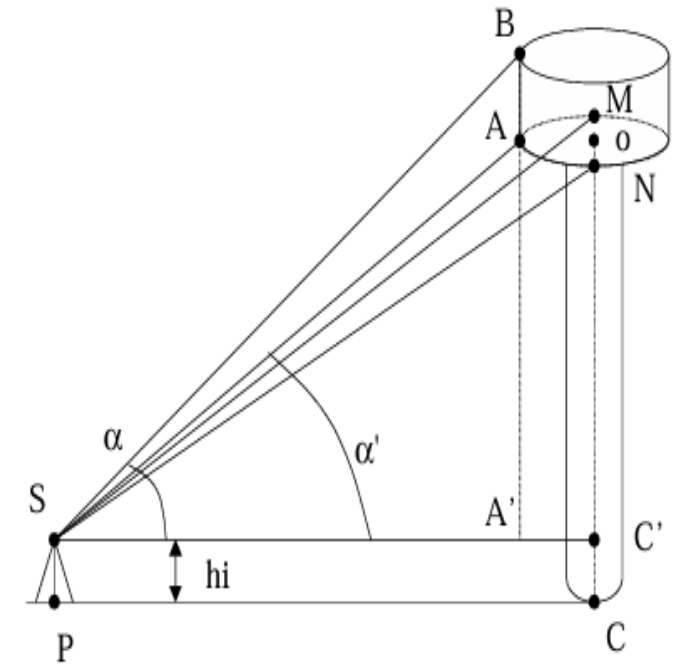
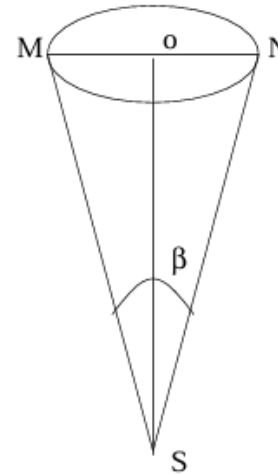
# Exercice

On veut déterminer le volume d'un château d'eau cylindrique monté sur une tour. Pour cela on mesure à partir d'un point P situé à 200m horizontalement à partir de la projection sur le sol du centre du réservoir les angles suivants :

$\alpha = 15,838\text{gr}$ ,  $\alpha' = 12,201\text{gr}$ ,  $\beta = 9,532\text{gr}$  et  $PC = SC' = 200\text{m}$

Déterminer :

1. Le diamètre du réservoir
2. La hauteur du réservoir
3. Le volume du réservoir
4. La hauteur totale du château d'eau (on donne  $h_i = 1,6\text{m}$ )



# Exercice

On veut déterminer le volume d'un château d'eau cylindrique monté sur une tour. Pour cela on mesure à partir d'un point P situé à 200m horizontalement à partir de la projection sur le sol du centre du réservoir les angles suivants :

$$\alpha = 15,838\text{gr}, \alpha' = 12,201\text{gr}, \beta = 9,532\text{gr} \text{ et } PC = SC' = 200\text{m}$$

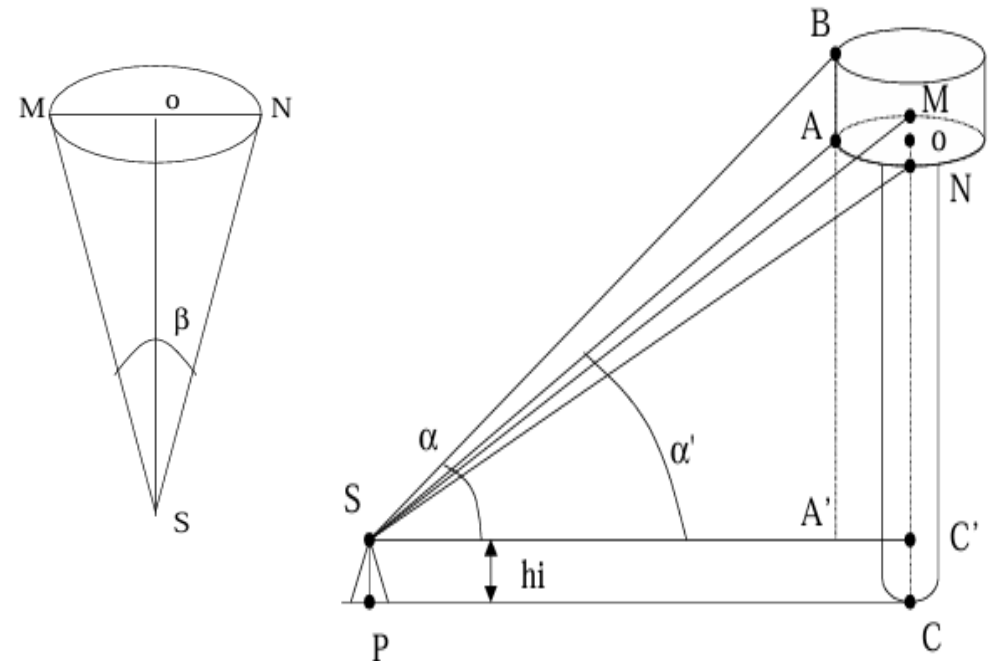
## 1. Diamètre du réservoir

$$l = D \operatorname{tg} (\beta/2) \text{ donc } l = 200 \operatorname{tg} (9,532/2) = 15\text{m et } \varphi = 2l = 30\text{m}$$

## 2. Hauteur du réservoir

$$AB = D (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha')$$

$$AB = 200 (\operatorname{tg} 15,838 - \operatorname{tg} 12,201) = 12\text{m}$$



# Exercice

On veut déterminer le volume d'un château d'eau cylindrique monté sur une tour.  
Pour cela on mesure à partir d'un point P situé à 200m horizontalement à partir de la projection sur le sol du centre du réservoir les angles suivants :

$$\alpha = 15,838\text{gr}, \alpha' = 12,201\text{gr}, \beta = 9,532\text{gr} \text{ et } PC = SC' = 200\text{m}$$

## 3. Volume du réservoir

$$V = \pi R^2 H \quad V = \pi \cdot 15^2 \cdot H = 8482\text{m}^3$$

## 4. Hauteur totale du château d'eau

$$BC' = SC' \operatorname{tg} \alpha$$

$$h_i = CC' = 1,6\text{m}$$

$$BC' = 200 \operatorname{tg} 15,838 = 50,81\text{m}$$

$$BC = \text{Hauteur} = 50,81 + 1,6$$

$$H = 52,41\text{m}$$

