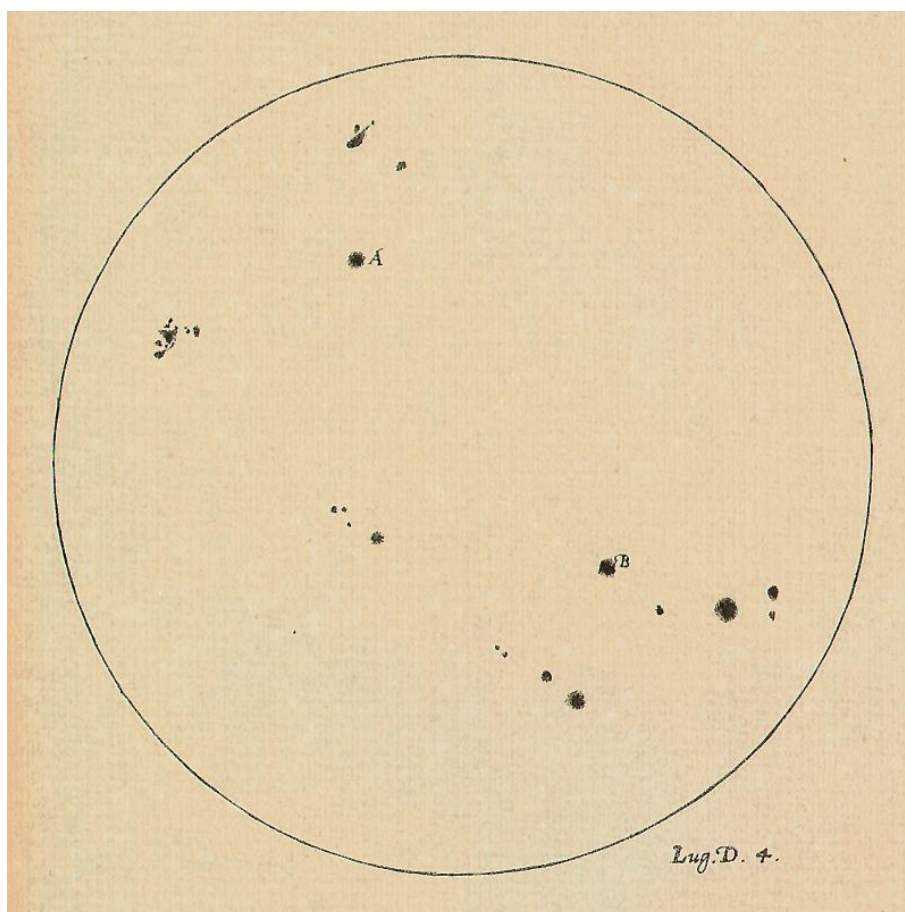


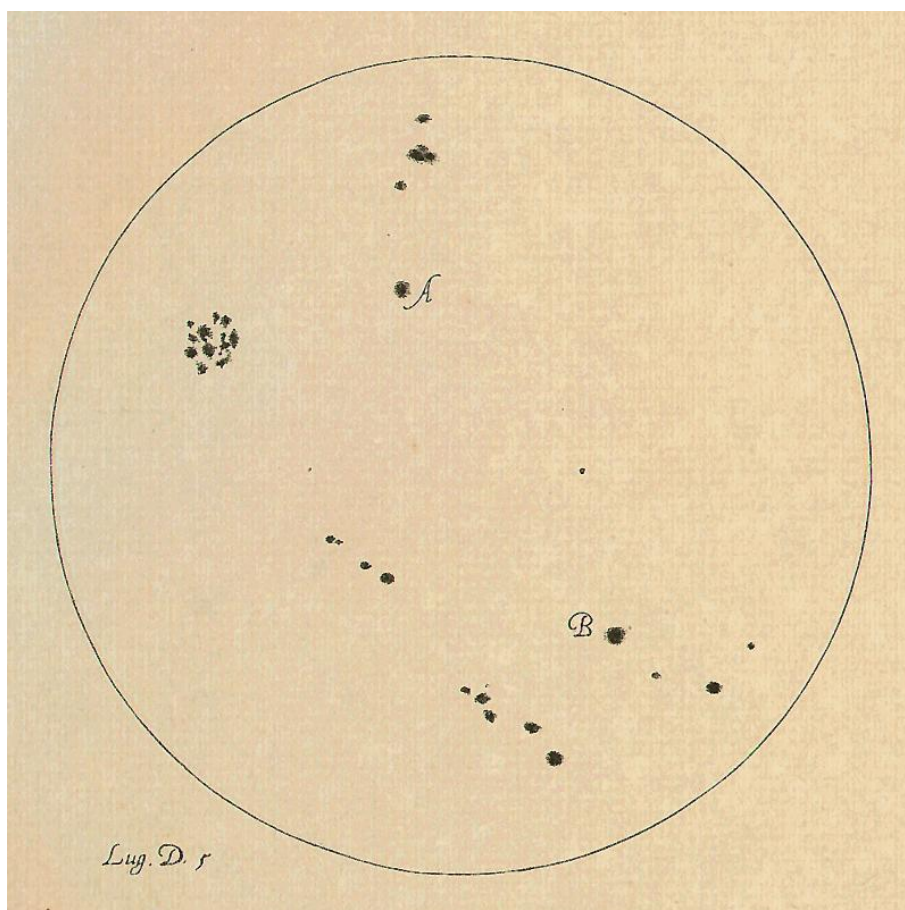
Annexe 1.1 En regardant passer les taches solaires

1.1.1 – Les dessins de Galilée Fiche de travail :

