

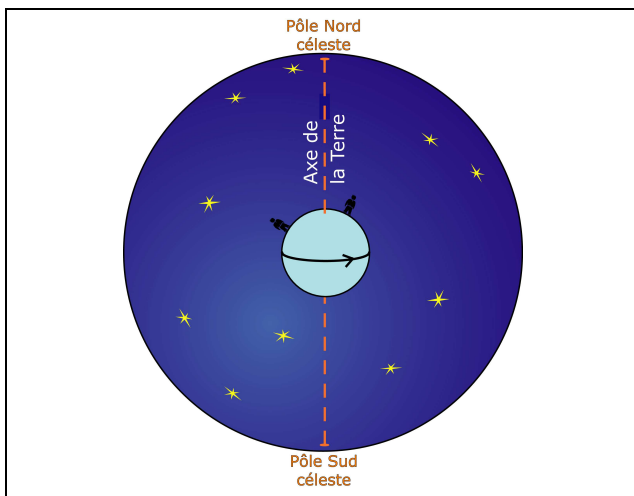
# AVEC NOS ÉLÈVES

## Des images de rotation de ciel, pour quoi faire ?

Pierre Causeret, Esbarres

*Les photographies du mouvement apparent du ciel sont souvent spectaculaires et demandent peu de matériel. Mais à quoi peuvent-elles servir ? Quelle exploitation peut-on en faire avec des élèves ?*

Lorsqu'on observe le ciel étoilé suffisamment longtemps, on peut voir à l'œil nu le déplacement apparent des étoiles dû à la rotation de la Terre sur elle-même. Plus précisément, si on appelle pôle Nord céleste et pôle Sud céleste les deux points d'intersection de l'axe de la Terre avec la voûte céleste, on voit les étoiles de l'hémisphère nord céleste tourner autour du pôle Nord céleste (proche de l'étoile Polaire) dans le sens direct ou sens inverse des aiguilles d'une montre et les étoiles de l'hémisphère sud céleste tourner autour du pôle Sud céleste dans le sens des aiguilles d'une montre. On peut facilement réaliser des images de cette rotation apparente du ciel (appelées aussi filés d'étoiles).

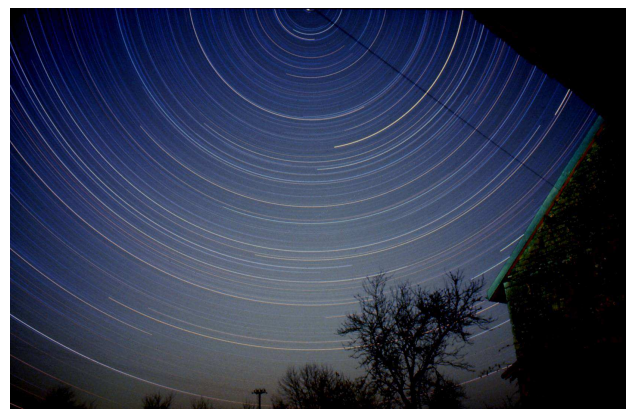


*Fig.1. C'est la rotation de la Terre sur elle-même qui nous fait voir la voûte céleste tourner autour d'un axe.*

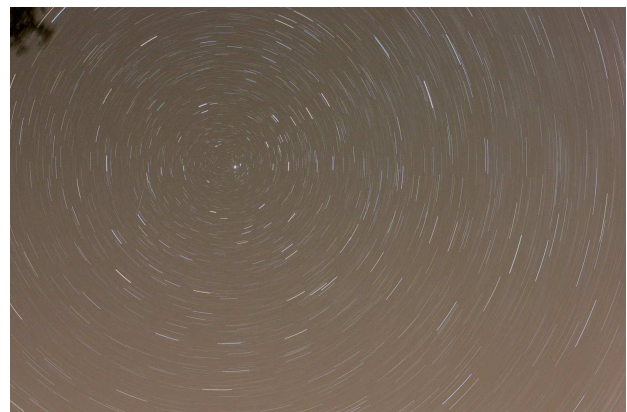
### Comment faire les images ?

Les appareils numériques ont énormément apporté à la photographie astronomique sauf peut-être pour ce type de cliché. Avec un appareil argentique, il suffisait de fixer l'appareil sur un pied, de régler l'ouverture, la netteté et de lancer la pose photo pour 1 h, 2 h ou 10 h (figure 2).

