

La mise en station et le pointage aux coordonnées équatoriales

Nous allons donner ici plusieurs méthodes de mise en station d'un instrument d'astronomie et voir l'influence des imprécisions sur le pointage aux coordonnées. Pour bien comprendre, il faut savoir ce que sont les coordonnées équatoriales.

Définition de la mise en station

La mise en station (m.e.s.) est l'opération préliminaire obligatoire à toute utilisation correcte d'une monture équatoriale. Elle autorise le suivi d'un objet céleste en compensant la rotation de la Terre par un seul mouvement qui peut être obtenu à l'aide d'un moteur. Elle permet également d'atteindre un point donné du ciel grâce à ses coordonnées équatoriales fournies par les atlas ou les logiciels d'astronomie. Contrairement à ce que la longueur de ce texte pourrait laisser supposer, **la mise en station est une opération simple** qui consiste uniquement à orienter l'un des axes de la monture parallèlement à la ligne des pôles terrestres. Si cet axe était matérialisé par un long tube étroit, en plaçant l'œil à l'extrémité inférieure de ce tube, on apercevrait un point du ciel appelé le pôle céleste nord (PCN). *On se place ici du point de vue des observateurs de l'hémisphère nord.*

Description d'une monture équatoriale

Commençons par faire connaissance avec les 4 axes de rotation d'une monture équatoriale en examinant celle-ci de bas en haut¹.

Axe d'azimut

L'axe situé le plus bas est vertical et sans graduation, c'est l'axe d'azimut. Si on s'arrange pour que l'instrument soit horizontal et qu'on fait tourner l'axe d'azimut, on constate que le champ d'observation balaye les différents azimuts de la ligne d'horizon. L'azimut est l'angle entre une direction d'origine et la direction visée. En astronomie on prend le sud comme origine et on tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. Ainsi l'ouest correspond à l'azimut 90° , le nord à 180° et l'est à 270° .

Axe de latitude

L'axe suivant est horizontal et gradué deux fois symétriquement de 0 à 90° . Cet axe est dit de latitude car on doit le régler sur la latitude du lieu d'observation.

¹ Voilà le genre d'explication que j'aurais aimé trouver dans la notice de mon télescope 115 x 900 quand j'ai débuté en astronomie. Que de doutes levés en quelques lignes !

Axe polaire

Il est appelé ainsi car il doit être orienté en direction du pôle céleste. On l'appelle aussi l'axe d'ascension droite (AD ou RA en anglais pour right ascension) car il est gradué en ascension droite de 0 à 24h deux fois : une fois pour les observateurs de l'hémisphère nord et une autre fois en sens inverse pour les observateurs de l'hémisphère sud². C'est cet axe qui doit tourner à la vitesse d'un tour en un peu moins de 24h pour maintenir un objet dans le champ d'observation, en compensant la rotation de la Terre. Les deux axes précédents ont pour unique rôle de permettre d'orienter correctement l'axe polaire.

Axe de déclinaison

En coordonnées équatoriales, la position d'une étoile sur la sphère céleste est donnée par deux angles : l'ascension droite (équivalente à la longitude pour un lieu terrestre) et la déclinaison (équivalent de la latitude). L'axe de déclinaison permet donc de choisir la déclinaison du coin de ciel que l'on veut regarder. Il est perpendiculaire à l'axe polaire et gradué deux fois symétriquement de -90° à $+90^\circ$. Les valeurs positives correspondent à l'hémisphère céleste nord. Lorsque la déclinaison est réglée sur $+90^\circ$, l'axe optique de l'instrument est parallèle à l'axe polaire. Si alors la latitude est réglée sur 0° , le télescope doit viser l'horizon nord.

Première méthode utilisant l'étoile polaire et la graduation 90° en déclinaison

Commençons par une remarque : Dans tout ce qui suit on suppose que le chercheur est correctement aligné : Ce qui est centré dans le chercheur l'est également dans le champ d'un oculaire.

