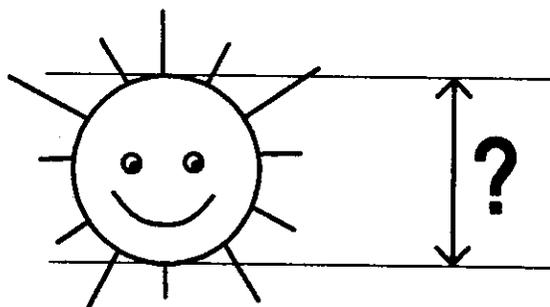


La mesure du diamètre apparent du Soleil

comment lutter contre quelques idées fausses en astronomie

Pierre Causeret (sentier du Mordain, 21170 ESBARRES)



L'activité consiste à mesurer le diamètre apparent du Soleil à différentes heures et dates pour répondre à deux questions :

1) Le Soleil semble souvent plus gros à son lever ou à son coucher.

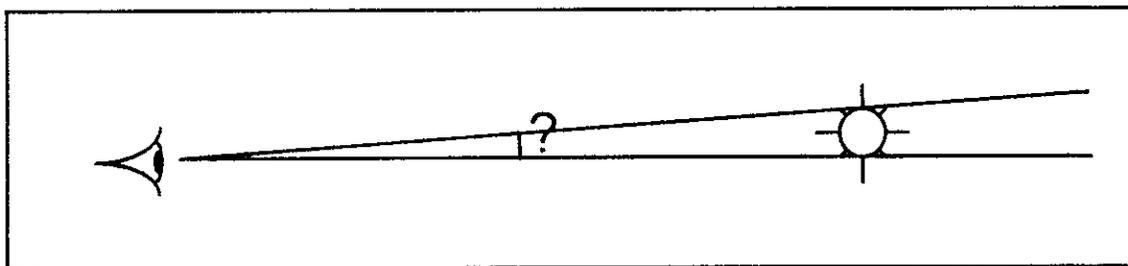
Est-ce mesurable ?

2) Est-on plus près du Soleil en été qu'en hiver ?

Pour connaître les réponses les plus courantes à ces questions, une enquête a été réalisée par des élèves.

Différentes méthodes plus ou moins précises ont été ensuite utilisées pour mesurer ce diamètre apparent.

Ce travail a été réalisé par un petit groupe d'élèves de Troisième avec leur professeur de mathématiques sur quelques mois (en dehors des heures de cours). L'ensemble de l'activité peut être menée par des élèves de la Troisième à la Terminale.



Le diamètre apparent du Soleil est l'angle sous lequel on voit son diamètre depuis la Terre ; on le mesure en degrés ou minutes d'arc.

Première partie : l'enquête

Environ 70 personnes seulement ont été interrogées. C'est assez peu mais cela donne néanmoins une idée des opinions les plus répandues.

Question 1 : le diamètre apparent du Soleil est-il plus gros à son coucher qu'à midi ?

REPONSES : oui 59,42% ; non 33,33% ; ne savent pas 7,25%

Une nette majorité pense que oui alors qu'il ne s'agit que d'une illusion d'optique qu'on peut expliquer de la façon suivante : lorsqu'on observe un objet à l'horizon, on a l'habitude de le voir plus petit qu'à la verticale, bien évidemment à cause de sa plus grande distance. Un arbre vu au loin paraîtra minuscule à l'horizon et beaucoup plus grand si l'on est dessous. De la même manière, lorsqu'un nuage ou un oiseau passe au-dessus de nous, on le voit toujours plus gros à la verticale, car plus proche. Mais le Soleil, lui, est toujours pratiquement à la même distance et comme il n'est pas plus petit à l'horizon, notre cerveau nous dit qu'il est plus gros.

Question 2 : est-on plus près du Soleil en été qu'en hiver ?

REPONSES : oui 71,01% ; non 27,54% ; indécis 1,45%

Plus des deux tiers des personnes interrogées se trompent. Les saisons ne sont dues qu'à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite et absolument pas à des problèmes de distances (contrairement à ce qu'affirment de mauvais livres).

