

Chapitre 4 : Mesure des angles

4.1 Introduction

La détermination des **longitudes** et **latitudes** astronomiques a été basée essentiellement sur la mesure d'angles horizontaux et verticaux, associée à des mesures de temps. En topographie, les angles se mesurent dans un plan horizontal ou dans un plan vertical. Cependant, ils ne sont pas mesurables dans un plan oblique. Les opérations de mesures topographiques se subdivisent en deux catégories :

- **Les mesures planimétriques :**

Elles consistent à déterminer la position (X et Y) d'un ou de plusieurs points. Ces mesures planimétriques apportent généralement un détail spécifique pour chaque point (TN, coin de maison, limite d'un grillage, poteau électrique, borne d'irrigation, vanne de gaz, regard d'assainissement, ...), et sont déterminés au moyen des **mesures d'angles horizontaux** et des **distances horizontales**.

- **Les mesures altimétriques :**

Elles consistent à déterminer les altitudes (ou le dénivelé entre les points) des points par rapport d'un repère topographique de niveau arbitraire, ou par rapport un nivellement géographique (NGA).

Elles sont déterminées au moyen des **mesures d'angles verticaux** et des distances horizontales.

4.2 Instruments de mesure des angles

Une classification des instruments de mesure peut être donnée par la liste suivante :

- **Equerre optique** : petit instrument optique très pratique permettant la détermination des angles droits précis à 90° pour l'implantation de tout type d'ouvrages (**Fig.4.1**).



Figure 4.1- Goniomètre

- **Goniomètre** : instrument permettant de mesurer des angles dans le plan horizontal (**Fig.4.2**).

La lunette topographique, mobile autour de l'axe des tourillons, possède un réticule réglable qu'on amène dans le plan conjugué de l'objet visé par rapport à l'objectif de la lunette. L'image obtenue est observée au moyen de l'oculaire. Le centrage du goniomètre au point de station S demande d'amener l'axe principal PP' du goniomètre sur la verticale de S.

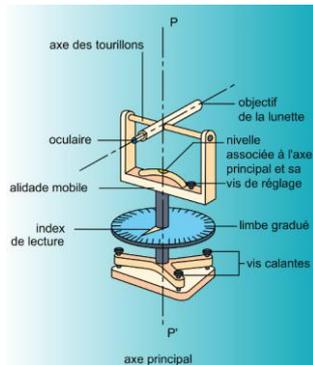


Figure 4.2- Goniomètre

- **Goniographe** : instrument permettant de déterminer graphiquement des angles.
 - **Cercles d'alignement** : avec lesquels seuls les angles horizontaux peuvent être mesurés (**Fig.4.3**).
- Ces instruments sont remplacés par les théodolites.



Figure 4.3- Cercles d'alignement

- **Éclimètre** : Boussole munie d'un niveau et d'une lunette mobile dans un plan vertical, de manière à permettre de mesurer les azimuts magnétiques et les pentes (**Fig.4.4**).



Figure 4.4- Eclimètre

- **Théodolite** : c'est un instrument de géodésie complété d'un instrument d'optique, mesurant des angles dans les deux plans horizontaux et verticaux afin de déterminer une direction (**Fig.4.5**). Il est utilisé pour réaliser les mesures d'une triangulation, c'est-à-dire des angles d'un triangle.



Figure 4.5- Théodolite

- **Tachéomètre** : instrument possédant les fonctions du théodolite plus un procédé de mesure de distance (**Fig.4.6**).



Figure 4.6- Tachéomètre

4.3 Constituants principaux d'un théodolite

Les éléments principaux constitutifs d'un théodolite sont les suivants (**Fig.4.7**) :

- 3 axes concourants
 - ◆ Axe principal ou pivot matérialisant la verticale de l'instrument.
 - ◆ Axe de basculement ou axe des tourillons.
 - ◆ Axe optique défini par la lunette de visée.
- 2 cercles gradués
 - ◆ Cercle horizontal.
 - ◆ Cercle vertical

1 dispositif de centrage et de mise à la verticale du pivot.