Pour faire la m.e.s., on règle la déclinaison le plus précisément possible sur 90° . La position en AD n'a pas d'importance, disons qu'il est plus commode de placer le tube le plus haut possible. On règle l'axe de latitude au mieux sur celle du lieu et l'on fait tourner l'azimut en direction du nord. On devrait alors avoir l'étoile polaire dans le champ du chercheur, sinon il faut retoucher l'azimut et/ou la latitude. On centre Polaris à la croisée des fils du réticule du chercheur en agissant uniquement sur les axes d'azimut et de latitude. On peut peaufiner en centrant l'étoile dans le champ de l'oculaire.

Cette méthode suppose que l'étoile polaire est située au pôle céleste ce qui n'est pas tout à fait exact ; elle en est éloignée d'environ $\frac{3}{4}^\circ$. D'autre part, sur les petites montures, il est difficile de lire la graduation 90° avec précision d'où une erreur supplémentaire. L'erreur totale peut dépasser le degré.

NB : Les réglages fins en azimut et latitude ne sont pas faciles avec les petites montures bon marché. Une solution est d'agir sur la longueur des pieds de la monture. Si on place deux pieds suivant une ligne est-ouest, le troisième se trouve au nord ou au sud. En agissant sur sa longueur, on modifie directement le réglage de latitude. En modifiant la longueur d'un autre pied, on agit sur l'azimut mais avec une interaction sur la latitude.

² Pour savoir quelles graduations vous devez utiliser, procédez ainsi : Faites une mise en station grossière. Pointez grosso modo vers l'horizon est. Maintenant tournez l'axe d'AD pour monter dans le ciel. Les graduations qui vous concernent sont celles qui diminuent.

On devra donc alterner les deux réglages. Il est quasiment obligatoire d'être deux : L'un agit sur les pieds, l'autre contrôle le résultat au fur et à mesure. J'ai décrit dans « Astrosurf magazine » un dispositif qui permet de soulever un pied progressivement en tournant un bouton tout en gardant l'œil à l'oculaire. On peut aussi faire pivoter le trépied sur son pied nord (ou sud).

Voilà c'est fait, vous venez de réaliser votre première mise en station un peu approximative mais déjà utilisable. Le reste n'est que du peau-finement.

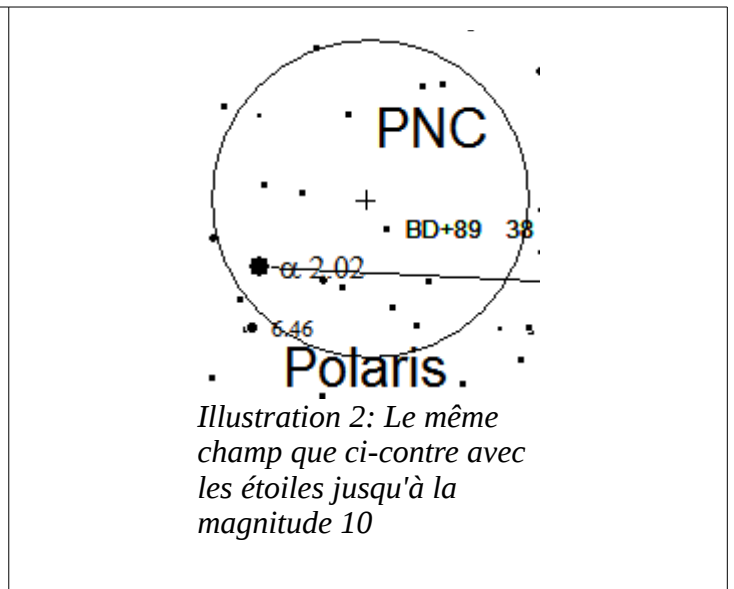
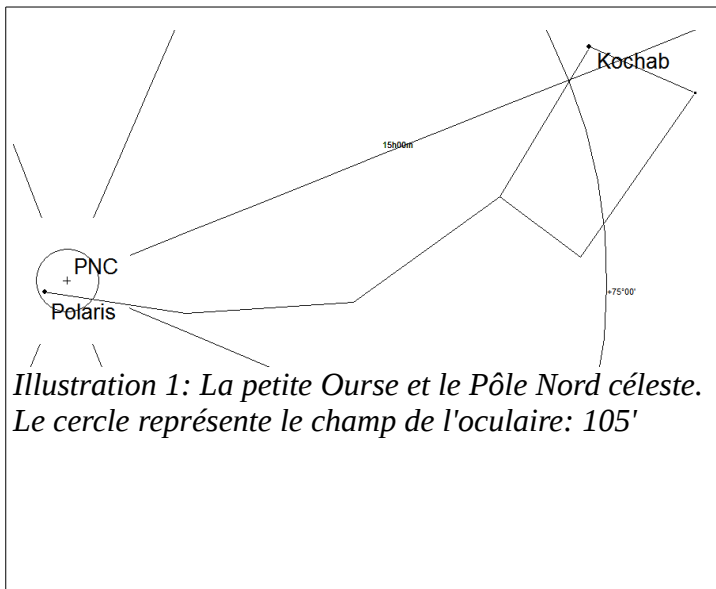
Seconde méthode utilisant l'étoile polaire