Si on fait une longue pose avec un appareil photo numérique (APN), le fond de ciel devient vite beaucoup trop clair (figure 3).



*Fig.2. La rotation apparente du ciel en 10 heures. Image réalisée en une seule pose en photographie argentique. L'étoile Polaire est tout en haut de l'image.*



*Fig.3. Pose de 30 min avec un APN ouvert à 4 en 200 ISO.*

Pour éviter d'avoir un fond de ciel trop clair avec un APN, la technique utilisée est de prendre une série de photos et de les cumuler avec un logiciel, ce qui se fait très simplement. Par exemple 120 photos de 30 s remplaceront une pose d'une heure. Comme on n'a pas envie d'appuyer 120 fois sur le déclencheur, on utilise un appareil appelé intervallo-mètre.

#### Le matériel nécessaire

- \* Un pied photo.
- \* Un APN permettant d'utiliser un intervalloètre (pas de problème avec les reflex, à tester pour les compacts).
- \* Un intervalloètre (moins de 50 €). Les APN récents en ont un d'incorporé.

#### Comment réaliser les photos ?

- mettre l'appareil en manuel et régler la sensibilité (400 ISO par exemple) ainsi que l'ouverture (ouvrir au maximum ou presque) ;
- se mettre en pose B (Bulb) ;
- régler la netteté (*focus manuel*), à l'écran en zoomant si vous avez un live view ou sur l'ordinateur si vous avez connecté votre APN ;
- faire quelques images test et modifier les réglages si nécessaire ;
- régler l'intervalloètre (voir encadré ci-dessous) ;
- lancer les images.

Il faut évidemment prévoir de faire les photos en l'absence de lumière inopportune (Lune, lampadaire...). De plus, il est intéressant d'avoir prévu un premier plan. On peut même, sur l'une des photos, éclairer ce premier plan avec une lampe pour le faire ressortir.

Un autre problème souvent rencontré avec ces poses longues est celui de la buée qui se dépose sur l'objectif. Certains utilisent une résistance chauffante autour de l'objectif, une chauffelette ou un simple pare-buée en buvard.

#### Le réglage d'un intervalloètre

Tous les intervalloètres vous demandent le temps à attendre pour lancer la première image, la durée de la pose photo, l'intervalle de temps et le nombre de photos. Attention, dans certains appareils, l'intervalle de temps est celui qui s'écoule entre le début de deux photos, pour d'autres, c'est le temps écoulé entre la fin d'une photo et le début de la suivante. Si on veut réaliser des poses toutes les 30 s, on réglera le temps de pose sur 29 s et l'intervalle de temps sur 1 s ou 30 s suivant le modèle d'intervalloètre. La seconde d'attente servira à l'enregistrement de l'image. Attention, votre appareil risque de ne pas avoir le temps d'enregistrer si vous demandez le format RAW, très lourd. Les images qui suivent ont été réalisées à partir de JPEG.

Quelques essais sont indispensables au début.

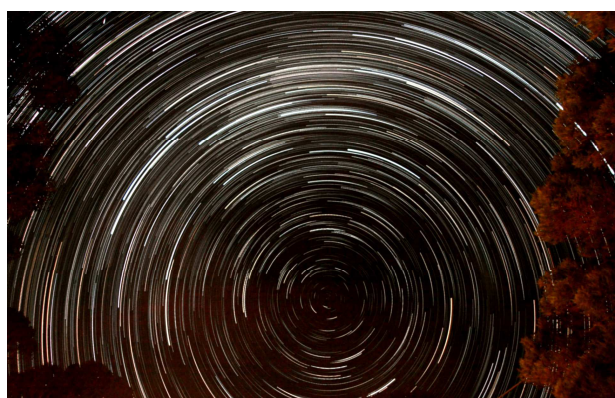
Aucun traitement (pour éliminer les pixels chauds en particulier) n'a été proposé ici. Il est possible, après avoir fait toutes les images, de réaliser une dernière photo avec le bouchon sur l'objectif (un « noir » ou « dark ») à soustraire aux images précédentes. Tous les ouvrages ou les sites de photo astro décrivent la technique mais on peut tout à fait s'en passer si on est prêt à quelques imperfections.

