

## Chapitre 2. Mesure de distances

### 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

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

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

#### Jalonnement sans obstacle :

Le jalonnement d'un alignement consiste à placer un certain nombre d'objets qui facilitent la mesure des distances partielles. On peut dresser des jalons d'arpenteur entre lesquels on pourra procéder à des opérations de chaînage.

Les points A et B sont connus ; il faut alors poser un jalon intermédiaire C, puis un autre jalon D entre A et B.

La première étape consiste à positionner un jalon sur les points A et B. Ces jalons doivent être parfaitement verticaux dans l'espace. Pour ce faire, il est préconisé d'utiliser une nivelle sphérique ou un plomb d'axe.

Pour aligner le jalon C, l'opérateur se positionne à deux ou trois mètres derrière le jalon A et aligne son œil avec les bords gauche des jalons A et B.

À l'aide d'une règle, il place approximativement le jalon sur l'alignement des jalons A et B : la position de départ. Le jalon est maintenu entre deux doigts, à la même hauteur, aux trois quarts de sa hauteur, légèrement surélevé par rapport au sol.

L'opérateur guide l'aide pour qu'il aligne le bord gauche du jalon C avec les bords gauches des jalons A et B.

Attention à la verticalité des jalons. Puis, l'opérateur déplace son regard sur les bords droits des jalons A, B et C connus, pour contrôler l'alignement du jalon C. Les bords droits des trois jalons doivent être alignés. Si ce n'est pas le cas, il est impératif de corriger l'alignement.

Ce mode opératoire est répété pour le positionnement du jalon D.



## Chapitre 2. Mesure de distances

### b. La méthode des parallèles pour l'alignement avec un obstacle infranchissable

Cette méthode nécessite un opérateur et un aide. Les points A et B sont connus.

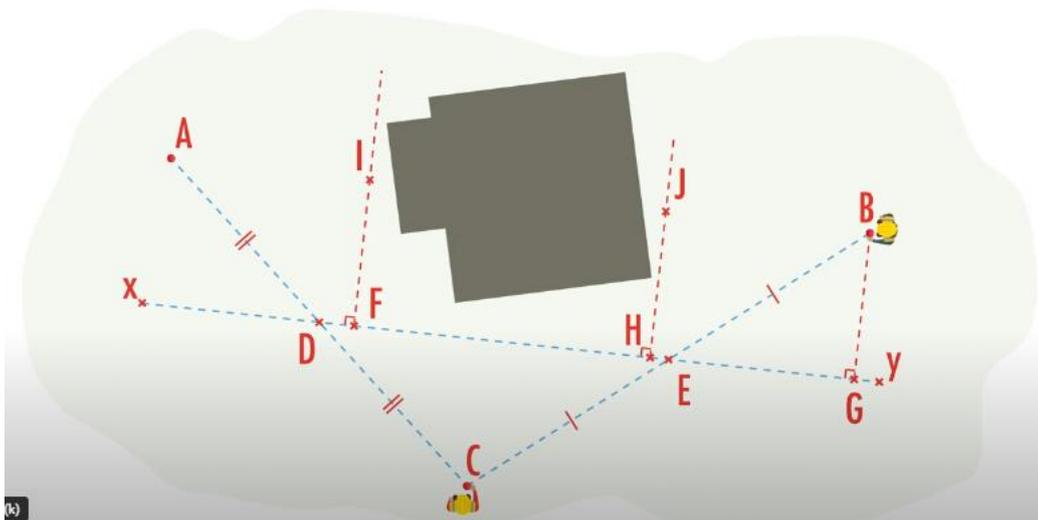
L'objectif est d'aligner les deux points sur la droite (AB). L'opérateur, placé derrière le jalon A, ne voit pas le jalon B, et l'aide, placée derrière le point B, ne voit pas le jalon A.