Cette méthode permet de s'affranchir des erreurs de lecture des graduations de déclinaison. On fait tourner l'axe polaire jusqu'à ce que celui de déclinaison soit à peu près horizontal. On fait ensuite osciller la déclinaison autour des 90° et l'on regarde l'étoile polaire se déplacer dans le champ du chercheur. On retouche l'azimut jusqu'à ce que l'étoile passe par le centre. On bloque l'azimut. Ensuite, on fait tourner l'axe polaire de 90°, et l'on refait la même opération mais en retouchant cette fois-ci la latitude. On bloque la latitude. Il est recommandé de faire un second tour. Pour finir, en plaçant Polaris au centre du chercheur, on peut vérifier que le repère de déclinaison tombe exactement sur la graduation 90°. Il serait judicieux de créer un blocage permettant de revenir rapidement et précisément à cet endroit. Cette méthode introduit une erreur de $\frac{3}{4}^\circ$ comme vu précédemment.

Rapprochement du pôle céleste vrai par évaluation visuelle

Après avoir exécuté l'une des procédures précédentes, on peut chercher à s'approcher davantage du pôle céleste. Ce point se trouve assez précisément sur une ligne allant de Polaris à Kochab. Kochab (ou Kocab) est l'étoile de la petite Ourse située à l'arrière de la casserole et du même côté que la queue. Elle a quasiment la même magnitude que Polaris. On évalue la direction de cette ligne puis l'on force légèrement l'ouverture du télescope dans cette direction tout en surveillant dans l'oculaire le déplacement de Polaris. Il suffit ensuite de retoucher les axes d'azimut et de latitude de façon à éloigner l'étoile de $\frac{3}{4}^\circ$ du centre du champ dans la direction repérée. Pour évaluer les $0,75^\circ$, il faut connaître le champ de l'oculaire utilisé³.

3 **Mesure du champ d'un oculaire :** Faire une mise en station approximative. Régler la déclinaison sur 0° . Choisir une étoile proche du centre du champ du chercheur en balayant les AD. Centrer au mieux dans le chercheur puis dans le champ de l'oculaire à mesurer en retouchant la déclinaison. Bloquer l'axe de déclinaison. Faire osciller les AD pour vérifier que l'étoile traverse le champ suivant un diamètre. Si ce n'est pas le cas retoucher la déclinaison. Des deux AD qui placent l'étoile en bord de champ, choisir la plus forte. Bloquer l'axe d'AD. Ne pas faire tourner le moteur. Déclencher un chronomètre. Attendre que l'étoile ait traversé tout le champ. Arrêter le chronomètre. Noter le temps t . La valeur du champ en degrés est donné par $Ch = t / 4$, avec le temps exprimé en mn. Ex: $t = 2mn\ 30s$ soit $2,5mn$ $ch = 2,5/4 = 0,625^\circ$ soit $0,625 * 60 = 37,5'$ ou $37'30''$. On peut aussi partir de t en secondes et obtenir directement ch en minutes d'arc. $t = 150\ s$; $ch = 150 / 4$.



