



Manuel de Travaux Pratiques :



- écoles primaires, cycle 3 -
- collèges & lycées -

Sommaire

TP 1 – Mesure de la durée du Jour Solaire	3
TP 2 – Le Midi Solaire.....	7
TP 3 . 1 - Vitesse de rotation du Soleil.....	12
TP 3 . 2 - Vitesse de rotation du Soleil.....	18
TP 4 - Latitude du lieu d’observation et inclinaison de l’axe des pôles.....	25
TP 5 - Ellipticité de l’orbite terrestre.....	32
TP 6 - Equation du temps.....	33

SOLARSCOPE	Niveau conseillé	
TP 1	Mesure de la durée du jour solaire	Primaire - Cycle 3

- MATERIEL

Un Solarscope.

Un chronomètre ou une montre indiquant les heures, minutes, secondes.

Un écran quadrillé (optionnel).

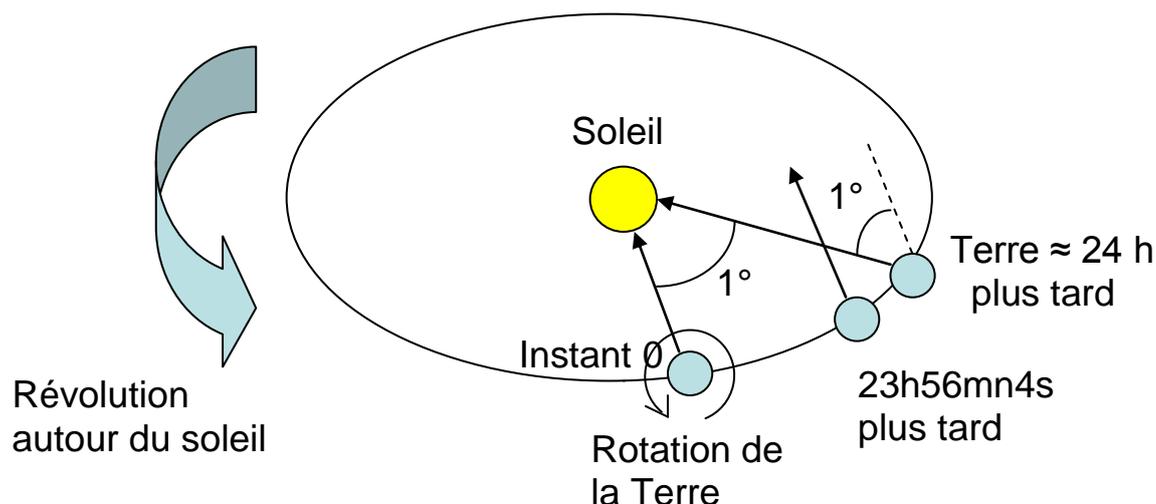
La manipulation peut être faite derrière les vitres d'une salle exposée au sud, ou en extérieur s'il n'y a pas de vent.

- 1 - PRINCIPE

La Terre tourne sur elle-même tout en se déplaçant autour du Soleil. Elle décrit tout au long de l'année un mouvement périodique complexe de rotation* et de révolution*. La révolution de la Terre autour du soleil détermine le découpage du temps en années. La rotation de la Terre sur elle-même détermine le découpage du temps en jours. Toutefois deux définitions du jour existent :

Le jour **sidéral** (du latin *sideris*, « astre ») d'une durée de 23h 56mn 4s, est la mesure du temps de rotation de la terre quand celle-ci fait un tour complet par rapport à un référentiel liés aux des étoiles lointaines du ciel.

Le jour **solaire** d'une durée moyenne de 24 heures est la mesure du temps séparant deux passages consécutifs du Soleil au même méridien. En effet, si on prend le Soleil comme référence, il faut que la Terre fasse un peu plus d'un tour sur elle-même pour pointer, le jour suivant, la même direction du Soleil (voir figure ci-dessous). Cette durée de 24 heures est une moyenne, car la durée du jour solaire est variable selon les saisons, la Terre ne se déplaçant pas à vitesse constante le long de son écliptique (plan qui passe par le centre du Soleil et qui contient l'orbite de la Terre).



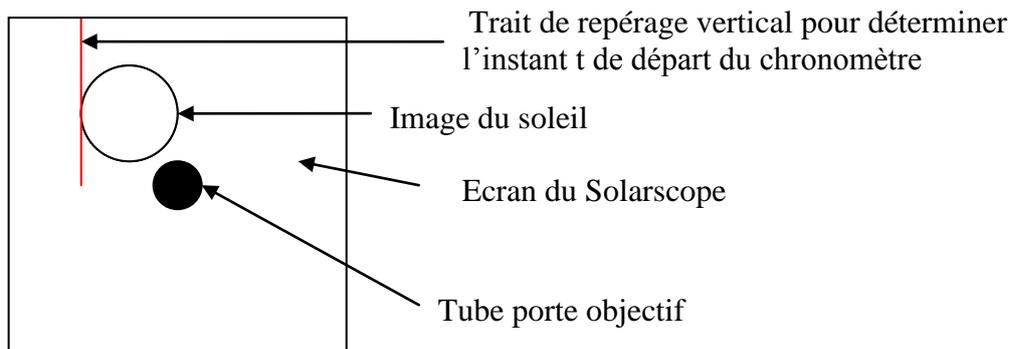
N.B : La Terre décrit autour du soleil 360° (1 tour complet) en 365 jours soit environ 1° par jour.

* : Le mot **rotation** est réservé au mouvement périodique d'un objet sur lui-même. Le terme **révolution** désigne le mouvement périodique orbital d'un objet autour d'un autre objet.

- 2 - MESURES

Pour les élèves du primaire, seule la notion de jour solaire est importante à retenir.

Ils vont pouvoir très précisément à l'aide d'un chronomètre ou de leur montre personnelle (si celle-ci indique les secondes) mesurer la durée du jour solaire et ses légères variations au cours de l'année.



-1- Marquer un repère vertical sur l'écran (la précision sur la verticalité n'est pas trop importante car le soleil va tangenter ce trait en un point).

-2- Séparer la classe en petits groupes de 2, 3 ou 4 élèves afin que chacun puisse participer à l'expérience et donner un résultat. Chaque groupe d'élèves doit posséder une montre indiquant les heures, minutes et secondes qu'il posera sur la table bien en vue des 2, 3 ou 4 élèves du groupe.

-3- Régler le Solarscope pour que l'image du soleil soit nette sur l'écran.

-4- Un élève isolé se tient à côté du Solarscope pour donner le « top » départ de l'expérience. Ce « top » départ est le moment où le soleil tangente le repère vertical préalablement tracé. A ce moment précis chaque groupe doit noter l'heure sur un cahier (en heures, minutes, secondes) correspondant au top départ.

-5- Reporter ces résultats dans le tableau commun ci-après.

-6- Le jour suivant, se tenir prêt 5 minutes avant l'heure de la première mesure afin de relever le deuxième temps dans de bonnes conditions. Quand le Soleil passe le repère, noter cette deuxième mesure en s'assurant que le Solarscope n'ait pas été déplacé (l'heure doit être identique à la première à quelques secondes près) et que les mêmes groupes d'élèves aient tous repris la même montre. Si besoin est, mettre un réveil avec alarme dans la classe pour ne pas oublier de faire la seconde mesure.

-7- Reporter ces résultats dans le tableau commun.

-8- Chaque petit groupe calcule sa durée du jour pour le reporter dans le tableau commun.

Si une autre classe peut faire cette mesure le même jour, vous pouvez alors comparer les résultats !...

Il est important de s'entraîner à lire l'heure rapidement en faisant des tops fictifs avant de commencer l'expérience.

- 3 - RESULTATS

Cette manipulation éveille les élèves de fin de primaire à la notion de mesure et de précision liée à la mesure d'un phénomène et au fait qu'un résultat d'expérience n'est pas un nombre unique mais dépend de l'expérimentateur.

Il y a aussi tout un travail parallèle sur les calculs (addition, soustraction) de temps et sur l'historique de la mesure du temps (cadran solaire, gnomon, sablier, pendule...).

La notion physique importante à retenir est que la durée du jour solaire de 24 heures est une moyenne faite sur l'année entière du fait que la Terre tourne autour du soleil avec une vitesse qui varie faiblement au cours de l'année car son orbite n'est pas un cercle parfait. Nous sommes évidemment obligés de vivre en considérant les jours d'égale longueur donc d'après une heure légale indiquée par nos montres et au rythme des jours solaires pour respecter l'alternance du jour et de la nuit.

-4- EXEMPLE

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Etc...
Heure du premier top	11 h 07' 45''	11 h 09' 22''	11 h 04' 02''	
Heure du second top (Jour suivant)	11 h 07' 39''	11 h 10' 09''	11 h 04' 13''	
Durée du jour	23 h 59' 54''	24 h 00' 47''	24 h 00' 11''	
Moyenne *	$(23\text{h } 59' 54'' + 24\text{h } 00' 47'' + 24\text{h } 00' 11'') : 3 = (71\text{h } 59' 112'') : 3$ $= (71\text{ h } 60' 52'') : 3 = (72\text{ h } 00' 52'') : 3 = 24\text{ h } 00' 17''$			
Ecart avec la moyenne (Valeur positive)	$\begin{array}{r} 24\text{ h } 00' 17'' \\ - 23\text{ h } 59' 54'' \\ \hline 0\text{ h } 00' 23'' \end{array}$	$\begin{array}{r} 24\text{ h } 00' 47'' \\ - 24\text{ h } 00' 17'' \\ \hline 0\text{ h } 00' 30'' \end{array}$	$\begin{array}{r} 24\text{ h } 00' 17'' \\ - 24\text{ h } 00' 11'' \\ \hline 0\text{ h } 00' 06'' \end{array}$	
Moyenne des écarts	$(23'' + 30'' + 6'') : 3 = 59'' : 3 \approx 20\text{ secondes}$			
RESULTAT	La durée du jour au moment de la mesure a été de 24 h 00' 17'' avec une précision de 20 secondes			

Moyenne * : ce calcul de la moyenne est délicat pour les élèves du primaire. Le professeur peut effectuer le calcul et donner directement le résultat, car il est intéressant de savoir quel est le groupe d'expérimentateurs qui a trouvé le résultat le plus proche de la moyenne.

