



CHAPITRE 8

**LA MESURE DES
ANGLES HORIZONTAUX**

L'angle horizontal AH, aussi appelé angle azimutal ou azimut AZ, est l'angle dièdre des plans passant par l'axe principal vertical du théodolite et par la verticale des signaux visés. C'est aussi la projection de l'angle spatial dans le plan horizontal. L'organe du théodolite qui mesure ces angles est le « goniomètre ».

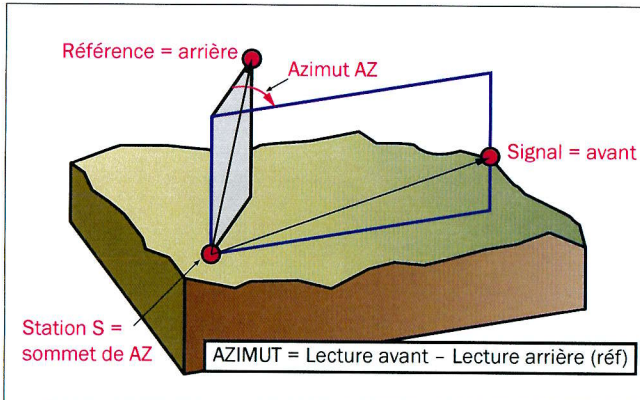


Figure 173. © ECS

I. L'ÉQUERRETTE

Deux mots sur cet instrument rudimentaire et obsolète, qui peut néanmoins dépanner ponctuellement ! Composée de deux prismes pentagonaux étamés et superposés, l'équerrette permet de « construire » un angle droit par rapport à une base matérialisée par deux jalons.

Le non grossissement optique et l'étroitesse du champ de vision limitent son emploi à une cinquantaine de mètres de l'objet à relever ; le pied de perpendiculaire est déterminé avec une précision de quelques centimètres.

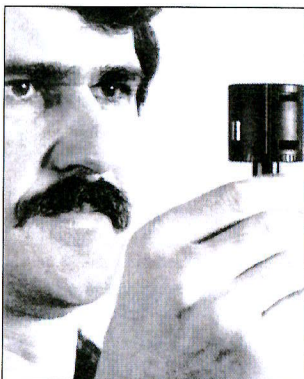


Figure 174. © Leica

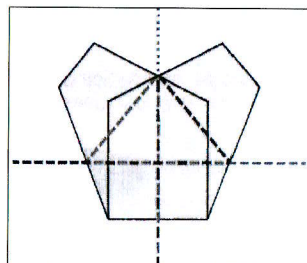


Figure 175. © Leica

La double réflexion donne l'angle droit dans l'alignement de la base de lever.

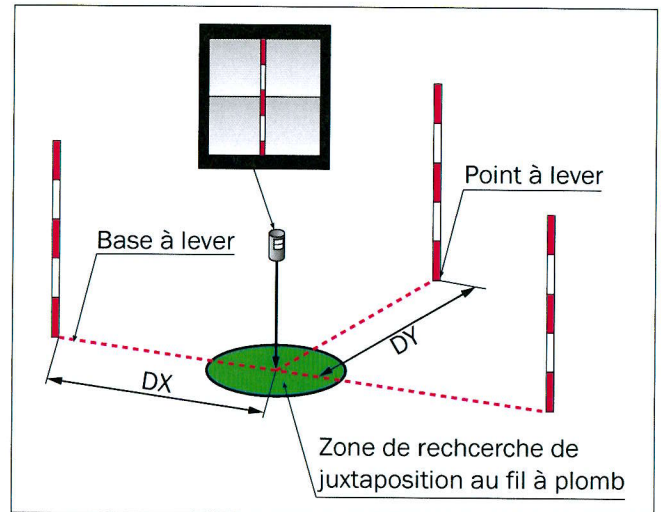


Figure 176. © ECS

L'équerrette s'emploie avec un fil à plomb, ou mieux, avec une canne plombée. L'opérateur recherche d'abord l'alignement sur la base en se déplaçant perpendiculairement à celle-ci : les images des deux jalons doivent être superposées comme indiqué sur le schéma ci-dessus. Puis il se déplace de droite à gauche pour superposer aux deux images précédentes le jalon aperçu devant lui.

II. LE THÉODOLITE

A. Description

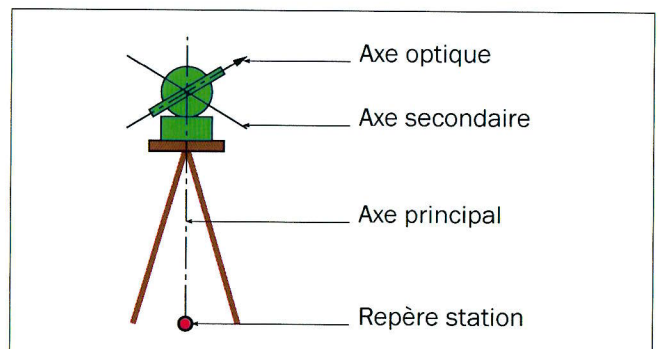


Figure 177. © ECS

Les trois axes du théodolite sont :

- **Axe principal** : axe vertical du théodolite qui passe par les centres du cercle gradué horizontal, de l'alidade (partie qui tourne) et de l'embase, par la croisée des axes secondaire et optique. Cet axe doit coïncider avec le repère de station, qui sera le sommet de l'angle azimutal mesuré.

• **Axe secondaire** : axe de rotation de la lunette, perpendiculaire à l'axe principal. Il est aussi appelé « axe des tourillons ».

• **Axe optique** : axe de visée du théodolite, perpendiculaire à l'axe secondaire et concourant avec lui et l'axe principal.