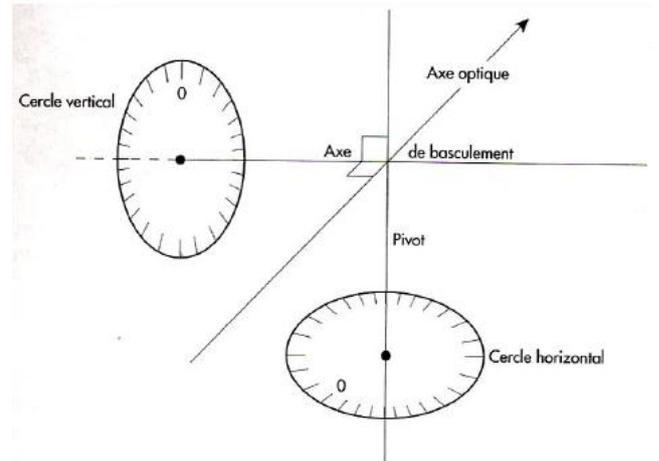
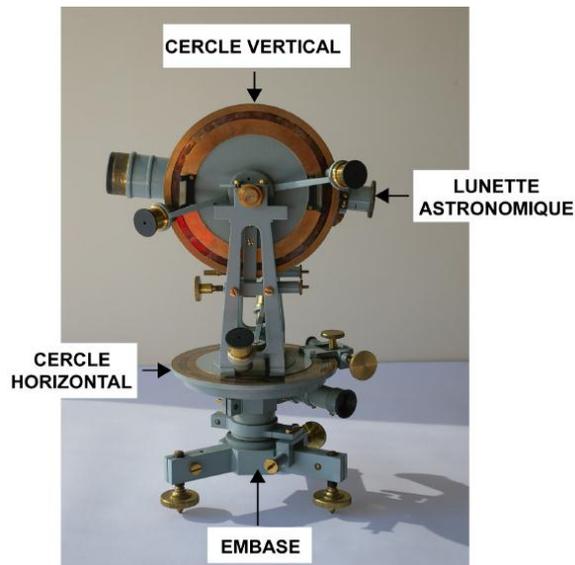


Figure 4.7- Constituants d'un théodolite (appareil ancien)

4.4 Angles horizontaux

En topographie, l'angle formé par deux lignes droites tracées au sol se mesure **horizontalement**. On dit qu'il s'agit d'un angle horizontal. Les lignes tracées au sol peuvent être remplacées par les **deux** lignes de visée AB et AC (**Fig.4.8**).

Les lignes de visée partent de votre œil, qui constitue le **sommet A de l'angle BAC**, et sont dirigées vers des repères fixes, tels qu'une pierre, un arbre, une butte de termites, un poteau téléphonique ou l'angle d'un bâtiment.

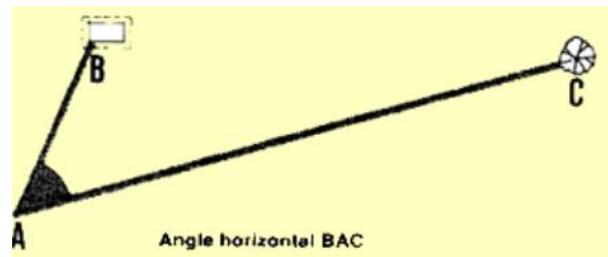
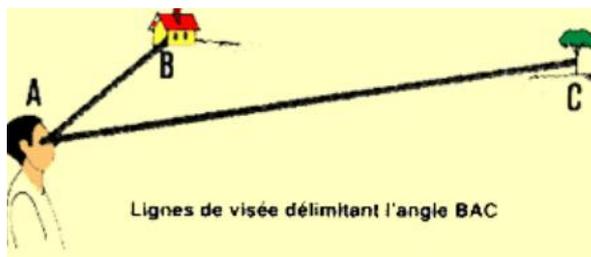


Figure 4.8- Angles horizontaux

Les angles horizontaux sont exprimés généralement en **degrés**. Un cercle complet est divisé en **360°**. Notez sur la figure 4.8 les **deux angles particuliers** qui y sont mentionnés :

- Un **angle de 90°** ou angle droit, formé par deux droites **perpendiculaires**. Les angles d'un carré sont tous des angles droits ;
- Un **angle de 180°** obtenu en prolongeant une ligne droite. En fait, il peut être assimilé à une ligne droite.