La procédure est la suivante : l'opérateur implante un point C quelconque visible depuis A et B, de manière à ce que les points A et C soient sensiblement à la même distance de B, de façon à former dans l'idéal un triangle équilatéral (isocèle), puis il positionne un jalon sur les points A, B et C pour matérialiser les droites AC et BC.

Avec l'aide, il mesure les droites AC et BC et matérialise les points D et E, placés au milieu de chaque droite. Il prolonge ensuite la droite DE pour obtenir les points X et Y de part et d'autre, puis il projette le point B sur la droite EY pour obtenir le point G.

Les droites BG et EY sont alors perpendiculaires. Enfin, il mesure la longueur BG.

Il peut également réaliser la même opération avec le côté DX, puis matérialiser les points F et H sur l'alignement DE pour obtenir par la suite les perpendiculaires Fi et HG aussi près que possible de l'obstacle. À partir de H, il élève une perpendiculaire à DE et reporte la distance BG pour obtenir le point I. Les résultats donnent les points A, I, J et B alignés.



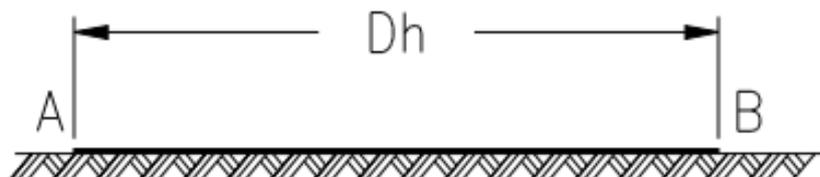
### Mesures en terrain régulier

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

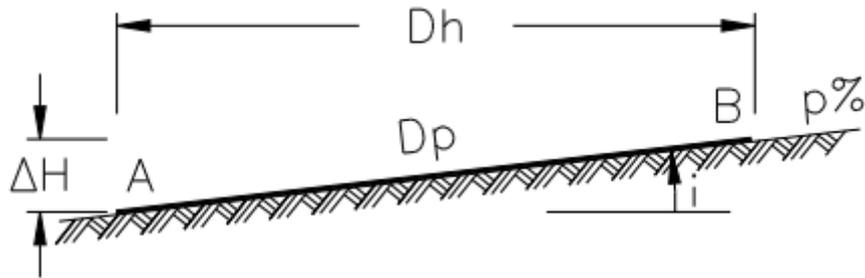
Si le terrain est régulier et en pente faible (moins de 2 %), il est possible de se contenter de poser le ruban sur le sol et de considérer que la distance horizontale est lue directement



## Chapitre 2. Mesure de distances

### Terrain en pente régulière

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



Soit :

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

Ou bien :

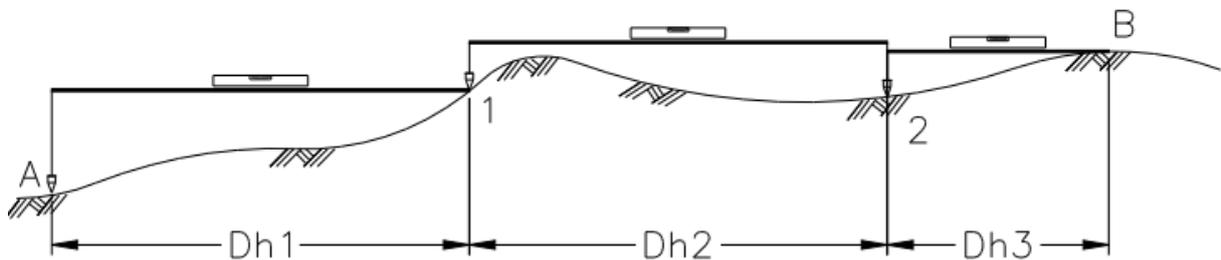
$$Dh = Dp \cdot \cos i = Dp \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 i}} = \frac{Dp}{\sqrt{1 + p^2}}$$

