

Diamètre apparent du Soleil

Roger Marical

« Le puits » - 76116 Saint-Denis le Thibault

Résumé : Une méthode simple et précise est proposée pour mesurer le diamètre apparent du Soleil tout au long de l'année. Les graphiques obtenus permettent d'intéressantes discussions sur les durées d'ensoleillement, les saisons, les variations de distance Terre - Soleil.

Mots-clefs : SOLEIL

Introduction

Pourquoi tenter une telle démarche en club d'astronomie au collège ?

Le 6 octobre 2001, Guy Artzner¹, Président de la Commission du Soleil, présente une méthode de mesure qu'il a suivie auprès d'étudiants de Grandes Ecoles dans le cadre des TPE. Il suggère l'idée de reprendre ce même travail mais au Lycée ou au Collège. Il s'agit de mesurer au cours de l'année le diamètre apparent de notre étoile afin de mettre en évidence sa variation annuelle. Chacun sait que la variation relative de ce diamètre n'excède pas 1,5%. Il faudra donc travailler avec soin en limitant toutes les sources d'erreurs.

Comme j'anime le Club d'Astronomie du Collège de Fleury Sur Andelle, je tente l'expérience en gardant l'objectif fixé, mais en adaptant le matériel, la méthode d'acquisition pour faciliter l'exploitation des mesures. Il faut faire simple, avec du matériel grand public ce qui permettra peut-être de constituer une activité astronomique conduite de jour dans le but de répondre à une question : est-il possible avec de petits moyens, de savoir quand la Terre est au plus près, ou au plus loin du Soleil ?

Le problème à résoudre

Si on pose la question du pourquoi des saisons, la réponse spontanée qui relève presque de l'évidence, fait souvent appel à une question de distance. En classe de quatrième nos élèves hésitent entre ' Terre plus ou moins penchée ou Terre plus ou moins éloignée' alors que les saisons ont été étudiées à l'école élémentaire...

Cette réponse est induite par les schémas classiques où l'orbite de la Terre se trouve déformée dans une vue en perspective. Les variations de distance, Soleil Terre, apparaissent exagérées. Pour celui qui oublie la bonne explication, il est tentant de reconstruire une justification à priori cohérente.

Dans la mesure où le doute existe, on peut rechercher, l'époque de l'année où le Soleil serait plus gros, parce que plus proche ce qui validerait l'été. Pour ce faire il faut mesurer l'angle sous lequel la lumière venant des bords diamétralement opposés du Soleil parvient dans notre œil. On définit alors le diamètre apparent d'un objet, notion qui ne figure plus au programme du Collège.

1

Comment mesurer cet angle avec précision ?

La mesure directe se révèle insuffisante:

Il est intéressant de rappeler l'existence du bâton de Jacob, utile pour estimer de grands écarts angulaires : queues de belles comètes ou étendue d'une constellation. Ici on se situe autour du demi degré...

Même la chambre noire que l'on peut ressortir des collections ne peut convenir. Elle garde cependant son utilité lors des phases partielles d'éclipses de soleil, pour celui qui ne dispose pas de lunettes filtrantes spéciales. Avec un 'sténopé' de un mètre de longueur, la reproduction du Soleil ne dépasse pas neuf millimètres. Ce dispositif peu lumineux, manque de netteté sur les bords car on n'a pas une image avec conjugaison au sens de l'optique géométrique. Nous devons utiliser une lunette astronomique qui offre ici les meilleures ressources.

La méthode choisie

On opère par projection sur un écran perpendiculaire à l'axe optique de l'instrument qui reste fixe sur un support stable. Le déplacement 'rapide' de l'image projetée surprend toujours quiconque l'observe pour la première fois. On 'voit' la Terre tourner... Elle accomplit, avec une grande régularité, un tour sur elle-même en un peu moins de 24 heures, soit une rotation d'environ 15 degrés par heure. En une minute de temps elle tourne de un quart de degré...

Ainsi en chronométrant avec soin, la durée du défilement de l'image solaire sur l'écran on peut remonter à un angle puisque l'on compose une vitesse angulaire bien définie avec une durée.

