

THEODOLITE ET REPERAGE DES ASTRES

Un théodolite est un instrument de visée permettant de repérer une direction dans l'espace. Il est constitué d'une alidade mobile autour de deux axes orthogonaux et de cercles gradués pour repérer, dans un système de coordonnées, la ligne de visée de l'alidade.

Le théodolite que nous nous proposons de construire, comporte un ensemble de cercles gradués correspondant aux trois systèmes de coordonnées utilisés en astronomie :

- coordonnées horizontales (azimut et hauteur)
- coordonnées horaires (angle horaire et déclinaison)
- coordonnées équatoriales (ascension droite et déclinaison)

I- Construction de l'instrument.

L'annexe n° 1 donne le schéma de principe du théodolite ainsi que la liste et la description des pièces nécessaires à sa construction.

L'extrémité de l'axe de rotation vertical a un rôle important : elle est à l'intersection des deux axes et matérialise ainsi le **centre des systèmes de coordonnées**.

1. Préparation du socle :

- Visser à l'une des extrémités de la tige filetée deux écrous que l'on bloque en les serrant fortement l'un contre l'autre.
- Percer au centre de la pièce de bois un trou de diamètre 4 mm que l'on agrandit ensuite, du côté de la face inférieure, à un diamètre de 7,5 mm sur une profondeur de 6 mm . Enfiler alors la tige filetée dans ce trou, par dessous ; les deux écrous doivent s'encastrent en forçant légèrement ce qui permettra de bloquer l'ensemble (tige filetée + écrous). Il est bon alors de vérifier que la tige est bien perpendiculaire au socle.

2. Préparation de la potence :

Il faut apporter beaucoup de soin à l'assemblage de la potence et de son pied car, une fois en place, celle-ci doit être parfaitement perpendiculaire au socle.

- Percer et fraiser à la base de la pièce de bois "potence" un trou de diamètre 3,5 mm pour préparer la mise en place d'une vis à bois qui servira à l'assemblage. En haut, pour le passage de l'axe horizontal, percer un trou central de diamètre 4 mm à l'emplacement indiqué sur le dessin.
- Percer dans le "pied de la potence" un trou de diamètre 4 mm pour le passage de l'axe vertical situé comme il est indiqué sur le dessin. Accoler la potence le long du grand côté de son pied et y repérer avec une pointe l'emplacement du trou situé à la base de la potence. Percer à cet endroit un trou de diamètre 2,5 mm pour la vis à bois.
- Assembler les deux pièces avec un peu de colle, la vis et deux clous, en vérifiant leur position avec une équerre.
- Découper dans la feuille de transparent le repère (azimut, angle horaire, ascension droite). Percer à l'emporte pièce un trou de diamètre 4mm à l'emplacement prévu sur le dessin. Le pied rectangulaire de la potence doit recouvrir une partie de ce repère pour le faire plaquer sur le socle : il faut donc encoller cette partie de la face supérieure du transparent puis l'appliquer sous le pied de la potence. Pour bien aligner les trous des deux pièces on enfiler dans le trou du pied de la potence un boulon de diamètre 4mm qui servira de guide.
- Découper dans le bristol vert le repère de hauteur et le coller sur la partie inférieure de la potence.

Ensuite découper, dans le bristol jaune, le repère de déclinaison et le coller environ 3 cm au dessus de la base du repère précédent en prenant soin d'aligner les deux lignes médianes.

3. Préparation et pose des graduations:

- Découper, dans le bristol vert, le carré contenant le cercle des azimuts du système de coordonnées horizontales.
- Découper, dans le bristol jaune, le disque gradué du système des coordonnées horaires que l'on collera

ensuite sur la feuille précédente, en centrant correctement les deux cercles et en veillant à ce que les directions des points cardinaux correspondent entre elles. Avec un emporte-pièce percer un trou de diamètre 4 mm bien centré pour le passage de l'axe de rotation vertical. Encoller la face inférieure de l'ensemble que l'on enfle ensuite sur la tige filetée et que l'on applique sur le socle.

- Découper, dans le bristol bleu, le disque des ascensions droites. Avec l'emporte-pièce, percer un trou central de diamètre 4 mm, puis enfile ce disque sur la tige filetée, sans le coller : il doit être libre de tourner par rapport aux autres graduations.

4. Montage de la potence et réglage de la longueur de l'axe vertical :

- Enfiler le pied de la potence sur la tige filetée. Prendre une rondelle et un des écrous papillons, les engager successivement en haut de la tige et les faire descendre jusqu'à la base pour serrer le pied de potence sur le socle.
- Vérifier que la tige filetée est bien parallèle à la ligne médiane de la potence. Scier la tige filetée à la hauteur du trou supérieur de la potence et la limer pour rendre l'extrémité légèrement conique.