Puisque  $p = \tan i$

### Mesures en terrain irrégulier ou en forte pente

#### Mesure par ressauts horizontaux

**Cette méthode** 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

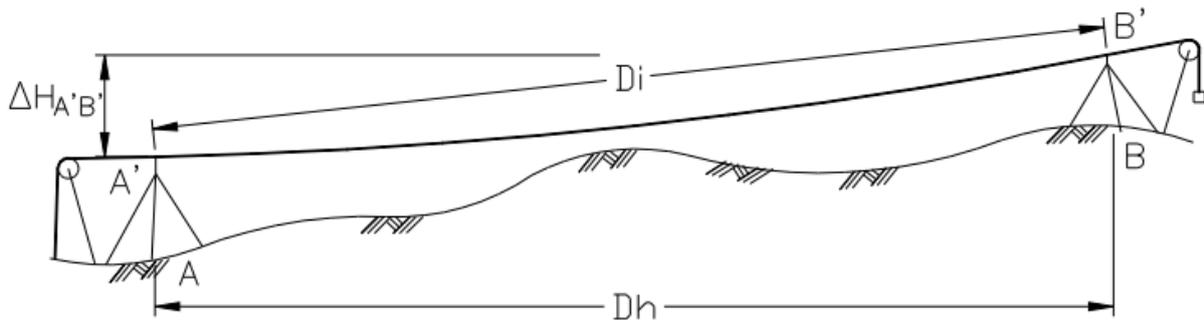


On peut remarquer que :  $Dh1 + Dh2 + Dh3$

## Chapitre 2. Mesure de distances

### Mesure en mode suspendu

Un fil en matériau stable (Invar) est **tendu au-dessus du sol**. La tension est maintenue **constante** par des poids (Figure)



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  $Dh$  en fonction de la distance inclinée  $Di$  mesurée :

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

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

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

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

### La précision des mesurages directs de longueur

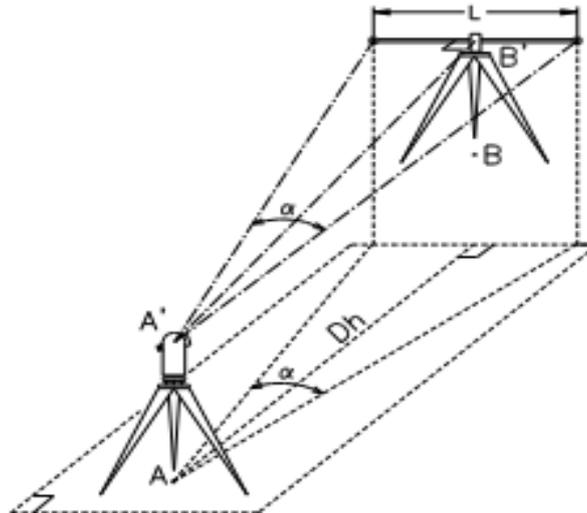
Les erreurs accidentelles du mesurage direct sont principalement des erreurs d'appréciation, ou d'évaluation de coïncidence. Parmi les principales, nous pouvons citer :

- Erreur de verticalité du jalon ;
- Erreur de mise en place du jalon à l'extrémité de l'étalon de mesure
- Erreur d'appréciation de la lecture due à l'imperfection des sens de l'opérateur ;
- Erreur dans la détermination de la température de l'étalon de mesure ;
- défaut dans l'application de la bonne tension ;
- déplacement du fil à plomb ou de l'étalon de mesure par le vent ; etc

### Mesures parallactiques

Ce type de mesure parallactique nécessite l'emploi d'un théodolite et d'un stadia. Un 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. Le stadia est dotée d'une nivelle sphérique et d'un viseur pour régler sa perpendicularité par rapport à la ligne de visée A' , B'

## Chapitre 2. Mesure de distances



Mesure avec une stadia

En projection sur le plan horizontal passant par exemple par le point A, on obtient :