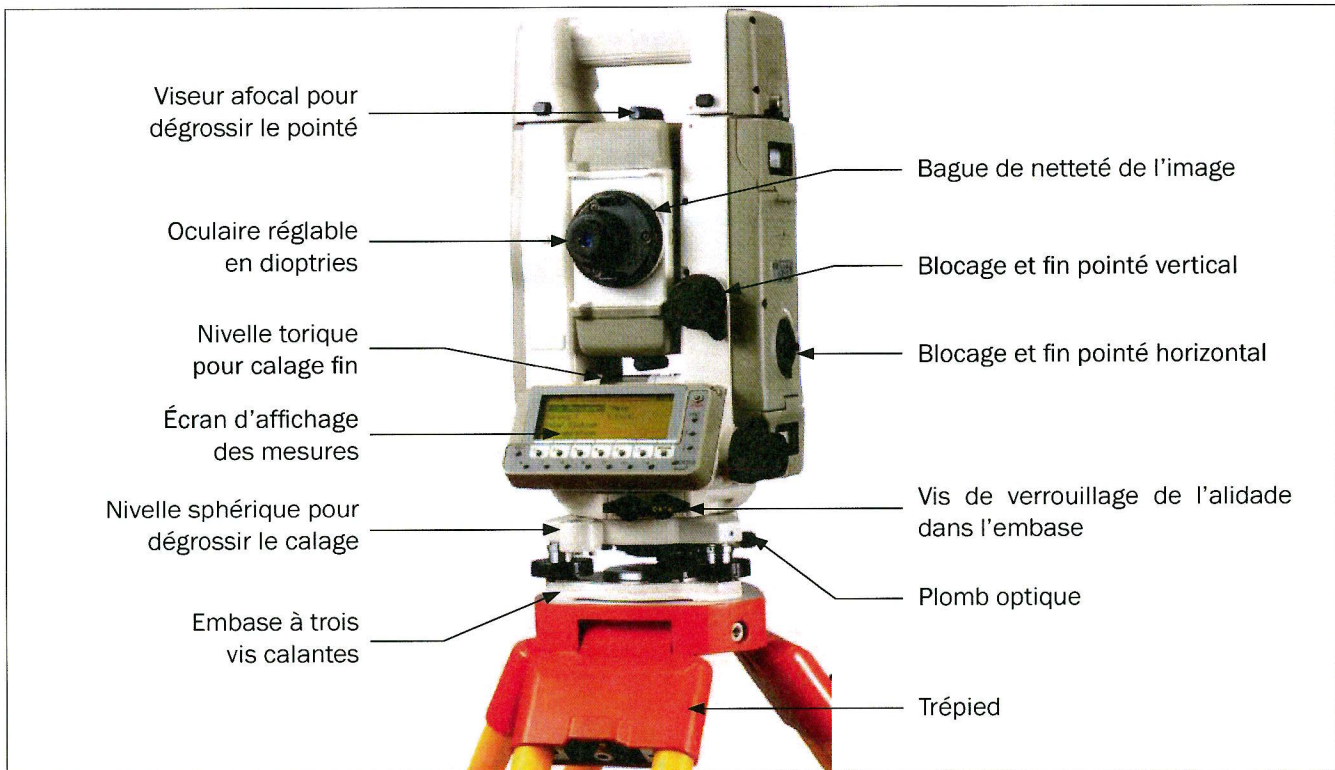


Figure 178. Théodolite DTM750 © Nikon

1. Embase

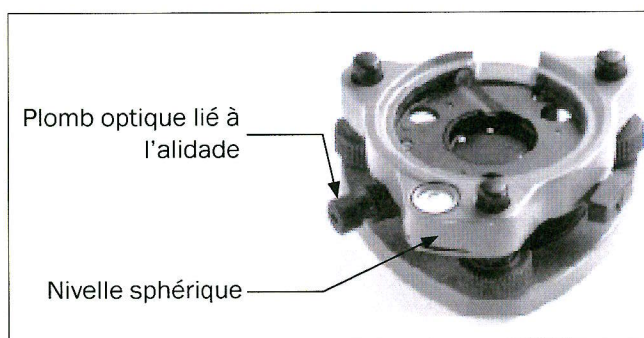


Figure 179. © Leica

L'embase est la cuvette qui sert d'intermédiaire entre le plateau du trépied et l'alidade, partie tournante du théodolite.

Elle porte les trois vis calantes VCA nécessaires au calage (action de rendre l'axe principal vertical) du théodolite, et éventuellement, un crochet pour le fil à plomb.

Lors des opérations de centrage forcé (échange entre alidade et voyant), un système de verrouillage permet de libérer ou de verrouiller l'alidade ou le porte-signal. La précision du centrage est de 0,1 mm.

2. Plomb optique ou laser

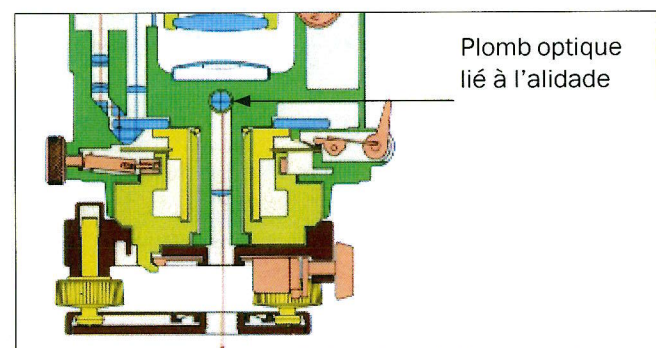


Figure 180. © Leica

Le plomb optique est une lunette coudée, fixée soit à l'embase, soit à l'alidade. Il matérialise l'axe principal par sa ligne de visée concrétisée par un réticule. Il remplace avantageusement le fil à plomb et la canne à centrer, en voie de disparition.

Les théodolites récents sont équipés de plomb **laser** : le spot lumineux est plus pratique à observer que la lunette du plomb optique.

► Réglage

On détecte aisément le dérèglement d'un plomb optique ou laser lié à l'alidade. Il suffit de tourner l'alidade et de constater la mobilité de l'impact au sol. En cas de non verticalité de l'axe de visée ou du rayon laser, la rotation de l'alidade engendre un cône : deux positions à 200 gon suffisent alors à repérer l'erreur, le point vrai se situant au milieu du diamètre ! Des vis de réglage accessibles permettent de repositionner l'axe sur le point vrai : il vaut mieux cependant confier cette opération à un atelier agréé.

Si le plomb optique est solidaire de l'embase, on peut comparer l'impact de l'axe avec celui d'un fil à plomb stabilisé, à 2 mm près. Sinon il vaut mieux s'adresser à l'atelier agréé.

Il vaut mieux confier le réglage d'un plomb optique à l'atelier agréé !

3. Nivelles toriques

C'est la nivelle cylindrique qui permet de caler le théodolite avec précision. Elle est composée d'une fiole de verre de courbure à grand rayon (20 à 50 m) qui renferme un liquide non gelable. La bulle se centre au moyen d'une graduation. La précision d'une nivelle torique est caractérisée par sa **sensibilité** : c'est la valeur de l'angle d'inclinaison pour un déplacement de bulle d'une graduation, soit **2 mm** : Exemple : $\sigma = 20''$ (ou 60 dmgon).

► Réglage

Pour être efficace, cette nivelle doit être **réglée** sur son support qu'est l'alidade. On détecte facilement un dérèglement de nivelle : il suffit de faire tourner l'alidade après qu'il ait été calé (voir chapitre 9). La bulle reste immobile dans son repère. Dans la pratique, on cale la nivelle parallèlement à 2 vis calantes, en agissant simultanément et en sens contraire sur ces vis calantes (Figure 181-1). On tourne ensuite l'alidade de 200 grades. Si la nivelle se déplace d'une quantité d (Figure 181-2), on ramène la bulle de la quantité $d/2$ au moyen des vis calantes (Figure 181-3) : la nivelle est **réglée**.

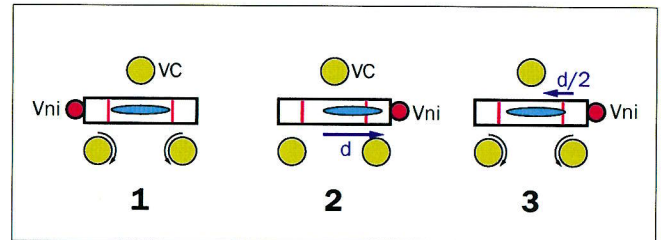


Figure 181. © ECS

Ce réglage « provisoire » oblige à repérer deux nouvelles graduations sur la fiole au moyen d'un feutre, ce qui n'est pas pratique. Pour commodité, on glisse la bulle au centre des graduations de la fiole au moyen de la vis de réglage de la nivelle VNI (Figure 182).