Les calculs des écarts avec la moyenne et de la moyenne des écarts sont réservés aux élèves du collège.

Remarque : D'un jour sur l'autre, l'image du Soleil ne passe pas exactement à la même hauteur sur l'écran, car la trajectoire diurne apparente du Soleil se modifie au cours de l'année. En effet, si la mesure est effectuée pendant une période où la durée des jours croît, la hauteur de visée du Solarscope correspondant au midi solaire sera quelque peu supérieure le deuxième jour de la mesure (et inférieure si la durée des jours décroît). Comme le Solarscope donne une image inversée, le deuxième jour le Soleil « passera » le repère de l'écran un peu plus bas quand les jours rallongent (jusqu'à 2 à 3 cm sur l'écran) et un peu plus haut quand les jours diminuent...

Date :									
<u>TP 1 : MESURE DE LA DUREE DU JOUR SOLAIRE</u>									
Classe :									
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5	Groupe 6	Groupe 7	Groupe 8	Groupe 9
Heure de début Premier top									
Heure de fin (jour suivant) deuxième top									
Durée du jour									
Moyenne :									
Ecart avec la Moyenne									
Moyenne des écarts :									
<u>RESULTAT :</u>									

SOLARSCOPE		Niveau conseillé
TP 2	Détermination de Midi, heure solaire	Primaire - Cycle 3

MATERIEL

Un Solarscope muni de son fil à plomb.

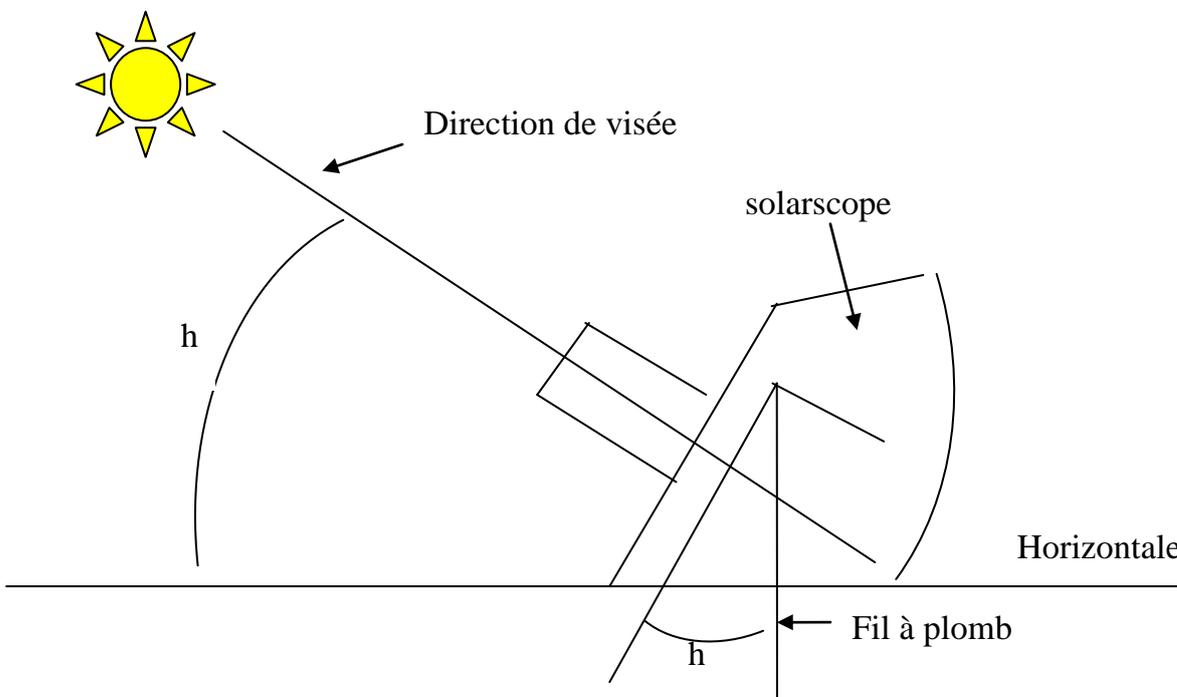
Une montre indiquant les heures, minutes, secondes.

Un écran quadrillé (optionnel)

La manipulation peut être faite à l'intérieur d'une classe orientée au sud, ou en extérieur s'il n'y a pas de vent.

- 1 - PRINCIPE

Il est **midi heure solaire** lorsque le soleil est au point culminant de sa trajectoire diurne apparente : C'est le « **midi solaire vrai** ». Ce « midi solaire vrai » correspond à un angle de direction de visée h maximal, puisque le Soleil est au plus haut. Si on regarde à cet instant l'heure légale affichée par notre montre, il n'y a pas coïncidence. Il est possible de mesurer la direction de visée du soleil, h , à tout instant de la journée et d'en repérer le maximum. En effet le Solarscope possède sur son flanc gauche un rapporteur d'angle gradué en degrés. En mettant en place le fil à plomb suivant les instructions de la notice, l'angle indiquée par ce fil sur le rapporteur donne directement l'angle de visée de l'objectif du Solarscope par rapport à l'horizontale. Lorsque cet angle est maximal, il est midi solaire. . Le but de ce TP est de déterminer l'intervalle de temps séparant le midi légal du midi solaire pour une certaine date, cet intervalle étant variable continûment durant l'année.



- 2 - MESURES

Si on suit la course du Soleil durant la journée, la détermination de l'angle maximal de visée n'est pas très précise, car il est difficile d'apprécier cet instant avec une précision supérieure à 15 minutes. C'est pourquoi une première méthode est proposée :

Méthode n°1

- Veiller à positionner le Solarscope sur une table bien horizontale. On peut contrôler son horizontalité avec un niveau à bulle.

- Tracer un repère horizontal (une droite de quelques centimètres de longueur est suffisante) sur l'écran du Solarscope, ou se servir de l'écran additionnel quadrillé (modèle éducation). Il est plus aisé de tracer le repère lorsque le Solarscope est à plat (non monté).

La mesure du midi solaire se fait en deux temps :

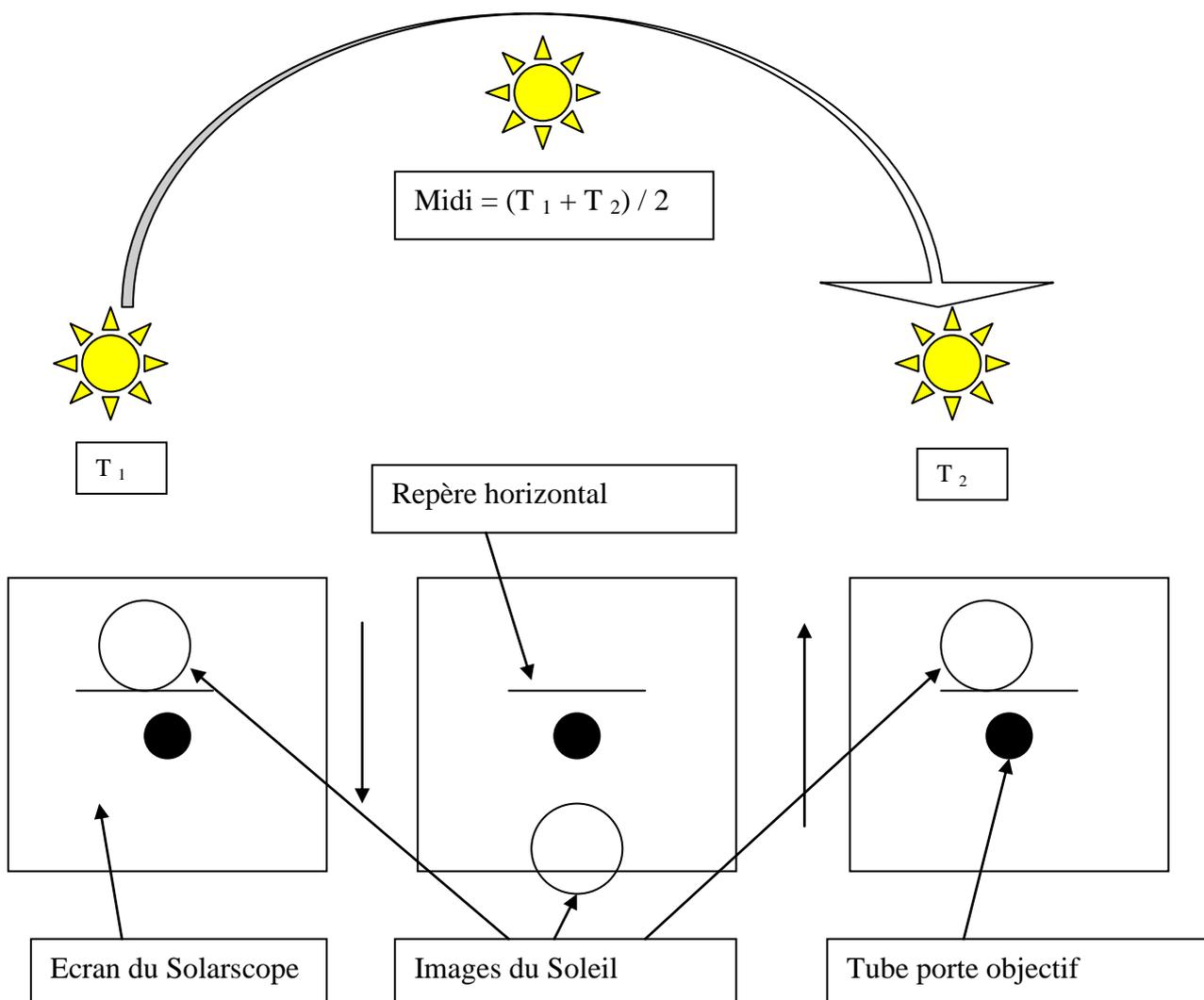
-1- Avant midi solaire :

On relève (au moyen de sa montre) l'heure t_1 de passage de l'image du Soleil avant midi solaire au niveau du repère horizontal préalablement tracé. On peut également relever l'angle h correspondant.