La formule approchée

Elle fait intervenir le cosinus de la déclinaison de l'astre qui se définit comme l'équivalent de la latitude terrestre mais transposée au repérage en astronomie. Les élèves de collège découvrent les lignes trigonométriques à partir de la classe de

quatrième.². L'angle apparent α (en minute d'angle) se déduit de la durée t (en seconde de temps) et de la déclinaison avec la relation :

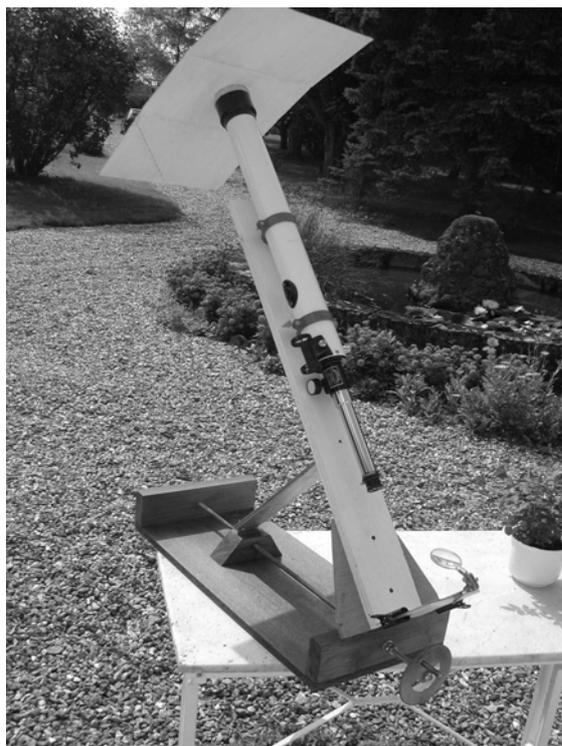
$$\alpha = (t/4)\cos\delta$$

Cette relation fonctionne à 3 /1000 par défaut.

La mise en oeuvre

La qualité du résultat final va dépendre de celle du chronométrage. Pour cela il faut optimiser toutes les étapes de l'acquisition.

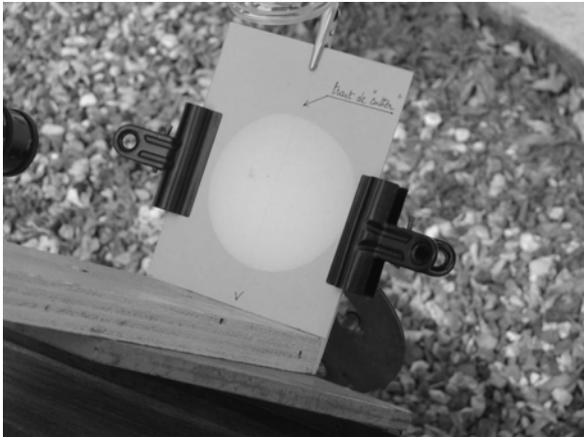
- l'image projetée ne doit pas être trop petite ni trop grande : 6 à 8 cm de diamètre est le bon compromis, avec les petits instruments.
- La lunette d'initiation type 60/800 doit être installée sur un support azimutal très stable à réglage micrométrique en hauteur. (photo 1). Les montures du commerce vibrent trop facilement au moindre souffle de vent.



1- La lunette de mesure et sa monture.

² On peut faire remarquer qu'au moment des équinoxes la relation se simplifie grandement : il suffit de diviser la durée par quatre pour connaître l'angle recherché en minutes d'arc. La déclinaison étant nulle, le cosinus correspondant vaut un.

- o La médiane ‘verticale’ de l’écran sera tracée avec un trait de cutter sur un carton fixé sur l’écran support. Cette entaille étroite est trois fois moins large que le trait de crayon le plus fin. (photo 2).



2 - Projection du Soleil avec le trait médian.

