

“

Chapitre 3

Mesure des Angles

”

Introduction

La mesure d'angle est toujours indispensable en topographie. Par rapport aux mesures de distances au moyen de technologies modernes, les mesures angulaires gardent l'avantage d'être d'autant plus précises que les portées de mesures sont longues

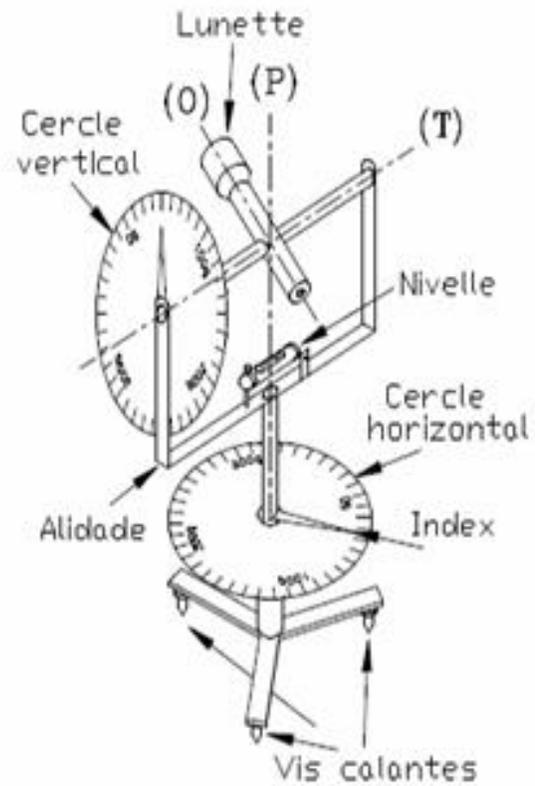
► LE THEODOLITE

Un théodolite est un appareil permettant de mesurer des angles horizontaux et verticaux. Le terme théodolite « optico mécanique » regroupe l'ensemble des appareils à lecture « mécanique » par vernier gradué en comparaison aux appareils « optico-électroniques », appelés aussi stations, dont la lecture se fait sur un écran à affichage numérique et qui intègre souvent un appareil de mesure électronique des distances (IMEL)

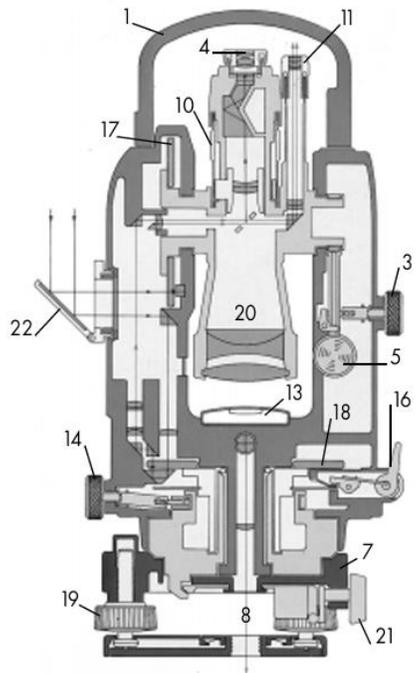
► Terminologie

- **Le goniomètre** : C'est le terme générique pour désigner les instruments permettant la mesure des angles verticaux ou horizontaux.
- **Le théodolite** : c'est un instrument qui permet de mesurer les angles verticaux et horizontaux.
- **Le goniographe** : utilisé surtout par la cartographe c'est un instrument permettant de déterminer graphiquement les angles.
- **L'éclimètre** : c'est un instrument permettant la mesure des angles verticaux.
- **Le clisimètre** : c'est un instrument permettant de mesurer les angles verticaux de par leur pente. La pente c'est la tangente exprimée en pourcentage.
- **Le tachéomètre** : (du grec takhéo=rapide) C'est un instrument possédant la fonction du théodolite plus un procédé de mesure de distance

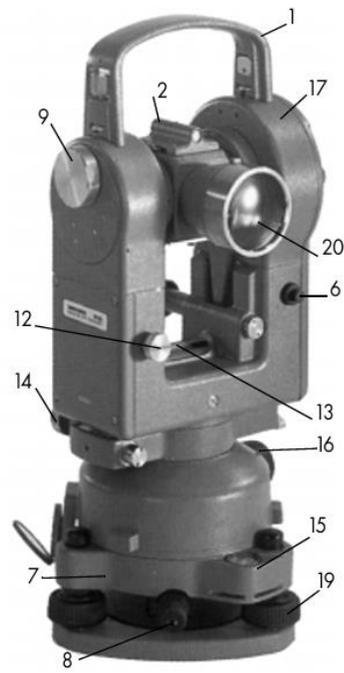
LE THEODOLITE



LE THEODOLITE



T16 (coupe)