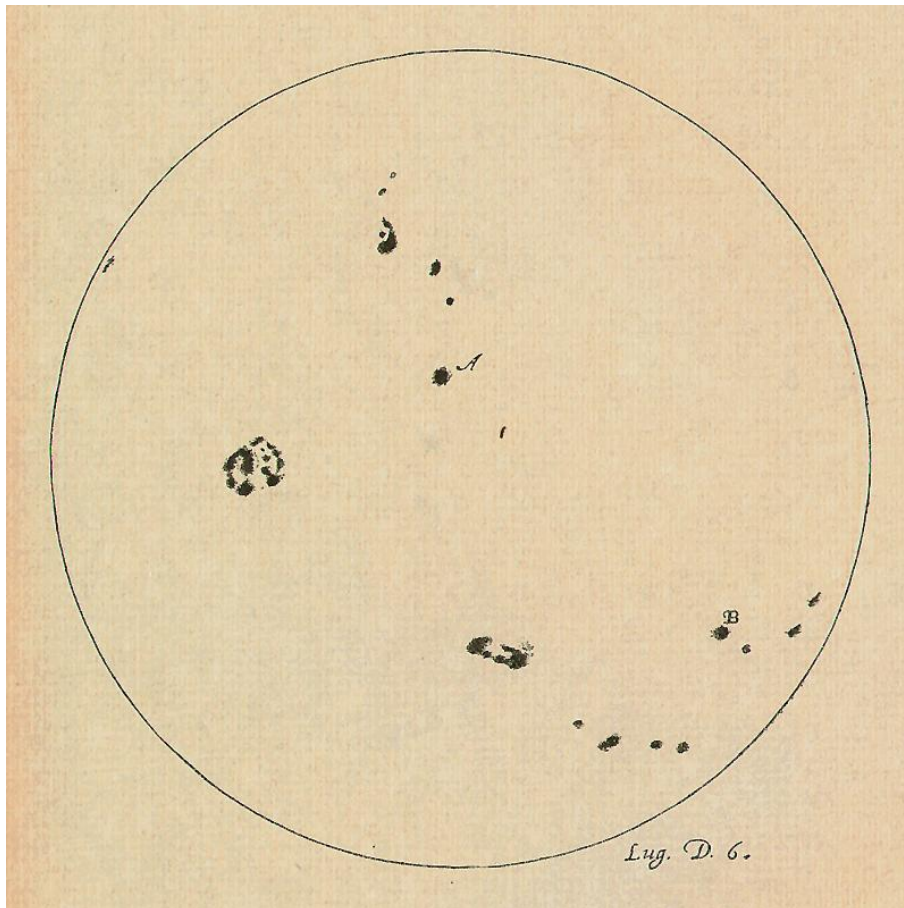
Sur ce document sont reproduits trois dessins de Galilée des 4, 5 et 6 juillet 1613.



Dessin du 4 juillet 1613



Dessin du 5 juillet 1613

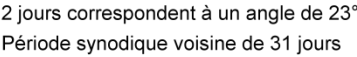


Dessin du 6 juillet 1613

Le travail à faire consiste à reproduire sur du calque le premier dessin du 4 juillet, en pointant par exemple la tache notée (A) par Galilée, puis sur le même dessin de reproduire la tache (A) dans sa position le 6 juillet. Il est important de reproduire le cercle pour une bonne superposition et pour la suite du travail. La ligne joignant les deux positions de la tache (A) nous donne le sens de déplacement et le "parallèle" sur lequel semblent se déplacer les taches.

On va ensuite pointer les intersections de cette ligne et du cercle. Elles vont nous permettre de trouver le diamètre (IM) du petit cercle sur lequel se trouvent les taches.

Il reste à projeter ce petit cercle dans le plan de l'image du dessin de Galilée, à trouver son centre N, à projeter les taches sur ce cercle et à mesurer l'angle \widehat{ONP} correspondant à l'arc de cercle parcouru par la tache en 2 jours.



Une observation plus attentive de ces dessins nous montre que l'observation du 5 juillet ne donne pas pour la tache une position située à égale distance de celles des 4 et 6 juillet (la distance parcourue par la tache n'est pas la même chaque jour). Faute de plus de précision, nous nous contenterons du résultat calculé, voisin de la moyenne des résultats trouvés en d'autres circonstances.

Dans notre cas on trouve 31 jours ce qui est une valeur élevée pour la position de la tache; on devrait être plus proche de 26 jours.

1.1.2 – Calculs : la rotation de la Terre

En observant l'image du Soleil sur l'écran du solarscope, on constate sa fuite de la droite vers la gauche. Le diamètre du Soleil est contenu environ 2,7 fois dans la largeur de l'écran.

Le diamètre angulaire du Soleil est voisin de $0,5^\circ$.

Notre position a donc variée de $2,7 \times 0,5$ degrés pendant ce temps soit $1,35^\circ$ en 5 min donc $16,2^\circ$ en 1h (ce qui correspondrait à 388° en 24 h : précision très faible).

Comme nous sommes sur un parallèle de la Terre (latitude 45°), nous pouvons calculer la longueur de celui-ci, de rayon 4 550 km (rayon de la Terre multiplié par le cosinus de 45°), de longueur $2 \times \pi \times 4\,550$ soit 28 550 km. Notre position ayant tourné de $16,2^\circ$ en 1h, la vitesse de la rotation de la Terre à cette latitude est de : $(28\,550 / 360) \times 16,2^\circ$ voisine de 1270 km h^{-1} .

Il est intéressant de faire effectuer toutes les mesures et les calculs par les enfants.

1.1.3 – Montage des Time Lapses

Sur le site de SDO on peut obtenir des séquences de 2 jours, toutes prêtes, sous forme de time-lapse

<https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/aiahmi/>.

On remplit la requête comme pour la recherche d'images :

- on choisit les dates : dans notre cas du 08 avril 2016 à 12 h 00 au 20 avril 2016 12 h00, puisque le montage que l'on fera s'étalera du 8 au 20 avril 2016 pour le premier exemple,
- dans ce cas HMI Flat Orange pour avoir un Soleil plus "naturel" d'aspect,
- on précise le choix d'images en $1024 \times 1024 \text{ pixels}^2$,
- on coche **Movie Download**, et on valide par **submit**. Au bout de quelques secondes le time-lapse est prêt et il suffit de l'enregistrer.

The screenshot shows the SDO AIA/HMI Browse Data interface. On the left is a sidebar with links: 'The Sun Now', 'AIA/HMI Browse Data' (selected), 'EVE Data', 'Daily Movies', 'Browse Data Dashboard', 'Synoptic Maps', 'Ways to Access Data', and 'Data Rules'. The main area contains search filters: 'Dates' with two date pickers set to '2016-04-08 12:00' and '2016-04-10 12:00'; 'Telescopes' with a dropdown set to 'HMI Intensitygram Flat (orange)'; 'Choose a format' with radio buttons for 'Browser Display' (selected), 'Movie Download' (unselected), and 'Frames Download' (unselected); 'Resolution' with a dropdown set to '1024x1024'; and 'Display one image per nth (optional)' with a text input set to '1'. Below these are informational messages: 'There is a total limit of 500 images per query.' and 'The 4096 images are only available for archive download.' At the bottom is a 'submit' button.

Il faut ensuite faire la même chose pour la période du 10 au 12 avril, du 12 au 14 etc..

On assemble ensuite les fichiers mp4 avec un logiciel du commerce (Première Élément 10 Adobe) pour la première vidéo ou le logiciel open source "OpenShot Video Editor" pour la seconde.