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{L}{2Dh} \Rightarrow Dh = \cot \frac{\alpha}{2} \text{ avec } L = 2 \text{ m (cas général).}$$

### Mesure avec une base auxiliaire

Le principe de base de cette méthode est aussi utilisée dans la mesure d'altitude (ou de coordonnées) d'un point inaccessible. Cette méthode nécessite l'emploi d'un ruban et d'un théodolite classique. Il s'agit de transformer la mesure d'une longue distance en une mesure d'une distance courte associée à des mesures angulaires qui sont d'autant plus précises que l'on vise loin. On crée donc une base AB dont on connaît parfaitement la longueur. En stationnant un théodolite en A puis en B, on mesure les angles (PAB) et (PBA)



La résolution du triangle PAB permet d'obtenir :

$$D_{AP} = D_{AB} \frac{\sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)}$$

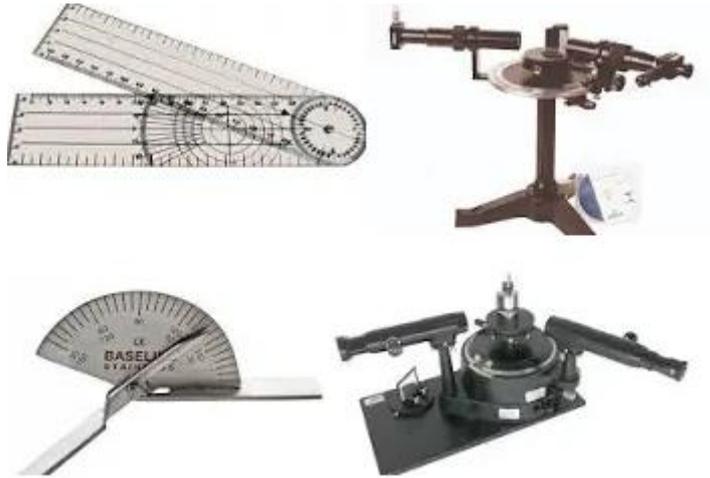
### Mesure stadimétriques

Avec le théodolite optique ou le tachéomètre :

Un théodolite est un instrument de mesure des distances horizontales, des angles horizontaux (projetés dans le plan horizontal), des angles verticaux (projetés dans le plan verticale). Il y a aussi : Le goniomètre, l'éclimètre, le clisimètre.

Un goniomètre est un appareil ou un capteur servant à mesurer les angles

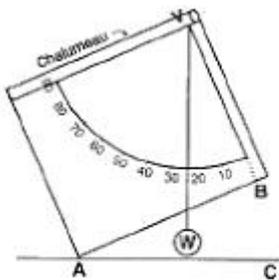
## Chapitre 2. Mesure de distances



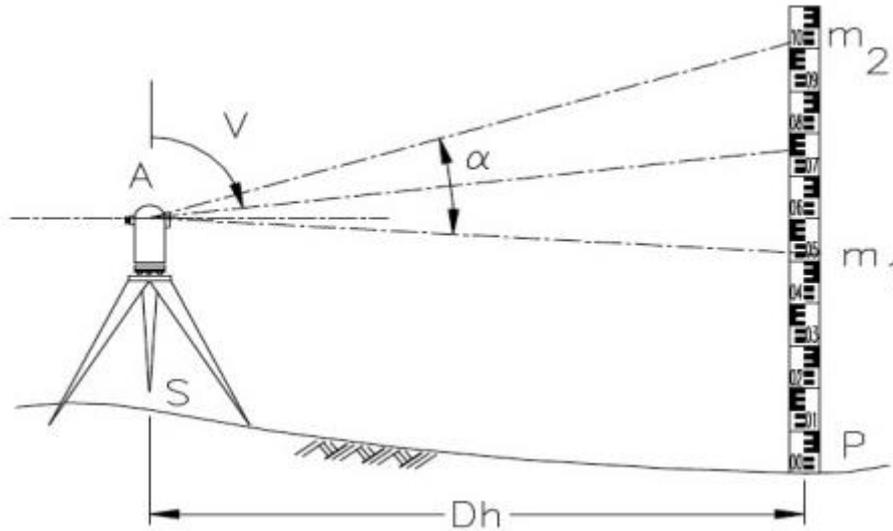
Eclimètre : Instrument d'arpenteur pour mesurer la différence de niveau entre deux points