-2- Après midi solaire :

Sans modifier le Solarscope en déclinaison (suivant un plan vertical), on note l'heure t_2 de passage de l'image du Soleil au niveau de ce même repère horizontal. Pour cela il faut faire pivoter le Solarscope uniquement en azimut (suivant un plan horizontal). On vérifie que l'angle h est identique.

Le midi solaire est déterminé par la moyenne de ces deux instants : $(t_1 + t_2) / 2$.



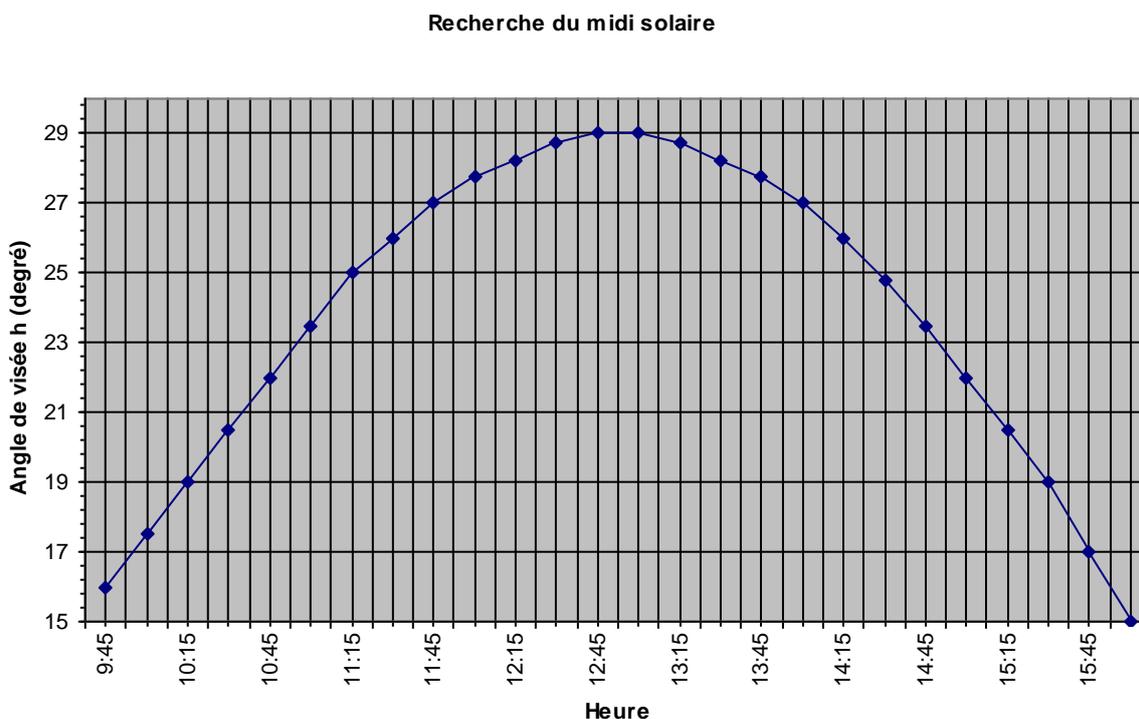
Pour faire ces mesures il faut repositionner continûment le Solarscope dans le plan horizontal pour pouvoir garder l'image du soleil dans le champ. Par contre, si le laps de temps séparant l'instant t_1 du midi solaire est supérieur à 30 minutes, l'image du soleil sortira du champ de l'appareil en azimut (suivant la verticale). Dans ce cas, il ne faut pas retoucher la direction de visée, mais attendre que le Soleil réapparaisse dans le champ uniquement en faisant pivoter l'ensemble du solarscope par rapport à la table (suivant l'horizontale) sur laquelle il est posé. Celle-ci doit être bien horizontale.

Remarque : le Solarscope donne une image inversée, c'est pourquoi quand le Soleil est dans sa phase ascendante son image « descend » sur l'écran du Solarscope ; de même le Soleil se déplace d'est en ouest et son image se déplace d'ouest en est. En regardant l'image du soleil se déplacer sur l'écran on peut savoir rapidement si le Soleil est en phase ascendante (avant midi solaire) ou en phase descendante (après midi solaire).

Méthode n°2

La deuxième méthode consiste à relever la direction de visée du Solarscope indiquée par le fil à plomb, par lecture de l'angle sur le rapporteur situé sur son flanc, en fonction de l'heure indiquée par sa montre. Faire au minimum 2 ou 3 mesures le matin et 2 ou 3 l'après midi. Ces mesures peuvent être communes à plusieurs classes au cours d'une même journée. Tracer la courbe et trouver par interpolation graphique son maximum, ce qui donne l'heure légale correspondant au midi solaire.

L'angle de visée est mesuré tout au long de la journée. La mesure de h est effectuée lorsque l'on fait correspondre concentriquement l'image du soleil avec la partie du tube porte-objectif visible côté écran. La courbe ci-dessous correspond à des mesures effectuées le 27 janvier sous une latitude de $43^{\circ}07'11''$. Le midi solaire théorique est à 12 h 48 mn, le midi solaire mesuré est aux alentours de 12 h 50 mn suivant les points de référence.



3 – RESULTATS

Effectuer des relevés à différentes périodes de l'année pour constater que l'instant du midi solaire varie pendant l'année par rapport au midi légal, même si l'on effectue les corrections relatives au fuseau horaire et à la longitude. Cette variation est due au fait que le mouvement de la Terre autour du Soleil est un mouvement complexe : L'axe des pôles terrestres n'est pas normal (perpendiculaire) au plan de l'écliptique et l'orbite de la Terre n'est pas circulaire mais elliptique. ↔ Voir TP 6 sur l'équation du temps.

L'été le soleil est au zénith aux alentours de 13h30 / 14h selon la région, et c'est à ce moment là qu'une exposition prolongée présente un danger pour la peau et non à midi légal.

Il est aussi intéressant d'effectuer la détermination du midi solaire à l'aide d'un gnomon et comparer ainsi les résultats pour un même jour.

-4- VALEUR APPROCHEE DU MIDI SOLAIRE SUIVANT LA LONGITUDE DU LIEU ET LA DATE D'OBSERVATION

Date Longitude (degrés)	01/01	01/02	01/03	01/04	01/05	01/06	01/07	01/08	01/09	01/10	01/11	01/12
- 5°	13h23'	13h33'	13h32'	14h24'	14h17'	14h18'	14h24'	14h26'	14h20'	14h09'	13h04'	13h10'
- 4°	13h19'	13h29'	13h28'	14h20'	14h13'	14h14'	14h20'	14h22'	14h16'	14h05'	13h00'	13h06'
- 3°	13h15'	13h25'	13h24'	14h16'	14h09'	14h10'	14h16'	14h18'	14h12'	14h01'	12h56'	13h02'
- 2°	13h11'	13h21'	13h20'	14h12'	14h05'	14h06'	14h12'	14h14'	14h08'	13h57'	12h52'	12h58'
- 1 °	13h07'	13h17'	13h16'	14h08'	14h01'	14h02'	14h08'	14h10'	14h04'	13h53'	12h48'	12h54'
0°	13h03'	13h13'	13h12'	14h04'	13h57'	13h58'	14h04'	14h06'	14h00'	13h49'	12h44'	12h50'
1°	12h59'	13h09'	13h08'	14h00'	13h53'	13h54'	14h00'	14h02'	13h56'	13h45'	12h40'	12h46'
0°	12h55'	13h05'	13h04'	13h56'	13h49'	13h50'	13h56'	13h58'	13h52'	13h41'	12h36'	12h42'
3°	12h51'	13h01'	13h00'	13h52'	13h45'	13h46'	13h52'	13h54'	13h48'	13h37'	12h32'	12h38'
4°	12h47'	12h57'	12h56'	13h48'	13h41'	13h42'	13h48'	13h50'	13h44'	13h33'	12h28'	12h34'
5°	12h43'	12h53'	12h52'	13h44'	13h37'	13h38'	13h44'	13h46'	13h40'	13h29'	12h24'	12h30'
6°	12h39'	12h49'	12h48'	13h40'	13h33'	13h34'	13h40'	13h42'	13h36'	13h25'	12h20'	12h26'
7°	12h35'	12h45'	12h44'	13h36'	13h29'	13h30'	13h36'	13h38'	13h32'	13h21'	12h16'	12h22'
8°	12h31'	12h41'	12h40'	13h32'	13h25'	13h26'	13h32'	13h34'	13h28'	13h17'	12h12'	12h18'
9°	12h27'	12h37'	12h36'	13h28'	13h21'	13h22'	13h28'	13h30'	13h24'	13h13'	12h08'	12h14'

Les valeurs de ce tableau sont calculées en considérant le passage de l'heure d'hiver à l'heure d'été durant le mois de Mars, et le passage de l'heure d'été à l'heure d'hiver durant le mois d'octobre.

Pour savoir la longitude de votre lieu d'observation du Soleil, interrogez le site Internet de l'Institut Géographique National (certaines longitudes sont données en fin de TP4).

Faire une proportionnalité entre la date et le lieu pour affiner la valeur du tableau, mais de toute façon la précision du résultat de l'expérience est de 1 ou 2 minutes.

Exemple : Lieu d'observation : Vannes (56) le 19 Avril. Longitude : $- 02^{\circ}45'37''$.

Au 01/04, sous une longitude de -2° , le midi solaire sera à 14h12mn (voir tableau). Au 01/05 le midi solaire sera à 14h05mn ; donc au 19/04 le midi solaire sera à environ 14h08mn.

Quand la longitude varie de $- 1^{\circ}$ le midi solaire se décale de + 4 mn. A Vannes le 19 Avril le midi solaire est aux alentours de 14h 08mn + $(45 \times 4mn / 60) \approx 14h 11mn$ A vérifier expérimentalement!