- o Une loupe de visée de focale 10 cm, servant en soudage électronique, oblige l’œil à fixer la médiane repère. De plus on profite de son grossissement pour apprécier l’instant précis où le soleil tangente la trace fine du cutter.
- o On travaille autour du midi vrai local, le Soleil culmine, il traverse de part en part l’écran sans avoir besoin de l’orienter. On pratique 3 à 5 mesures, si la météo le permet, pour calculer la durée moyenne de défilement.

Précautions d’usage avec le Soleil

Le Soleil est un astre dangereux pour l’œil et le matériel. Il faut toujours accompagner les élèves pour prévenir toute maladresse lors de l’orientation de la lunette. Elle se fait dos au Soleil grâce au jeu d’ombre d’une vis du collier supérieur sur un mini écran associé au collier inférieur. (photo 3)



3 - Visée du Soleil avec l’ombre d’une vis.

L’oculaire à choisir doit avoir un verre de champ de diamètre suffisant pour recevoir l’image au foyer. De plus il faut le choisir en laiton et non en matière plastique qui fond dès qu’il y a décentrage. Depuis plus de 20 ans je travaille avec deux oculaires d’initiation de type Huygens de 12 ou 20 mm de distance focale. Par sécurité on peut travailler en ouverture réduite lors des premiers réglages pour s’assurer que tout fonctionne bien.

dates	Durée moyenne t en s	Déclinaison δ à midi	Angle apparent de calcul
21 sept. 01	127,7	00	31' 55''
05 octobre	128,2	- 4°52'	31' 56''
11 octobre	129,6	- 7°	32' 09''
02 novembre	133,7	- 14°51'	32' 18''
21 novembre	138,3	- 21°	32' 16''
07 décembre	141,15	- 22°38'	32' 34''
17 décembre	141,6	- 23°22'	32' 29''
30 décembre	141,6	- 23°08'	32' 33''
28 janvier 02	136,7	- 18°10'	32' 28''
15 février	132,8	- 12°38'	32' 23''
27 février	130,3	- 8°22'	32' 13''
24 mars	128,4	- 1° 27'	32' 05''
14 avril	128,9	+ 9°22'	31' 47''
03 mai	132,2	+15°43'	31' 48''
08 mai	132,25	+17°07'	31' 35''
02 juin	136,4	+22°12'	31' 34''
16 juin	137,5	+23°21'	31' 33''
27 juin	136,0	+23°19'	31' 22''
14 juillet	135,4	+21°40'	31' 27''
27 juillet	134,5	+19°11'	31' 45''
28 juillet	133,5	+18°57'	31' 33''
13 août	130,4	+14°37'	31' 32''

Résultats et exploitation graphique

Il est instructif de conduire deux représentations graphiques. L'une concernant t en fonction de la date et l'autre étant le but de notre étude, à savoir t au cours des mois.

Sur le deuxième graphique il est utile de définir les barres d'erreur ou intervalle de confiance sur le diamètre apparent. Malgré toute l'attention accordée, il arrive souvent qu'avec des mesures de temps faites en groupe d'élèves la dispersion totale des résultats dépasse la seconde. Aussi par sécurité en prenant $\pm 0,7$ seconde comme incertitude absolue, l'incertitude relative moyenne annuelle étant de $5/1000$, on peut raisonnablement tabler sur $\pm 10''$ d'arc comme barre d'erreur. Cela lisse la courbe annuelle à tracer. Il arrive parfois qu'une mesure aberrante survienne par manque de concentration ou difficulté pratique. C'est le cas de la mesure de fin juillet faite hors temps scolaire par l'auteur de ce propos.

Interprétation des courbes

La courbe représentant la durée t au cours de l'année fait apparaître une variation semi annuelle avec un maximum absolu en fin décembre. L'autre maximum moins accusé se situe sur la fin de juin. Les minima pointent les périodes autour des équinoxes. Ce premier graphique dégage les saisons, mais il ne répond pas à notre question concernant le diamètre apparent de notre étoile.