Un clisimètre est un instrument utilisé par les topographes, constitué d'un petit pendule. Le clisimètre permet aux topographes de mesurer avec une grande précision l'inclinaison d'une pente



## Chapitre 2. Mesure de distances



La distance horizontale peut s'exprimer par :

$$Dh = \frac{m_2 - m_1}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} \sin^2 V$$

Si la visée est horizontale, ( $V = 100$  gr) ; on obtient :

$$Dh = \frac{m_2 - m_1}{2 \tan \frac{\alpha}{2}}$$

### Stadimétrie à angle constant

Si l'angle  $\alpha$  est constant dans l'appareil utilisé, on a :

$$Dh = K (m_2 - m_1) \sin^2 V.$$

La constante K est donné par :

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

Est appelée **constante stadimétrique**. Elle vaut généralement 100 ; c'est pourquoi l'expression de  $Dh$  devient :

$$Dh = 100(m_2 - m_1) \sin^2 V$$

Pour  $v = 100$  gr :

$$Dh = 100(m_2 - m_1)$$

## Chapitre 2. Mesure de distances

### Exemple 1

Nous avons les lectures suivantes

$V = 100$  gr (axe de visé horizontal)

Lecture supérieure = 1,437 m

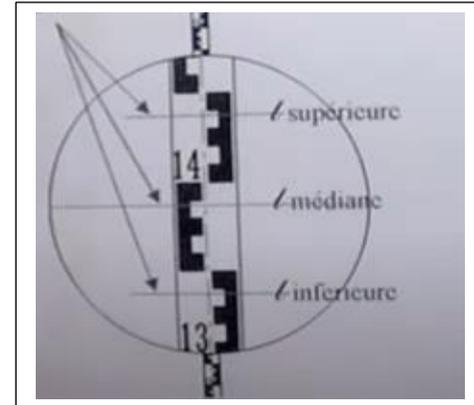
Lecture inférieure = 1,338 m

La distance (D) = (L sup- L inf)  $\times$  K , K=100

D= 9,90 m

### Exemple 2

Lorsque l'on mesure deux distances horizontales à l'aide d'un théodolite, on obtient les valeurs suivantes



Lors de la mesure de la distance AB	Lors de la mesure de la distance AC
$L_{\text{sup}} = 2,58$ m	$L_{\text{sup}} = 1,46$ m
$L_{\text{méd}} = 1,96$ m	$L_{\text{méd}} = 1,29$ m
$L_{\text{inf}} = 1,34$ m	$L_{\text{inf}} = 1,12$ m
$V = 86,025$ gr	$V = 112,4$ gr

### Solution

$$D_{A-B} = (L_{\text{sup}} - L_{\text{inf}}) \times k \times \sin^2 V$$

$$= (2,58 - 1,34) \times 100 \times \sin^2 86,025$$

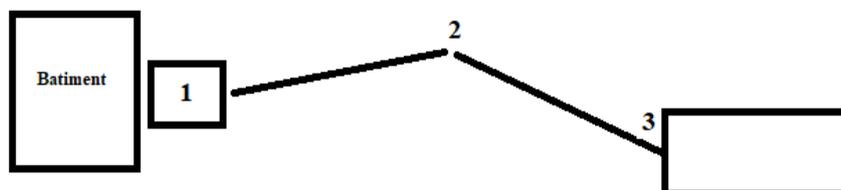
$$= 118,12 \text{ m}$$

$$D_{A-C} = (1,46 - 1,12) \times 100 \times \sin^2 112,4$$

$$= 32,73 \text{ m}$$

### Exemple 3

Dans le but d'évacuer les eaux usées d'un immeuble résidentiel vers le canal principal, un topographe a placé des points sur le terrain et a mesuré les distances partielles (1,2 et 2,3) pour connaître la longueur des canaux utilisés, il a placé un théodolite au point 1 puis au point 2 et a obtenu les relevés du tableau. Il est demandé de calculer la distance horizontale entre les points 1 et 2 et la distance horizontale entre les points 2 et 3.