Question 3 : Le Soleil se lève exactement à l'Est. Vrai ou faux ?

REPONSES : oui 63,77% ; non 33,33% ; indécis 2,90%

Toujours une majorité de réponses fausses, ce qui est davantage surprenant ici car il suffit d'observer les directions de lever du Soleil en été et en hiver pour s'apercevoir qu'elles sont très différentes (71° d'écart). Notons de plus que cette enquête a été réalisée dans un collège de campagne où l'horizon est rarement caché par de grands immeubles.

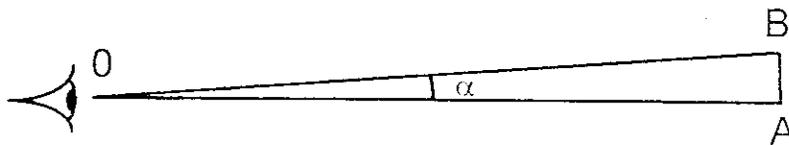
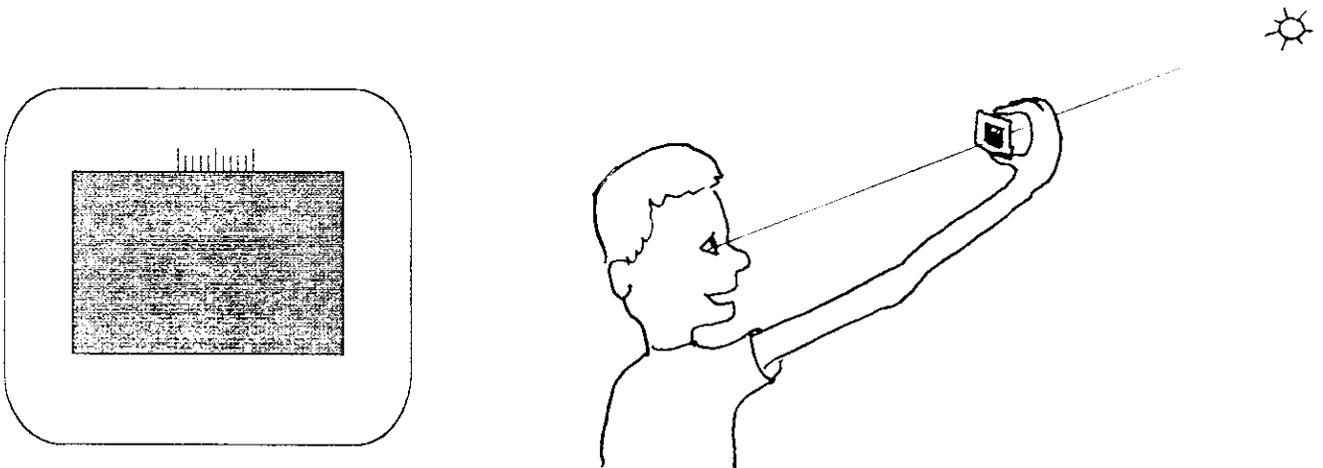
Conclusion : l'opinion la plus répandue n'est pas toujours la bonne.

Deuxième partie : mesures simples

On utilise des diapositives ratées, les plus noires possibles. Il vaut mieux, en général, superposer deux diapos. Même ainsi, une observation prolongée fatigue les yeux, les UV sont insuffisamment stoppés. Il faut donc bien prévenir les élèves que l'expérience n'est pas à faire trop longtemps ni trop souvent.

Première méthode

1. Sur le bord de la diapo, on note une graduation en millimètres.
2. On observe le Soleil à travers une diapo (ou deux superposées), bras tendu et on note la mesure.



Il suffit de fournir une ou deux diapos noires par élève et chacun peut faire les mesures quand il veut.