5. Préparation et montage de l'alidade :

- Percer le trou central pour le passage de l'axe horizontal avec une mèche de diamètre 4 mm. Fraiser ce trou sur la face avant de l'alidade
- Découper, dans le bristol vert, le demi-disque des coordonnées horizontales puis, dans le bristol jaune, le demi-disque des coordonnées horaires que l'on collera sur le précédent en centrant bien les deux demi-cercles. Percer alors un trou de diamètre 4 mm au milieu de la ligne 90°, -90°.
- Coller ces demi-disques, côté graduations, sur la partie arrière de l'alidade; celle-ci cache alors la zone du cercle gradué voisine de 90°, mais essayer de viser dans cette direction avec un tel instrument n'est guère réaliste!
- Mettre en place l'alidade en haut de la potence, les demi-disques en bristol contre la face avant de celle-ci. Pour cela enfiler le boulon à tête fraisée d'abord dans l'alidade puis dans la potence. Sur son extrémité qui ressort à l'arrière de l'alidade on enfle une rondelle puis un écrou papillon. On pourra ainsi serrer plus ou moins l'écrou pour régler la rotation de l'alidade sans gêner la visée.
- Choisir sur la feuille de transparent les deux réticules qui vous paraissent les mieux appropriés à mettre à chaque extrémité de l'alidade; celui de plus petit diamètre convenant bien pour le rôle d'oeilleton que l'on placera à l'extrémité de l'alidade opposée au repère (azimut, angle horaire, ascension droite). Coller ces réticules aux extrémités de l'alidade en prenant bien soin de les aligner avec l'extrémité de la tige filetée. Percer dans chaque support-réticule un trou de diamètre 9 mm comme indiqué sur le dessin, puis les clouer aux extrémités de l'alidade par dessus les réticules pour les rendre plus rigides.

6. Montage du support équatorial:

- Découper les deux côtés du support de façon que leurs hypoténuses fassent avec les côtés horizontaux un angle égal au complément de la latitude du lieu d'utilisation. Les superposer et percer aux emplacements des croix des trous de diamètre 3,5 mm pour la mise en place de vis à bois. Relier ces deux côtés d'abord avec la traverse arrière dont on a, au préalable, enduit les deux tranches latérales d'un peu de colle et laisser de chaque côté une vis qui pénétrera dans la traverse. Vérifier que ces deux côtés sont bien parallèles et enfoncez alors un clou pour fixer solidement le tout.
- Enfoncez deux petits clous bien verticalement sur la cale-socle à environ 1 cm d'un bord ; ces clous serviront de butoir pour le socle du théodolite. Introduire cette cale-socle entre les deux côtés du support. Régler sa position pour qu'elle fasse un angle droit avec l'hypoténuse de chaque côté et de manière à laisser entre la ligne des clous et ces hypoténuses un espace égal à l'épaisseur du socle du théodolite. Fixer cette cale-socle avec deux vis à bois placées de chaque côté du support.

7. Mise en place du théodolite sur son support :

- Placer sur la tranche côté Sud du socle du théodolite deux clous que l'on recourbera vers l'extérieur.
- Planter un clou au milieu du dos de la traverse-arrière et le recourber vers le bas.
- Tendre un élastique entre ces trois clous pour maintenir le théodolite sur son support.

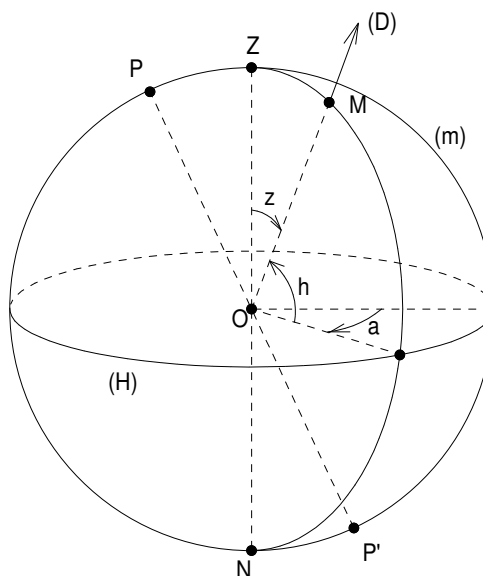
II- Utilisation de l'instrument.

1. Repérage par rapport au sol.

Parmi les éléments de référence utilisés en astronomie, on trouve :

- le **plan horizontal** du lieu.
- les **pôles Nord et Sud** astronomiques situés sur l'axe de rotation de la Terre.
- et le **méridien** astronomique local, plan vertical contenant le pôle Nord.