Station	Points visés	Lectures sur la mire			Angles verticaux (gr)
		$L_{\text{sup}}$	$L_{\text{méd}}$	$L_{\text{inf}}$	
1	2	1,56	1,5	1,45	100
2	3	1,05	1,02	0,98	102,15

## Chapitre 2. Mesure de distances

### Solution

$$D_{1-2} = (L_{\text{sup}} - L_{\text{inf}}) \times k$$

$$= (1,56 - 1,45) \times 100$$

$$= 11\text{m}$$

$$D_{2-3} = (L_{\text{sup}} - L_{\text{inf}}) \times k \times \sin^2 V$$

$$= (1,05 - 1,02) \times 100 \times \sin^2 (102,15)$$

$$= 7\text{m}$$

### Le mesurage électronique

Cette méthode est généralement évoquée par l'appellation de télémétrie électro-optique ou les acronymes MED (pour mesure électronique de distance) ou MEL (pour mesure électronique de longueur). Les appareils correspondants sont appelés télémètres ou "distancemètres" électrooptiques ou encore AMED, IMED, AMEL ou IMEL (pour appareils ou instruments de mesure électronique de distances ou de longueurs)

Le premier appareil de mesure électronique de distance fut introduit en 1948 par le physicien suédois Éric Bergstrand. Il fut appelé "geodimeter", comme acronyme de "geodetic distance meter" et il était destiné à améliorer une méthode de mesure de la vitesse de la lumière. Il émettait un rayonnement visible et était capable de mesurer avec précision et de nuit, une distance de 40 km.

Les AMED se distinguent par la longueur de l'onde émise :

**Les appareils électro-optiques** : Les appareils équipés d'un laser à haute intensité, à faible ouverture et à lumière cohérente peuvent parcourir jusqu'à 300 km à une fréquence comprise entre 10<sup>12</sup> et 10<sup>15</sup> Hz.

**Les appareils à micro-ondes** émettent une onde dont la fréquence est comprise entre 3 et 35 10<sup>9</sup> Hz correspondant à des longueurs comprises entre 1 et 8,6 mm.

**Les appareils à ondes longues** émettent des ondes radio de fréquences comprises entre 10<sup>4</sup> et 10<sup>9</sup> Hz et de longueurs importantes pouvant dépasser le km.

On peut également classer les AMED plus empiriquement en fonction de leur portée :

**Le groupe des appareils à courte portée** comprend tous ceux dont la capacité de mesure n'excède pas 5 km. Il est principalement constitué par des appareils électro-optiques émettant en infrarouge. Ces appareils sont petits, portables et très faciles à utiliser. Ils conviennent très bien pour une grande variété de travaux topométriques et sont largement utilisés par la plupart des praticiens.

**Le groupe des appareils de moyenne portée** concerne tous ceux qui permettent de réaliser des mesures de distances allant jusqu'à environ 100 km. Ce sont alors des appareils électrooptiques lasers ou des appareils à micro-ondes. Bien que plus fréquemment utilisés pour des travaux géodésiques de précision, ils conviennent également pour des applications topométriques à petite échelle

## Chapitre 2. Mesure de distances

**Les grandes portées** sont supérieures à 100 km. Elles ne sont pas utilisées en topométrie mais plutôt dans des applications d'océanographie ou de navigation. Elles peuvent être mesurées par certains appareils à micro-ondes mais plus généralement par le recours aux ondes radio.