Exemple de mesure faite par des élèves en mars 1994 :

distance oeil diapo $OA = 50$ cm ; diamètre du disque solaire sur la diapo $AB = 7$ mm

Calcul du diamètre apparent : les élèves utilisent en général la trigonométrie assimilant le triangle OAB à un triangle rectangle :

$$\tan(\alpha) = \frac{AB}{OA} = \frac{7}{500} = 0,014 \quad ; \quad \text{d'où } \alpha = 0,8^\circ \text{ ou } 48'$$

Mais en confondant AB avec l'arc de cercle de centre O, une simple proportion suffit :

$$2\pi \times 50 \text{ cm} \rightarrow 360^\circ \quad ; \quad 0,7 \text{ cm} \rightarrow 0,8^\circ$$

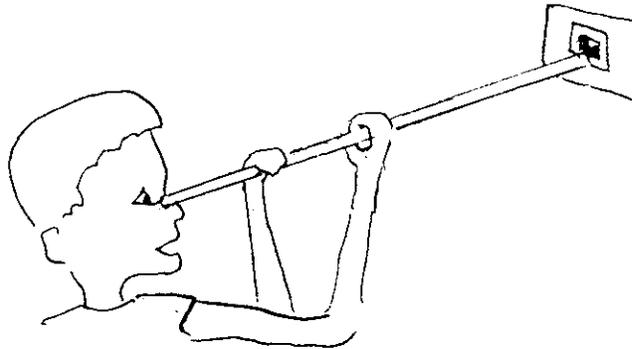
Ici, le résultat obtenu est un peu trop grand (on donne en moyenne $0,5^\circ$ car nous

avons utilisé une seule diapo et le Soleil restait ainsi trop lumineux. Avec deux diapos superposées, les mesures sont meilleures.

D'autres mesures ont été effectuées à midi, le soir et à différentes dates. Aucune différence significative n'a été observée.

Premières conclusions : le diamètre apparent du Soleil à son coucher est donc à peu près le même qu'à midi, ce que de nombreuses personnes refusent d'admettre. On peut vérifier aussi, sans diapos, qu'il est possible de cacher la Soleil avec un seul doigt, bras tendu, même si ce doigt est l'auriculaire. Et ceci reste vrai aussi bien à midi qu'au lever ou au coucher du Soleil. Si on refait l'expérience à différentes époques de l'année, on obtient toujours pratiquement le même diamètre apparent. La distance Terre-Soleil ne peut donc varier de manière relativement importante.

Deuxième méthode



La diapositive, dont le cadre est toujours gradué, est cette fois disposée à l'extrémité d'un bâton de 1 mètre. Pour viser le Soleil sans être ébloui, on peut entourer la diapo d'un carton opaque de 10 à 20 cm de côté. Avec deux diapos superposées, on a obtenu un disque lumineux de 9 mm environ. Le même calcul de proportion donne

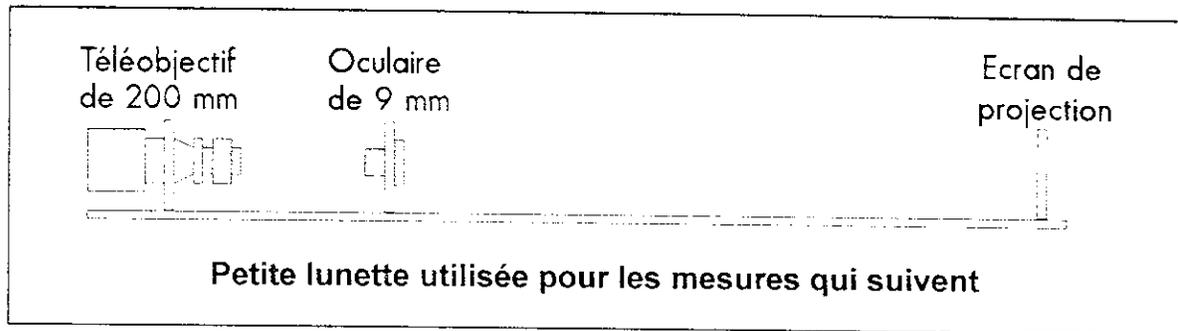
$$2\pi \times 100 \text{ cm} \rightarrow 360^\circ \quad ; \quad 0,9 \text{ cm} \rightarrow 0,516^\circ \text{ ou } 31'$$

ce qui est assez précis (avec une seule diapo, nous avons trouvé 11 mm au lieu de 9 et 38' au lieu de 31').