## Comment ajouter les images ?

StarMax est un logiciel gratuit ultra simple à utiliser et dédié à ce type d'image. Le mode d'emploi :

1. Ouvrir le logiciel Starmax.
2. Fichier / Nouvelle liste : choisir les images à traiter puis fermer la fenêtre.
3. Traitement / Traitement / AddMax.
4. Enregistrer.

Addmax conserve les plus hautes valeurs de chaque plan de couleur (on peut aussi utiliser AddmaxLum qui conserve les pixels les plus lumineux). Il ne s'agit donc pas d'une addition mais d'une fonction max : le fond de ciel est constitué des pixels les plus clairs parmi les différents fonds de ciel obtenus en 30 s, ce n'est pas une addition des fonds de ciel. Il reste donc assez sombre.



**Fig.4.** Image réalisée à partir de 120 poses effectuées toutes les 30 s avec un objectif de 15 mm de focale. On peut remarquer qu'il n'y a pas d'étoile brillante au centre du mouvement apparent. En effet, les images ont été prises dans l'hémisphère sud où il n'y a pas l'équivalent de notre étoile Polaire du nord. Les traînées d'étoiles s'affaiblissent vers la fin à cause d'un léger dépôt de buée, ce qui permet de vérifier que l'on voit ici les étoiles tourner dans le sens des aiguilles d'une montre (c'est l'inverse dans l'hémisphère nord).

Voici quelques idées d'activités réalisables à partir de ce type d'image.

## Calculer la vitesse de rotation de la Terre

Connaissant le temps de pose et en mesurant l'angle de rotation des étoiles autour du pôle céleste, il est facile de calculer la période de rotation de la Terre.

On devrait trouver 23 h 56 min 4 s, la période sidérale. Mais il semble difficile, voire impossible, d'être suffisamment précis pour différencier ce jour sidéral du jour solaire moyen de 24 h.

Il est conseillé de partir d'une photo bien centrée sur le pôle céleste, pour que l'angle mesuré sur l'image soit le bon angle de rotation.

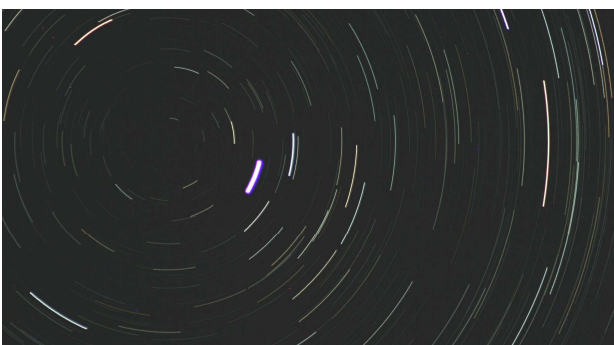


**Fig.5.** Exemple de calcul. On cherche d'abord le centre du mouvement apparent par intersection de médiatrices de cordes (on peut aussi le trouver à partir de cercles de différents rayons tracés sur un transparent). On mesure ensuite l'angle de rotation (environ  $15^\circ$ ). Connaissant le temps de la pose photo (1 h), une simple proportionnalité permet de trouver que  $360^\circ$  correspond à une période de rotation de 24 h.

Dans le hors-série n° 10 « Maths et Astronomie », c'est l'activité réciproque qui est proposée : déterminer le temps de pose d'une photo de rotation de ciel, connaissant la vitesse de rotation de la Terre arrondie à un tour en 24 h.

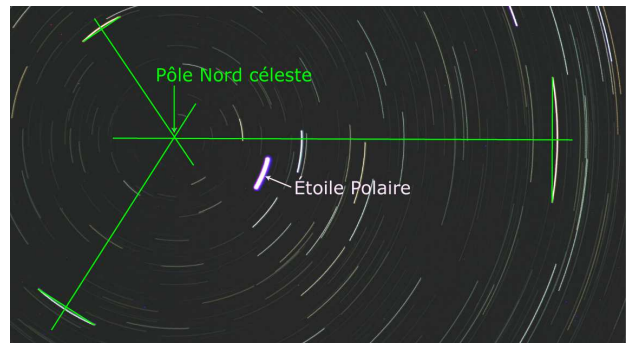
## Trouver la distance de la Polaire au pôle Nord céleste (PNC)

L'axe de la Terre est dirigé actuellement côté nord à proximité d'une étoile brillante, alpha Ursae Majoris, appelée aussi Polaris ou plus simplement étoile Polaire. Mais ce n'est qu'approximatif. Pour mesurer la distance entre cette étoile et le pôle Nord céleste, on commence par réaliser une image du mouvement apparent du ciel en visant la Polaire et en zoomant suffisamment (figure 6a).