La seconde courbe, malgré quelques points dispersés, montre la variation annuelle de l'angle sous lequel le Soleil nous éclaire. C'est au début de l'été que le soleil apparaît le plus petit : il est donc un peu plus lointain qu'en hiver.

En été la durée d'ensoleillement est plus grande, car le soleil monte plus haut et de plus son rayonnement est plus efficace. Tout cela est la conséquence de l'inclinaison de l'axe terrestre comme on le dit rapidement...

La comparaison de 'pic' à 'creux' montre un écart maximum, de près de dix pour cent pour les variations de la durée, alors que pour le diamètre apparent cela est trois fois moindre sur le cours de l'année.

L'examen du deuxième graphe montre que le diamètre apparent du Soleil varie peu au cours de l'année. La Terre se meut pratiquement sur un cercle avec le Soleil en son centre. C'est l'occasion de tracer un planétaire de Copernic. C'est l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport à la normale au plan de l'écliptique qui entraîne le phénomène des saisons.

Conclusions

Avec de petits moyens, judicieusement mis en œuvre, il est possible de répondre à une question, pas facile à résoudre, à condition d'optimiser toutes les étapes d'une chaîne de mesure. Il est bon de privilégier les protocoles les plus accessibles au niveau des élèves pour qu'ils y trouvent alors du sens. Manipuler correctement des chronomètres manuels est déjà une découverte pour les jeunes collégiens...

Si la motivation est moyenne, on peut se limiter aux deux périodes correspondant à celle du périhélie puis à celle conduisant à l'apogée en toute fin d'année scolaire.

Avec des lycéens, disposant d'un filtre solaire visuel pleine ouverture et d'un oculaire réticulé à cercles concentriques, une étude semblable pourrait être entreprise selon le protocole évoqué en début d'article. La multiplication des mesures en vue de réduire l'écart type apporterait un autre enjeu.

Cependant, quels que soient l'approche et son développement, on découvrira que réaliser une mesure absolue reste une entreprise délicate et qu'il faut montrer de la persévérance. On touche ici, une des difficultés auxquelles les chercheurs sont confrontés au quotidien.

Relever un challenge de ce type, doit être pour nos jeunes le moyen de grandir, avec la satisfaction d'avoir mené à son terme une démarche à caractère expérimental.

Soleil. Nous vous donnons sous forme graphique les résultats qu'il a obtenus avec les élèves de son Club d'astronomie de Fleury-sur-Andelle en mesurant le temps de défilement de l'image du Soleil (Figure 1).

Sous cette forme on perçoit mieux la précision des mesures (Figure 2). C'est un résultat remarquable si on sait combien faible est la variation de diamètre apparent du Soleil au cours d'une année (1,5%). Rappelons que cette variation résulte principalement de la variation de la distance Terre-Soleil. On voit très bien que nous sommes plus près du Soleil en hiver. Il n'est pas inutile de rappeler ce fait (voir Courrier des lecteurs).

Diamètre apparent du Soleil

Dans le cahier CC103 nous vous avons présenté la méthode simple et précise proposée par R. Marical pour mesurer le diamètre apparent du

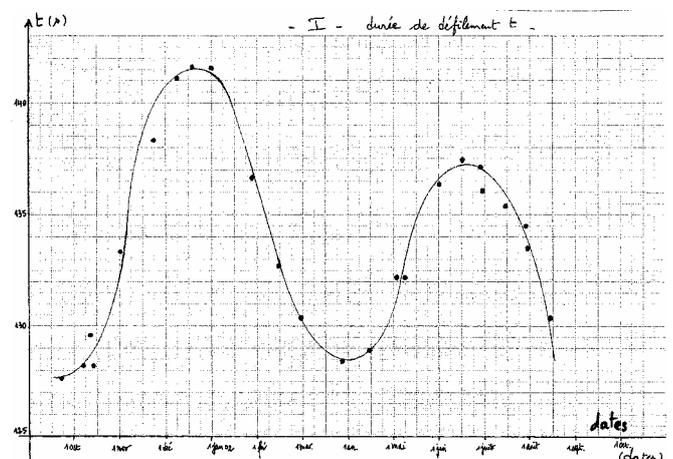


Figure 1: Variation du temps de défilement de l'image du Soleil.