Chaque degré angulaire est divisé en unités plus petites:

- 1 **degré** = 60 minutes (60');

- 1 **minute** = 60 secondes (60")

Toutefois, seuls des instruments de haute précision permettent de mesurer ces petites unités.

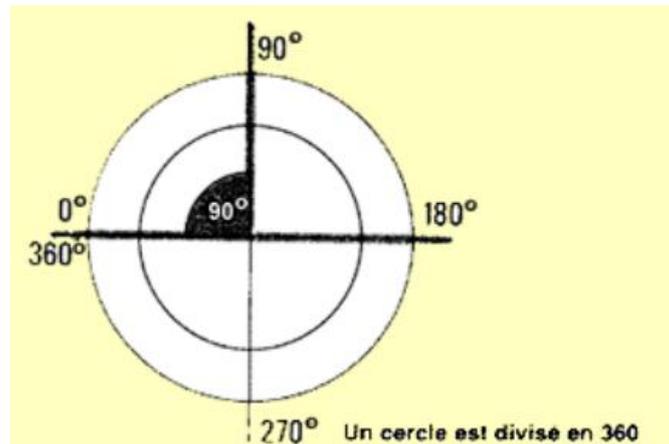


Figure 4.9- mesure d'angles horizontaux

4.4.1 Mesure d'angles horizontaux

Les angles horizontaux (*azimutaux*) peuvent être mesurés à l'aide d'un théodolite, est un angle plan, compté positivement dans le sens horaire. Il est formé entre deux plan verticaux, passant par le vertical du point A (point station de l'instrument), quelque soient les positions altimétriques de A et B, l'angle observé est identique " AH ".

$$\text{Angle horizontale (AH}_{AB}) = \text{lecture finale de l'angle (L}_B) - \text{lecture finale de l'angle (L}_A)$$

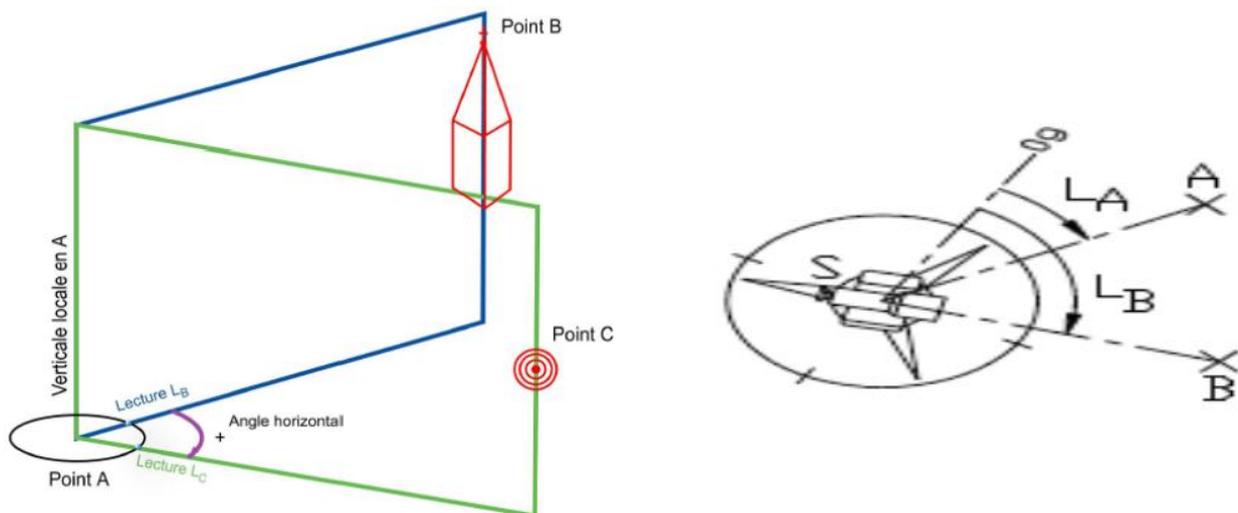


Figure 4.10- Mesure d'un angle horizontal

En pratique cet angle est calculé par différence de lectures effectuées sur un cercle horizontal gradué de 0 à 400^{gr} dans le sens des aiguilles d'une montre appelé « **limbe** ».