Rapprochement du pôle céleste vrai en parcourant la ligne Polaris-Kochab

Après avoir fait la mise en station sur la polaire, on agit sur les axes polaires et de déclinaison pour atteindre Kochab. On centre, on bloque L'AD et on met le moteur en marche si on en a un. Puisque Polaris nous sert de PNC, toutes les lignes d'AD convergent vers elle, donc on peut revenir sur Polaris en ne modifiant que la déclinaison. Le vrai PNC se trouve à 45' avant d'atteindre Polaris, donc si on s'arrête dès que Polaris est à 45' du centre, on est centré sur le PNC. Il faut alors régler le repère de déclinaison précisément sur 90°. La mise en station devrait alors être précise à mieux que 10' ou 12' d'arc

Si les conditions d'observation permettent de déceler les étoiles jusqu'à la magnitude 9 ou 10, on verra une bonne vingtaine d'étoiles dans le champ centré sur le PNC dont, en particulier, BD+89 38 de magnitude 9,68 à environ 15' du PNC sur une ligne perpendiculaire (en 2000) à la direction PNC-Polaris, coté Céphée. Un repère supplémentaire qui peut encore améliorer la précision.

Si on a un moteur, le cercle d'AD est réglé sur celle de Kochab soit 14h51mn, on peut faire immédiatement un pointage aux coordonnées comme expliqué plus bas.

Lorsque Polaris n'est pas visible

Bien qu'elle soit assez haute dans le ciel sous nos latitudes, il peut arriver que l'étoile polaire soit invisible : Présence d'obstacles ou de nuages, observation de jour ... Dans ces conditions, il est encore possible de faire une mise en station plus ou moins précise. Souvenons-nous que le tube du télescope doit être dirigé vers le nord et incliné au-dessus de l'horizontale, de la latitude du lieu d'observation.

Orientation au nord

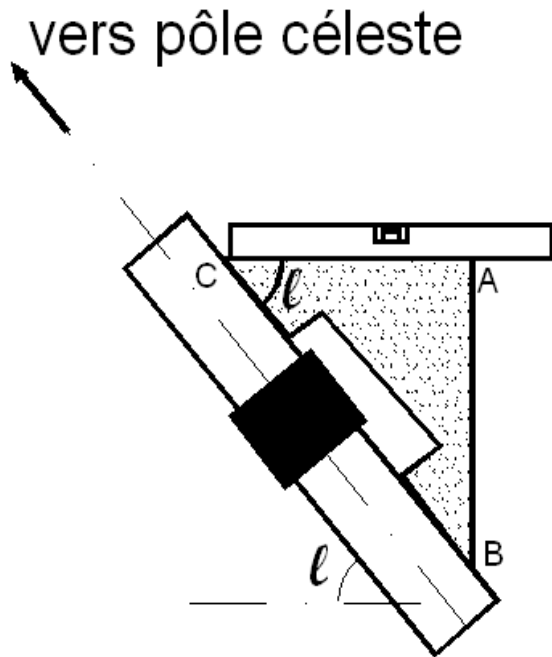
L'orientation au nord peut être faite avec une simple boussole. Toutefois, les boussoles ordinaires sont trop petites pour permettre une lecture précise et la proximité des masses magnétiques du télescope dévient les lignes du champ magnétique terrestre. Voici

quelques suggestions pour améliorer la précision de l'orientation.