Les deux animations vidéos :

- pour la rotation du Soleil : [Soleil du 08 04 2016 0 h00au 20 04 2016 10 h00.mp4](#) (L'image d'ouverture est une photo prise par un amateur en Hollande (Rayann-Elzein) au coucher du Soleil durant cette période),
- pour naissance et évolution d'une tache : [Vidéo Apparition, croissance, modification d'une tache du 11au 19 février 2011 .mp4](#).

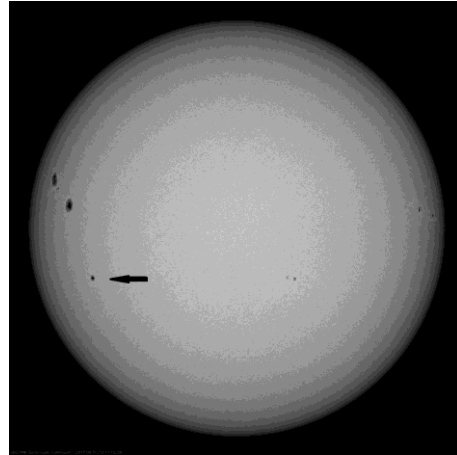
1.1.4 - Durée d'observation des taches.

Certaines taches peuvent être vues depuis la Terre pendant treize ou quatorze jours puis disparaissent à notre vue. Peuvent-elles durer et peuvent-elles être observées à nouveau ? Il est difficile de répondre à cette question sans moyen d'observation de la partie du Soleil non visible directement depuis la Terre.

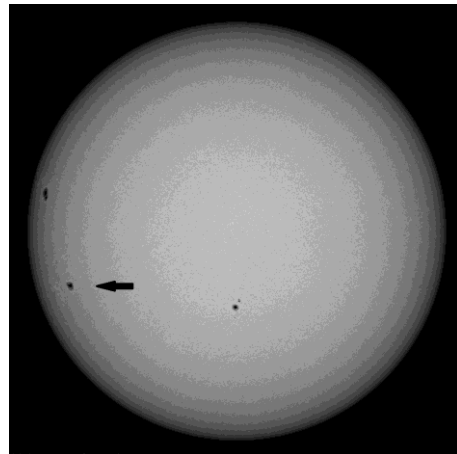
On peut actuellement être renseigné par la paire de satellites **Stereo A et B** (NASA) qui, selon leur position sur leur orbite, peuvent observer simultanément les faces visible et cachée à notre vue du Soleil.

Voici un exemple d'une tache effectuant sa troisième rotation.

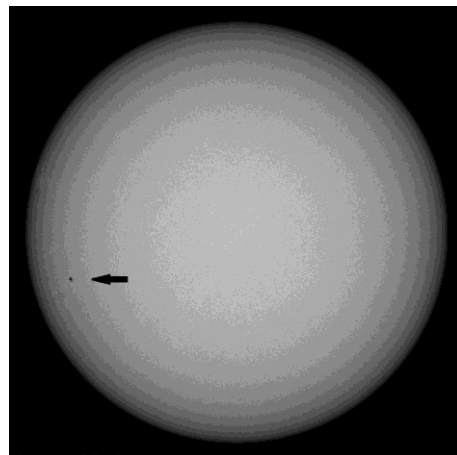
31 août 2017 apparition de la tache AR 2673
Elle est vue depuis la banlieue de la Terre par la sonde SDO.



26 septembre 2017 retour de la tache AR 2673 qui porte le nom de AR 2682; elle entame son second tour. Par tradition, une tache qui revient et est de nouveau visible de la Terre est renumérotée. L'image est vue par SDO.



23 octobre 2017 sous le nom de AR 2685, nous assistons au retour de la tache AR 2673 qui entame une troisième rotation en ayant perdu de son intensité et de sa surface. Là encore il s'agit d'une vue de SDO.

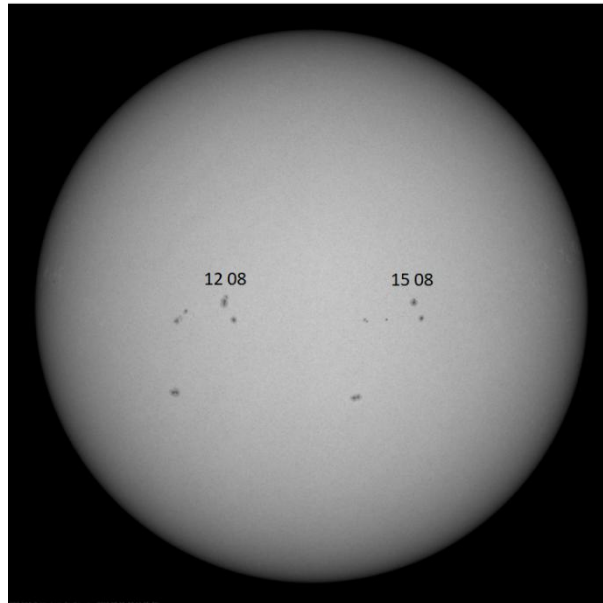


1.1.5 - Les fiches de travail

Sur chacune des fiches photocopiables, pages suivantes, on a superposé deux images du Soleil à deux dates choisies pour visualiser le déplacement que nous avons pu observer à quelques jours d'intervalle.

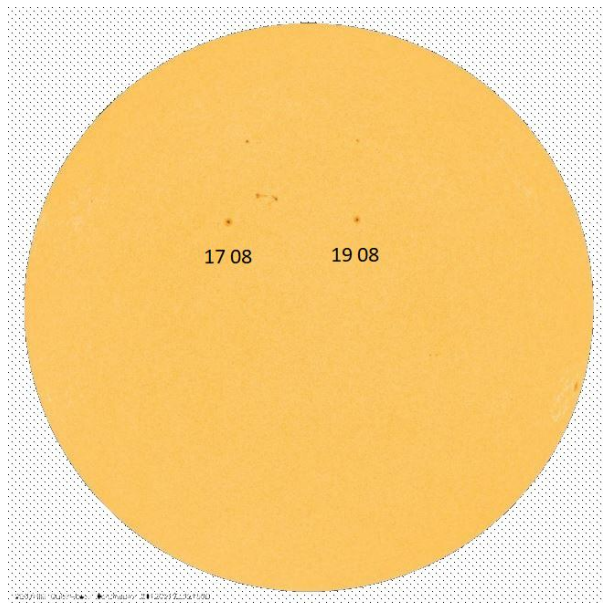
Pour la fiche n°1

Détermination de la période de rotation du Soleil à partir de taches solaires du 12 08 2016 et du 15 08 2016 superposées. Il y a plusieurs taches et il faut choisir celle avec laquelle on veut travailler.