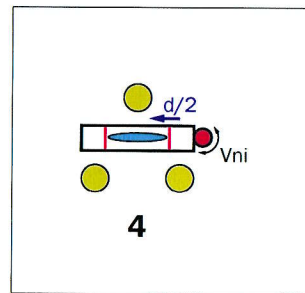


Figure 182. © ECS



Figure 183. © Leica

4. Nivelles électroniques

Dans les instruments récents, la nivelle électronique remplace la nivelle torique. Cette nivelle est composée d'un carter qui renferme du mercure. La lecture électronique est assurée par des variations internes de potentiel électrique, le carter jouant le rôle de condensateur ; elle est affichée sur l'écran du tachéomètre électronique :

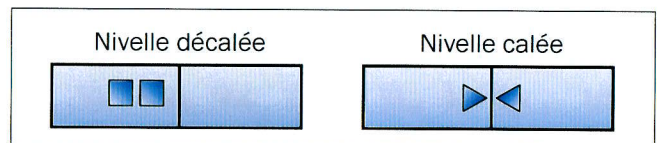


Figure 184. © ECS

La sensibilité est remplacée ici par la résolution r . Exemple : $r = 2''$ (6 dmgon). La résolution correspond en fait au dixième de la sensibilité (dixième d'une graduation de 2 mm).

Le dérèglement se détecte comme pour la nivelle torique : après calage et rotation de 200 grades, il subsiste par exemple deux carrés noirs. On règle en ramenant d'un carré noir au moyen des vis calantes : la nivelle est réglée. Il suffit de se rappeler par la suite de ce décalage d'un carré ! Leica précise que le réglage de l'erreur d'index ajuste la nivelle électronique :

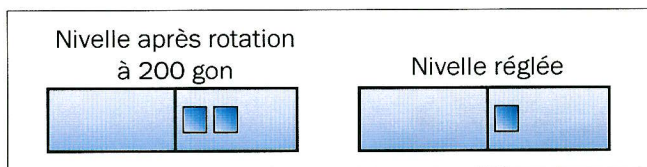


Figure 185. © ECS

Une nivelle est réglée quand la bulle garde la même position lors de la rotation de l'alidade !

5. Nivelle sphérique

C'est une nivelle de faible précision dont le seul rôle est de dégrossir le calage approché du théodolite (voir Figure 186).

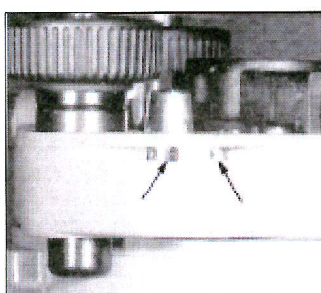


Figure 186. © Leica

Son réglage ne se fait qu'après celui de la nivelle torique ou électronique : l'instrument étant parfaitement calé, la bulle de la nivelle sphérique doit être centrée. Si tel n'est pas le cas, on la centre au moyen des vis de réglage.

6. Lunette topographique

C'est une lunette compacte dite « à divergente interne », constituée d'un objectif, d'un oculaire et d'un réticule qui joue le rôle de collimateur.

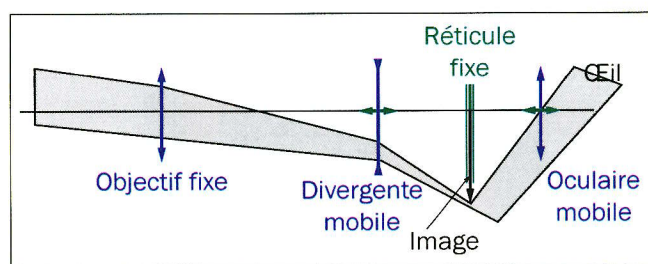


Figure 187. © ECS

L'axe de visée est matérialisé par le centre du réticule (fixe) et le centre du système centré constitué par l'objectif et la divergente interne. La divergente interne étant mobile pour assurer la netteté de l'image dans le plan du réticule, on en déduit que l'axe optique n'est pas rigoureusement fixe.

L'oculaire joue le rôle de loupe pour observer l'image placée dans le plan du réticule : sa position n'est donc pas fixe afin de pouvoir « mettre au point ».

Les caractéristiques d'une lunette sont les suivantes :

- **Grossissement** : environ **30 fois**. Il existe des lunettes panfocales à grossissement variable.
- **Champ de vision** : inversement proportionnel au grossissement et faible (1° environ). On se sert d'un viseur afocal pour dégrossir le pointé final.
- Les **aberrations** chromatique et géométrique sont atténuées par l'association de lentilles d'indices différents.

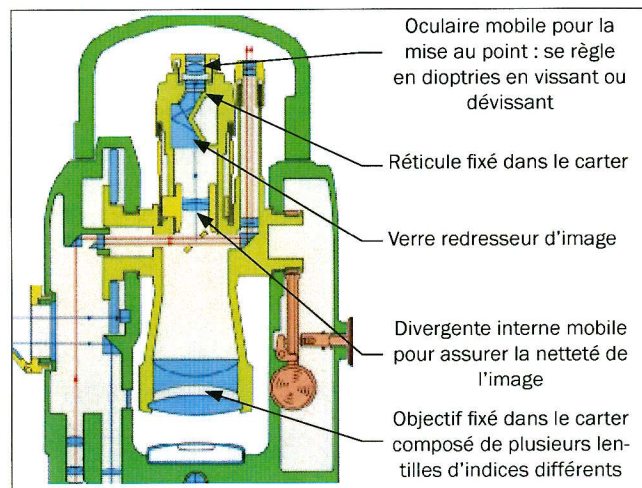


Figure 188. © Leica

Mise au point : c'est la procédure personnelle qui consiste à dévisser au maximum l'oculaire vers son œil tout en observant un réticule bien net et bien noir (vision au repos). Cette opération doit se faire vers un fond uni et clair pour ne pas être gêné par une image parasite.

Chaque opérateur repère son nombre de dioptries qu'il peut ensuite imposer sur l'oculaire gradué. Une mauvaise mise au point entraîne à la fois une erreur de paralaxe (sensation de mobilité de l'image par rapport au réticule) très néfaste pour le pointé et une fatigue prématurée de l'œil.

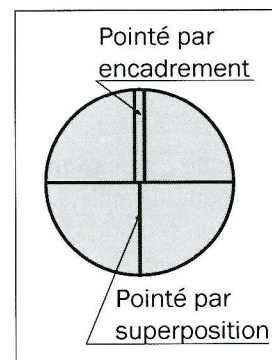


Figure 189. Réticule © ECS

! Ne pas confondre mise au point (réticule) et netteté de l'image !

7. Systèmes de lecture

Le cercle gradué appelé **limbe** est considéré comme la partie fixe du théodolite : un index, solidaire de l'alidade, parcourt le limbe lors de la rotation de cette dernière et donne la lecture azimuthale.

Les systèmes de lecture des théodolites optico-mécaniques (microscopes, verniers, échelles divisées, micromètres...) sont désormais remplacés par un affichage électronique digital. Les cercles de verre ont cédé la place aux cercles codés.

