

Chapitre IV: Mesures angulaires.

1. Mesure des angles horizontaux

Les angles horizontaux (*azimutaux*) peuvent être mesurés en deux manières différentes:

- 1- Observés et dessinés directement sur une feuille de papier placée sur une planchette horizontale. L'instrument utilisé est un goniographe composé d'un trépied, d'une planchette, d'un organe de visée et d'une règle.
- 2- Mesurés à l'aide d'un goniomètre. Dans ce cas les instruments utilisés sont les suivants:
 - Equerres optiques qui ne permettent que de tracer sommairement des perpendiculaires ou de s'aligner entre deux points.
 - Cercles d'alignement avec lesquels les angles horizontaux peuvent être mesurés. Ces instruments ont été remplacés par les théodolites.
 - Théodolites dont les lectures ne se font plus sur des verniers mais à l'aide de microscopes permettant d'apprécier, suivant le degré de précision de l'instrument: le cgon, le mgon, le dmgon.

Le choix de la méthode d'observation angulaire dépendra de l'instrument utilisé et de la précision recherchée.

1.1. La réitération

Cette méthode est utilisée avec les théodolites munis d'un dispositif de décalage de limbe (bouton avec lequel on peut amener une lecture prédéterminée). La lunette restant pontée sur l'objet visé.

La mesure des angles se fera par séquences et tour d'horizon.

- on appelle séquence un ensemble de lectures effectuées en une même station, avec une seule position du cercle vertical, une origine prédéterminée du limbe, et d'un contrôle de fermeture sur l'origine (référence).
- On appelle paire de séquences, deux séquences successives avec décalage du limbe, retournement de la lunette (CG, CD) et inversement du sens d'observation.
- On appelle tour d'horizon l'observation successive des points A, B, C, D, ... A. Le point A choisi comme référence est observé de nouveau afin de boucler le tour complet et d'assurer un contrôle dit de fermeture.

1.2. Le double retournement

C'est une manipulation consistant en un demi-tour simultané de la lunette et de l'alidade (figure 1). Cette technique de mesure permet d'éliminer certaines erreurs systématiques et de limiter les fautes de lecture. Lors d'une mesure d'angle horizontal, cela permet :

- de doubler les lectures et donc de diminuer le risque de faute de lecture ;
- de ne pas toujours lire sur la même zone du limbe, donc de limiter l'erreur due aux défauts de graduation du limbe ;

- d'éliminer les défauts de collimation horizontale (défaut de perpendicularité de l'axe optique) et de tourillonnement (défaut de perpendicularité de l'axe tourillons).

L'erreur de centrage sur le point de station et l'erreur de calage de l'axe vertical ne sont pas éliminées par cette manipulation. Il convient donc de soigner ces opérations.

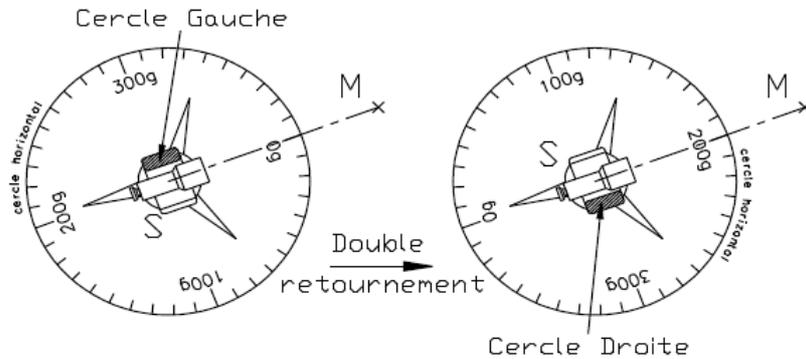


Figure1 - Double retournement.

Si l'on appelle H_{zCG} la valeur lue en cercle gauche, et H_{zCD} celle lue en cercle droit, on doit observer:

$$H_{zCD} \approx H_{zCG} + 200$$

En effet, le double retournement décale le zéro de la graduation de 200 gon (fig. 3.20) ; ceci permet un contrôle simple et immédiat des lectures sur le terrain. La différence entre les valeurs H_{zCG} et $(H_{zCD} - 200)$ représente la combinaison des erreurs de collimation, de mise en station, de lecture, etc.