Pour la fiche n° 2

Détermination de la période de rotation du Soleil à partir de taches solaires du 17 et du 19 Aout 2016 superposées. Il y a plusieurs taches et, là aussi, il faut choisir celle avec laquelle on veut travailler.



Pour effectuer ce travail, on peut proposer directement les 2 fiches ci-dessous, chacune d'elles comportant les images de SDO et le montage de 2 images, afin de permettre l'identification des positions des taches sur les images superposées.

Fiche de travail 1 (photocopiable)

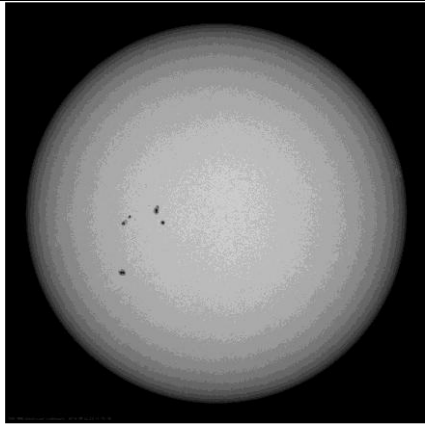


Image du 12 aout 2016

Sur l'image suivante les 2 images ont été superposées sous Geogebra. Toutes les images sont redressées, l'axe de rotation du Soleil étant parallèle au bord gauche de la feuille.

Il reste à choisir une tache et à repérer sa position sur chaque image puis sur l'image finale et à faire les constructions et les calculs (A et A', ou B et B').

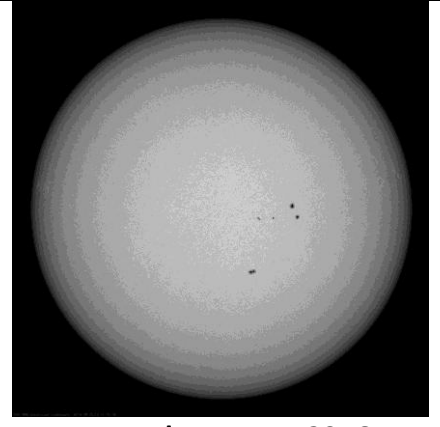
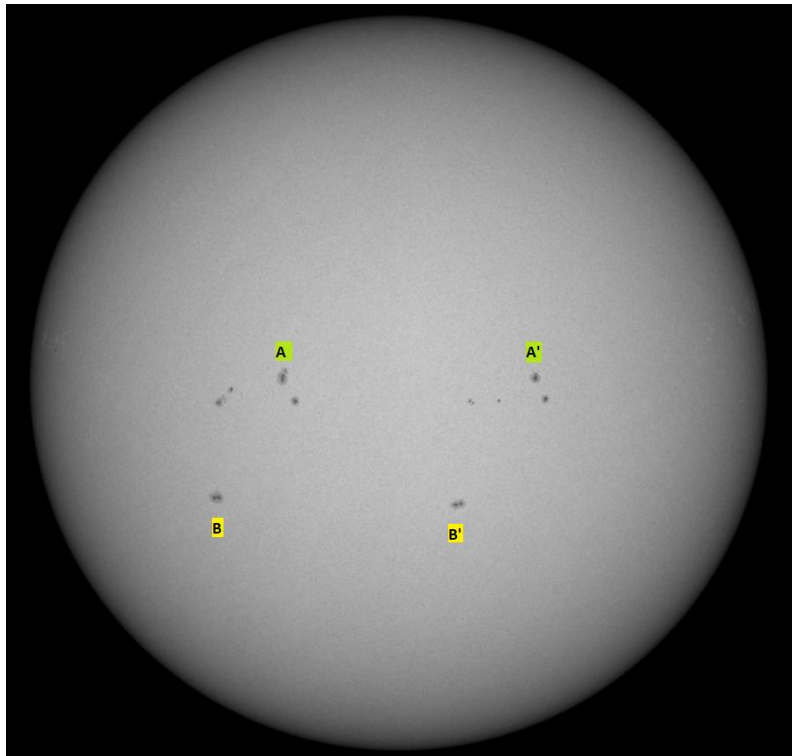
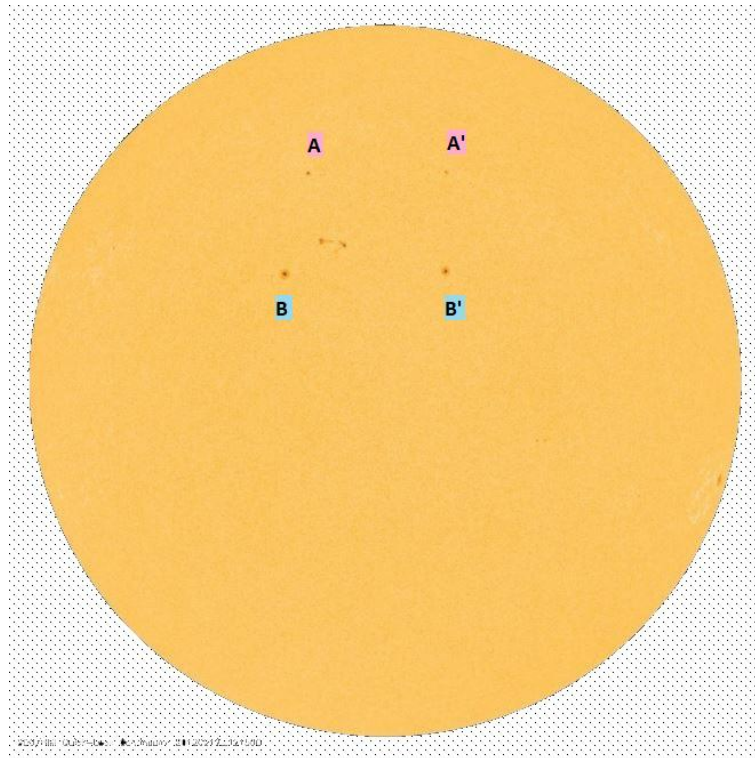


Image du 15 aout 2016



Fiche de travail 2 (photocopiable)