TP2 : DETERMINATION DE MIDI, HEURE SOLAIRE

Nom :

Classe :

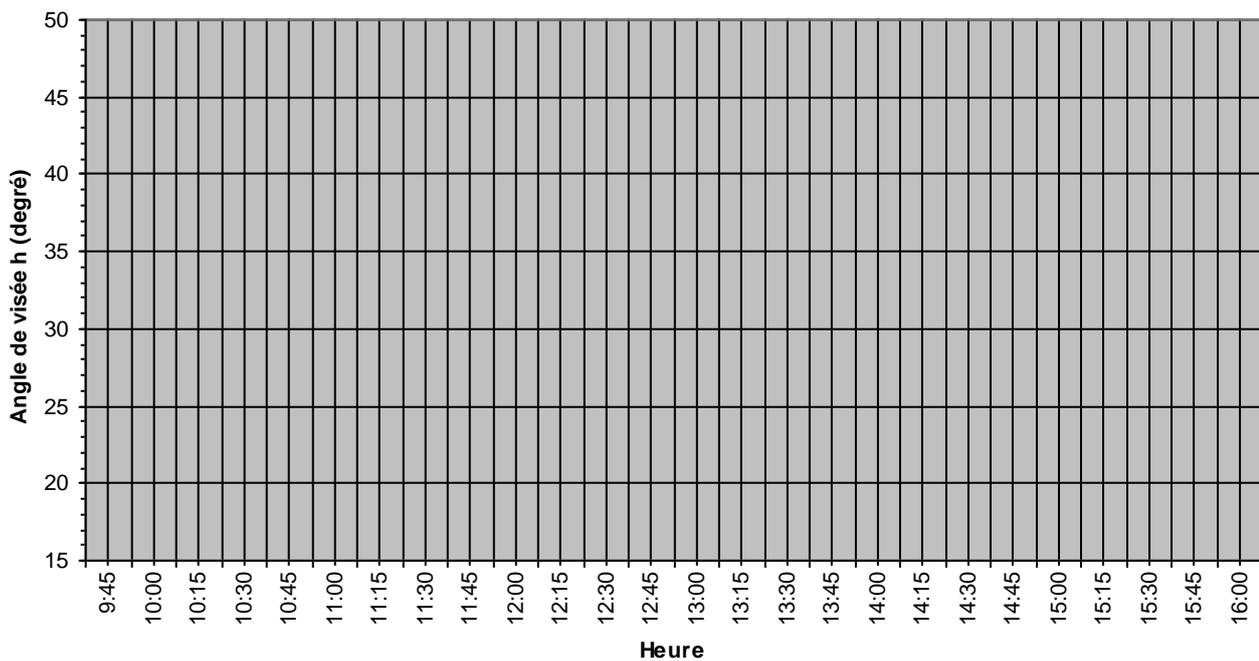
Date :

Longitude :

Midi solaire théorique :

h (degrés)	Heure (heure, minutes)	h (degrés)	Heure (heure, minutes)

Recherche du midi solaire



		Niveau conseillé
TP 3 . 1	Vitesse de rotation du Soleil (1)	A partir du Primaire Cycle 3

- MATERIEL

Un Solarscope.

Un chronomètre.

Un écran quadrillé.

La manipulation peut être faite derrière les vitres d'une salle exposée au sud, ou en extérieur s'il n'y a pas de vent.

- 1 - PRINCIPE

Le Soleil est une étoile parmi les 200 000 000 000 d'étoiles que compte notre galaxie ; il est situé à 30 000 années-lumière (1 année-lumière = 9 500 milliards de km) du centre galactique. Sa période de révolution autour du centre de la galaxie est de 225 millions d'années qu'il parcourt à une vitesse de quelque 250 km/s !

Né il y a 4,5 milliards d'années, le Soleil est aujourd'hui une sphère de 1 392 000 km de diamètre à l'équateur (soit 110 fois celui de la Terre), constituée d'un mélange de gaz, principalement de l'hydrogène et de l'hélium, ionisé et à très haute température. Son noyau, siège de réactions nucléaires en chaîne et processus libérant une énorme quantité d'énergie, avoisine les 14 millions de degrés.

La mince frontière entre le Soleil et son atmosphère est baptisée la photosphère (du grec phôtos, « lumière »), parce qu'elle est précisément la partie brillante de l'astre. Des minis mouvements de convection l'agitent sur quelque 2000 km d'épaisseur. La surface semble émaillée de « grains de riz » ou « granules », qui correspondent en fait à des bulles chaudes ascendantes entourées de filaments de matière plus froide, et donc plus sombre en contraste. Ces taches noires, variant en nombre de 5 à 10 en moyenne, apparaissent sur l'image du Soleil observée par le Solarscope, lorsque la mise au point est correctement effectuée. La largeur de ces taches peut atteindre 2 à 5 mm sur l'écran. Leur durée de vie moyenne est de 15 jours, pendant laquelle leur forme et leurs dimensions varient. La plupart des groupes « vivent » environ 3 mois. Si on procède au repérage des ces taches quotidiennement et à heure fixe pour s'affranchir de la parallaxe, on matérialise leur déplacement dû à la rotation du Soleil sur lui-même. Le nombre de taches à la surface du Soleil varie suivant un cycle d'environ 11 ans. Au minimum d'activité le soleil peut apparaître sans taches pendant plusieurs jours. En période de forte activité on peut observer une vingtaine de groupes, ainsi que de nombreuses taches isolées.

La température de surface du Soleil est de 5700 ° K. La nature faisant bien les choses, il donne un rayonnement maximum à la longueur d'onde de 0.5 microns, bien centrée dans le spectre visible. Le soleil étant une boule visqueuse, sa période de rotation varie significativement de l'équateur au pôle. Sa rotation est beaucoup plus rapide à l'équateur (24,9 j) qu'au voisinage des pôles (35 à 40 j) autour d'un axe incliné de 82°49' par rapport au plan de l'écliptique.

Comme son sens de rotation est le même que le sens de révolution de la Terre autour du Soleil, il paraît tourner plus lentement vu de la Terre (27,5 j * à l'équateur) : c'est la période de rotation synodique.

* Ce nombre est une moyenne. Il varie faiblement durant l'année du fait de la variation de la vitesse de déplacement de la Terre le long de son orbite.

- 2 – MESURES

Il est conseillé d'effectuer les relevés des mesures par binôme.

- 1 - Mettre en place l'écran en le bloquant à l'aide des bagues filetés, sans toutefois serrer trop fort. (voir notice).

- 2 - Par une observation rapide de l'image du Soleil, repérer les taches qui vont servir à la mesure.

- 3 - Faire pivoter l'écran autour de l'axe matérialisé par le tube porte objectif, de manière à ce que la trajectoire de l'image du Soleil soit parallèle aux lignes numérotées de l'écran.

- 4 - Faire pivoter le Solarscope sur son socle pour avoir au cours du déplacement du Soleil, correspondance entre l'image du Soleil et son contour tracé sur l'écran (voir schéma ci-dessous).
Noter l'heure de démarrage de l'expérience pour éviter la parallaxe des mesures faites les jours suivants.

- 5 - Il est difficile de repérer les positions des taches solaires alors que l'image est en mouvement. Pour palier cette difficulté et pouvoir effectuer les mesures avec précision, on note l'instant de passage de chaque tache au niveau de l'axe vertical Y de l'écran correctement orienté, puisque l'image est animée par un mouvement de translation. L'instant t_0 est donné par le passage du bord gauche de l'image du Soleil sur ce repère et l'instant final t_f par le passage du bord droit de cette image sur ce même repère. Puis on fait directement le rapport des temps pour en déduire les positions suivant l'axe X des différentes taches solaires, connaissant la dimension de l'image.

Exemple : $t_0 = 0$ sec. Passage du bord gauche de l'image du Soleil sur l'axe des Y.

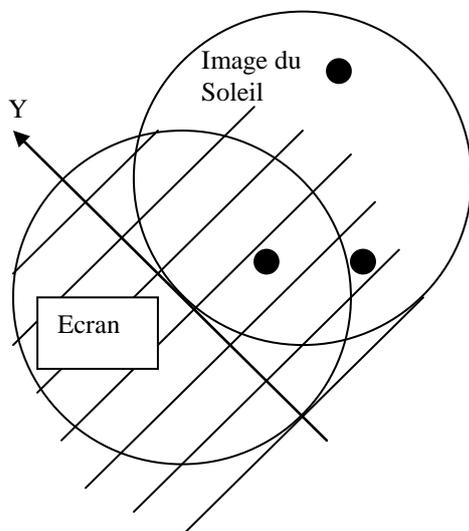
$t_1 = 0.48$ sec. Passage d'une tache au niveau de l'axe.

$t_f = 2.16$ sec. Passage du bord droit de l'image du Soleil sur l'axe des Y.

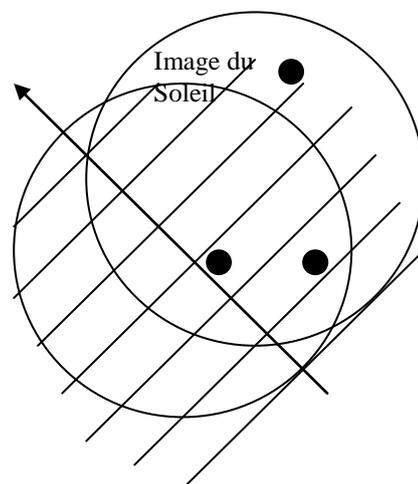
La dimension de l'image est de 122 mm.

La tache solaire se trouve à $0.48 \cdot 122 / 2.16 \approx 27$ mm du bord gauche de l'image du Soleil.

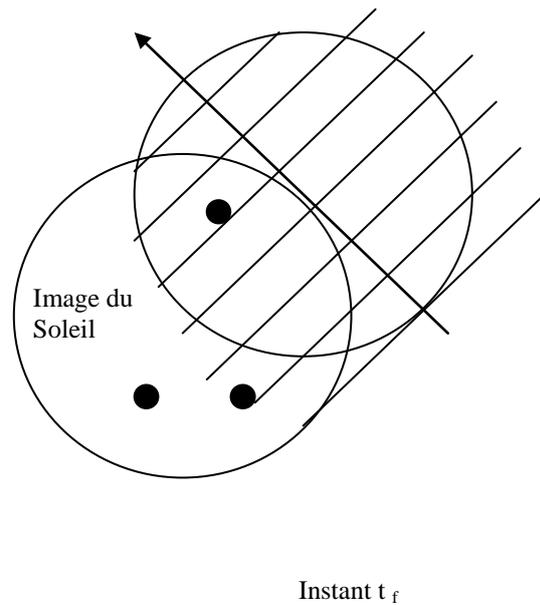
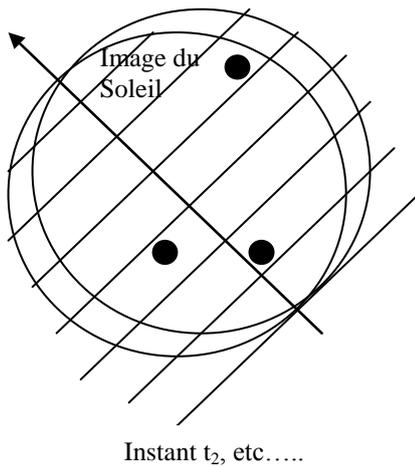
La position de celle-ci suivant l'axe Y des ordonnées est plus facile à mesurer car l'écran est incliné de manière à ce que l'ordonnée y soit constante durant la mesure.