Troisième partie : instrument de mesure du diamètre apparent

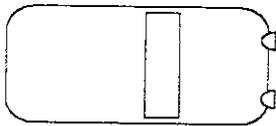
Principe

Pour obtenir des mesures plus précises, il faut disposer d'une petite lunette qui permettra de projeter une image du Soleil suffisamment grande sur une feuille. Si l'on veut faire des mesures à différentes époques de l'année, il est indispensable que le grossissement soit toujours exactement le même. Il vaut mieux construire un petit instrument avec un objectif, un oculaire et une tablette de projection ; l'ensemble est fixe et ne peut être déréglé. Le diamètre de l'instrument doit être suffisant pour que l'on puisse obtenir une image du Soleil assez grosse en conservant un bord net.

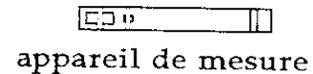


Graduation de l'appareil

Pour transformer une mesure en millimètres en mesure d'angle, il faut auparavant étalonner l'appareil. Pour cela nous avons visé les phares d'une voiture située à une distance connue :



Voiture
phares allumés



appareil de mesure

distance phares appareil : 298 m

écartement des phares : 94 cm

distance des images des phares sur l'écran de projection : 28,5 mm

Angle apparent de l'écartement des phares vus à 298 m :

$$2\pi \times 298 \text{ m} \rightarrow 360^\circ \quad ; \quad 0,94 \text{ m} \rightarrow 0,181^\circ \text{ ou } 10,8'$$

Etalonnage de l'appareil :

$$28,5 \text{ mm} \rightarrow 10,8' \quad ; \quad 1 \text{ mm} \rightarrow 0,38'$$

Conclusion : 1 mm sur l'écran de projection correspond à un angle de 0,38 minutes d'arc (+ ou - 3%)

Nous aurions pu refaire des mesures pour obtenir une meilleure précision. On suppose, sans démonstration, que les longueurs mesurées sur l'écran sont proportionnelles aux mesures des angles ; pour le vérifier, on pourrait s'amuser à viser une rangée de lampadaires régulièrement espacés.

Les mesures

d est le diamètre de l'image du Soleil projetée sur l'écran ; α est le diamètre apparent du Soleil :

le 04/01/95 $d = 85 \text{ mm}$ $\alpha = 32,3'$

le 13/03/95 $d = 84 \text{ mm}$ $\alpha = 32'$

le 03/05/95 $d = 83 \text{ mm}$ $\alpha = 31,6'$
le 19/06/95 $d = 82 \text{ mm}$ $\alpha = 31,2'$
le 03/07/95 $d = 82 \text{ mm}$ $\alpha = 31,2'$

Les éphémérides donnent un diamètre apparent du Soleil de $32,6'$ début janvier à l'époque du périhélie, de $31,5'$ début juillet à l'époque de l'aphélie. Avec une erreur de l'ordre de 1%, nos mesures paraissent donc tout à fait acceptables, l'erreur pouvant provenir aussi bien de la mesure du diamètre apparent que de l'étalonnage de l'appareil.

Précision : l'incertitude est au maximum d'un millimètre sur chaque mesure de diamètre ; diamètre maximum en janvier, de 84 à 86 mm ; diamètre minimum en juillet de 81 à 83 mm

Conclusion

Il apparaît nettement que le diamètre apparent du Soleil varie. Si on suppose que le diamètre réel est constant, c'est que la distance Terre-Soleil varie. On est donc plus loin du Soleil en juin et juillet qu'en janvier. La variation mesurée est d'environ 4%.

Ces quelques mesures réalisées avec une simple petite lunette permettent donc d'affirmer que les variations de température entre l'hiver et l'été n'ont rien à voir avec les distances Soleil-Terre. Rappelons qu'il fait plus chaud en été parce que les rayons du Soleil, à midi, sont plus proches de la verticale qu'en hiver et chauffent donc davantage qu'en lumière rasante, et ensuite parce que les périodes d'insolation sont plus longues, ces deux phénomènes étant dûs à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite.