T2 vue extérieure

Légende

1. Poignée amovible	12. Commutateur de lecture Hz-V
2. Viseur d'approche	13. Nivelles d'alidade
3. Vis de blocage de la lunette	14. Vis d'alidade de fin pointé
4. Oculaire de la lunette	15. Nivelles sphérique
5. Vis de fin pointé	16. Débrayage du limbe (T16)
6. Contrôle d'automatisme	17. Cercle vertical
7. Embase amovible	18. Cercle horizontal
8. Plomb optique	19. Vis calantes
9. Micromètre optique	20. Objectif
10. Bague de mise au point	21. Blocage de l'embase
11. Microscopie de lecture	22. Éclairage des cercles

LE THEODOLITE

▶ Principe de fonctionnement

Axe principal (P): il doit être vertical après la mise en station du théodolite et doit passer par le centre de la graduation horizontale et le point stationné.

Axe secondaire ou axe des tourillons (T): Il est perpendiculaire à l'axe principal et doit passer au centre de la graduation verticale.

Axe optique ou axe de visée (O): Il doit toujours être perpendiculaire à (T), les trois axes (P), (T) et (O) devant être concourants.

L'alidade : C'est un ensemble mobile autour de l'axe principal (P) comprenant le cercle vertical, la lunette, la nivelle torique d'alidade et les dispositifs de lecture (index).

Le cercle vertical (graduation verticale) : Il est solidaire de la lunette et pivote autour de l'axe des tourillons (T).

Le cercle horizontal (graduation horizontale) ou limbe : est le plus souvent fixe par rapport à l'embase mais il peut être solidarisé à l'alidade (par un système d'embrayage) : on parle alors de mouvement général de l'alidade et du cercle autour de (P) ; c'est le mouvement utilisé lors du positionnement du zéro du limbe sur un point donné.

MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

► MISE EN STATION D'UN THÉODOLITE OU D'UN TACHÉOMÈTRE

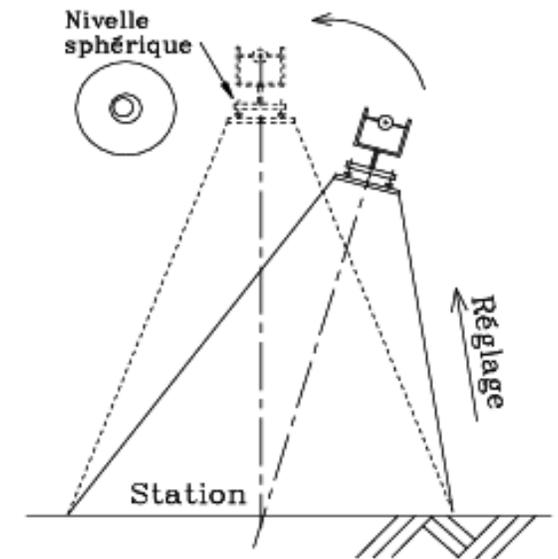
Etape 1 : préparation

- Disposer les jambes du trépied à égale distance du point de station. Enfoncer les dans le sol.
- Vérifier que les vis calantes sont à mi-course et que le plateau est horizontal.



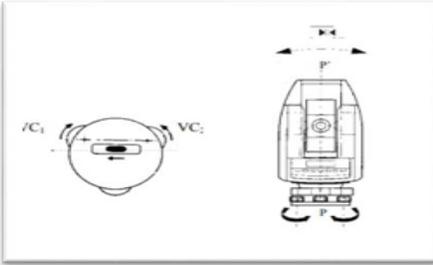
Etape 2 : centrage

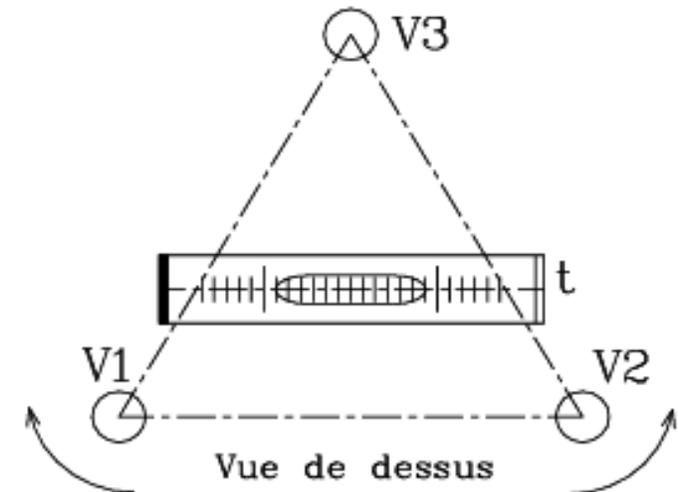
Faire passer l'axe principal par le point de station en tournant les 3 vis calantes tout en observant le point de station à l'aide du plomb optique.



MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

► MISE EN STATION D'UN THÉODOLITE OU D'UN TACHÉOMÈTRE

<p>Etape 3 : quasi-verticalité Caler la bulle de la nivellement sphérique en modifiant la longueur des jambes du trépied.</p>	
<p>Etape 4 : verticalité fine direction VC1 VC2</p> <ul style="list-style-type: none">• Tourner l'alidade pour amener la nivellement torique dans la position VC1-VC2.• Tourner les 2 vis calantes VC1-VC2 en sens opposé pour caler la bulle de la nivellement torique. L'axe principal PP' est vertical quand la bulle est calée.	
<p>Etape 5 : rot. de l'alidade Faire pivoter l'alidade de 100 gon (1/4 de tour)</p>	

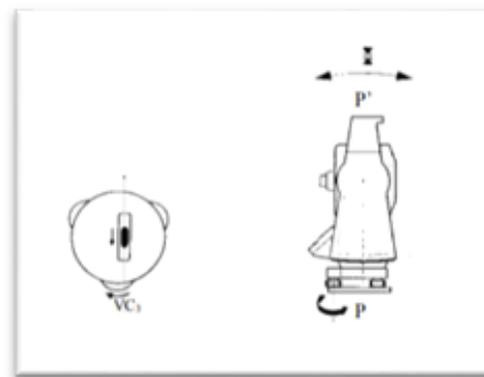


MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

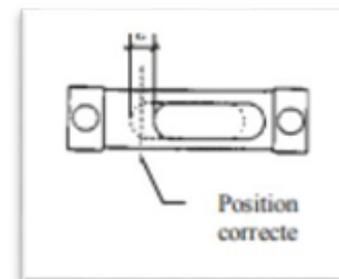
► MISE EN STATION D'UN THÉODOLITE OU D'UN TACHÉOMÈTRE

Etape 6 : verticalité fine – direction VC3

Tourner la troisième vis calante VC3 pour caler la nivelle torique. L'axe principal PP' est vertical quand la bulle est calée.



On peut caler correctement la bulle d'une nivelle torique même si elle est dérégulée en rattrapant la moitié du décalage ($\epsilon/2$) à l'aide des vis calantes. Le décalage ϵ est mis en évidence en faisant pivoter l'alidade de 200 gon



MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

▶ MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

La mise en station d'un théodolite consiste à caler l'axe principal de l'appareil à la verticale d'un point de station donné

▶ Mise à hauteur du trépied

La mise à hauteur du trépied s'effectue comme suit :

- Fixez l'appareil sur le trépied en prenant soin de vérifier que les trois vis calantes sont à peu près à mi-course.
- Réglez l'oculaire à la hauteur des yeux de l'opérateur (ou mieux, légèrement en dessous de cette hauteur : il est plus facile de se baisser que de se hausser). Profitez en pour régler la netteté du réticule de visée.

MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

- ▶ MISE EN STATION D'UN THEODOLITE
- ▶ Calage grossier d'approche

Si vous devez mettre en station sur un point donné : soulevez deux pieds du trépied tout en regardant dans le plomb optique et déplacez l'ensemble afin de positionner le plomb optique près du point de mise en station (inutile à ce stade de le positionner exactement sur le point). Enfoncez ensuite les pieds dans le sol puis positionnez le plomb optique exactement sur le point au moyen des trois vis calantes. À cet instant, l'axe principal passe par le point de station mais n'est pas vertical.