Instant $t_0 = 0$



Instant t_1



N.B : La course du Soleil est vers le bas, car les mesures ont été faites le matin.

- 6 - Reporter directement ces mesures des temps dans le tableau ci-dessous et effectuer les calculs.

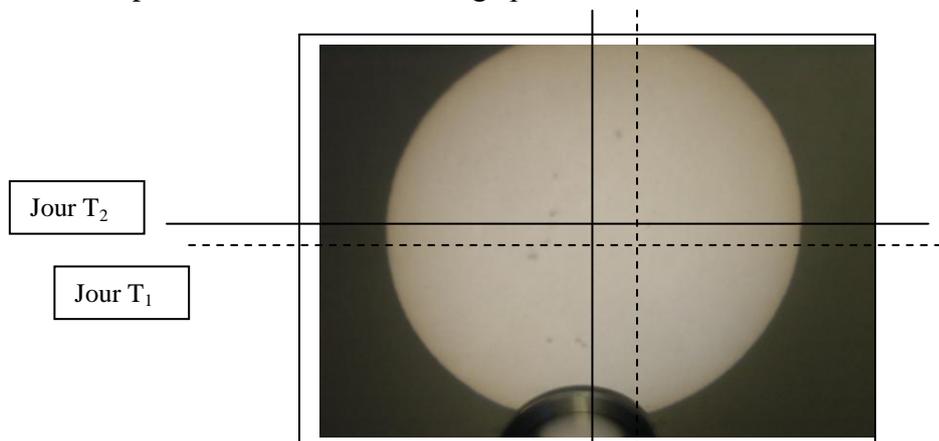
- 7 - Effectuer plusieurs relevés des positions des taches solaires, par exemple tous les 2 ou 3 jours, à la même heure pour s'affranchir de la parallaxe (changement apparent de direction de ces taches provoqué par le déplacement de l'observateur, la Terre étant en rotation).

- 8 - Reporter les différentes positions des taches en fonction des jours de mesure (T_1, T_2, \dots), sur le gabarit d'écran donné à la fin du document pour mettre en évidence leur déplacement lié directement à la rotation du Soleil.

Le laps de temps minimum entre la première et la dernière séance doit être de 15 jours pour bien matérialiser la rotation du Soleil, soit 3 à 5 relevés.

L'idéal est de 1 mois car la période de rotation du Soleil est de 25/34 jours terrestres de l'équateur aux pôles.

Il faut tenir compte de l'inversion de l'image pour définir le sens de rotation du Soleil.



- 3 - RESULTATS

Reporter sur le gabarit d'écran les résultats de plusieurs jours de mesure. Ces mesures doivent impérativement être faites à la même heure pour s'affranchir de la parallaxe.

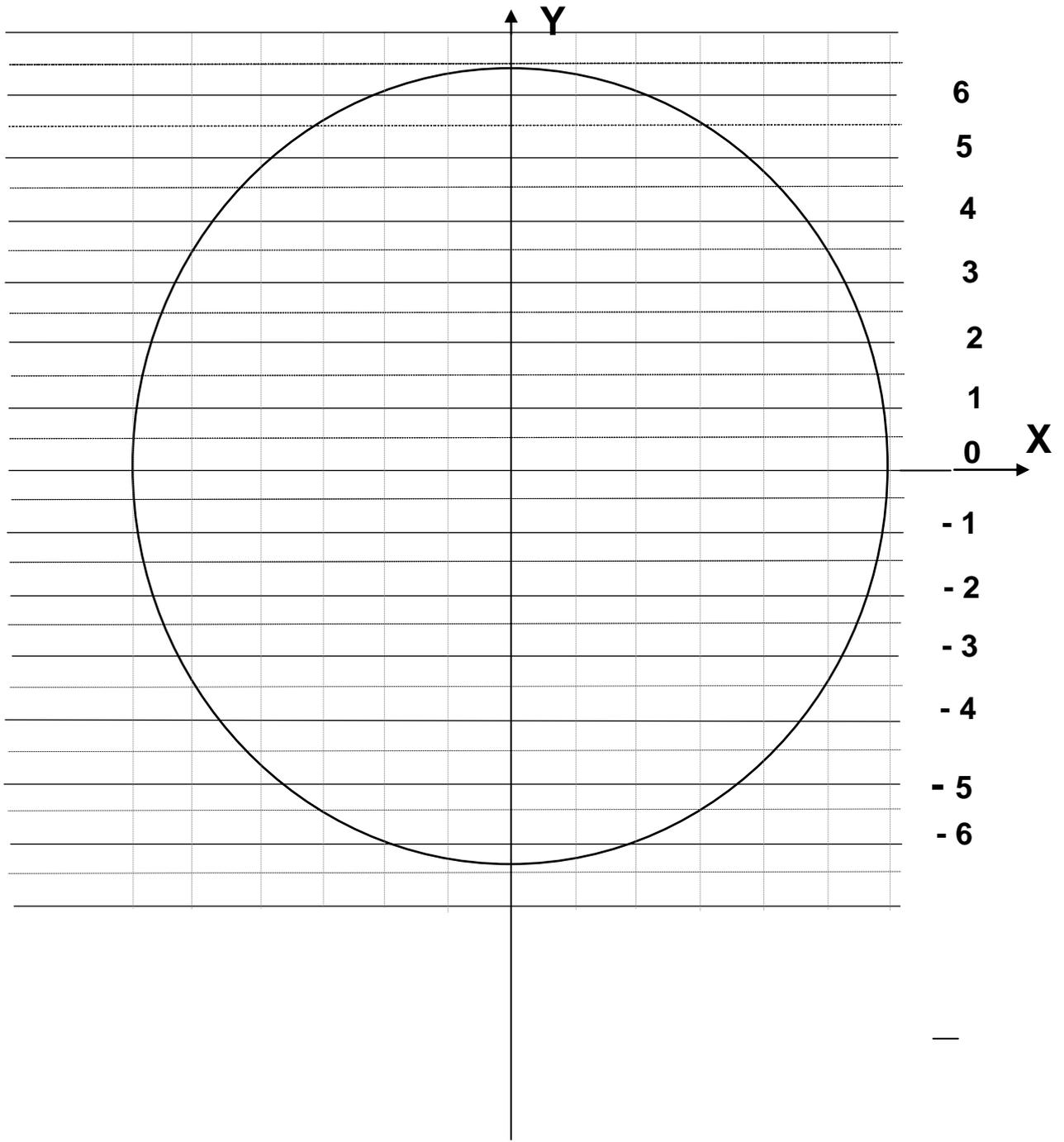
Les élèves observent l'apparition de taches ou la disparition de certaines, ainsi que le trajet des taches qui ont persisté pendant toute la traversée de l'image du Soleil.

Le résultat important est de vérifier le sens de rotation du Soleil, et de retrouver environ 30 jours pour une rotation complète sur lui-même.

- 4 - TABLEAU DES RELEVES DE MESURES

<u>TP 3 : VITESSE DE ROTATION DU SOLEIL (1)</u>			
Nom :			
Classe :			
Date :			
Heure :			
Dimension de l'image (largeur) : X = mm			
		Position suivant l'axe des x	Position suivant l'axe des y
Bord gauche du Soleil	$t_0 = 0$ s	$X_0 = 0$	$Y_0 = 0$
Tache n° 1	$t_1 =$ s	$X_1 = X * t_1 / t_f =$ mm	$Y_1 =$ mm
n° 2	$t_2 =$	$X_2 =$	$Y_2 =$
n° 3	$t_3 =$	$X_3 =$	$Y_3 =$
Bord droit du Soleil	$t_f =$	$X =$	

- 5 - GABARIT D'ECRAN



Pour obtenir la grandeur réelle du gabarit d'écran, photocopier cette page et agrandir ($\times 2$).

- 6 - AUTRE EXPLOITATION

- comparaison avec les images du soleil données par le satellite SOHO et disponible sur le site Internet www.soho.com.

		Niveau
TP 3 . 2	Vitesse de rotation du Soleil (2)	Collège & Lycée

- MATERIEL

Un solarscope.

Un chronomètre.

Un écran quadrillé.

La manipulation peut être faite derrière les vitres d'une salle exposée au sud, ou en extérieur s'il n'y a pas de vent.

- 1 - PRINCIPE

Le Soleil est une étoile parmi les 200 000 000 000 d'étoiles que compte notre galaxie ; il est situé à 30 000 années-lumière (1 année-lumière = 9 500 milliards de km) du centre galactique. Sa période de révolution autour du centre de la galaxie est de 225 millions d'années qu'il parcourt à une vitesse de quelque 250 km/s !

Né il y a 4,5 milliards d'années, le Soleil est aujourd'hui une sphère de 1 392 000 km de diamètre à l'équateur (soit 110 fois celui de la Terre), constituée d'un mélange de gaz, principalement de l'hydrogène et de l'hélium, ionisé et à très haute température. Son noyau, siège de réactions nucléaires en chaîne et processus libérant une énorme quantité d'énergie, avoisine les 14 millions de degrés.