Certains élèves se sont aussi interrogés sur les variations de distance de l'observateur au Soleil au cours de la journée. A minuit, on est plus éloigné du Soleil qu'à midi mais la variation est au maximum d'un diamètre terrestre, soit 12 700 km, pour une distance de 150 000 000 km, ce qui est inférieur à 0,01%.

Toutes les idées fausses sur la relation entre saisons et distance Terre-Soleil viennent, entre autres, de deux types de schémas trompeurs assez répandus :

- Certains livres présentent une Terre énorme montrant en été un hémisphère Nord beaucoup plus proche du Soleil que l'hémisphère Sud.
- On dessine très souvent l'orbite de la Terre comme une ellipse très excentrique alors qu'elle est très voisine d'un cercle ; les saisons s'expliquent sans problème en faisant décrire à la Terre un cercle parfait centré sur le Soleil.

Calcul de l'excentricité de l'orbite terrestre

Pendant longtemps, les Grecs ont utilisé un cercle excentré pour représenter le mouvement apparent du Soleil autour de la Terre (considérée alors comme centre du

monde). Depuis Kepler, on sait que l'orbite de la Terre est une ellipse. Mais dans le cas qui nous intéresse, cercle excentré et ellipse sont pratiquement équivalents. Si on représente l'orbite de la Terre par un cercle de un mètre de rayon au lieu d'une ellipse, on introduit une erreur inférieure au dixième de millimètre. Le Soleil devrait être placé non pas au centre mais à 1,7 cm de celui-ci.

O centre de l'ellipse

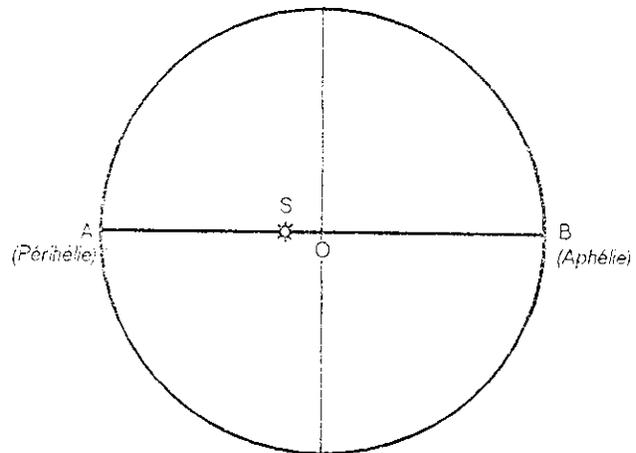
S Soleil à l'un des foyers de l'ellipse

a = OA demi grand axe de l'ellipse

c = OS

AS = a - c (distance minimale)

BS = a + c (distance maximale)



$$\text{Excentricité} = \frac{c}{a}$$

CALCULS : le diamètre de l'image du Soleil que l'on a mesuré est proportionnel au diamètre apparent du Soleil qui est lui-même inversement proportionnel à la distance du Soleil

$$AS = \frac{k}{85} \quad BS = \frac{k}{82} \quad \text{d'où } a = k/2 (1/82 + 1/85) \quad \text{et } c = k/2 (1/82 - 1/85)$$

$$\text{Excentricité} = \frac{c}{a} = \frac{85 - 82}{85 + 82} = 0,018$$

Comparé à la valeur 0,017 donnée habituellement, cela semble un excellent résultat. Mais il a été obtenu avec de la chance car en tenant compte des incertitudes de mesure on trouve une valeur comprise entre 0,006 et 0,030. Nous avons donc au moins un ordre de grandeur.

A partir de la connaissance de la distance du Soleil (150 000 000 km), et connaissant son diamètre apparent, on peut facilement calculer le diamètre réel du Soleil. Là encore, les élèves ont tendance à vouloir utiliser la trigonométrie alors qu'une simple proportionnalité suffit :

$$360^\circ \rightarrow 2 \times \pi \times 150\,000\,000 \text{ km}$$

$$1' \rightarrow 43\,600 \text{ km}$$

$$32' \rightarrow 1\,400\,000 \text{ km}$$