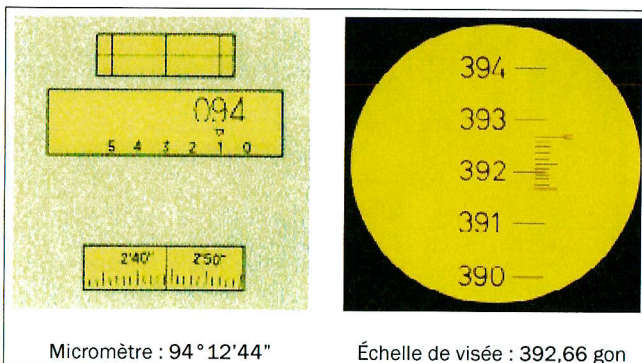


Figure 190. © Leica

Principe : un cercle à trame est balayé par des capteurs à infrarouge. La lecture grossière est déduite d'un comptage de franges tandis que la lecture fine est calculée d'après le déphasage entre les capteurs. Les avantages d'un tel dispositif sont multiples :

- **Incrémentation** : on affiche la lecture que l'on veut dans n'importe quelle direction car la graduation zéro n'existe plus. Le cercle est incrémentiel et le mouvement général des anciens théodolites, qui permettait d'inscrire une lecture donnée sur une direction imposée, est caduc !
- **Sens de graduation** : l'opérateur choisit le sens de graduation du cercle. Les valeurs affichées sont négatives pour un sens de graduation négatif, dans le sens trigonométrique.
- **Unités** : l'opérateur choisit les unités qu'il désire, degrés ou grades....
- **Lecture digitale** : la lecture numérique supprime toute erreur d'estimation sur une échelle divisée. La résolution (nombre de décimales) est fixée par l'opérateur.
- **Enregistrement** : sans conteste le plus gros progrès, l'enregistrement automatique des lectures supprime toute erreur de transposition sur carnet.

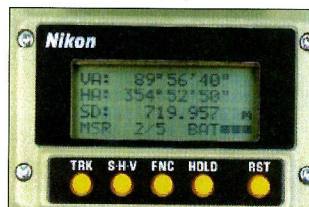


Figure 191. © DR

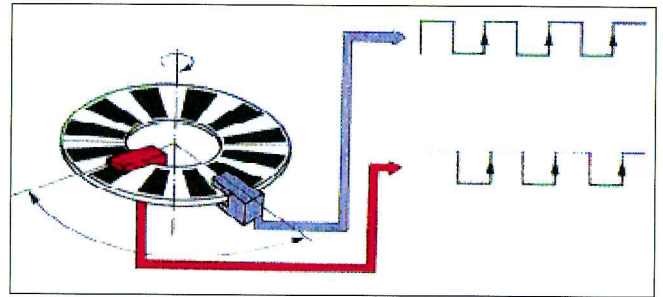


Figure 192. © DR

8. Accessoires divers

Trépied : support du théodolite, à jambes coulissantes destinées à faciliter la mise en station (voir plus loin).

Signal : voyant à poser sur porte-signal et trépied ou sur canne, pour faciliter le pointé.

Oculaire coudé : indispensable pour des visées très inclinées ou lorsque le théodolite est posé sur console près d'un mur.

Moteurs : les théodolites motorisés offrent une assistance non négligeable à l'opérateur. Mise en direction automatique ou suivi du prisme à 360° par « accrochage ».

Déclinatoire : aiguille aimantée pour orienter le théodolite vers le Nord magnétique...

Oculaire laser : pour matérialiser l'axe optique.

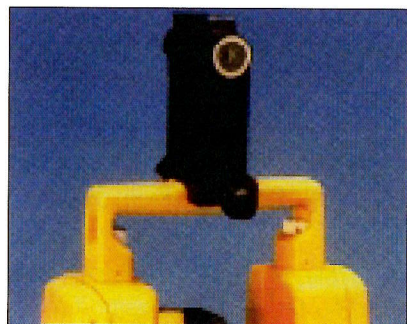


Figure 193. Oculaire coudé et déclinatoire pour orientation vers le nord magnétique © Topcon

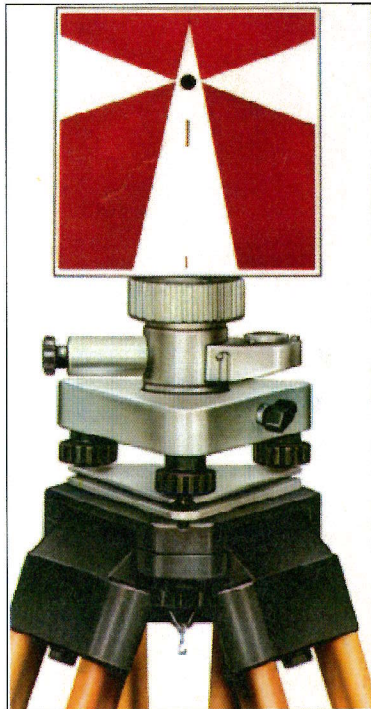


Figure 194. Voyant sur porte-signal. Embase à centrage forcé © Zeiss

B. Calage du théodolite

Caler un instrument, c'est rendre son axe principal vertical au moyen des nivelles.

On dégrossit la verticalité de l'AP au moyen de la nivelle sphérique et des vis calantes VCA. On place la nivelle torique parallèle à deux vis calantes et on centre la bulle. On tourne l'alidade de 100 grades et on centre la bulle avec la dernière vis calante. On réitère au besoin.

La nivelle électronique permet d'agir indifféremment sur les trois vis calantes car l'affichage indique le calage simultané dans deux directions perpendiculaires. C'est plus facile !

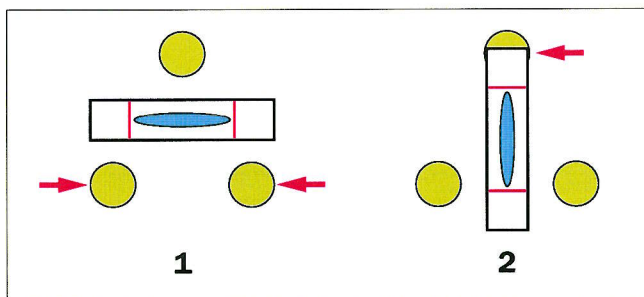


Figure 195. © ECS

C. Mise en station

Mettre en station c'est placer l'axe principal vertical de l'instrument sur la station de lever ou d'implantation.

Marche à suivre :

1. Positionner le trépied à peu près au-dessus du repère à stationner (± 10 cm), plateau assez horizontal, vis calantes en position moyenne, jambes de trépied pas trop écartées.
2. Bien enfoncer les pointes du réticule ou utiliser une étoile sur sol lisse.
3. Amener le centre du réticule du plomb optique (ou le spot laser) sur le repère de station au moyen des vis calantes VCA.
4. Caler la nivelle sphérique en faisant coulisser les jambes du trépied : l'impact du plomb optique ne varie pratiquement pas !
5. Finir le calage à l'aide de la nivelle torique (ou électronique) : calage avec les deux vis calantes parallèles puis rotation de 100 grades pour caler avec la troisième vis calante.
6. Réitérer si nécessaire, en déplaçant éventuellement le théodolite sur son plateau.
7. Viser la référence et y inscrire l'azimut voulu (zéro ou gisement donné).
8. Mesurer la hauteur des tourillons H_t .
9. Codifier les paramètres du chantier (théodolites enregistreurs).