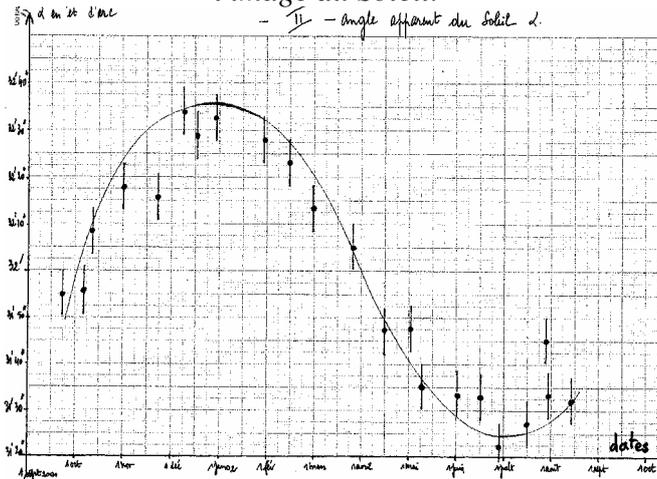


Figure 2: Mesure de la variation du diamètre apparent du Soleil au cours de l'année.

Relation entre temps de défilement et diamètre apparent

Pour obtenir le résultat remarquable ci-dessus, R. Marical a utilisé une relation entre le temps de défilement d'un point du ciel et l'arc parcouru, en l'occurrence entre temps de défilement du Soleil et diamètre apparent du Soleil. R. Marical nous donne une démonstration de cette relation (cf. Figure 3).

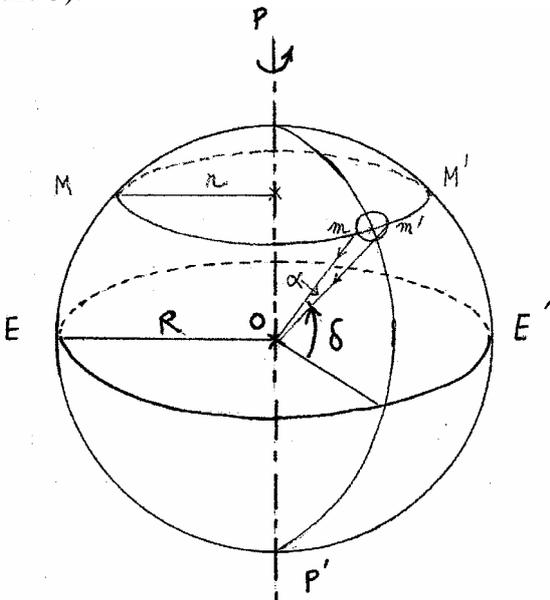


Figure 3: Illustration permettant de comprendre la relation entre temps de défilement et distance angulaire parcourue.

L'observateur O occupe une position géocentrique. PP' étant l'axe du monde. Le petit cercle de diamètre mm' représente l'objet visé, situé à la distance R de l'observateur. δ mesure la déclinaison de l'objet vu sous un angle α (en radian). EE' étant l'équateur céleste.

Sur le parallèle MM', le petit arc $mm' = R \times \alpha$ défile en t secondes. Pour le parallèle MM' de périmètre $2\pi r = 2\pi R \cos \delta$, un tour demande 86400 secondes environ (relation valable à 3/1000 par défaut pour le Soleil, car, à cause du déplacement de la Terre autour du Soleil, un tour demande plus exactement 86164 secondes).

La proportionnalité permet d'écrire:

$$\alpha = 2\pi \cos \delta (t/86400),$$

α étant en radians et t en seconde de temps. Pour exprimer α en minute d'arc (minute de degré) il suffit d'exprimer l'angle 2π radians en minute d'arc.

$2\pi = 360 \times 60 = 21600$ minutes d'arc, d'où la relation finale:

$$\alpha = (t/4) \cos \delta,$$

α est en minute d'arc et t en seconde de temps.