**Fig. 6a.** Le mouvement apparent du ciel à proximité de l'étoile Polaire (le trait le plus brillant) avec un téléobjectif de 300 mm.

On cherche ensuite sur cette image la position du pôle Nord céleste, situé au centre des arcs de cercle. Cela peut se faire comme précédemment à partir de médiatrices de cordes (figure 6b) ou d'un transparent sur lequel on aura tracé plusieurs cercles concentriques de rayons différents.



**Fig.6b.** Le pôle Nord céleste est au centre des arcs de cercle, à l'intersection des médiatrices de trois cordes ici.

Sur la photo, la Polaire est située à 13 mm du pôle Nord céleste. Il faut maintenant transformer cette longueur sur la photo en mesure d'angle. Là encore, plusieurs techniques sont possibles. On pourrait effectuer un calcul à partir de la focale de l'objectif et de la taille du capteur. Pour des élèves ne connaissant pas la trigonométrie, une méthode simple consiste à étalonner l'image en photographiant avec le même appareil deux points espacés de  $0,5^\circ$ . Pour cela, il suffit de photographier deux DEL espacées de 87,3 cm et placées à 100 m de l'APN.

Circonférence d'un cercle de 100 m de rayon : 628,3 m Arc de cercle d'angle au centre $1^\circ$ : 1,745 m ( $628,3/360$ ) Arc de cercle d'angle au centre $0,5^\circ$ : 0,873 m
---



**Fig.7a.** Deux DEL (ou LED en anglais) espacées de 87,3 cm.  
**b.** Ces deux DEL photographiées à 100 m avec l'objectif de 300 mm de focale, le même que celui utilisé pour la photo de la figure 6.

Il reste un simple calcul de proportionnalité à effectuer en supposant que les longueurs mesurées sont proportionnelles aux angles<sup>1</sup>.

Entre les deux DEL : 10 mm pour  $0,5^\circ$ .

Entre la Polaire et le PNC : 13 mm pour  $0,65^\circ$ .

Ce résultat est très proche de la valeur actuelle ( $0,67^\circ$  ou  $40'$ ).

L'axe de la Terre se déplace lentement avec une période de 25 800 ans (précession des équinoxes). Actuellement, le pôle Nord céleste se rapproche lentement de l'étoile Polaire. Il sera au plus près vers 2100 (à  $28'$ ). Il est envisageable de suivre ce

<sup>1</sup> Cette approximation se justifie car les angles sont petits, mais ce n'est pas forcément simple à expliquer aux élèves. Une solution serait de disposer plusieurs DEL régulièrement espacées pour encadrer le résultat cherché.

rapprochement en répétant ces images dans quelques dizaines d'années. Mais peut-être certains d'entre vous ont-ils des images du mouvement apparent de la Polaire faites au téléobjectif il y a quelques dizaines d'années. Il serait intéressant de comparer...

## Trouver où passe l'équateur céleste

Les étoiles situées sur l'équateur céleste suivent au cours de la nuit ce qu'on appelle un grand cercle. Cela se traduit sur une pose photo par des tracés rectilignes. Nous avons cherché où passait l'équateur céleste du côté de la constellation de l'Aigle.

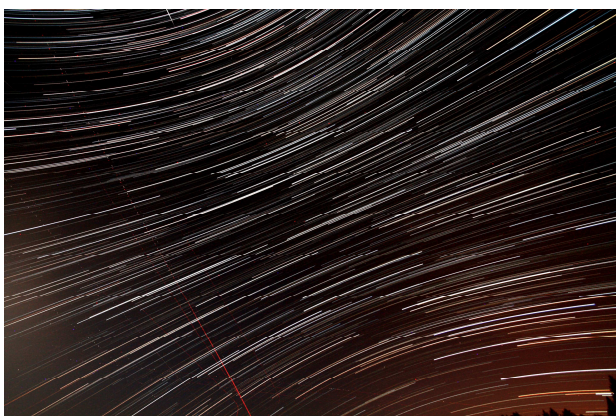


Fig.8. Filé d'étoiles du côté de l'Aigle. Pose de 99 minutes.