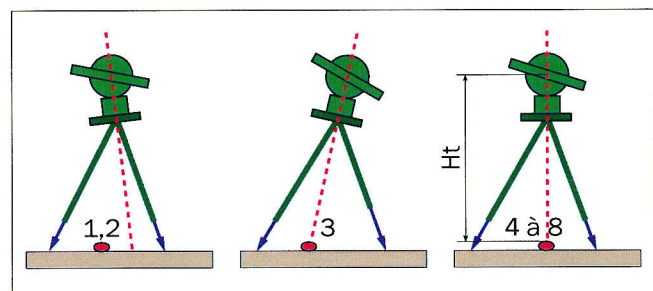


Figure 196. © ECS

A. Erreurs systématiques

On se contentera d'évoquer ici les principales erreurs systématiques (de construction ou de réglage) du théodolite dont la plupart seront éliminées par mode opératoire (double retournement) ou par calcul (mémorisation dans le théodolite électronique) dans une seule position du théodolite, ce qui présente un gain de temps très appréciable !

On rappelle que le double retournement consiste à mesurer dans la position 1 du théodolite (anciennement cercle vertical à gauche) puis dans la position 2 (anciennement cercle à droite) par basculement de la lunette et rotation de 200 grades de l'alidade. Il est plutôt réservé à la mesure de précision.

Remarque : si les visées sur le point et la référence ont même inclinaison, la plupart des erreurs sont identiques et s'annulent dans le calcul de l'azimut = lecture avant - lecture arrière !

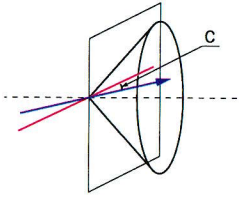
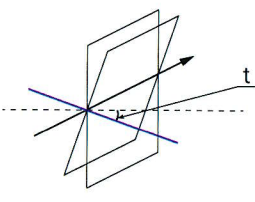
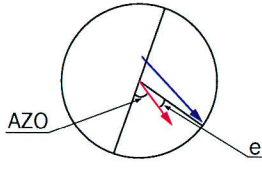
Erreur	Grandeur	Élimination
<p>Collimation horizontale</p> <p>L'axe optique n'est pas perpendiculaire à l'axe secondaire : il décrit un cône.</p> <p>L'angle c est l'angle de collimation.</p> <p>L'erreur e sur l'angle croît avec l'inclinaison.</p>	 <p>Erreur $e'' = \frac{c''}{\sin(V)}$</p>	<p>Par double retournement.</p> <p>Par réglage en déplaçant latéralement le réticule (à faire en atelier agréé).</p> <p>Par mémorisation de l'erreur selon une procédure indiquée par le constructeur. L'erreur est éliminée en une seule position du cercle !</p>
<p>Tourillonnement</p> <p>L'axe des tourillons n'est pas perpendiculaire à l'axe principal. L'axe optique décrit un plan incliné.</p> <p>L'angle t est l'angle d'inclinaison sur l'horizontale. L'erreur e est nulle dans le plan horizontal et croît avec l'inclinaison.</p>	 <p>Erreur $e'' = \frac{t''}{\tan(V)}$</p>	<p>Quasi nulle pour des visées proches de l'horizontale.</p> <p>Par double retournement.</p> <p>Par gestion informatique en une seule position du cercle (système pendulaire...).</p>
<p>Excentricité limbe-alidade</p> <p>L'axe du limbe et l'axe de l'alidade sont excentrés d'une distance d. Le rayon du cercle est R. L'erreur e est sinusoïdale !</p> <p>Par construction, cette erreur est inférieure à l'écart-type du théodolite !</p>	 <p>$\sin(e) = \frac{d \cdot \sin(AZO)}{R}$</p>	<p>Par lectures opposées à 200 gon, en position 1 et 2.</p> <p>Par système à double lecture dans les théodolites de précision : l'erreur est alors éliminée dans une seule position du cercle !</p>
<p>Graduation</p> <p>Le cercle n'est pas parfaitement gradué. L'erreur est inférieure à l'écart-type.</p>	<p>Erreur difficilement décelable.</p>	<p>Amoindrissement par lectures en différents endroits du cercle.</p> <p>Le Leica T2000 élimine cette erreur par lecture instantanée sur tout le cercle (balayage par moteur).</p>

Tableau 35. Principales erreurs systématiques © ECS



La plupart des erreurs systématiques sont éliminées en position 1 dans les théodolites électroniques !

Les théodolites modernes sont remplis d'électronique : c'est la « boîte noire » qu'il convient de confier aux soins des spécialistes.

À noter que le vieillissement des composants électroniques laisse présager d'une durée de vie inférieure à 10 ans en général.

Un souci constant : l'état de la batterie.

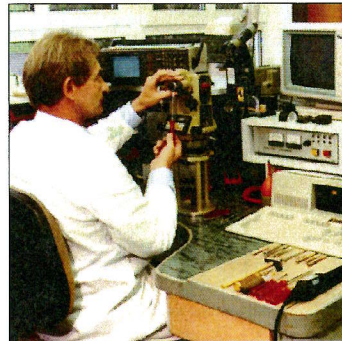


Figure 197. © Leica



Figure 198. © Leica

B. Erreurs d'emploi

Les erreurs d'emploi (accidentelles) sont amoindries par les précautions d'emploi. Elles proviennent des erreurs de réglage ou de construction non décelées ou ignorées, des mauvaises conditions météorologiques et des imperfections de manipulations de l'opérateur, voire du porte-prisme ! Les principales erreurs d'emploi sont :

Erreur	Grandeur	Amoindrissement
<p>Pointe</p> <p>Mauvais positionnement du signal, décalé de la distance d. Les visées courtes D accentuent l'erreur e.</p> <p>Mauvais pointé du fait de l'opérateur : parallaxe, éblouissement, effluves, brouillard, ombrage...</p> <p>Le double pointé améliore la lecture !</p>	$\tan(e) = \frac{d}{D}$	<p>Soigner le placement du signal.</p> <p>Vérifier la nivelle de la canne à prisme.</p> <p>Caler la canne au moyen d'un tripode.</p> <p>Soigner la mise au point. Centrage forcé en précision !</p> <p>Assurer la netteté de l'image.</p> <p>Utiliser des voyants de qualité.</p> <p>Éviter les mauvaises conditions météorologiques.</p> <p>Éviter les visées latérales rasantes (long des murs...).</p> <p>Ne jamais viser à travers une vitre.</p>
<p>Mise en station</p> <p>L'axe principal se trouve à une distance d de la station.</p> <p>Mauvaise mise en station ou dérèglement du plomb optique.</p> <p>D est la distance de la visée.</p> <p>L'erreur, sinusoïdale, est plus forte pour des visées courtes !</p>	$\sin(e) = \frac{d \cdot \sin(AZO)}{D}$	<p>Attention aux visées courtes.</p> <p>Soigner la mise en station.</p> <p>Vérifier aussi le réglage du plomb optique.</p> <p>Centrage forcé indispensable pour les mesures de précision.</p>
<p>Calage de l'AP</p> <p>Un mauvais calage de l'AP correspond à une erreur de tourillonnement qui ne s'annule pas par double retournement, l'AP restant incliné dans le même sens.</p> <p>L'angle i est l'angle d'inclinaison de l'AP.</p>	<p>Voir erreur de tourillonnement.</p> $e'' = \frac{i''}{\tan(V)}$	<p>Erreur nulle pour les visées horizontales.</p> <p>Vérifier le calage de la nivelle torique (ou électronique).</p> <p>Vérifier aussi le réglage de cette nivelle !</p> <p>Élimination par système pendulaire.</p>

Tableau 36. Principales erreurs d'emploi © ECS

C. Le tour d'horizon

Le tour d'horizon est une procédure de mesures angulaires réservée aux travaux de précision et aux procédés de détermination de coordonnées par points isolés (relèvement...). On démarre le tour d'horizon sur une référence, on vise tous les autres points et on ferme le tour sur la référence de départ. Il s'ensuit un calcul particulier pour « **réduire le tour d'horizon à zéro** » : chaque tour est appelé « **séquence** ». Pour amoindrir les erreurs, on décale les graduations et on tourne à chaque tour en sens inverse. Un double pointé est souhaitable.