La lecture d l'angle horizontal H_z mesuré vaut alors:

$$H_z = \frac{H_{zCG} + (H_{zCD} - 200)}{2} \quad \text{si } H_{zCD} > 200 \text{ gon}$$

$$H_z = \frac{H_{zCG} + (H_{zCD} - 200 + 400)}{2} = \frac{H_{zCG} + (H_{zCD} + 200)}{2} \quad \text{si } H_{zCD} < 200 \text{ gon}$$

2. Terminologie des mesures d'angles horizontaux

2.1. Lecture simple

L'appareil étant dans sa position de référence (par exemple CG sur la figure 3.21), et le zéro de la graduation horizontale n'étant pas modifié après mise en station, l'opérateur effectue une lecture azimutale L_A sur le point A puis une lecture L_B sur B et en déduit l'angle \widehat{ASB} (noté aussi H_{zAB}):

$$\widehat{ASB} = L_B - L_A$$

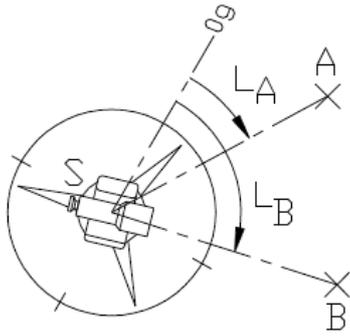


Figure 2 - Lecture d'un angle horizontal.

2.2. Séquence

On appelle séquence un ensemble de $(n + 1)$ lectures effectuées à partir d'une même station sur n directions différentes avec la même position des cercles horizontaux et verticaux, le contrôle de fermeture sur la référence et la répercussion sur les n lectures de l'écart de fermeture sur la référence (*sur laquelle on ramènera les angles à zéro*).

Par exemple, sur la figure 3, la référence est le point R sur lequel l'opérateur effectue la première lecture L_{R1} , on fait **une lecture sur chaque point** en tournant en sens horaire et une dernière **lecture de fermeture** sur le point R L_{R2} .

Par calcul, les lectures sont ensuite ramenées à la référence R en soustrayant aux autres lectures **la moyenne des deux lectures sur la référence**. Pour cela, on calcule :

- la fermeture de la séquence : $F_s = |L_{R1} - L_{R2}|$
- la moyenne sur la référence : $L_R = (L_{R1} + L_{R2})/2$

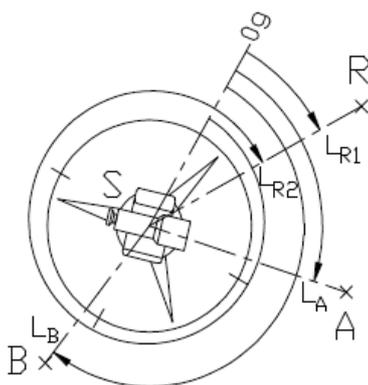


Figure 3 - Séquence.

La lecture sur la référence devient donc $L_R = 0$.

2.3. Paire de séquences

Une paire de séquence est l'association de deux séquences successives avec **un décalage de l'origine du limbe, le retournement de la lunette et l'inversion du sens d'observation**. Cette méthode permet de minimiser certaines erreurs systématiques.

Généralement, l'opérateur effectue une séquence en CG dans le sens horaire de rotation de l'appareil puis effectue un double retournement et enfin effectue la séquence en CD dans le sens trigonométrique (sens inverse horaire).

Pour une seule paire de séquences on décale l'origine du limbe de 100 gon ; le double retournement décale déjà l'origine du limbe de 200 gon (figure 4).

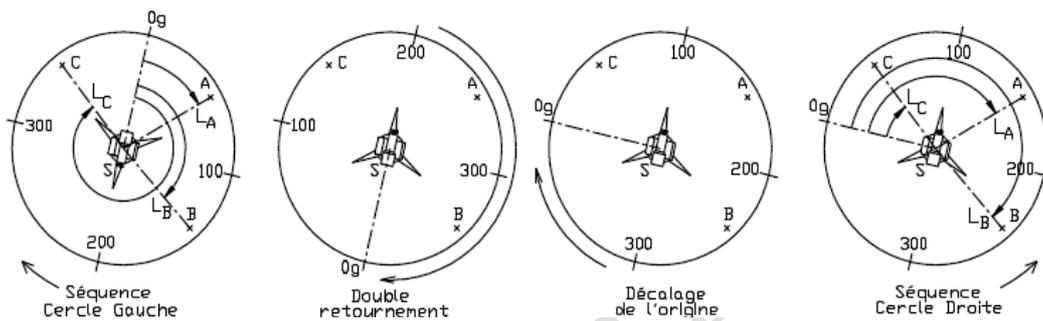


Figure 4 - Paire de séquences avec décalage de l'origine.