- **Si l'espace est dégagé en direction du nord**, on peut se placer 1 à 2 mètres au sud du télescope et faire une visée en direction du nord avec la boussole. Les boussoles de marche sont faites pour cela. Un miroir permet de lire les indications de la boussole en même temps que l'on vise au loin. On repère donc un point éloigné en direction du nord. Il suffit ensuite de tourner l'axe d'azimut pour viser le même point avec l'instrument.
- **Si l'espace est dégagé en direction du sud**, on peut se placer 1 à 2 mètres au nord du télescope et faire une visée en direction du sud avec la boussole. On repère donc un point éloigné en direction du sud. Il suffit ensuite de régler la déclinaison sur -90° et de tourner l'axe d'azimut pour viser le même point avec l'instrument.
- **Si l'espace n'est pas suffisamment dégagé**, on peut se placer quelques mètres au sud du télescope et faire en sorte que l'axe du tube soit dans le prolongement de l'aiguille de la boussole.
- **Ces deux méthodes ont un même inconvénient**, l'imprécision d'une lecture d'angle sur un cercle de moins de 10cm de diamètre. On peut utiliser diverses astuces pour trouver la direction nord-sud de manière assez précise. En voici une : On détermine l'instant précis où il sera midi à l'heure solaire au point d'observation. Ceci peut se faire par calcul. Ce n'est pas ici l'endroit pour expliquer comment faire. On peut aussi utiliser un logiciel comme « cartes du ciel » qui est gratuit et procéder par tâtonnements. On met en place un fil à plomb aussi long que possible. À midi solaire, l'ombre du fil matérialise au sol (s'il est plan et horizontal) la direction nord-sud . Sinon utiliser 2 fils à plomb bien espacés. L'ombre de celui qui est au sud doit tomber sur l'autre fil. On peut aussi utiliser un long tube muni d'un morceau de carton d'environ 10 x 10 cm et percé au diamètre du tube enfilé à une extrémité et orienté (le tube) de telle sorte que la tache lumineuse projetée sur un carton blanc perpendiculaire à l'axe du tube apparaisse bien circulaire au milieu de l'ombre du carton.
- **Ne jamais fixer le soleil même avec deux paires de lunettes solaires l'une sur l'autre. Ceux qui pensent que ça ne leur fait rien auront peut-être une dégénérescence maculaire prématurée ... dans 20 ans.**

Réglage de latitude

L'inclinaison au-dessus de l'horizontale peut être maîtrisée à l'aide d'un niveau à bulle. Considérons un triangle rectangle ABC. A est le sommet de l'angle droit et l'angle BCA



est égal à la latitude l , du lieu d'observation. Si on place ce triangle dans un plan vertical et qu'on l'oriente de telle façon que AC soit horizontal et B sous AC, alors l'hypoténuse sera inclinée d'un angle l , au dessus de l'horizontale. L'idée est donc de découper dans une plaque de contre plaqué un tel triangle aussi grand que possible. On pose l'hypoténuse sur le dessus du tube parallèlement à son axe ; on place un niveau sur l'arête AC et on règle la latitude jusqu'à ce que la bulle soit correctement positionnée entre les deux traits. **La mise en station est terminée.**

Figure 1

Voici comment calculer les cotés du triangle : Mesurer la distance d , disponible pour poser l'hypoténuse sur le tube. En France les latitudes sont toujours relativement proches de 45° . Dans ce cas, les longueurs des cotés AB et AC sont proches de $BC / \sqrt{2}$. On prendra $AC = d / 1,5$ puis $AB = AC \times \text{tg}(l)$. Ex la longueur libre sur le tube est de 503mm et la latitude $l = 47^\circ 40' = 47,75^\circ$. On arrondi d à 500. On a $500 / 1,5 = 333,3...$ On arrondi en dessous, à 300mm pour AC. Tangente $47,75^\circ = 1,1$; on a donc $AB = 300 \times 1,1 = 330\text{mm}$.

NB : Une bonne précision suppose une exécution parfaite du traçage puis du sciage du triangle. Si la ligne BC fait une bosse même légère, on aura du mal à placer correctement le triangle sur le tube. Par contre si BC creuse plus ou moins mais que les points B et C sont bien exécutés, alors tout ira parfaitement. D'ailleurs, on sera souvent amené à faire une découpe pour passer par dessus le collier de serrage du tube. cf figure 1.

- **Pour affiner l'orientation** on pourra, après avoir effectué un réglage en latitude soigné, procéder ainsi: On cherche à atteindre une étoile dont on connaît les coordonnées à l'aide des axes polaire et de déclinaison : On règle la déclinaison sur la valeur théorique et on cherche l'AD qui permet de centrer au mieux l'étoile. Puis on améliore le centrage en retouchant l'azimut et on recommence autant de fois que nécessaire.

Comment atteindre un objet d'après ses coordonnées équatoriales

Dès lors que l'on a effectué une bonne mise en station, pointer un objet en utilisant ses coordonnées est très simple. On commence par viser une étoile de coordonnées connues.