Pour repérer une direction de l'espace on a l'habitude d'utiliser une sphère de rayon quelconque ayant pour centre le point d'observation. appelée **sphère céleste**. A toute **direction (D)** est associé le point M d'intersection de la sphère céleste et de la demi-droite dont l'origine est le centre O de la sphère et dont la direction et le sens sont ceux de (D).



(H), plan horizon

P, pôle Nord et P', pôle Sud

(m), méridien

Z, zénith et N, le nadir

a, azimut de (D)

h, hauteur de (D).

L'**azimut** et la **hauteur** de la direction d'un astre sont appelés ses **coordonnées horizontales**. L'azimut a est compté en degrés dans le sens rétrograde, de 0° à 360° à partir du demi-méridien Sud, pour les astronomes (dans la Marine, on mesure les azimuts à partir du demi-méridien Nord). La hauteur h est comptée en degrés de -90° à $+90^\circ$ à partir du plan horizon.

Pour mettre en station correctement le théodolite, il faut connaître l'orientation du méridien. Pour cela il existe différentes méthodes, la plus immédiate consiste à utiliser une boussole qui indique le Nord magnétique à partir duquel on peut trouver facilement le Nord géographique (voir annexe n° 2)

Pour mesurer l'azimut et la hauteur d'un astre, le socle du théodolite doit être placé horizontalement et orienté par rapport au méridien. On vise ensuite l'astre avec l'alidade.

L'intersection des deux axes horizontal et vertical représente le centre de la sphère céleste. La lecture de l'azimut se fait sur la graduation verte horizontale et celle de la hauteur sur le demi-cercle gradué vert vertical.

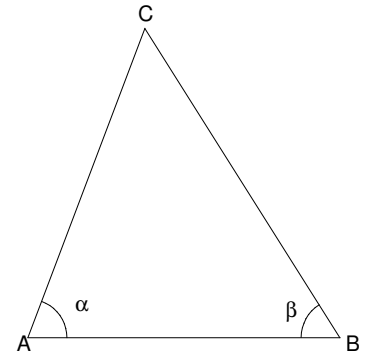
Si l'**astre est le Soleil**, il ne faut jamais le viser avec les yeux, mais utiliser un petit écran blanc que l'on placera à l'arrière de l'alidade et où apparaîtra une petite tache lumineuse lorsque les deux réticules seront correctement alignés avec le Soleil.

2. Détermination d'une distance par la méthode des parallaxe.

On mesure les directions α et β d'un objet C, visé successivement à partir de deux lieux A et B dont on connaît la distance.

La résolution du triangle ABC permet de calculer les, distances AC et BC par les égalités suivantes :

$$\frac{AC}{\sin\beta} = \frac{BC}{\sin\alpha} = \frac{AB}{\sin(\alpha + \beta)}$$



3. Repérage par rapport au plan équatorial céleste et au plan du méridien local.

Les deux coordonnées horizontales d'un astre varient avec le mouvement diurne dû à la rotation de la Terre sur elle-même : tous les astres, au cours de la journée, décrivent sur la sphère céleste des petits cercles parallèles à l'équateur.

Si l'on remplace le plan de référence horizontal par le plan de l'équateur, l'angle que fait la direction d'un astre avec ce plan reste toujours le même : on l'appelle sa **déclinaison δ** . Ce nouveau plan de référence présente également l'avantage d'être indépendant du lieu d'observation. La déclinaison d'un astre est donc une **caractéristique universelle** de cet astre quel que soit le lieu d'observation sur Terre.

La deuxième coordonne associée à la déclinaison est **l'angle horaire H** et l'ensemble est appelé **coordonnées horaires** de l'astre.

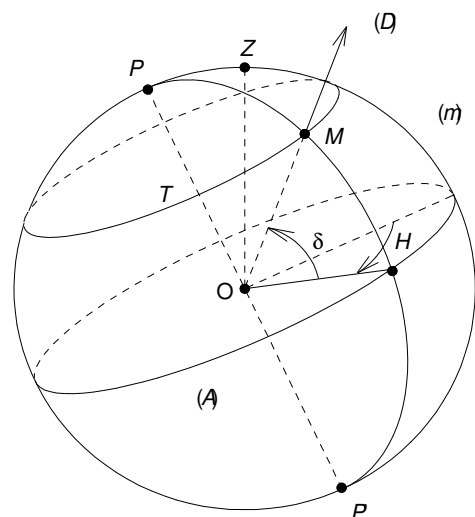
(A), plan équatorial

(m), méridien

(p), parallèle

δ , déclinaison

H, angle horaire.



La **déclinaison δ** est comptée en degrés, de -90° à $+90^\circ$ à partir de l'équateur, elle joue le rôle d'une sorte de latitude.

La déclinaison du Soleil varie au cours de l'année entre $-23^\circ 27'$ au solstice d'hiver et $+23^\circ 27'$ au solstice d'été. La Lune et les planètes ont des déclinaisons comprises également, à quelques degrés près, entre ces deux valeurs extrêmes.