La mince frontière entre le Soleil et son atmosphère est baptisée la photosphère (du grec phôtos, « lumière »), parce qu'elle est précisément la partie brillante de l'astre. Des minis mouvements de convection l'agitent sur quelque 2000 km d'épaisseur. La surface semble émaillée de « grains de riz » ou « granules », qui correspondent en fait à des bulles chaudes ascendantes entourées de filaments de matière plus froide, et donc plus sombre en contraste. Ces taches noires, variant en nombre de 5 à 10 en moyenne, apparaissent sur l'image du Soleil observée par le Solarscope, lorsque la mise au point est correctement effectuée. La largeur de ces taches peut atteindre 2 à 5 mm sur l'écran. Leur durée de vie moyenne est de 15 jours, pendant laquelle leur forme et leurs dimensions varient. La plupart des groupes « vivent » environ 3 mois. Si on procède au repérage des ces taches quotidiennement et à heure fixe pour s'affranchir de la parallaxe, on matérialise leur déplacement dû à la rotation du Soleil sur lui-même. Le nombre de taches à la surface du Soleil varie suivant un cycle d'environ 11 ans. Au minimum d'activité le soleil peut apparaître sans taches pendant plusieurs jours. En période de forte activité on peut observer une vingtaine de groupes, ainsi que de nombreuses taches isolées.

La température de surface du Soleil est de 5700 ° K. La nature faisant bien les choses, il donne un rayonnement maximum à la longueur d'onde de 0.5 microns, bien centrée dans le spectre visible. Le soleil étant une boule visqueuse, sa période de rotation varie significativement de l'équateur au pôle. Sa rotation est différentielle : beaucoup plus rapide à l'équateur (24,9 j) qu'au voisinage des pôles (35 à 40 j) autour d'un axe incliné de 82°49' par rapport au plan de l'écliptique. Une relation empirique donne une bonne approche de la valeur de la période de rotation en fonction de la latitude :

$$\text{Période de rotation du Soleil} = 24.9 - 0.0188 |\varphi| + 0.00216 \varphi^2$$

Où φ est la latitude nord ou sud (voir TP n°4 pour la définition de la latitude) au niveau du soleil, en degrés.

Comme son sens de rotation est le même que le sens de révolution de la Terre autour du Soleil, il paraît tourner plus lentement vu de la Terre (27,5 j * à l'équateur) : c'est la période de rotation synodique.

* Ce nombre est une moyenne. Il varie faiblement durant l'année du fait de la variation de la vitesse de déplacement de la Terre le long de son orbite.

- 2 – MESURES

Il est conseillé d'effectuer les relevés des mesures par binôme.

- **1** - Mettre en place l'écran en le bloquant à l'aide des bagues filetés, sans toutefois serrer trop fort (voir notice).
- **2** - Par une observation rapide de l'image du Soleil, repérer les taches qui vont servir à la mesure.
- **3** - Faire pivoter l'écran autour de l'axe matérialisé par le tube porte objectif, de manière à ce que la trajectoire de l'image du Soleil soit parallèle aux lignes numérotées de l'écran.
- **4** - Faire pivoter le solarscope sur son socle pour avoir au cours du déplacement du Soleil, correspondance entre l'image du Soleil et son contour tracé sur l'écran (voir schéma ci-dessous).
Noter l'heure de démarrage de l'expérience pour éviter la parallaxe des prochaines mesures.
- **5** - Il est difficile de repérer les positions des taches solaires alors que l'image est en mouvement. Pour palier cette difficulté et pouvoir effectuer les mesures avec précision, on note l'instant de passage de chaque tache au niveau de l'axe vertical Y de l'écran correctement orienté, puisque l'image est animée par un mouvement de translation. L'instant t_0 est donné par le passage du bord gauche de l'image du Soleil sur ce repère et l'instant final t_f par le passage du bord droit de cette image sur ce même repère. Puis on fait directement le rapport des temps pour en déduire les positions suivant l'axe X des différentes taches solaires, connaissant la dimension de l'image.

Exemple : $t_0 = 0$ sec. Passage du bord gauche de l'image du Soleil sur l'axe des Y.

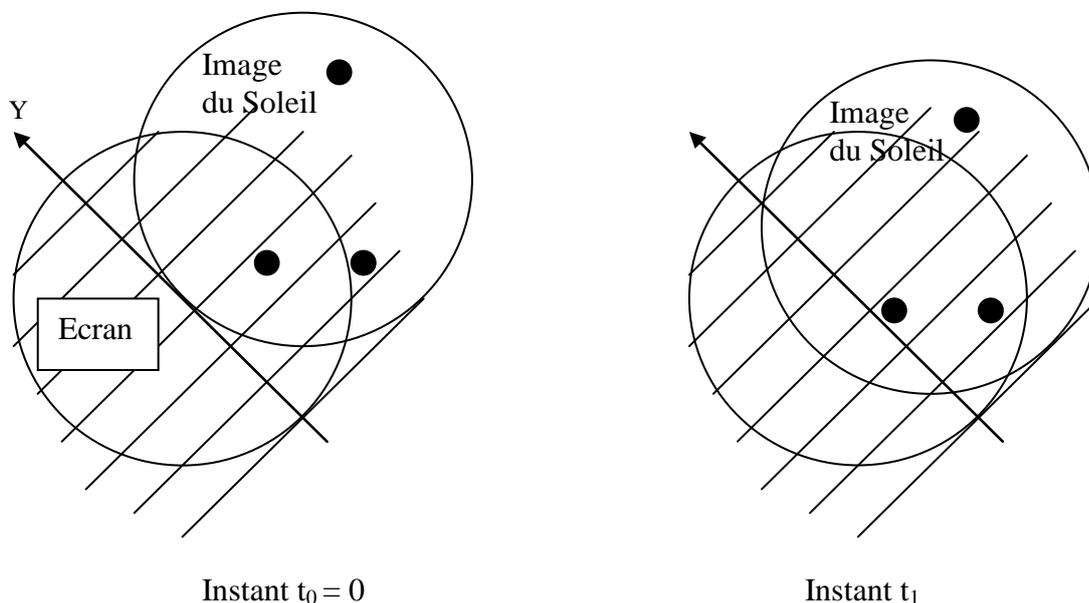
$t_1 = 0.48$ sec. Passage d'une tache au niveau de l'axe.

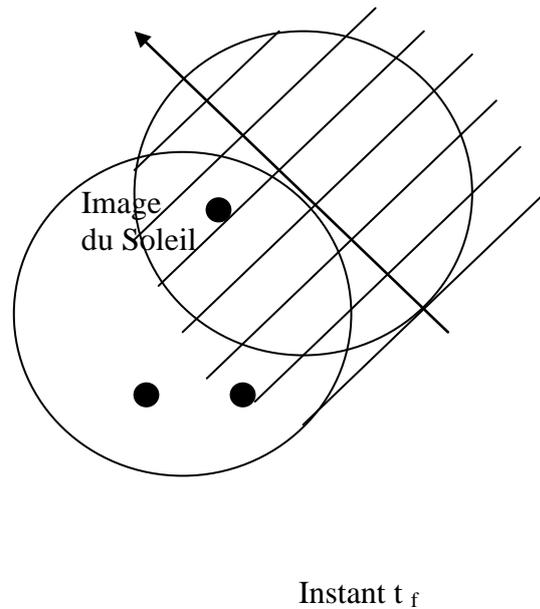
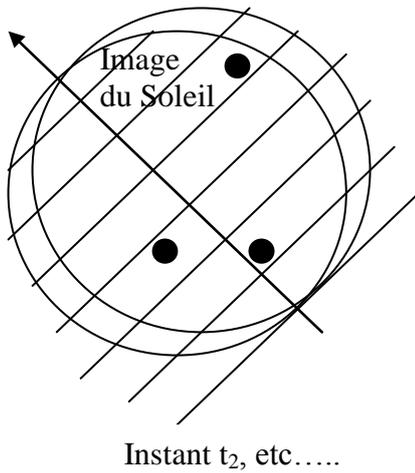
$t_f = 2.16$ sec. Passage du bord droit de l'image du Soleil sur l'axe des Y.

La dimension de l'image est de 122 mm.

La tache solaire se trouve à $0.48 \cdot 122 / 2.16 \approx 27$ mm du bord gauche de l'image du Soleil.

La position de celle-ci suivant l'axe Y des ordonnées est plus facile à mesurer car l'écran est incliné de manière à ce que l'ordonnée y soit constante durant la mesure.





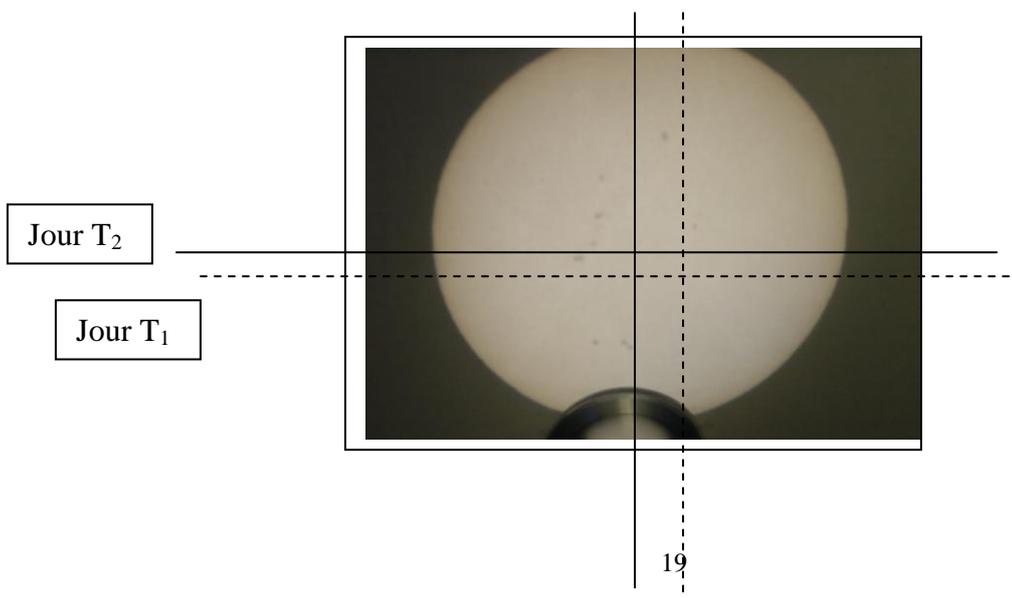
N.B : La course du Soleil est vers le bas, car les mesures ont été faites le matin.