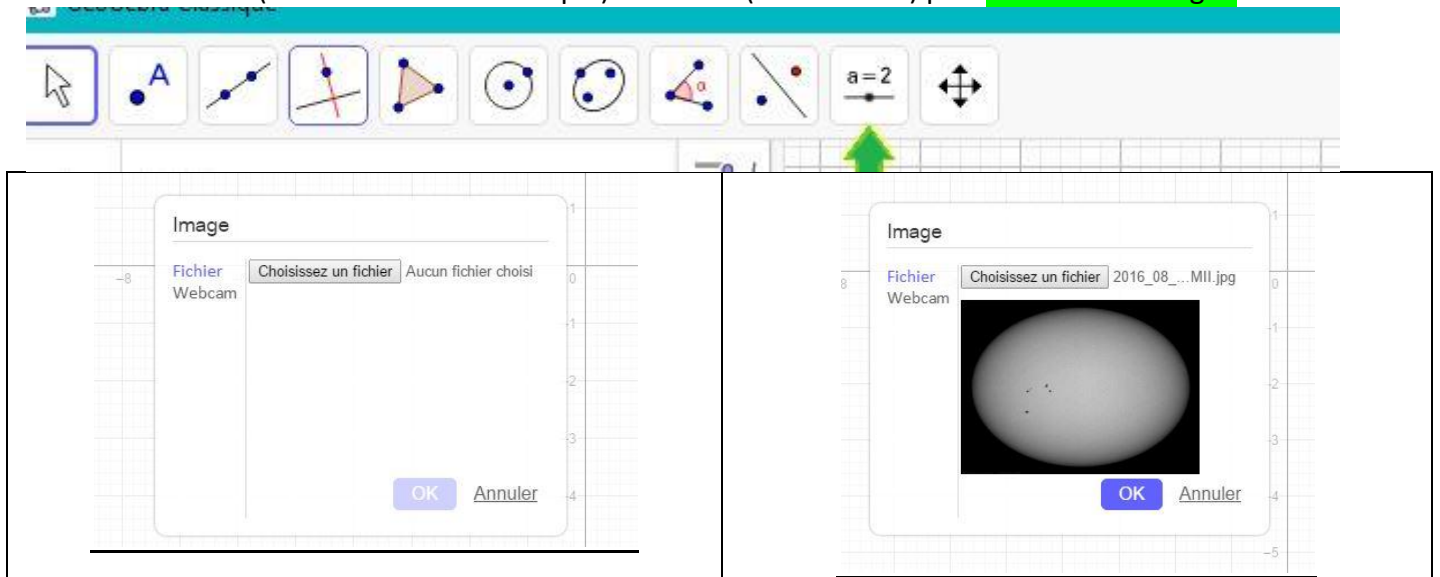
Détermination de la période de rotation du Soleil à partir de taches solaires du 17 et du 19 Aout 2016 superposées. Pour le faire on repère les 2 positions de la tache que l'on a choisi d'utiliser et on effectue les constructions puis les mesures (voir livret) avec l'un des couples (A,A') ou (B,B').



Les fiches 1 et 2 sont différentes dans la réalisation mais sont bâties sur le même principe, fournir une image où sont superposées les 2 images de SDO avec lesquelles on travaille. On peut parfaitement procéder comme pour les dessins de Galilée et mettre les 2 images sur une seule fiche et travailler au calque.

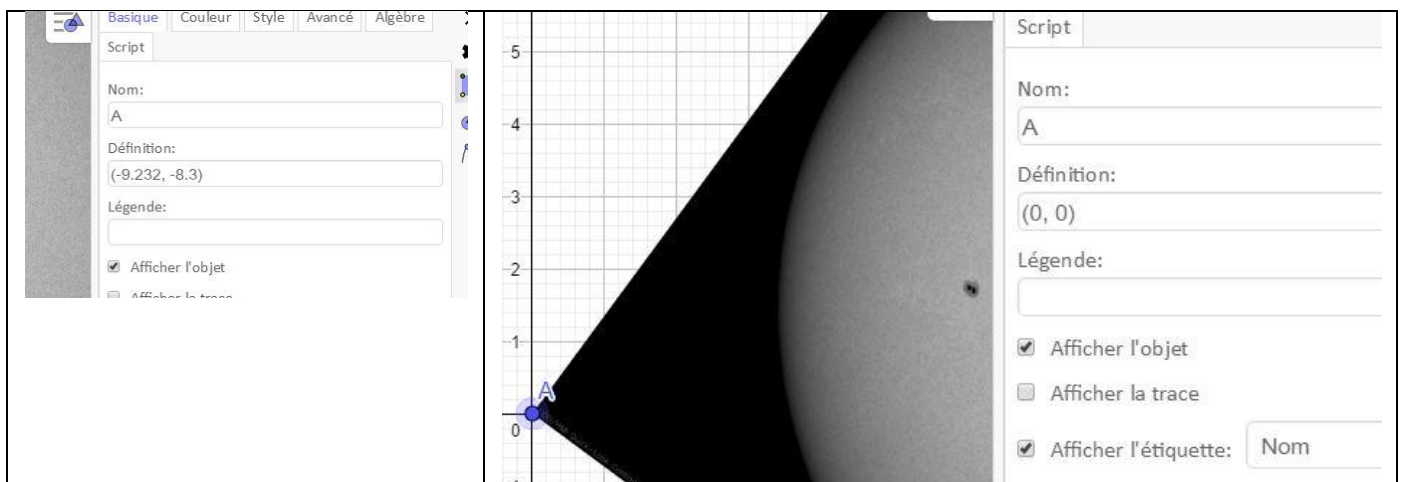
Pour superposer 2 images, on peut utiliser GeoGebra.

Ouvrir GeoGebra (ici la version 6.0 classique) et choisir (flèche verte) puis **insérer une image** :



On valide. L'image redevient normale.

Il faut alors fixer les coordonnées des points A et B, coins bas gauche et bas droit de l'image. Les images étant en 1024 pixels² je propose comme coordonnées de A (0,0) et B (1024,0). Pour le faire, pointer le point A (clic droit) et dans le menu qui s'ouvre choisir **Propriétés** ; modifier les coordonnées dans la fenêtre de droite, et valider (Entrée).



On fait de même pour B.

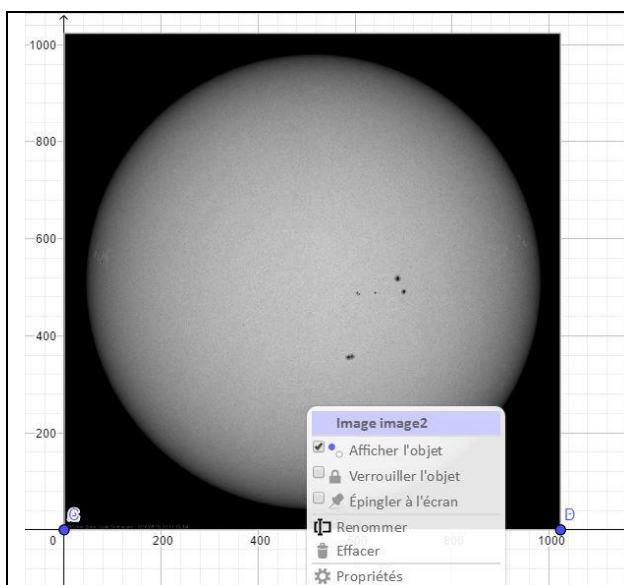
Il faut ensuite pour chacun des points A et B choisir dans **Propriétés** : **Basic** **Points fixes**.