2.4. Tour d'horizon

Le tour d'horizon est le résultat final de la combinaison des observations angulaires (séquences) en une même station et **rapportées à une même référence R**.

Lors du calcul, on détermine la valeur moyenne de **l'écart sur la référence** : c' est la somme algébrique de tous les écarts de lecture d'une même paire divisée par $(n + 1)$, n étant le nombre de directions visées y compris la référence.

3. Mesure des angles verticaux

Les théodolites ou tachéomètres ont en plus de leur fonction "*goniomètre*", une fonction "*éclimètre*"; c'est-à-dire qu'ils permettent la mesure des angles verticaux.

Le limbe (cercle) vertical des tachéomètres à fonction éclimètre peut être gradué en:

Site	(i) angle de la visée avec l'horizontale.
Angle zénithal	(z) angle de la visée avec la verticale ascendante.
Angle nadiral	(n) angle de la visée avec la verticale descendante.

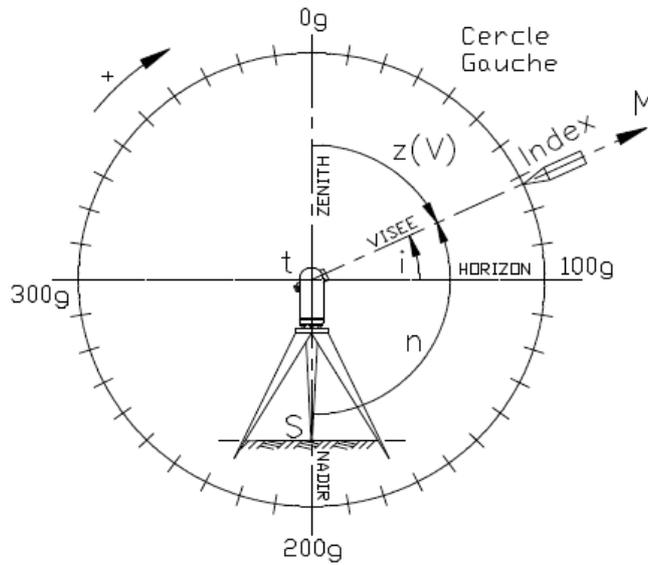


Figure 5 - Angles verticaux i , z et n .

Les relations entre ces angles sont :

- L'angle i est compté **positif dans le sens inverse horaire** de manière à obtenir un angle de site positif pour une visée au-dessus de l'horizon et un angle de site négatif pour une visée en dessous de l'horizon.
- L'angle n est compté positif en sens inverse horaire; il vaut 0 gon au nadir et 200 gon au zénith.

3.1. Valeur moyenne d'un angle vertical par double retournement

Nous admettrons que la position de référence de notre appareil mécanique est le cercle à gauche (CG).

Après un double retournement le sens d'évolution de la graduation du cercle vertical est inversé. L'angle lu en cercle droit Z_{CD} n'est donc pas « directement comparable » avec l'angle lu en cercle gauche Z_{CG} , comme c'était le cas avec les angles horizontaux.

La relation entre les deux lectures est :

$$Z_{CG} = 400 - Z_{CD}$$

En CG:

$$i_{CG} = 100 - Z_{CG}$$

$$i_{CG} = n_{CG} - 100$$

En CD:

$$i_{CD} = 300 - n_{CD}$$

$$i_{CD} = Z - 300$$

L'angle final moyen déduit des deux lectures est :

$$n = 200 - Z$$

$$i = 100 - Z$$

$$i = n - 100$$

où:

$$Z = (400 + Z_{CG} - Z_{CD})/2$$

3.2. Collimation verticale

Dans le cas où le cercle vertical ne cale pas à l'angle zéro au zénith. La ligne 0~200 gon fait avec la verticale un petit angle z_0 appelé **défaut de collimation verticale**.

On élimine ce défaut soit par double retournement, soit par des visées directes et des visées inverses.

$$Z_0 = (Z_{CG} + Z_{CD} - 400)/2$$