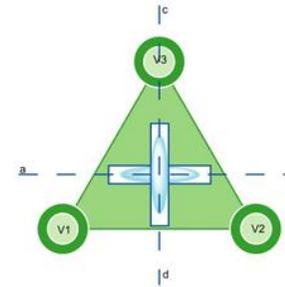
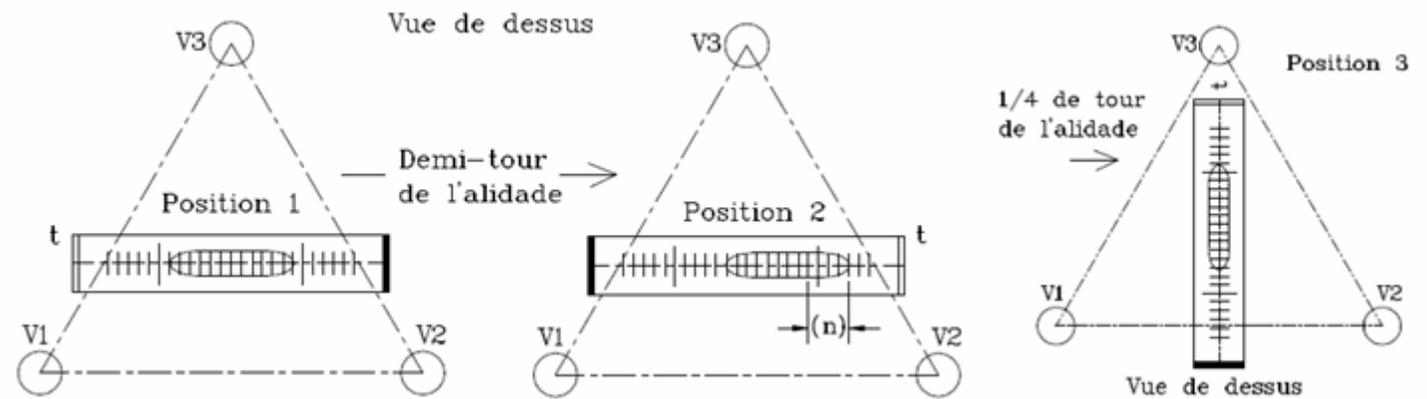
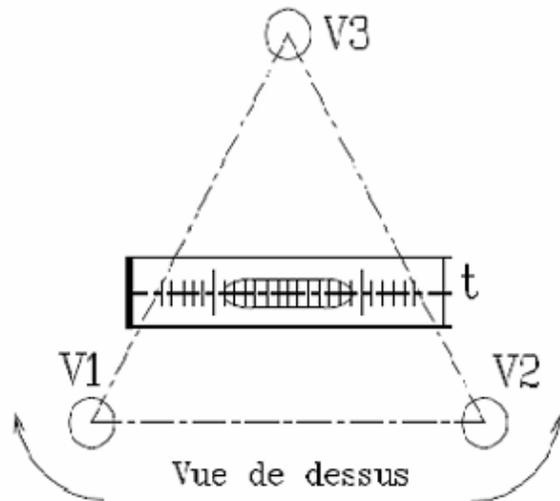
MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

- ▶ MISE EN STATION D'UN THEODOLITE
- ▶ Calage grossier au moyen des nivelles

Si vous devez mettre en station sur un point donné : calez la nivelle sphérique au moyen des pieds du trépied. Posez un pied sur une jambe du trépied puis faites-la coulisser jusqu'à centrer la bulle de la nivelle. En pratique, il faut intervenir sur plusieurs pieds l'un après l'autre (agir sur le pied vers lequel semble aller la bulle et recentrez-la ou ramenez-la vers un autre pied, et agir ensuite sur ce pied, etc.).

MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

► MISE EN STATION D'UN THEODOLITE



MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

- ▶ MISE EN STATION D'UN THEODOLITE
- ▶ Calage fin au moyen d'une nivelle torique

Amenez la nivelle torique (t) parallèle à deux vis calantes $V1$ et $V2$. Centrez la bulle au moyen des deux vis $V1$ et $V2$ en agissant simultanément sur les deux vis en sens inverse l'une de l'autre, puis faites tourner l'appareil de 200 gon.

- a) Si la nivelle torique est bien réglée, la bulle revient exactement dans la même position après un demi-tour de l'alidade (ou dans une position voisine à une ou deux graduations près : la bulle doit rester entre les deux repères principaux). C'est le cas le plus courant.
- b) Si la nivelle torique est complètement dérégulée, la bulle est complètement décalée et vient en butée sur un des deux cotés du tore. La nivelle doit être réglée au moyen des vis de réglage prévues à cet effet.
- c) Si la nivelle torique est légèrement dérégulée, elle se décale d'un nombre n de graduations : il suffit dans ce cas de recentrer la bulle de $n/2$ graduations et adopter pour la suite cette position de la bulle comme position de référence appelée position de calage

MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

► MISE EN STATION D'UN THEODOLITE

Amenez l'axe de la nivelle torique sur la troisième vis calante V3 et, en agissant sur la seule vis V3, amenez la bulle dans la position de calage (c'est-à-dire bulle centrée si vous étiez dans le cas a) ou bulle décalée de la moitié de l'erreur dans le même sens si vous étiez dans le cas c). Sur la figure ci-dessous, la nivelle est dans la position de calage.