Pts	Paire de séquence 1		Paire de séquence 2		Moyennes	
	Pos.1	Pos. 2	Pos.2	Pos.1	Moyennes	Tour réduit
Réf.	0,0020	50,0014	100,2040	150,0092	0	0
A	87,1240	137,1260	187,3275	237,1310	87,1233	87,1228
	87,1226	87,1239	87,1232	87,1213	87,1223	
B	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.
Réf.	0,0008	50,0028	100,2046	150,0102	0	0
Fermeture	12 dmgon	14 dmgon	6 dmgon	10 dmgon	Écart : 10 dmgon	

Tableau 37

Principe : dans chaque colonne, on décrète la lecture 0 sur la référence et on enlève la moyenne des lectures départ et arrivée à toutes les lectures intermédiaires.

Tolérances :

- On contrôle que les écarts de fermeture sont inférieurs à une tolérance imposée.
- On vérifie que l'écart entre les moyennes des paires de séquences est inférieur à une tolérance imposée.

D. Précisions : tableau synoptique

Travaux	Marques	Écart-type (positions 1 et 2)	Écart transversal à 100 m
Chantier	LEICA TC110 NIKON C100	3 mgon 5 mgon	4,7 mm 7,9 mm
Travaux courants	LEICA TCRA 1103	1 mgon	1,6 mm
	LEICA TC1105	1,5 mgon	2,4 mm
	LEICA TM1100	1 mgon	1,6 mm
	NIKON DTM730	1 mgon	2,4 mm
	TRIMBLE 5605	1,5 mgon	2,4 mm
	ZEISS ELTA 4	1 mgon	1,6 mm
	TOPCON GTS802	1 mgon	1,6 mm
Travaux précis	LEICA TCR101	0,5 mgon	0,8 mm
	NIKON DTM750	0,5 mgon	0,8 mm
	TRIMBLE 5602	0,5 mgon	0,8 mm
	ZEISS ELTA3	0,5 mgon	0,8 mm
	TOPCON GTS801	0,6 mgon	0,9 mm
Métrologie	LEICA TM5005	0,15 mgon	0,2 mm
	LEICA TC2003	0,15 mgon	0,2 mm
	TOPCON GTS800	0,3 mgon	0,5 mm
	LEICA TC1800	0,3 mgon	0,5 mm
	TRIMBLE 5601	0,25 mgon	0,4 mm

Tableau 38

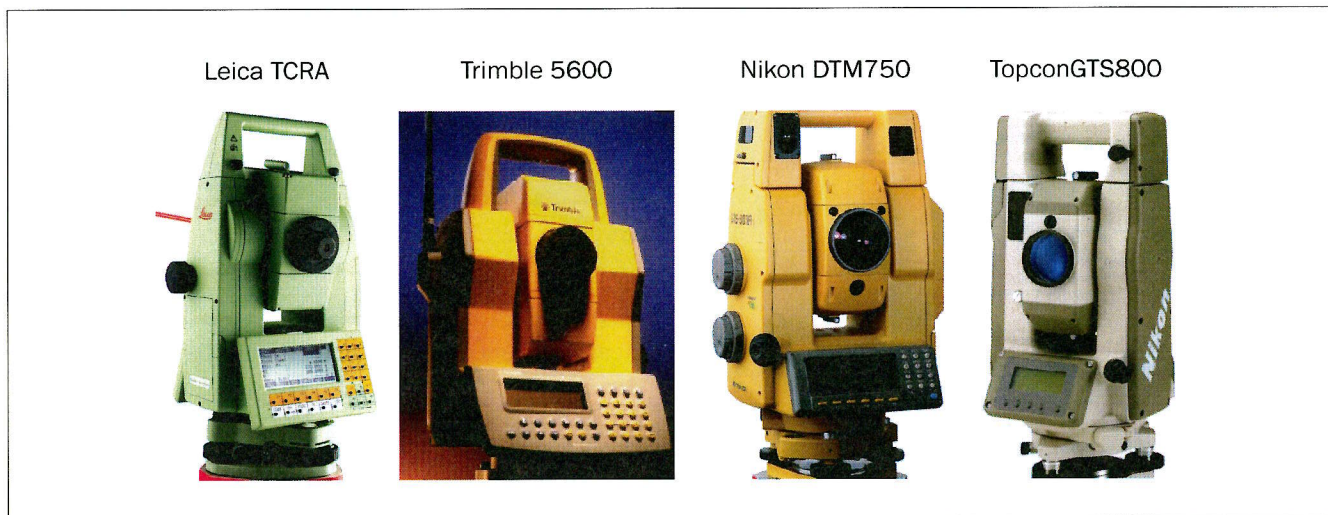


Figure 199 © DR

X. LE GYROSCOPE

Le gyroscope est un instrument qui donne la valeur du gisement géographique d'une direction en un lieu donné. Il est basé sur le phénomène physique suivant : l'axe horizontal d'un moteur en rotation tend à se stabiliser dans le plan du méridien du lieu.

Le gyroscope (accessoire monté sur un théodolite) ou le gyrothéodolite (gyroscope incorporé) ont une précision limitée (de 1 à 6 mgon), sont très coûteux et lents d'utilisation : ce qui les empêche d'être utilisés pour les travaux courants de la topométrie. Leur avantage est de donner des gisements de direction indépendants de toute référence. Le procédé s'accommode donc de côtés courts !

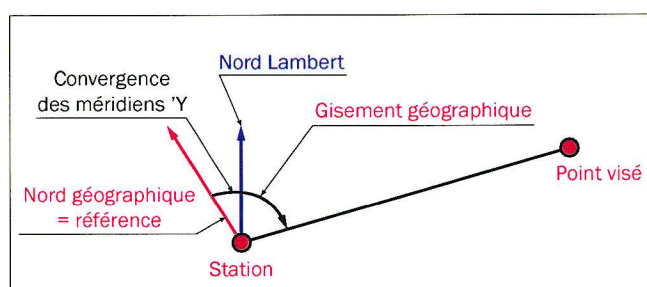


Figure 200

Leur emploi est plutôt limité à des contrôles de guidage en tunnel, où les références lointaines sont inexistantes.

A. Le gyroscope

L'utilisation du gyroscope par la méthode des élongations maximum est assez aisée. Le théodolite porteur est pré-orienté à l'aide du déclinatoire, compte tenu de la déclinaison magnétique du moment.

Une fois le moteur lancé (20 000 tours/minute), on tourne le fin pointé pour suivre le déplacement d'un curseur qui va osciller de part et d'autre du méridien, selon une amplitude qui va diminuant. On lit à chaque élongation. On effectue 4 lectures.

Chaque élongation dure environ 7 minutes.