- 6 - Reporter directement ces mesures des temps dans le tableau ci-dessous et effectuer les calculs.
- 7 - Effectuer plusieurs relevés des positions des taches solaires, par exemple tous les 2 ou 3 jours, à la même heure pour s'affranchir de la parallaxe (changement apparent de direction de ces taches provoqué par le déplacement de l'observateur, la Terre étant en rotation).
- 8 - Reporter les différentes positions des taches en fonction des jours de mesure (T_1, T_2, \dots), sur le gabarit d'écran donné à la fin du document pour mettre en évidence leur déplacement lié directement à la rotation du Soleil.

Le laps de temps minimum entre la première et la dernière séance doit être de 15 jours pour bien matérialiser la rotation du Soleil, soit 3 à 5 relevés.

L'idéal est de 1 mois car la période de rotation du Soleil est de 25/34 jours terrestres de l'équateur aux pôles.

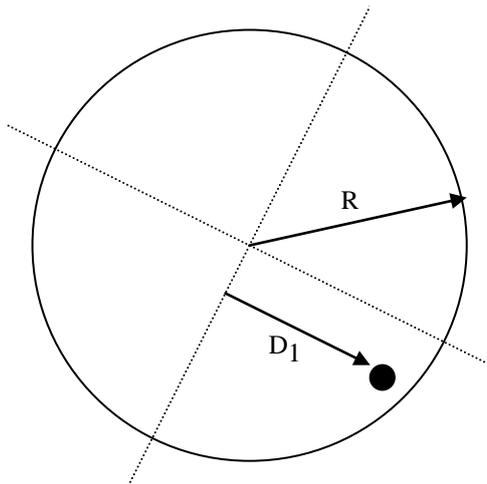
Il faut tenir compte de l'inversion de l'image pour définir le sens de rotation du Soleil.



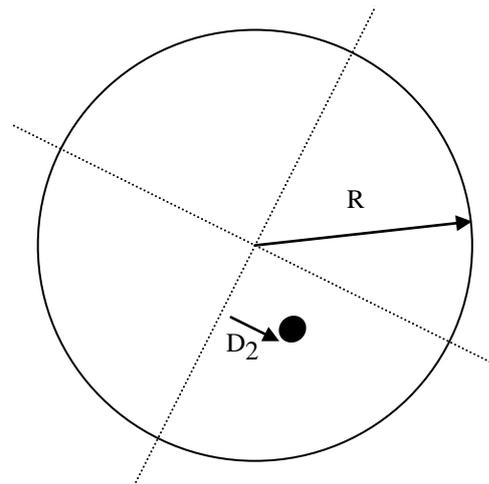
- 3 - RESULTATS

Il est donc aisé de mesurer la période de rotation du Soleil à partir de la vitesse de déplacement de ces taches sur le disque solaire.

- A l'aide de deux images du Soleil obtenues à quelques jours d'intervalle T_1 et T_2 , tracer une droite passant par le centre du disque solaire, et parallèle au déplacement des taches.
- Tracer une seconde droite passant par le centre du Soleil et perpendiculaire à la précédente.
- Mesurer la distance du centre au bord du disque R .
- Mesurer les deux distances D_1 et D_2 comme indiqué sur la figure.



Soleil au jour T_1



Soleil au jour T_2

- Si les deux images ont été obtenues aux instants T_1 et T_2 , la période de rotation du Soleil est donnée par :

$\text{Vitesse de rotation du Soleil (apparente)} = \frac{\text{Arcsin}^* \left(\frac{D_2}{R} \right) - \text{Arcsin} \left(\frac{D_1}{R} \right)}{T_2 - T_1}$	en degrés par jour. (à prendre en valeur absolue)
--	---

* : Le terme Arcsin (x) désigne l'angle dont le sinus est x. Exemple Arcsin (0.5) = 30°.

De plus, les observations sont faites depuis la Terre qui est en rotation autour du Soleil à la vitesse de 0.986° par jour. De ce fait, cette vitesse de rotation du Soleil apparente doit être corrigée pour obtenir la vitesse de rotation réelle du Soleil.

$\text{Vitesse de rotation réelle du Soleil} = \text{Vitesse de rotation apparente (mesurée)} + 0.986^\circ \text{ par jour.}$
--

Il est possible de calculer la période de rotation du Soleil :

$\text{Période de rotation du Soleil} = \frac{360}{\text{Vitesse de rotation réelle}} \text{ jours.}$

- 4 - TABLEAU DES RELEVES DE MESURES

<u>TP 3 : VITESSE DE ROTATION DU SOLEIL (2)</u>			
Nom :			
Classe :			
Date :			
Heure :			
Dimension de l'image (largeur) : X = mm			
		Position suivant l'axe des x	Position suivant l'axe des y
Bord gauche du Soleil	$t_0 = 0$ s	$X_0 = 0$	$Y_0 = 0$
Tache n° 1	$t_1 =$ s	$X_1 = X * t_1 / t_f =$ mm	$Y_1 =$ mm
n° 2	$t_2 =$	$X_2 =$	$Y_2 =$
n° 3	$t_3 =$	$X_3 =$	$Y_3 =$
Bord droit du Soleil	$t_f =$	$X =$	

- 5 - EXPLOITATION

- Le déplacement des taches à la surface du Soleil est mis en évidence en superposant les différents relevés ou les différentes prises de vue au fil des mesures sur le gabarit d'écran donné au TP précédent. A chaque jour de mesure peut correspondre une couleur pour le tracé des positions des taches solaires. Cela permet de compter le nombre de jour de persistance des taches ou des amas de taches, ainsi que de voir les apparitions ou les disparitions de celles-ci.
- Option : comparaison avec les images du soleil données par le satellite SOHO et disponible sur le site Internet www.soho.com .
- Confirmation de la périodicité du phénomène observé.
- Mise en évidence du fait que le Soleil tourne plus vite à l'équateur qu'aux pôles.

		Niveau
TP 4	La latitude du lieu et l'inclinaison de l'axe des pôles	Collège et lycée

-MATERIEL

Un Solarscope muni de son fil à plomb.

Un écran quadrillé (optionnel).

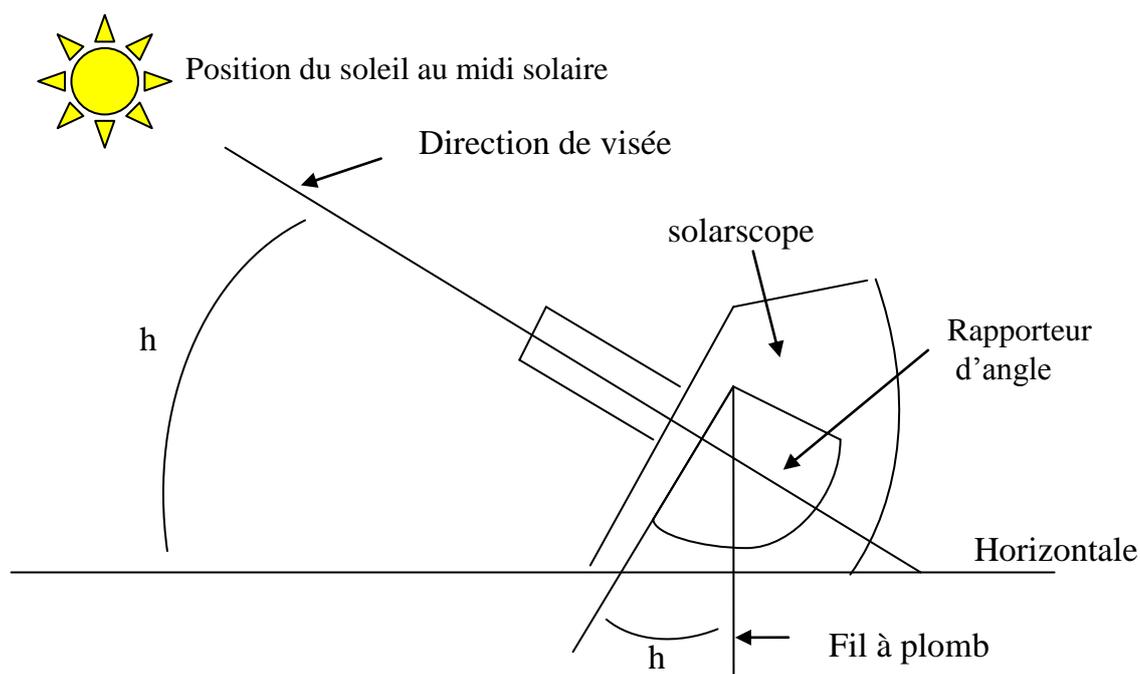
La manipulation peut être effectuée derrière les vitres d'une salle exposée au sud, ou en extérieur s'il n'y a pas de vent.

- 1 - PRINCIPE

Sur la Terre, **la latitude** d'un lieu est l'angle entre la verticale du lieu et le plan de l'équateur, mesuré le long du méridien du lieu, de 0 à 90° vers le nord ou vers le sud. **La longitude** d'un lieu est l'angle entre le méridien de Greenwich (méridien origine conventionnel) et le méridien du lieu, compté de 0 à 180° vers l'est ou vers l'ouest. **Le méridien terrestre** d'un lieu est le demi-grand cercle de la sphère céleste contenant les pôles terrestres et dont le demi-plan passe par le point considéré.

L'axe de rotation de la Terre, passant par les pôles, est incliné par rapport à la normale à l'écliptique (plan qui passe par le centre du soleil et qui contient l'orbite de la Terre) d'un angle α d'environ 23°27' (le mouvement de la Terre étant perturbé par les planètes, le plan de l'écliptique n'est pas totalement immuable). Du fait de cette inclinaison et de la rotation de la Terre autour du Soleil, la direction de visée du Soleil mesurée au midi solaire varie au cours des saisons suivant une fonction sinusoïdale de période annuelle.