► Vérifications finales

Enfin, vérifiez que l'appareil est toujours au-dessus du point de station donné

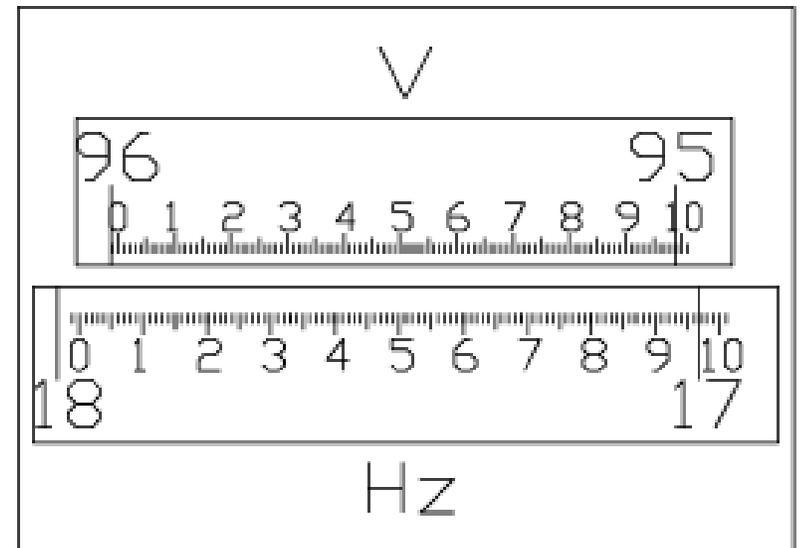
LE THEODOLITE

► Systèmes de lecture

Les appareils anciens sont munis de deux cercles en verre appelé limbes. L'observation de ces limbes permet d'effectuer des lectures d'angles horizontaux et verticaux. La lecture sur ces limbes s'effectue au moyen d'un dispositif d'affichage muni d'un micromètre

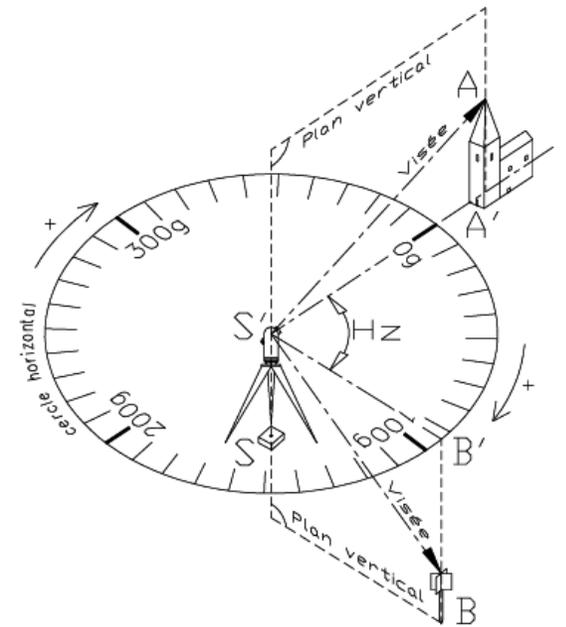
Par exemple, dans le théodolite T16, les deux cercles sont lisibles en même temps ;

on peut lire : $V = 95,985$ gon et $H_z = 17,965$ gon.



LES ANGLES HORIZONTALS

- ▶ 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. Il existe plusieurs technologies possibles pour cette mise à zéro
- ▶ Les graduations sont croissantes de 0 à 400 gon dans le sens horaire (en regardant le cercle du dessus)
- ▶ 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
- ▶ l'appareil est en station sur le point S. L'opérateur vise le point A (sommet du bâtiment) et règle le zéro des graduations sur ce point. En visant le point B, il lit dans le théodolite l'angle horizontal $A'-S'-B'$ (A' , B' , S' sont les projections de A, B et S sur le plan horizontal passant par l'axe des tourillons de l'appareil)

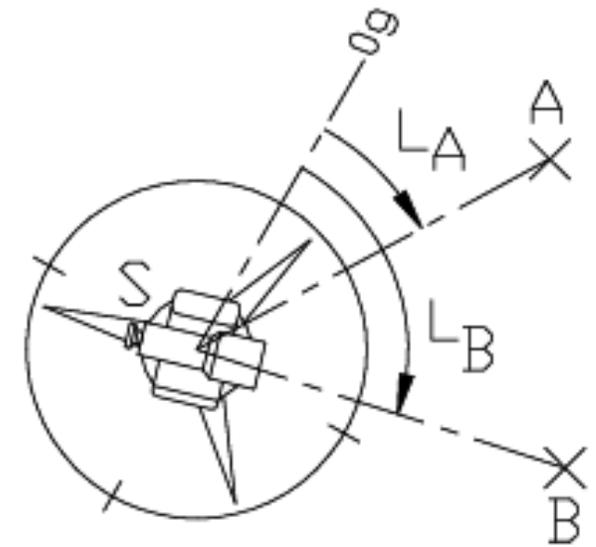


LES ANGLES HORIZONTALS

► 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 ASB :

$$Hz_{AB} = L_B - L_A$$



LES ANGLES HORIZONTALS

► Le double retournement

C'est une manipulation consistant en un demi-tour simultané de la lunette et de l'alidade. 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 et de tourillonnement.