Il n'est pas évident ensuite de retrouver les constellations. C'est plus facile en partant d'une image unique. On peut aussi noter sur l'image finale la position des étoiles les plus brillantes au début de la prise de vues (figure 9).

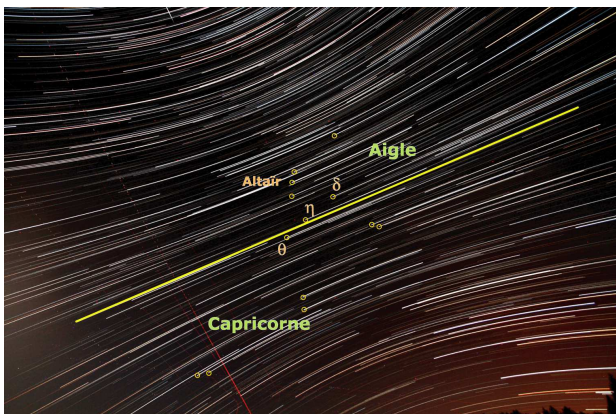


Fig.9. On a retrouvé sur l'image les constellations de l'Aigle et du Capricorne au début des photos. L'équateur céleste correspond aux lignes les plus droites de l'image. Il est représenté en jaune. Il passe entre les étoiles  $\theta$  et  $\eta$  de l'Aigle.

En hiver, la constellation d'Orion, est une cible de choix pour ce type de photo. Elle est traversée par l'équateur céleste.

## Chercher des satellites géostationnaires

Quand on réalise une image de rotation de ciel, on capte habituellement des passages d'avions reconnaissables à leurs pointillés (ce sont ses clignotants). On enregistre aussi souvent des passages de satellites sous la forme d'une ligne continue parfois interrompue au moment du passage d'une photo à la suivante. Les satellites géostationnaires devraient par définition être fixes. Il ne faut pas les confondre avec les points colorés visibles sur la figure 8 qui sont des pixels chauds du capteur. Les satellites géostationnaires ne sont pas faciles à identifier : pour avoir une période identique à celle de la Terre (23 h 56 min), ils doivent être situés à 36 000 km d'altitude (à comparer aux 400 km de la Station spatiale internationale). Ils sont donc peu lumineux. On pourrait penser qu'il faut les chercher sur l'équateur céleste. En réalité, pour les habitants de l'hémisphère nord, ils sont au sud de l'équateur céleste (figure 10).

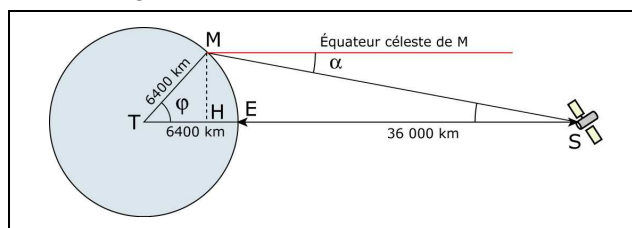


Fig.10. Ce satellite géostationnaire est situé dans le plan de l'équateur terrestre mais l'observateur M le voit au sud à environ  $7^\circ$  sous l'équateur céleste. Cet angle  $\alpha$  dépend de la latitude de l'observateur.

Sur la figure 8, on peut distinguer des points fixes peu lumineux aux alentours de  $-7^\circ$  de déclinaison. Pour être certains que ce sont bien des géostationnaires, il faut déjà vérifier qu'ils sont présents sur toutes les photos. Pour être sûr qu'ils ne proviennent pas du capteur, on pourrait refaire quelques images en changeant le cadrage. Mais la technique la plus sûre est de faire une photo du ciel avec un suivi. Cette fois les étoiles sont fixes et les géostationnaires forment chacun une petite traînée lumineuse.

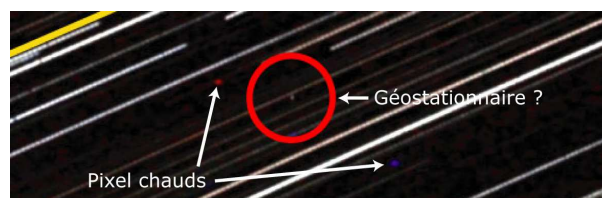


Fig.11. Possibilité de satellite géostationnaire.

Les images 5, 6 et 8 ont été réalisées au col Bayard lors de l'école d'été du CLEA en août 2016 à l'occasion d'un atelier sur le sujet