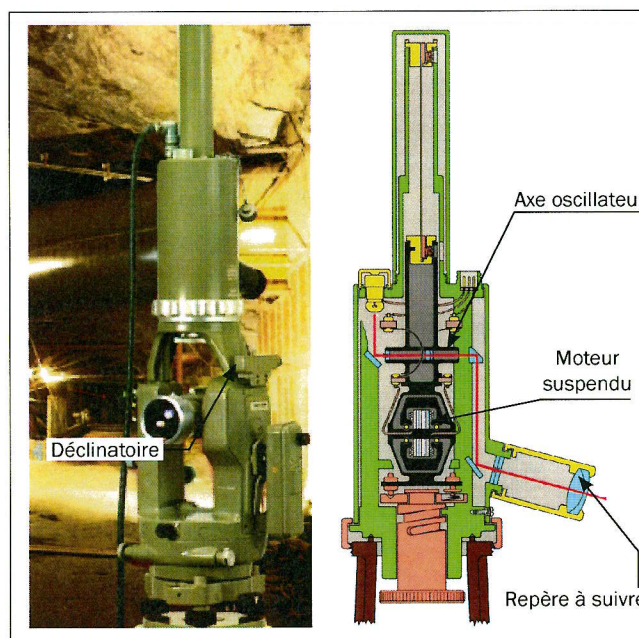


Figure 201. Leica GAK1 © Leica

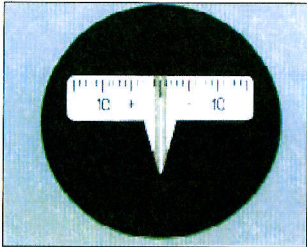


Figure 202. Index V © Leica

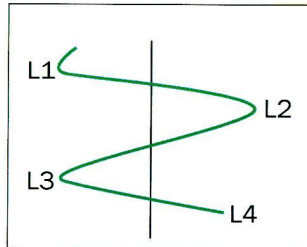


Figure 203. © ECS

L'index se déplace latéralement et finit par se stabiliser quelques secondes avant de changer de sens : on l'encadre dans le V et on lit alors la lecture azimutale correspondant à Li.

La formule de Schuler donne l'azimut moyen et la convergence des méridiens γ permet de calculer le gisement zéro Go de la station dans le système Lambert :

$$AZ = 1/2(1/2(L1+L3)/2+L2) + (1/2'(L2+L4)/2+L3)$$

$$Go = \gamma - AZ$$

La précision du GAK1 de chez Leica présente un écart-type de 6 mgon pour un gisement obtenu manuellement en 20 minutes.

B. Le gyrothéodolite

Le gyrothéodolite Gyromat WBK est un gyroscope qui donne automatiquement le gisement géographique sans passer par la procédure délicate et longue du gyroscope. Son coût (150 000 €) et sa fragilité en limitent l'emploi à des travaux particuliers. Écart-type de 1 mgon pour un gisement obtenu automatiquement en 8 minutes.

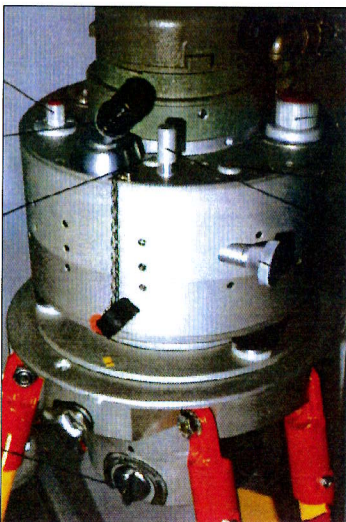


Figure 204. Gyrothéodolite WBK © Gyromat

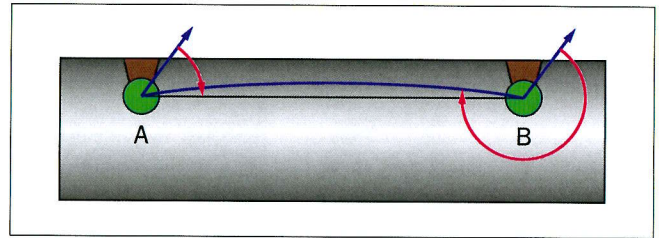


Figure 205. Vue de dessus dans le tunnel © ECS

Dans le tunnel sous la Manche, le gyrothéodolite a permis de calculer l'angle de réfraction R due à la proximité de la visée et de la paroi :

$$GG_{AB} + R = GG_{BA} - R - 200$$

XI. L'AUTOCOLLIMATION

L'autocollimation est un procédé de métrologie qui permet de prendre des références angulaires courtes avec une très haute précision. Le principe repose sur l'observation de son propre réticule à travers un miroir, selon la Figure 206.

Un réticule négatif (2) est éclairé (1) et observé dans le miroir (7) à travers un prisme répartiteur (5).

En agissant à la fois sur le prisme réflecteur et le théodolite, on arrive finalement à encadrer le réticule normal (4) par le réticule négatif : l'axe optique est alors perpendiculaire au plan du miroir !

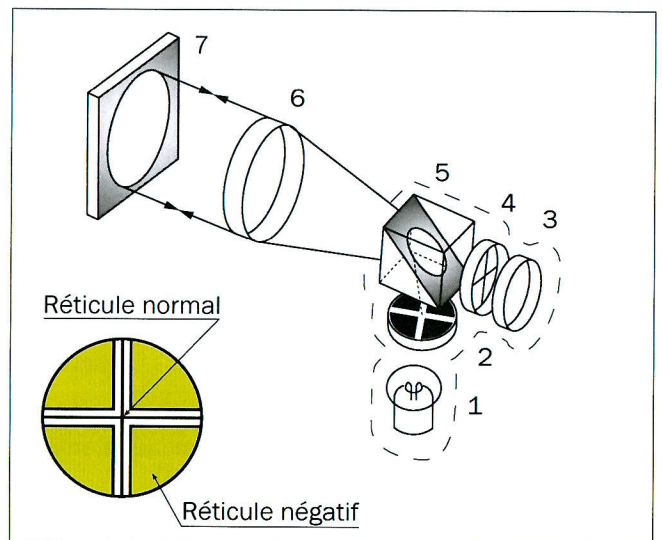


Figure 206. © ECS

Exemple 1 : changement de station pour diverses opérations

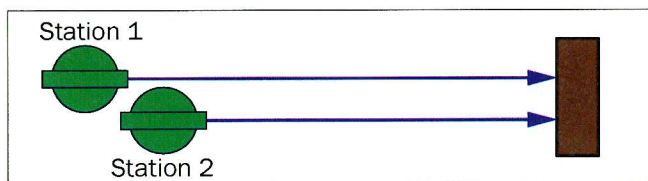


Figure 207. © ECS

- Station 1 : le prisme est mis perpendiculairement à la visée par autocollimation.
- Station 2 : le théodolite est mis perpendiculairement au prisme. La visée est rigoureusement parallèle à la première par autocollimation !