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.

LES ANGLES HORIZONTALS

► Le 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 : $H_{zCD} \approx H_{zCG} + 200$

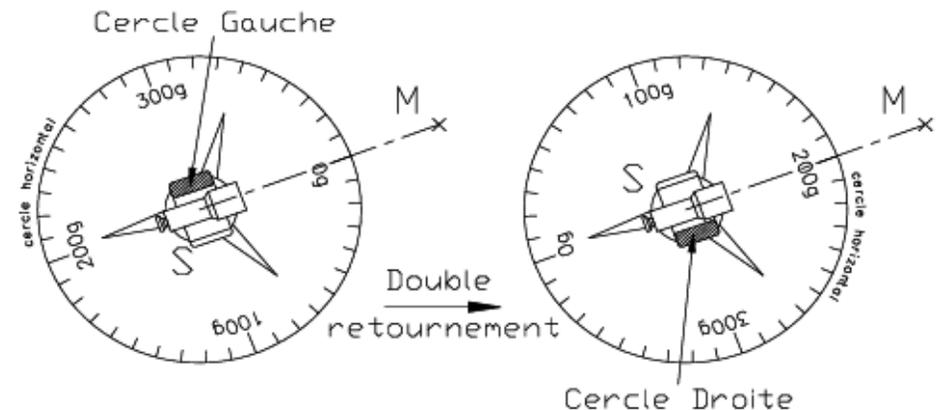
La différence entre les valeurs H_{zCG} et $(H_{zCD} - 200)$ représente la combinaison des erreurs de collimation, de mise en station, de lecture, etc. L'angle horizontal H_z mesuré vaut alors :

$$H_z = \frac{H_{zCG} + (H_{zCD} - 200)}{2}$$

$$H_z = \frac{H_{zCG} + (H_{zCD} - 200 + 400)}{2} = \frac{H_{zCG} + (H_{zCD} + 200)}{2}$$

si $H_{zCD} > 200$ gon

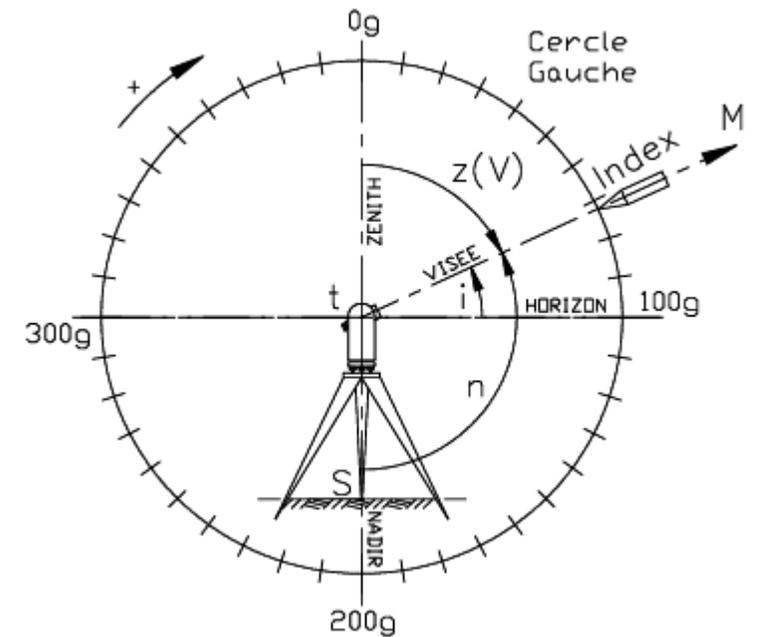
si $H_{zCD} < 200$ gon



ANGLES VERTICAUX

- ▶ La lecture d'un angle vertical z , noté aussi V , est réalisée de la manière suivante :

Sur la figure, est représentée une vue en élévation du cercle vertical d'un théodolite en position de référence. Nous avons vu que ce cercle est solidaire de la lunette. Son zéro est placé sur l'axe de la lunette (visée). L'index de lecture est fixe et positionné à la verticale (zénith) du centre optique (t) de l'appareil, lui-même stationné à la verticale du point S . Lorsque la ligne de visée passe par un point M , l'index donne alors la lecture de l'angle z (ou V) intercepté sur le cercle vertical