Il faut alors fortement "Dé-zoomer" (molette de la souris) pour voir l'image ainsi installée. Il faudra peut-être aussi déplacer le graphique en allant sur (flèche verte) puis choisir **Déplacer graphique**.



Il faut maintenant copier dans GeoGebra la seconde image. Elle est choisie comme la première et ses coins vont s'appeler C et D. Il faudra comme pour l'image 1 modifier les coordonnées en (0,0) pour C et (1024,0) pour D. On modifie les propriétés de C et D pour qu'ils soient fixes (voir au-dessus).

Les deux images sont superposées mais on ne voit que la deuxième. On choisit **image 2** (clic droit), **Propriétés** pour régler dans **Couleur** l'opacité de l'image afin de voir l'image 1 en même temps que l'image 2.



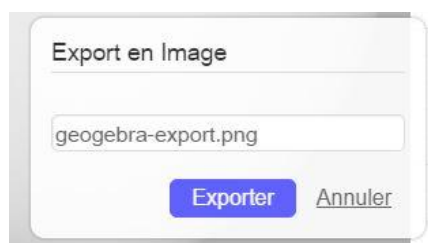
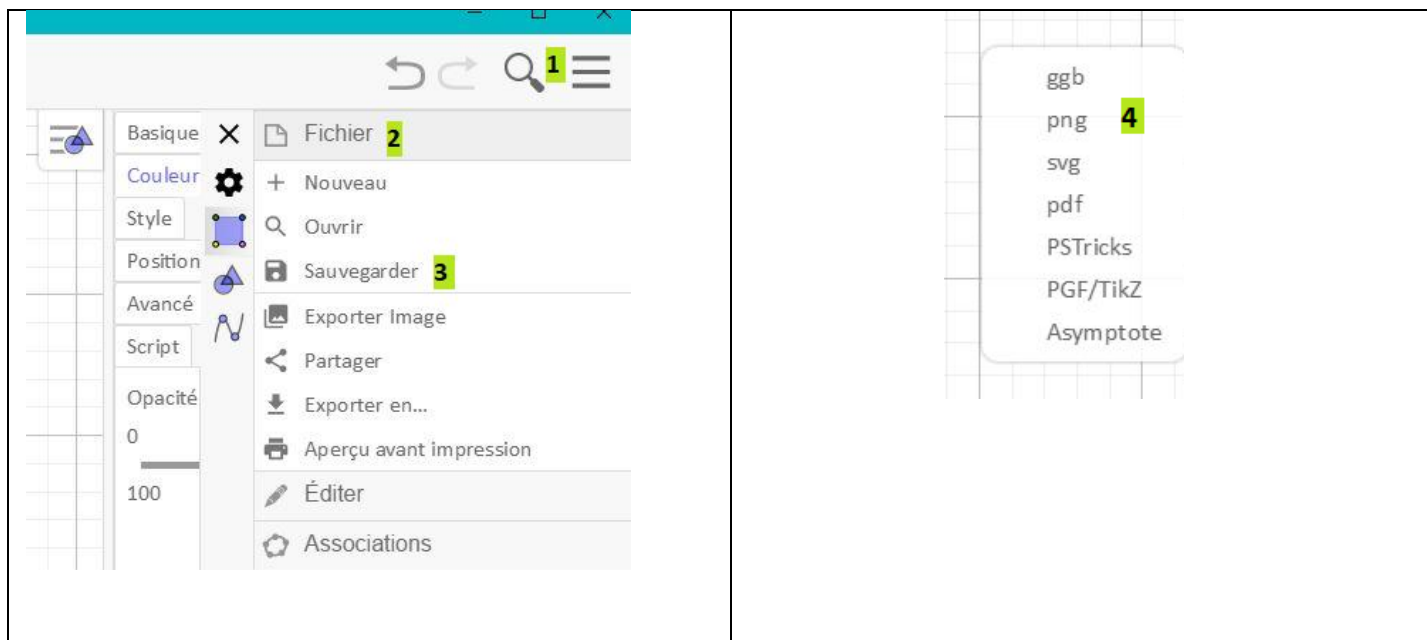
On ramène le curseur vers "50" moment où l'on voit les 2 images, les taches devenant visibles dans leurs 2 positions sur la surface du Soleil.

Avant de passer à la sauvegarde de l'image avec nos 2 photos superposées, il est conseillé, dans les propriétés des points A, B, C, D, de choisir l'option : ne pas afficher les points, pour ne pas surcharger le dessin suivant.

Il faut alors conserver cette image. On commence par sauvegarder: cliquer **1**, choisir **2**, cliquer sur **3**

Pour l'option de sauvegarde choisir : **Sauvegarder sans se connecter**, donner un nom à la sauvegarde avec le suffixe .ggb en sauvegardant dans le fichier de son choix.

Il faut ensuite, à partir du même menu, avant de fermer Geogebra, exporter l'image au format PNG (choix **4**) pour pouvoir l'utiliser dans un document de travail.



Il reste à nommer l'image et à la sauvegarder dans le répertoire choisi.

On peut alors faire les constructions et les calculs, comme vu dans l'annexe 1.1.1, dans Geogebra ou imprimer l'image obtenue pour un travail papier-crayon. Voir ci-dessous.