4.4.2 Cercle horizontal « limbe »

Le cercle horizontal ou limbe est la graduation du théodolite sur laquelle l'opérateur lit les angles

horizontaux. Il est lié au socle de l'appareil mais peut aussi pivoter sur lui-même de manière à régler le zéro des graduations sur une direction donnée.

Les graduations sont croissantes de 0 à 400 gons dans le sens horaire.

Après la mise en station du théodolite, ce cercle est horizontal, ce qui explique que les angles lus soient des angles projetés sur le plan horizontal et appelés angles horizontaux (ou azimutaux), notés Hz.

Exemple

Si l'on appelle HzCG la valeur lue en cercle gauche, et HzCD celle lue en cercle droit comme illustrée sur la figure ...

En effet, le double retournement décale le zéro de la graduation de 200 gons ; ceci permet un contrôle simple et immédiat des lectures sur le terrain.

$$Hz_{CD} \approx Hz_{CG} + 200$$

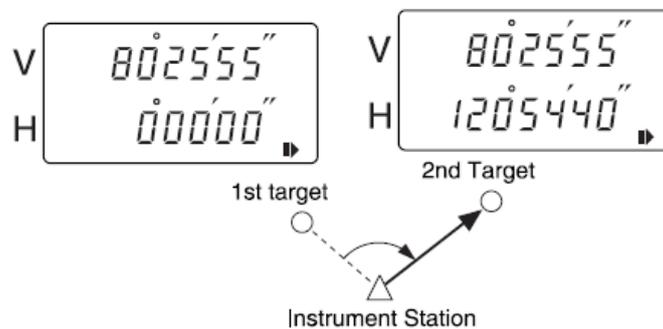


Figure 4.11- Lecture sur un limbe

4.4.3 Le gisement

Le gisement est un angle horizontal très utilisé par les topographes car il est très pratique dans les calculs (Fig.4.12).

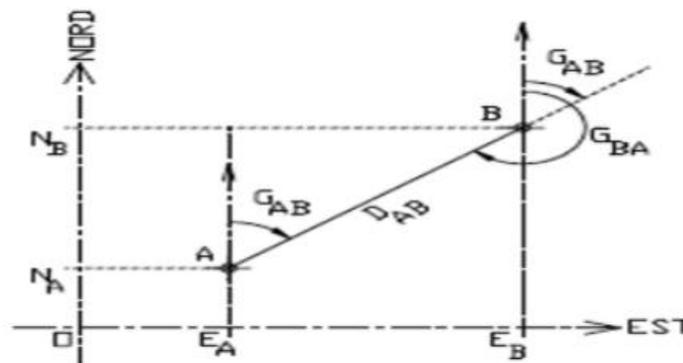


Figure 4.12- Gisement de la direction AB

4.4.3.1 Gisement d'une direction AB

Le gisement d'une direction AB est l'angle horizontal mesuré positivement dans le sens horaire entre l'axe des ordonnées du système de projection utilisé et cette direction AB.

On le note G_{AB} . G est compris entre 0 et 400 gons.

G_{BA} est l'angle entre le Nord et la direction BA. La relation qui lie G_{AB} et G_{BA} est :

$$G_{BA} = G_{AB} + 200$$

4.4.3.2 Calcul d'un gisement à partir des coordonnées cartésiennes

Considérons les coordonnées de deux points A(E_A, N_A) et B(E_B, N_B) comme illustré dans la **figure 4.13**.