Exemple 2 : changement de niveau

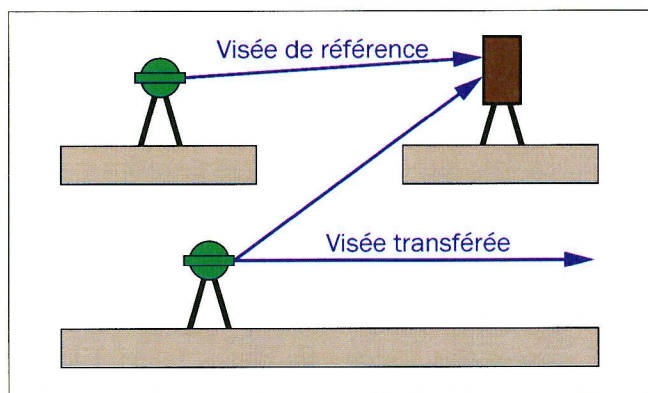


Figure 208. © ECS

L'autocollimation est assurée par le théodolite à l'étage supérieur : le prisme est alors en place. On descend d'un étage, on revise le prisme pour réassurer l'autocollimation : la visée est alors dans un plan parallèle à la première ; on transfère cette visée au niveau inférieur.

XII. ORIENTATION GNSS

Le récepteur GNSS n'est certes pas considéré comme un instrument de mesure d'angle. Cependant, en déterminant les coordonnées E,N de deux points voisins et intervisibles dans le système national, il permet de calculer leur gisement Lambert ! On peut donc en déduire que le positionnement GNSS peut fournir des gisements et permet ainsi de créer des références quand il n'en existe pas à proximité (voir chapitre 10).

Ce procédé remplace ainsi avantageusement le mode astronomique aujourd'hui complètement dépassé (visée du soleil ou de la polaire) en cas de manque de repères

géodésiques visibles de la station. Il est plus rapide et plus précis. La création de deux références permet aussi un contrôle efficace de l'ensemble des stations GNSS solidaires : distances et Go moyen !

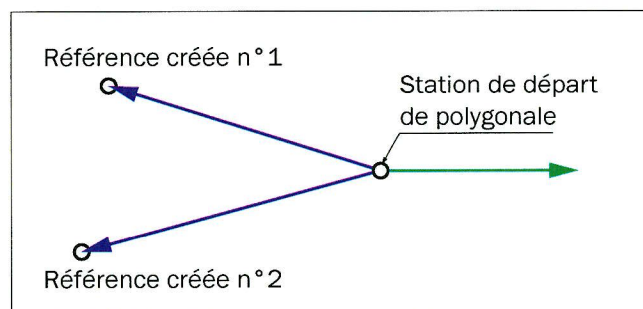



Figure 209. © ECS

XIII. DÉCLINATOIRE ET BOUSSOLE

L'aiguille aimantée permet d'orienter le théodolite vers le Nord magnétique avec une précision de quelques décigrades. Autant dire que ces accessoires n'ont pas d'autres applications topométriques que de dégrossir une orientation. C'est le mode « décliné ».

Certains topographes forestiers (Office national des forêts...) s'en servent en forêt pour orienter leurs côtés de polygonale : chaque gisement est déterminé indépendamment du précédent. La précision linéaire dépend de la longueur du côté à orienter : le décimètre à 30 m.

 Le mode décliné s'accommode de côtés courts !

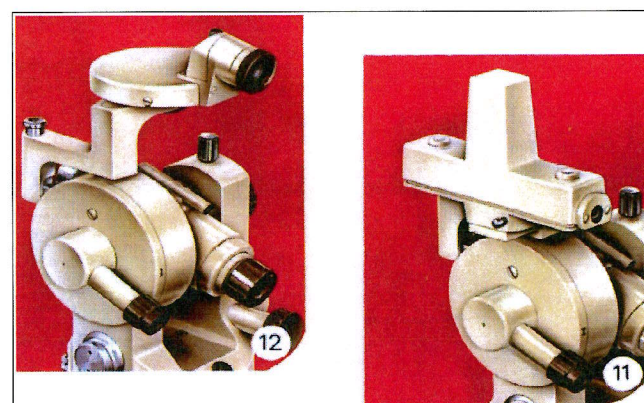


Figure 210. Boussole et déclinateur © Zeiss



Résumé du chapitre 8

L'angle horizontal AH (ou azimutal AZ) est mesuré au théodolite avec une précision angulaire variant de 2 mgon (ordinaire) à 3 dmgon (précision).

$$AH = V(\text{lecture point nouveau}) - R(\text{lecture référence})$$

Axes : les trois axes du théodolite sont :

- l'axe principal : axe vertical qui coïncide avec la station, sommet de l'angle ;
- l'axe secondaire : axe des tourillons, de rotation de la lunette ;
- l'axe optique : qui matérialise la visée, au moyen du réticule.

Organes : les organes principaux sont :

- le trépied : à jambes coulissantes pour la mise en station ;
- l'embase : fixée sur le plateau du trépied, qui reçoit l'alidade (partie tournante) ;
- le plomb optique ou laser : qui matérialise l'axe principal (se trouve sur l'embase ou sur l'alidade) ;
- la nivelle sphérique : pour caler grossièrement l'axe principal ;
- la nivelle de précision (torique ou électronique) : pour caler finement l'axe principal ;
- la lunette topographique : à divergente interne, pour viser au moyen du réticule ;
- les systèmes de lectures : à graduations ou à codes enregistrables....

Mise en station, trépied stabilisé au-dessus de la station :

- on amène l'impact du plomb optique (ou du laser) sur la station au moyen des vis calantes ;
- on cale ensuite la nivelle sphérique en agissant sur les jambes coulissantes du trépied ;
- on cale finement au moyen de la nivelle de précision et on rattrape un éventuel décalage de station en déplaçant le théodolite sur son plateau ;
- on rentre enfin tous les paramètres en mémoire.

Réglages, après calage parfait :

- plomb optique fixé sur l'embase : repérer d'abord au sol l'impact du fil à plomb et comparer avec celui du plomb optique. Régler au besoin avec VR (vis de réglage) ;
- plomb optique fixé sur l'alidade : repérer l'impact au sol dans deux positions de l'alidade à 200 gon près. Régler au besoin avec VR sur le milieu ;
- nivelle de précision : rotation à 200 gon de l'alidade. Si déplacement de bulle « d », ramener de moitié « d/2 » avec vis calantes ; c'est réglé ! Pour commodité, recentrer avec VR ;
- nivelle sphérique : le calage étant déjà réalisé avec la nivelle de précision, repérer la position de la bulle, et, au besoin, la recentrer avec VR ;
- mise au point : tourner l'oculaire le plus vers l'œil pour observer un réticule bien net.

Erreurs systématiques

La plupart des erreurs systématiques s'éliminent par double retournement (positions I et II) ou dans une seule position, après mémorisation de l'erreur. Les défauts de calage sont éliminés par des systèmes compensateurs. Beaucoup d'erreurs sont négligeables pour des visées voisines de l'horizontale. Enfin, l'erreur d'excentricité limbe-alidade est censée être inférieure à l'écart-type !

Erreurs accidentelles (d'emploi)

Les principales erreurs résultent soit d'un mauvais pointé (parallaxe, canne à prisme non verticale, visibilité réduite, effluves, visées rasantes...), soit d'une mauvaise mise en station. Le centrage forcé améliore sensiblement la qualité des angles, surtout en cheminement polygonal !

Enfin, le tour d'horizon est une procédure qui garantit une grande qualité aux angles.

Autres orientations :

- au GNSS : en cas d'inexistence de références (bornes ou clochers), on crée ses propres références au GNSS ;
- au gyroscope : on mesure des gisements géographiques en milieux souterrains ;
- autocollimation : moyen d'orientation de haute précision en métrologie.