Travail papier-crayon à partir d'une fiche de travail

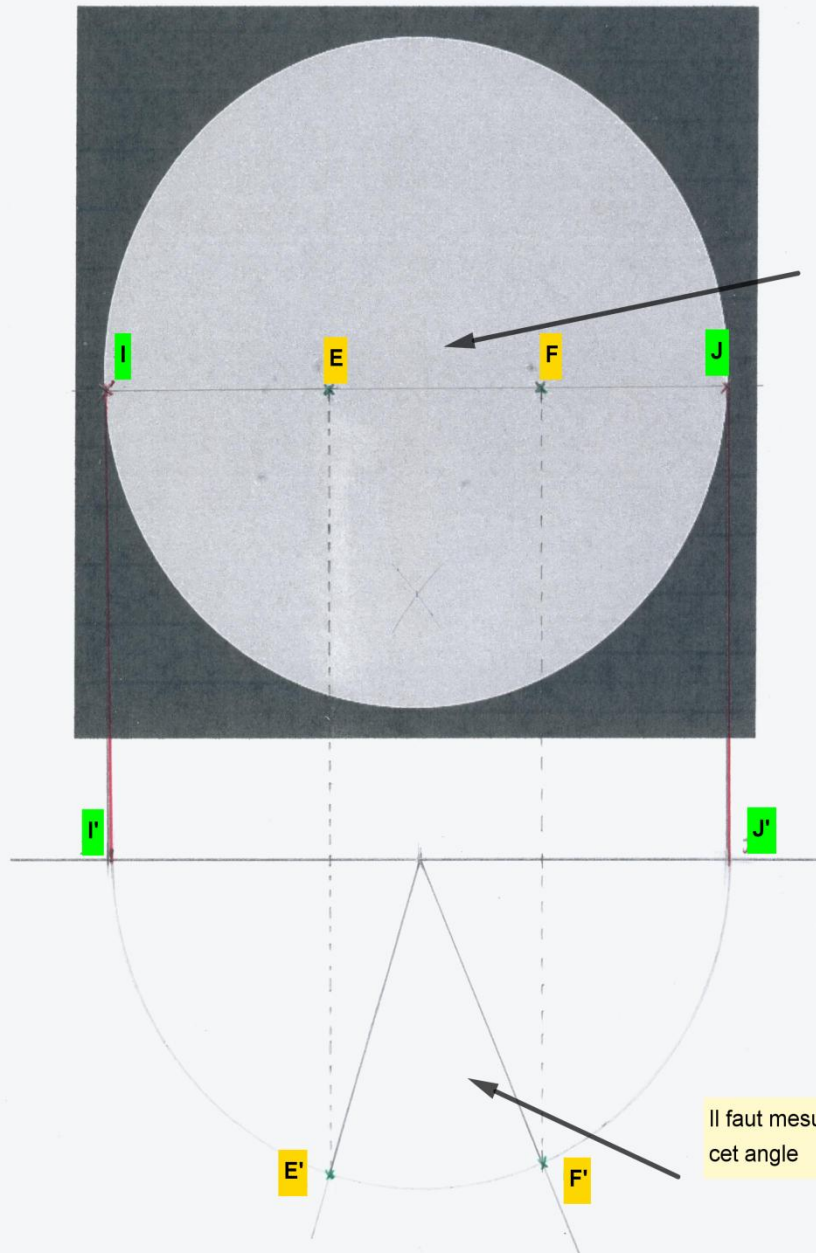
Fiche 3 période de rotation synodique du Soleil images du 12 et du 15 aout 2016 superposées.

Les 2 taches qui nous intéressent sont sous les points E et F déjà placés. Le contour circulaire du soleil est en blanc.

La ligne située en dessous du Soleil servira de base pour la construction.

Images prises à
la même heure

E et F ont été placés sur les taches
sous GeoGebra

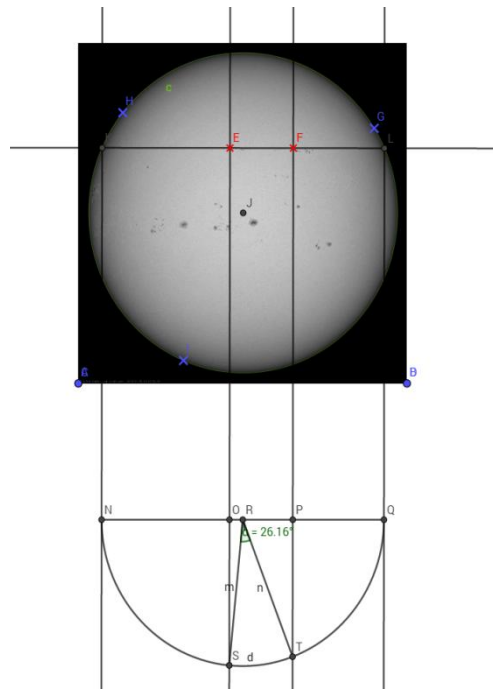


[I'J'] est le diamètre du cercle
sur lequel se déplacent les taches

Il faut mesurer
cet angle

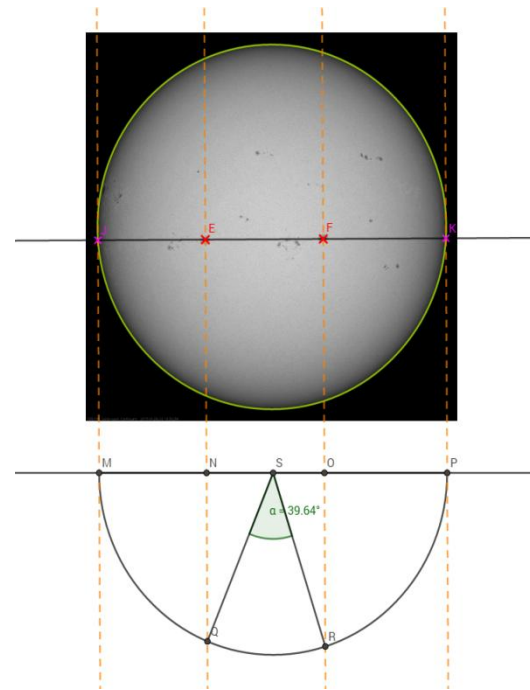
1.1.6 – Problèmes de calcul de période synodique du Soleil à différentes dates