L'angle horaire H est compté en heures (une heure valant 1°) et mesuré à partir du plan méridien, côté Sud et dans le sens rétrograde, de 0 h à 24 h.

L'angle horaire du Soleil est le **temps solaire local vrai**. d'où la dénomination de l'adjectif "horaire". On a toutefois coutume d'ajouter 12 h à cet angle pour indiquer l'Heure Solaire par raison de commodité qui fait débiter un nouveau jour plutôt à minuit qu'à midi.

Pour mesurer l'angle horaire et la déclinaison d'un astre, le socle du théodolite doit être placé sur le support équatorial et orienter convenablement par rapport au méridien. On vise ensuite l'astre avec l'alidade et on lit ses coordonnées sur les graduations jaunes en regard des repères.

On pourra trouver l'**angle horaire du point vernal**, position du Soleil à l'équinoxe de printemps. Cet angle est très important pour les astronomes comme on le verra plus loin. Il est appelé **Temps sidéral T**.

Sur la carte où l'équateur est tracé, on peut également évaluer la déclinaison d'une étoile. Connaissant ainsi les deux coordonnées de l'astre, on peut visualiser avec le théodolite sa direction dans le ciel.

4. Repérage par rapport au plan équatorial céleste et au cercle horaire du point vernal.

Les coordonnées horizontales et horaires sont des systèmes de coordonnées locales : elles dépendent du lieu d'observation.

Pour dresser un catalogue d'étoiles, les astronomes ont besoin d'un système de coordonnées indépendant du lieu et insensible au mouvement diurne. Les coordonnées de ce système, appelées **coordonnées équatoriales**, sont la **déclinaison δ** et l'**ascension droite α** .

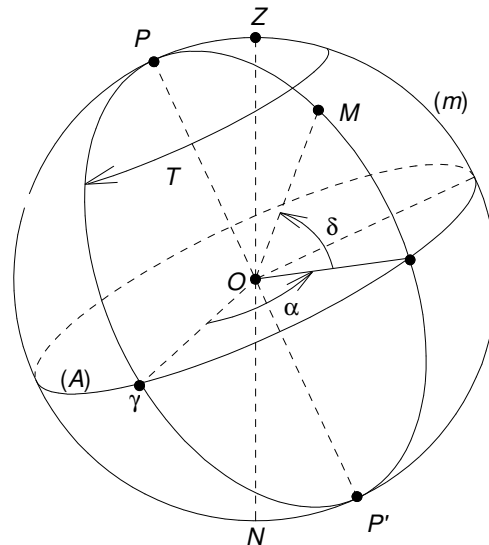
(A), plan équatorial

(m), méridien

T, temps sidéral

δ , déclinaison

α , ascension droite.



L'ascension droite α , exprimée en heures, est mesurée dans le sens direct à partir du cercle horaire du point vernal γ , de 0 h à 24 h. Elle est comparable à la longitude et est caractéristique de l'astre.

Si l'on connaît le temps sidéral, l'ascension droite et la déclinaison d'un astre, on peut **trouver avec le théodolite la direction dans l'espace** de cet astre. Pour cela, on oriente l'alidade de façon que le repère vertical soit en regard de la graduation jaune correspondant à la déclinaison. On amène ensuite le repère du pied de potence au-dessus de la graduation du cercle bleu correspondant à la valeur de l'ascension droite. Puis on fait tourner l'ensemble de manière que la graduation zéro (petit ergot) du disque bleu affiche, en face de la graduation jaune, l'angle horaire du point vernal, c'est-à-dire le temps sidéral. La ligne de visée de l'alidade indique alors la direction de l'astre dans le ciel

Inversement, **si l'on connaît les coordonnées équatoriales** d'une étoile, on peut **mesurer le temps sidéral avec le théodolite**. Pour cela il suffit de viser l'étoile avec l'alidade, vérifier que la déclinaison affichée est bien celle du catalogue, tourner le disque bleu des ascensions droites de manière à amener, sous le repère, la graduation correspondant à la valeur du catalogue. Le temps sidéral est l'angle horaire, lu sur la graduation jaune, de la graduation zéro (petit ergot) du disque bleu des ascensions droites.

Enfin, **si l'on connaît le temps sidéral**, on peut **en visant une étoile avec le théodolite mesurer ses coordonnées équatoriales**. On affiche le temps sidéral en plaçant la graduation zéro du disque bleu des ascensions droites en face de la graduation jaune dont la valeur est égale à celle du temps sidéral ; on vise l'étoile tout en maintenant le disque bleu immobile et on lit les valeurs de l'ascension droite et de la déclinaison qui sont en regard des repères.