On la centre soigneusement dans le chercheur. On vérifie que la déclinaison affichée est correcte. Si ce n'est pas tout à fait le cas, on retiendra la différence, d , entre la valeur lue, D_{lu} et la valeur théorique, D_{th} :

$$d = D_{lu} - D_{th}.$$

Ensuite on règle le cercle des AD pour qu'il nous affiche la valeur exacte et on met en marche le moteur de suivi si on en possède un. À partir de là, on peut atteindre un objet de coordonnées D et AD en réglant la déclinaison sur D ou, le cas échéant, sur la valeur corrigée D_c avec

$$D_c = D + d$$

et la déclinaison sur AD. Toutefois si l'on n'a pas de moteur, la valeur de l'AD va se dérégler à mesure que l'on recentrera l'objet dans le champ de l'oculaire pendant toute la durée d'observation. Il faudra donc ré-afficher la valeur correcte avant d'aller pointer un autre objet avec de nouvelles coordonnées.

Une petite difficulté peut surgir. On a vu plus haut que les déclinaisons étaient graduées deux fois symétriquement de -90° à 90° . Pour clarifier les explications on va supposer qu'une série de graduations est bleue et l'autre rouge. Supposons que l'on vise un point à 0h en AD et 80° rouge en déclinaison et que l'on veuille maintenant atteindre une étoile située à 12h et 80° . On peut y parvenir soit en tournant l'axe polaire d'un demi tour, soit en poussant la déclinaison jusqu'à 90° avec nos graduations rouges initiales et en redescendant à 80° sur les graduations bleues. Dans ce cas, l'étoile est bien là, la déclinaison est affichée correctement, mais l'AD est fautive, elle est décalée de 12h. On devra donc recalculer correctement les AD chaque fois que l'on franchira la graduation 90° .

Et pour faire encore mieux : la méthode de Bigourdan

Les méthodes de mise en station proposées ici sont tout à fait suffisantes pour de l'observation visuelle, mais elles ne conviennent pas pour de la photographie à longue pose où la moindre dérive se révèle catastrophique. La procédure la plus populaire pour affiner la mise en station, est la méthode de Bigourdan. D'autres sites vous en parleront mieux que moi qui ne l'ai jamais pratiquée.

Disons qu'on observe la dérive d'une étoile et l'on corrige en conséquence, sachant que la dérive d'une étoile proche du méridien est surtout sensible aux erreurs d'azimut et qu'une étoile située vers l'horizon est, dérive plutôt en fonction des erreurs de latitude. Cette méthode peut être ultra précise si l'opérateur a la patience d'y consacrer des dizaines de minutes voire des heures !

influence des approximations de mise en station

Le débutant en astronomie ne manquera pas de se poser la question suivante : Quel est l'effet d'une approximation de mise en station ; pour une erreur ε , donnée quelle est la dérive du champ observée ?

La réponse courte est $\pm \varepsilon$. Cela signifie que pour une étoile donnée, il existe deux instants dans la journée où l'astre se trouve centré en affichant exactement sa déclinaison théorique. Aux autres horaires, la correction de déclinaison se situera entre $+\varepsilon$ et $-\varepsilon$.

La figure 2 permet de comprendre ce qu'il se passe sans grands calculs. Elle est bâtie sur

quelques points particuliers de la sphère céleste situés dans un même plan.

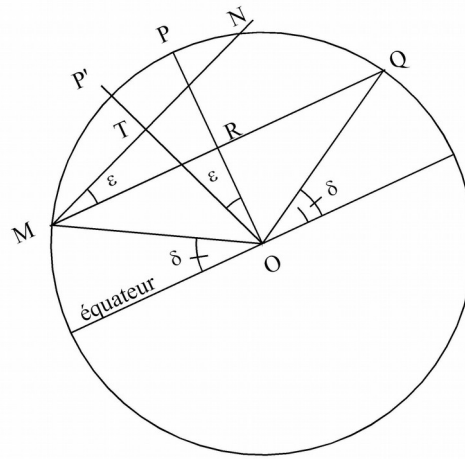


fig. 2

P est le PCN, P' est le point visé par l'axe polaire, O est le point d'observation. La figure représente le grand cercle de la sphère céleste qui contient P et P'. On considère une étoile E qui à l'instant $t = 0$ est située en M. Puisqu'elle décrit un cercle dont le centre R est sur l'axe des pôles, dans 12h⁴ elle sera en Q. La ligne MQ représente le cercle parcouru vu par la tranche. La droite MQ est un diamètre de ce cercle, R est dans le plan de la figure. Au départ le champ est centré sur M.