SDO Taches de janvier 2015 HMII Gray



26 janvier 12h10 28 janvier 12h 22

durée 2,04 jours Période synodique : 28,07 jours

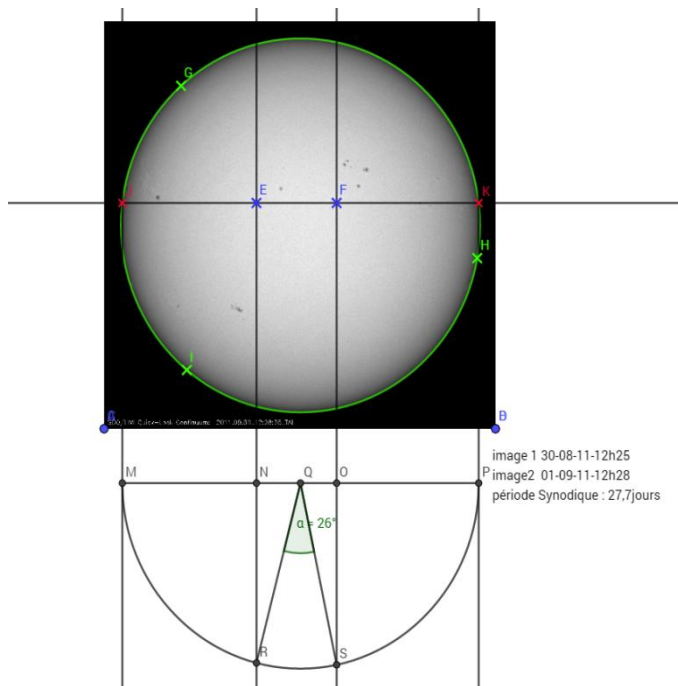


26 janvier 12h10 29 janvier 12h10

durée 3 jours Période synodique: 27,24 jours

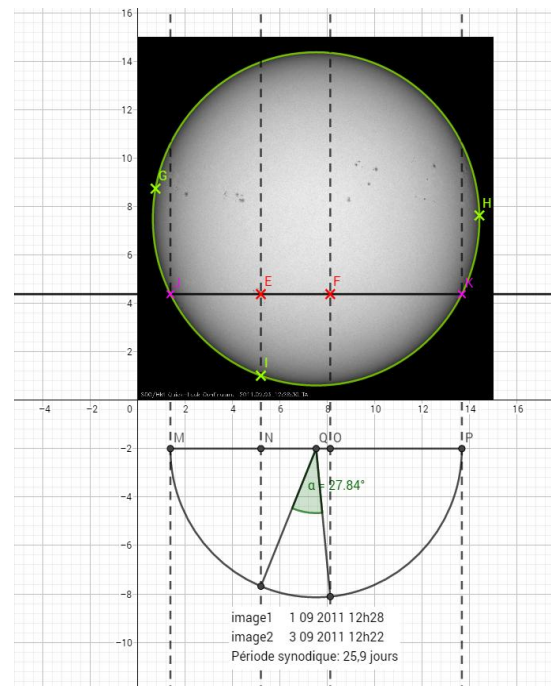
Avec ces résultats, on peut supposer que la rotation différentielle du Soleil est mise en évidence, le gaz tournant plus rapidement à l'équateur que dans les latitudes élevées, à la précision de nos mesures près.

SDO Taches août/septembre 2011 HMII Gray



30 août 12h25 01 septembre 12h28

durée 2,002 jours période synodique 27,7 jours



1 septembre 12h28 3 septembre 12h22

durée 1,996 jours. Période synodique : 25,8 jours

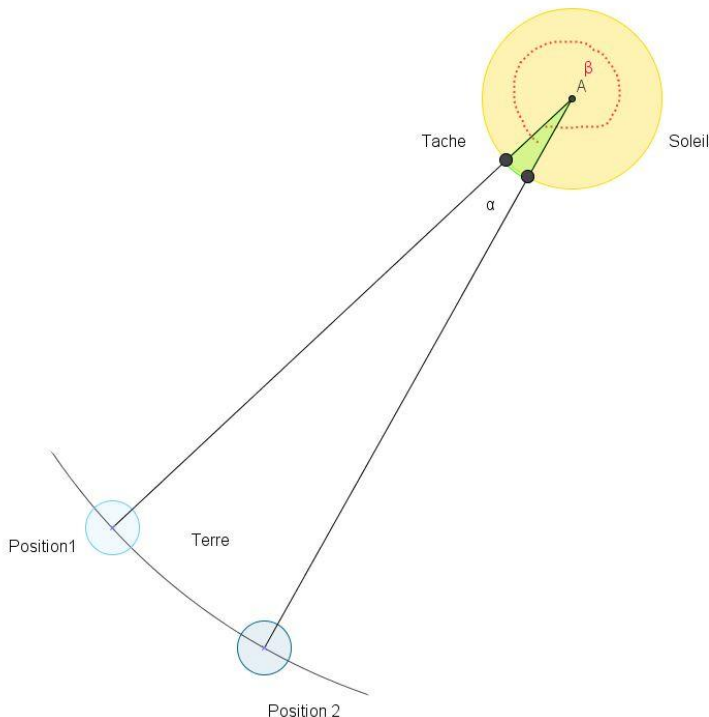
Alors que sur cet exemple on obtient le contraire

1.1.7 - Relation entre périodes sidérale et synodique

Soit T_1 la période de rotation des taches solaires, calculée depuis la Terre à partir de l'exploitation des relevés.

T_1 est la période de rotation apparente, dite "synodique" mesurée dans le référentiel terrestre.

Soit T_0 la période de rotation "réelle" des taches, dite "période sidérale", mesurée dans le référentiel copernicien (noté R_c , solide de référence centré sur le centre de masse du Système solaire et dont les axes pointent vers trois étoiles éloignées, auquel est associé un observateur fictif muni d'une horloge).



Soit T_2 la période de révolution de la Terre autour du Soleil, mesurée dans R_c : T_2 voisin de 365,25 jours.

On a déterminé T_1 , on cherche à exprimer T_0 en fonction de T_1 et T_2 .

La tache se retrouve dans la même position par rapport à la Terre au bout d'un temps T_1 . La Terre a alors avancé sur son orbite d'un angle α .

Comme la Terre effectue une révolution complète de 2π en un temps T_2 on a:

$$\frac{\alpha}{2\pi} = \frac{T_1}{T_2}$$

La tache se retrouve dans la même position par rapport à une étoile lointaine au bout d'un temps T_0 ; le Soleil a alors tourné de 2π autour de son axe

Au bout d'un temps T_1 , comme la Terre a avancé d'un angle α sur son orbite, le Soleil a tourné d'un angle $\beta = 2\pi + \alpha$.

On a donc : $\frac{\beta}{2\pi} = \frac{T_1}{T_0}$

Donc si on exprime β et α en fonction des périodes T_0 , T_1 , T_2 on obtient

$$\beta = 2\pi \times \frac{T_1}{T_0} \quad \alpha = 2\pi \times \frac{T_1}{T_2}$$

On a $\beta = \alpha + 2\pi = 2\pi \times \frac{T_1}{T_2} + 2\pi = 2\pi \times \left(1 + \frac{T_1}{T_2}\right)$

d'où $2\pi \times \frac{T_1}{T_0} = 2\pi \times \left(1 + \frac{T_1}{T_2}\right)$

et $\frac{T_1}{T_0} = 1 + \frac{T_1}{T_2}$ et $\frac{1}{T_0} = \frac{1 + \frac{T_1}{T_2}}{T_1} = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}$

alors $\frac{1}{T_0} = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}$

Erratum : Une erreur s'est glissée dans les 2 dernières ligne de la page 47 du livret. La valeur proposée de 27,94 jours est fausse. Il faudrait plutôt trouver 25,6 jours comme période synodique. Si on applique la formule au-dessus avec les valeurs réelles ($T_1 = 27,2$ jours et $T_2 = 365,25$ jours) on trouve $T_0 = 25,3$ jours !