La relation suivante :

$$\tan G_{AB} = \frac{E_B - E_A}{N_B - N_A}$$

Permet de calculer G_{AB} .

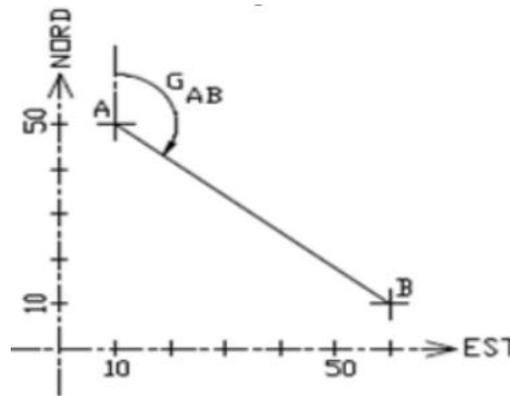


Figure 4.13- Calcul du gisement

4.4.3.3 Calcul des coordonnées à partir d'un gisement

En topographie, il est très fréquent de connaître un point S (E_S, N_S) et de chercher les coordonnées d'un point P visible depuis S (**Fig.4.14**).

On dit que P est rayonné depuis S si l'on peut mesurer la distance horizontale D_{SP} et le gisement G_{SP} .

Quel que soit le quadrant, on peut alors calculer les coordonnées du point P par les formules suivantes :

$$E_P = E_S + D_{SP} \times \sin G_{SP}$$

$$N_P = N_S + D_{SP} \times \cos G_{SP}$$

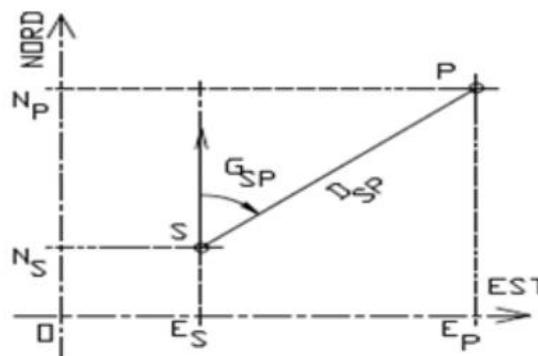


Figure 4.13- Calcul de coordonnées

4.5 Angles verticaux

L'angle vertical est un angle mesuré dans un plan vertical, entre la verticale en A et la ligne de visée vers l'objet "B" (**Fig.4.14**).

Un angle vertical CAB peut être formé par exemple par la ligne de visée AB, partant de la station A sur une rive et dirigée vers une installation de pompage plus élevée, tandis que la ligne de visée AC partant de la station A est dirigée vers une citerne de stockage d'eau beaucoup plus élevée.