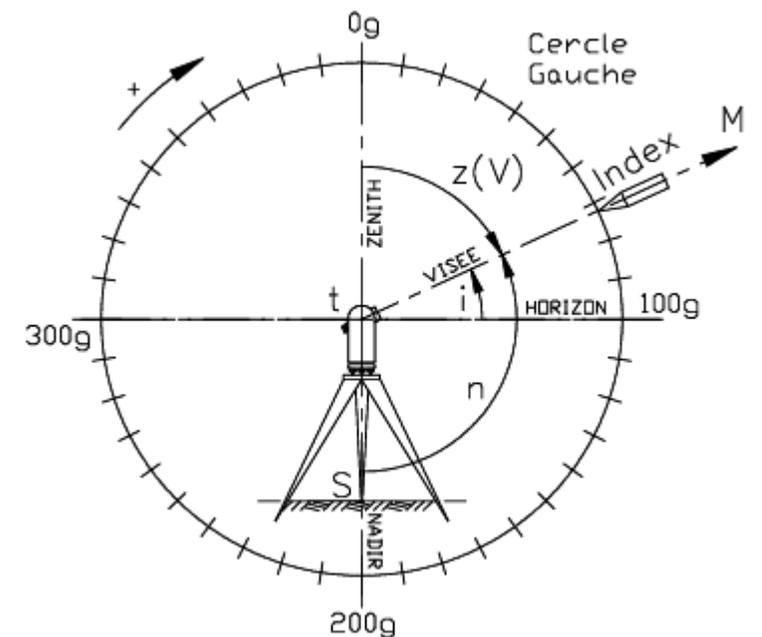
ANGLES VERTICAUX

- ▶ La lecture d'un angle vertical z , noté aussi V , est réalisée de la manière suivante :

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

- l'angle de site i entre l'horizon et la visée ;
- l'angle nadiral n entre le nadir et la visée.
- la position de référence de l'appareil utilisé : dans cette position (cercle à gauche ou bien à droite), l'angle z vaut 100 gon sur l'horizontale.



ANGLES VERTICAUX

▶ on note généralement : $n = 200 - V$ $i = 100 - V$ $100 = n - i$

V tout angle mesuré dans un plan vertical ;

z angle zénithal ;

i angle de site (par rapport à l'horizon) ;

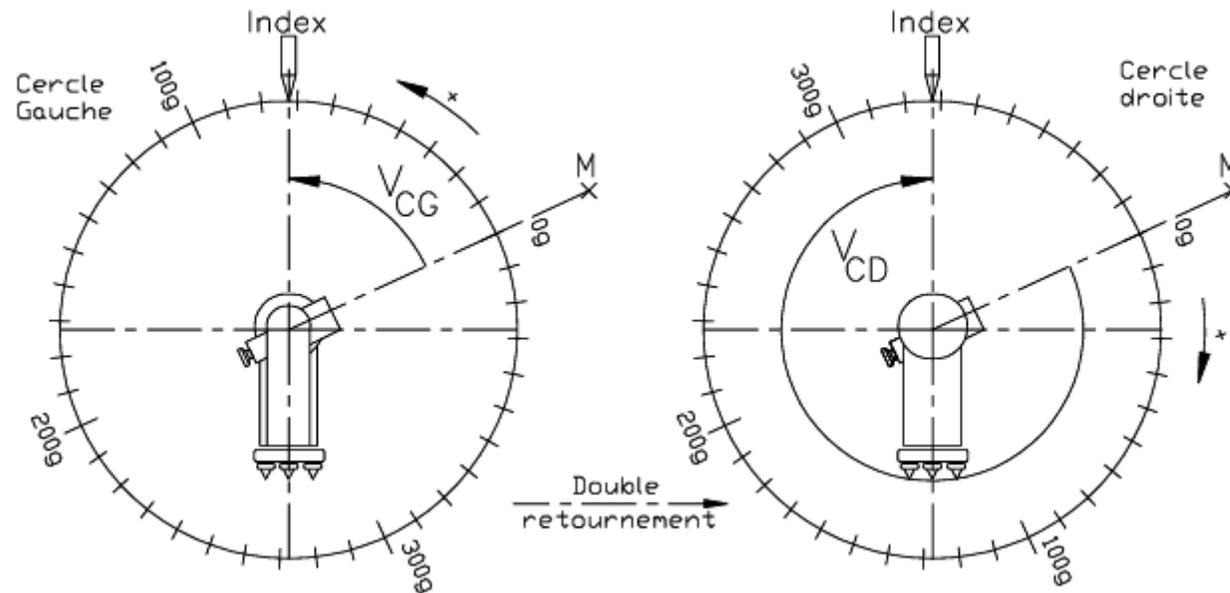
n angle nadiral (par rapport au nadir)

▶ La ligne de visée peut également être caractérisée par l'angle mesuré à partir du plan horizontal local et dénommé angle de site ou inclinaison, noté i . La valeur numérique de cet angle peut être également donnée sous la forme de sa pente exprimée en %.