Cependant, l'axe polaire étant dans la direction OP', le centre du champ décrit un autre cercle dont MN est un diamètre et T le centre. Des considérations géométriques élémentaires nous permettent de dire que si l'arc PP' = ε alors l'angle NMQ = ε et l'arc NQ = 2ε .

Ainsi, au bout de 12h, le centre du champ est en N alors qu'il devrait être en Q. Pour recentrer l'image on devra modifier la déclinaison de 2ε .

L'angle POM représente le complément de la déclinaison δ et P'OM le complément de la déclinaison affichée. On voit donc qu'à l'instant 0, la déclinaison a dû être réglée sur $\delta + \varepsilon$. Douze heures plus tard il faut la mettre à $\delta - \varepsilon$. Si on veut suivre l'étoile, il faudra bien dérégler progressivement la déclinaison sur une plage de 2ε .

Ajoutons que cette dérive en déclinaison suit une loi quasi sinusoïdale. En M et Q, donc aux instant $t = 0$ et $t = 12h$ la dérive est maximale mais sa vitesse est nulle ; aux instants $t = 6h$ et $18h$ c'est l'inverse, la dérive est nulle mais sa vitesse est maximale. La vitesse maximale a pour valeur :

$$d_{\max} = \varepsilon / 60 \text{ par degré de champ parcouru.}$$

Ce résultat a une valeur pratique importante. Supposons que l'on souhaite atteindre une galaxie peu visible en partant d'une étoile connue et en travaillant sur la différence des coordonnées. Pour une différence des AD de d mn la dérive sera inférieure à

$$\varepsilon \cdot d / 240^\circ$$

⁴ En réalité un peu moins. C'est la durée du jour sidéral qui compte ici. Par commodité on supposera qu'il dure 24h.

Par exemple, si la différence des AD est de 1h et l'erreur de m.e.s. de $\frac{1}{2}^\circ$, la dérive de l'une à l'autre sera inférieure à $\varepsilon / 4 = 1 / 8^\circ$.

IL faut souligner que l'erreur en déclinaison s'accompagne d'une erreur en AD. Ainsi, même en corrigeant la déclinaison au fur et à mesure, on n'obtiendrait pas un recentrage parfait du champ avec un entraînement de l'axe polaire à vitesse constante. Pour s'en convaincre, il suffit d'examiner la situation à $t = 6h$. L'étoile ayant tourné d'un quart de tour, elle se trouve en un point R' sur la perpendiculaire au plan de la figure issue de R, tandis que le centre du champ est en T' sur la perpendiculaire issue de T. On voit bien qu'en le replaçant sur le cercle de centre R, on n'atterrira pas au niveau de R'.

Nous avons raisonné jusqu'ici avec une étoile dans une position particulière à l'instant 0. Tout ce qui a été dit reste valable pour une étoile quelconque ; il suffit de décaler l'origine des temps.

Une autre façon d'aborder le problème des dérives est de considérer un observateur situé au pôle nord. Il peut alors simplement suivre les étoiles avec une monture azimutale en bloquant la hauteur, car elles décrivent des cercles horizontaux. Si ensuite notre astronome se déplace suivant un méridien jusqu'à parcourir un arc ε sur la sphère terrestre, il voit les cercles des étoiles s'incliner en se relevant coté sud. Il trouvera les astres à la bonne hauteur quand ils seront à l'est ou à l'ouest et les verra dériver dans son instrument au fil du temps. La dérive maximum ε sera atteinte au nord vers le bas et au sud vers le haut.

Ajoutons que l'erreur de mise en station n'est pas la seule à intervenir dans un pointage aux coordonnées. Les erreurs de construction de la monture peuvent jouer un rôle non négligeable ainsi que les incertitudes de lecture, surtout sur les petites montures des télescopes de débutants style 115 x 900.

Contrairement à ce qu'on lit souvent, le pointage aux coordonnées est tout à fait possible avec une monture azimutale et il est même souvent beaucoup plus précis dans le cas des Dobson. Mais ceci est une autre histoire...

©M Guignard