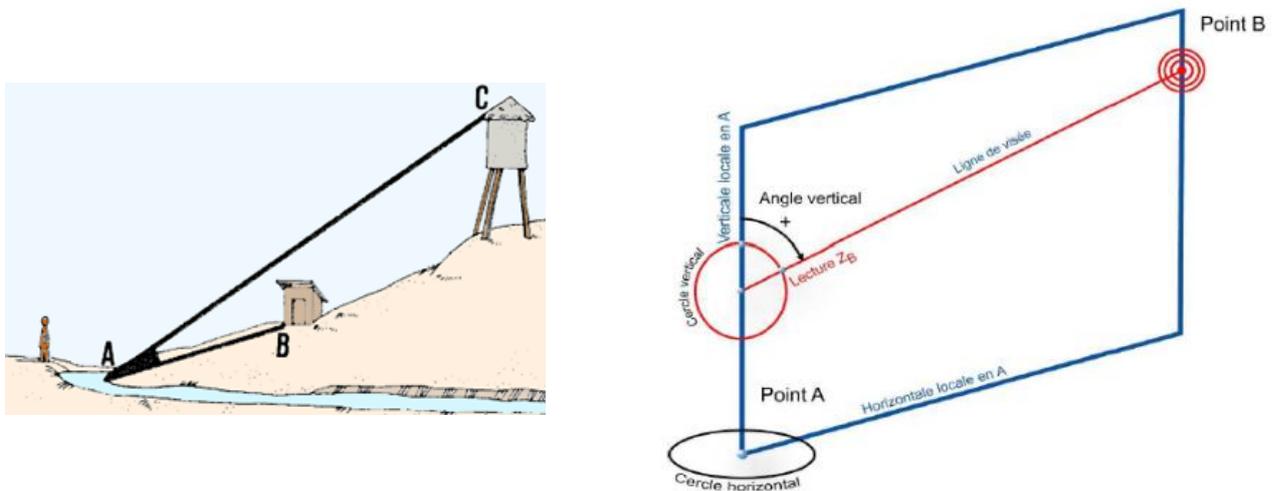


Figure 4.14- Angle vertical

Ou d'une autre façon, les angles verticaux ou **zénithaux** sont les angles mesurés entre la verticale de la station (le zénith) et la direction d'une autre station (**Fig.4.15**).

Autrement dit, c'est la mesure de l'**inclinaison** de la visée par rapport au plan horizontal à l'aide d'un théodolite. Il donne un angle positif si la visée est montante et négatif si elle est descendante.

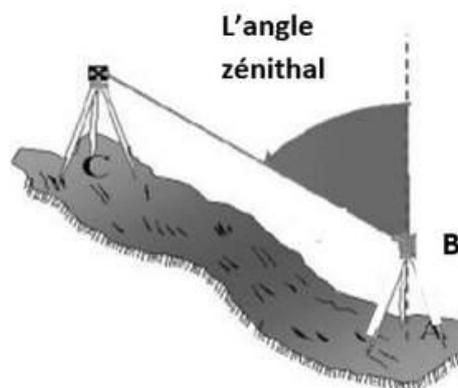


Figure 4.15- Angle vertical (zénithal)

Les théodolites ou tachéomètres permettent la mesure des angles verticaux.

4.5.1 Lecture d'un angle vertical

La lecture d'un angle vertical z , noté aussi V , z est appelé « angle zénithal » : c'est un angle projeté dans le plan vertical du point de la station.

Pour simplifier le schéma de lecture d'un angle zénithal, on considère que le **zéro de la graduation est au zénith** lorsque l'appareil est en station.

On considère alors que tout se passe comme si le cercle vertical était fixe et que l'index de lecture se déplaçait avec la visée.

Ceci permet de faire apparaître plus clairement (**Fig.4.15**):

- ✓ **L'angle de site i** entre l'horizontal et la visée ;
- ✓ **L'angle zénithal z** entre le zénith (la verticale ascendante) et la visée ;
- ✓ **L'angle nadiral n** entre le nadir (la verticale descendante) et la visée ;

Les relations entre ces angles sont :