$$p(\%) = 100 \cdot \tan i$$

ANGLES VERTICAUX

- ▶ Valeur moyenne d'un angle vertical par double retournement



ANGLES VERTICAUX

- ▶ Valeur moyenne d'un angle vertical par double retournement

Sur les schémas de la figure , on constate qu'après un double retournement le sens d'évolution de la graduation du cercle vertical est inversé. L'angle lu en cercle droit VCD n'est donc pas « directement comparable » avec l'angle lu en cercle gauche VCG , comme c'était le cas avec les angles horizontaux. La relation entre les deux lectures est : $V_{CG} = 400 - V_{CD}$

L'angle final moyen déduit des deux lectures est : $V = \frac{V_{CG} + (400 - V_{CD})}{2}$

ANGLES VERTICAUX

- ▶ Erreur d'index vertical

L'intérêt du double retournement est, comme pour les angles horizontaux, de limiter les fautes de lecture et d'éliminer certaines erreurs systématiques ou accidentelles. Dans le cas de mesure d'angles verticaux, le double retournement permet d'éliminer :

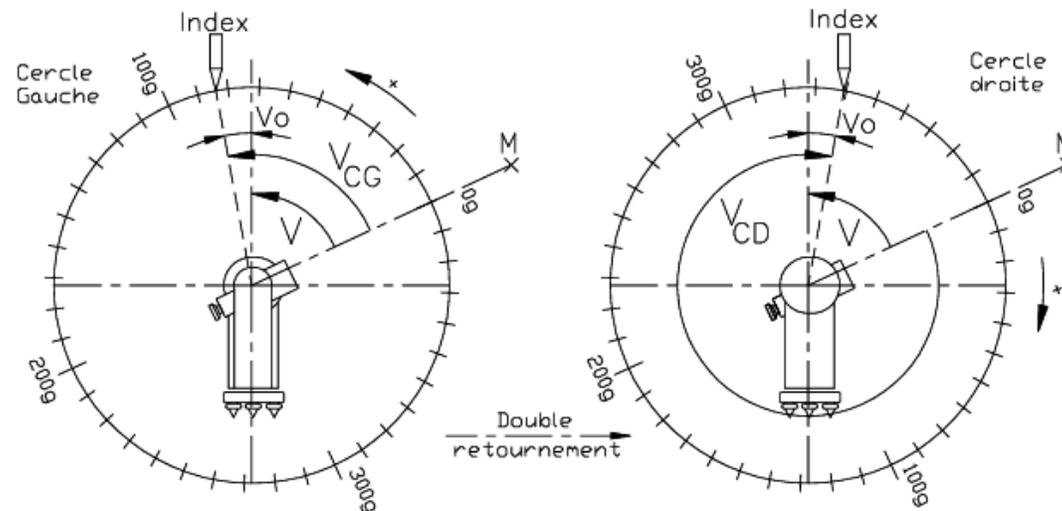
l'erreur d'excentricité de l'axe optique par rapport à l'axe secondaire ;

l'erreur d'index de cercle vertical : en effet, qu'il soit manuel (nivelle d'index) ou automatique (compensateur), le dispositif des appareils modernes ne cale pas exactement le zéro (index de lecture) à la verticale du centre du cercle mais dans deux positions voisines symétriques par rapport à cette verticale ;

le défaut de tourillonnement (non-perpendicularité de l'axe secondaire et de l'axe principal).

ANGLES VERTICAUX

- ▶ Sur les schémas de la figure , on suppose la présence d'une erreur angulaire V_0 de position de l'index du cercle vertical par rapport à la verticale du centre du cercle.



ANGLES VERTICAUX

- ▶ En cercle gauche, l'opérateur lit VCG , l'angle V cherché vaut : $V = V_{CG} - \mathcal{V}_0$.
- ▶ En cercle droit, l'opérateur lit VCD , l'angle V cherché vaut : $V = 400 - V_{CD} + \mathcal{V}_0$.
- ▶ Si on fait la moyenne des deux valeurs, on retrouve : $V = (V_{CG} + (400 - V_{CD}))/2$.
- ▶ Si on soustrait les deux équations, on isole \mathcal{V}_0 et on obtient $\mathcal{V}_0 = \frac{(V_{CG} + V_{CD}) - 400}{2}$

► Exercice (séance de cours)

Déterminer les angles horizontaux entre les point successifs en réduisant les lecture de référence a zéro

Point	Lecture CG gon	CG réduite sur A	Lecture CD gon	CD réduite sur A	Moyenne gon
A	2,472	0,000	104,244	0,000	0,000
B	58,097	55,623	159,866	55,620	55,622
C	176,705	174,231	278,471	174,225	174,228
D	259,313	256,839	361,080	256,834	256,837
E	325,070	322,596	26,845	322,599	322,598
A	2,476	0,000	104,248	0,000	0,000
Moy.	2,474		104,246		
Écart	0,004		0,004		