$$n = 200 - V$$

$$i = 100 - V$$

$$100 = n - i$$

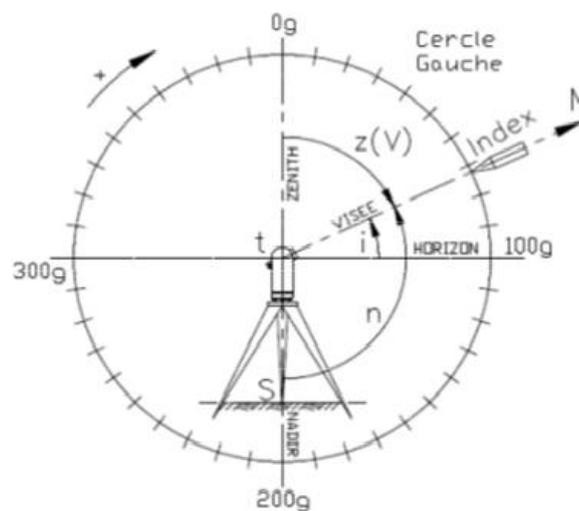


Figure 4.15- Lecture d'un angle vertical

4.5.2 Angles verticaux z , i 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.

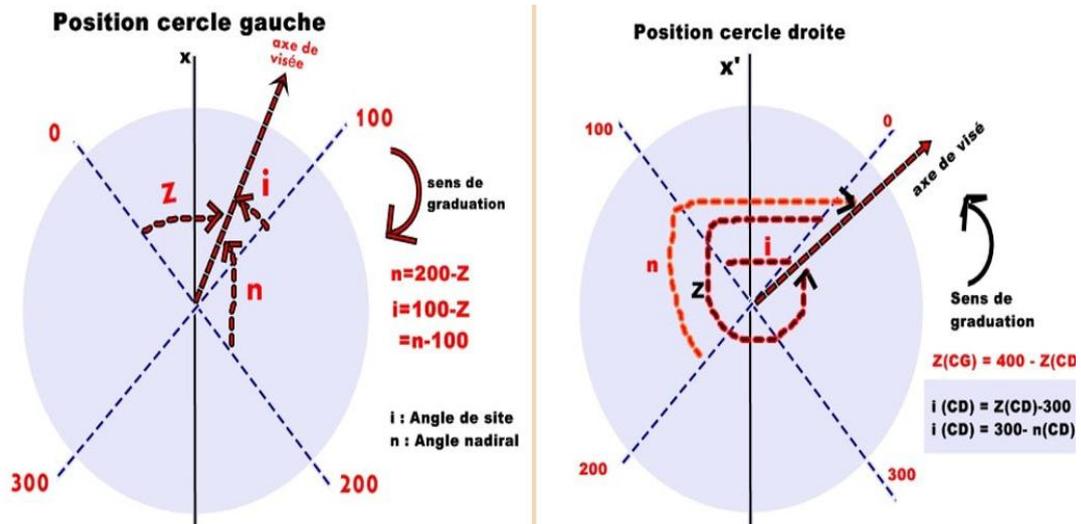


Figure 4.16- Relations entre i , z et n

4.5.3 L'angle vertical par un double retournement :

Le double retournement permet d'éliminer l'influence de l'erreur d'éclimètre. Après un double retournement le sens d'évolution de la graduation du cercle vertical est inversé.

- L'angle lu en cercle droit Z_{CD}
- L'angle lu en cercle gauche Z_{CG}

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

Z_0 : Collimation vertical

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

L'angle final moyen :

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

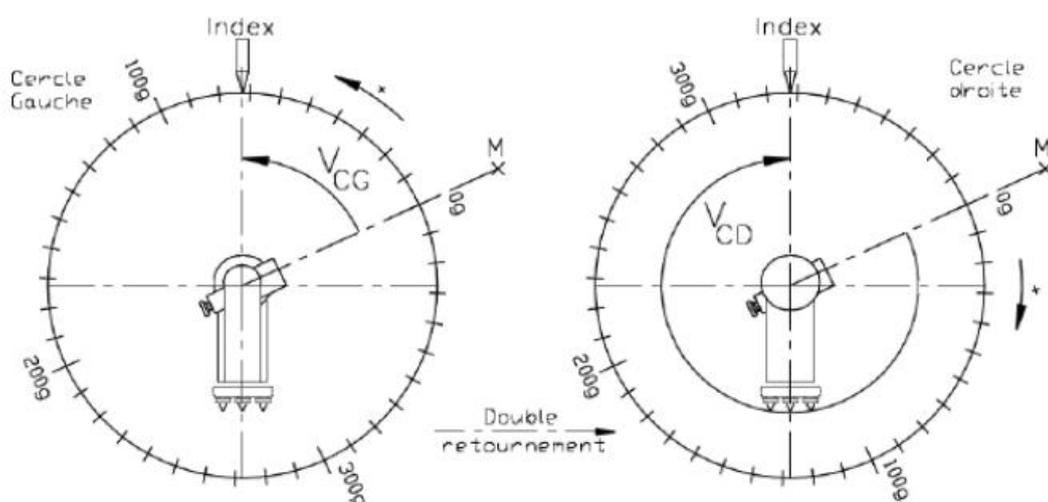


Figure 4.17- Effet du double retournement sur la mesure d'angle vertical