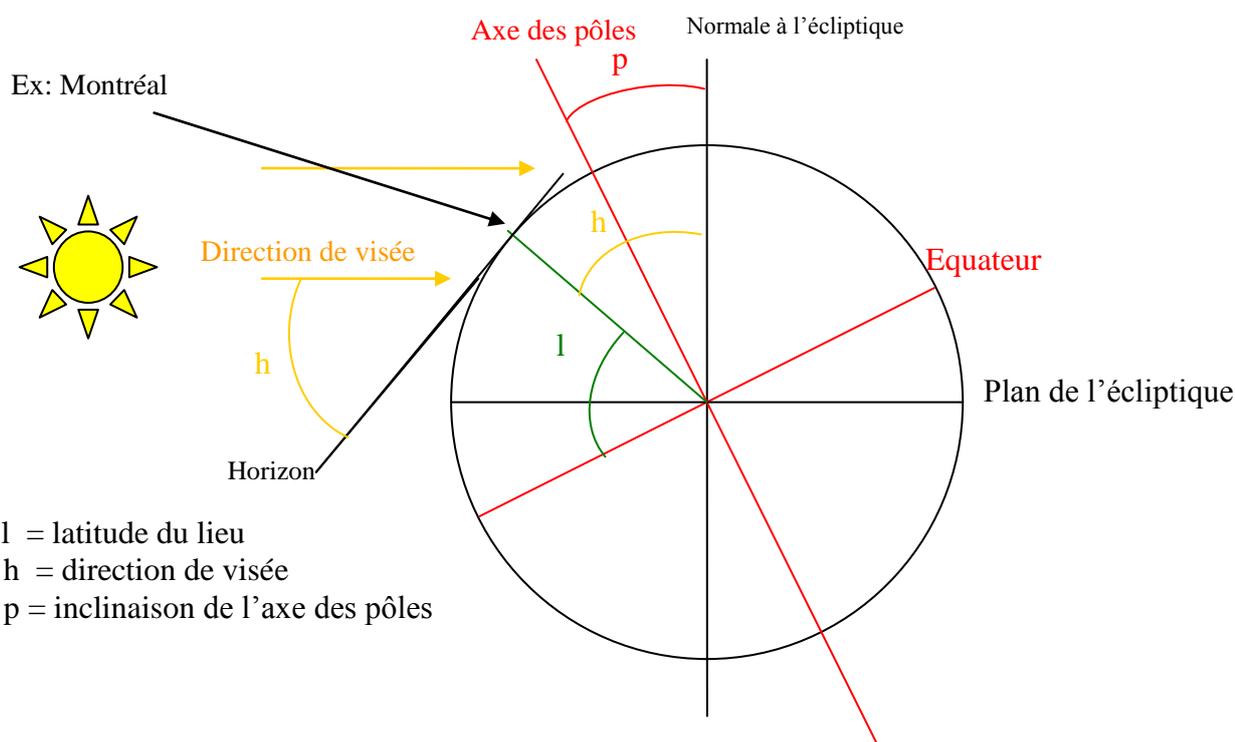
En mesurant la valeur de l'angle de direction de visée du solarscope h au midi solaire, il est possible de déterminer rapidement la latitude du lieu de la mesure. En outre, un échantillonnage de la mesure de cet angle de visée tout au long de l'année permet de construire une courbe $h = f(t)$, représentant une fonction sinusoïdale de période annuelle, dont les maximum et minimum correspondent respectivement aux directions de visée aux solstices d'été et d'hiver. L'exploitation de la courbe ainsi obtenue permet la double détermination de la latitude du lieu de mesure et de l'axe des pôles terrestres avec précision.



L'échantillonnage des mesures de h peut être d'une mesure par mois, par contre il est important de relever les directions de visée pour les dates des solstices d'été et d'hiver et des équinoxes de printemps et d'automne (à 4 ou 5 jours près s'il y a un manque drastique de soleil).

Pour cette manipulation, le midi solaire est calculé et non mesuré. Pour cela il faut utiliser le TP n° 6 (dont je vais rapidement évoquer le principe) sur l'équation du temps et déterminer avec une précision de 1 à 2 minutes l'instant où doit être effectuée la mesure de h .

Position de la Terre par rapport à l'écliptique au solstice d'été



Au solstice d'été (représenté par le schéma ci-dessus) la valeur de l'angle de direction de visée, mesuré au midi solaire, est maximum : $h = h(\text{max})$.

D'après le schéma : $h(\text{max}) + l - p = 90^\circ$ (1)

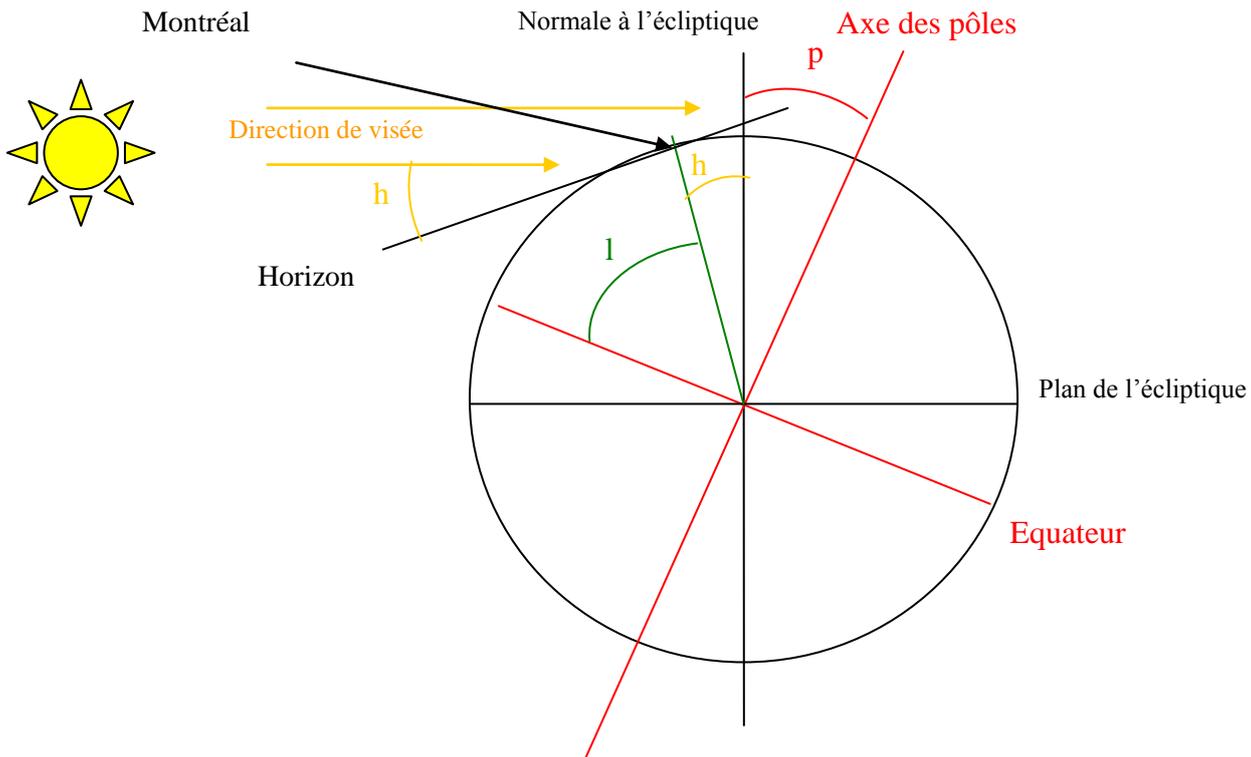
Ces considérations géométriques sont établies pour une ville de l'hémisphère nord, dont la latitude est comprise entre le tropique du Cancer et le pôle nord, mais transposables pour les autres latitudes.

Remarque : Aux équinoxes de printemps et d'automne, l'axe des pôles terrestres est dans un plan perpendiculaire au plan de l'écliptique donc l'angle de direction de visée h mesuré au midi solaire donne accès directement, par un simple calcul (voir fin du paragraphe) à la latitude du lieu, mais toutefois avec une précision 2 fois moins grande.

D'autre part une mesure unique de la direction de visée au midi solaire à l'une des équinoxes ne permet pas la détermination de l'angle d'inclinaison de l'axe des pôles.

On peut de même représenter la position de la Terre par rapport au plan de l'écliptique au solstice d'hiver.

Position de la Terre par rapport à l'écliptique au solstice d'hiver



Au solstice d'hiver (représenté par le schéma ci-dessus) la valeur de l'angle de direction de visée, mesuré au midi solaire, est minimum : $h = h(\text{min})$.

D'après le schéma : $h(\text{min}) + l + p = 90^\circ$ (2)

Ces considérations géométriques sont établies pour une ville de l'hémisphère nord, dont la latitude est comprise entre l'équateur et le cercle polaire, mais transposables pour d'autres latitudes.

En effectuant la somme des équations (1) et (2),

La valeur de la latitude l du lieu est : $l = 90^\circ - [h(\text{max}) + h(\text{min})] / 2$

Cette formule est valable pour un lieu situé dans l'hémisphère nord et pour une latitude comprise entre le tropique du cancer ($23^\circ 27'$ nord) et le cercle polaire ($66^\circ 33'$ nord)

En effectuant la différence des équations (1) et (2),

La valeur de l'inclinaison p de l'axe des pôles terrestres est : $p = (h(\text{max}) - h(\text{min})) / 2$

Même remarque sur la validité de cette formule.

- Remarque concernant les mesures aux équinoxes : L'angle de direction de visée mesuré à l'une des équinoxes est la valeur moyenne de $h(\text{max})$ et de $h(\text{min})$ soit : $h(\text{équinoxe}) = [h(\text{max}) + h(\text{min})] / 2$

La valeur de la latitude se détermine directement à cette date et au midi solaire par : $l = 90^\circ - h(\text{équinoxe})$

- 2 – MESURES

-2- 1 -Détermination de l'heure de la mesure :

Il n'est pas obligatoire de déterminer le midi solaire expérimentalement pour faire ces mesures. Il faut se référer au « TP6 - équation de temps » pour déterminer l'heure légale correspondant au midi solaire, soit l'instant où l'on doit faire la mesure de la direction de visée.

Heure légale = heure solaire + correction en longitude + correction fuseau horaire + correction « équation du temps »

Exemple : Si la mesure est effectuée le 15 Mars à Hyères (83), nous sommes encore à l'heure d'hiver et situé à une longitude de $6^{\circ} 07'46''$ à l'est de Greenwich. Le tableau situé à la fin du document donne les longitudes pour quelques villes françaises. A l'aide d'une carte de France vous situez votre ville, en traçant une droite nord-sud vous cherchez la ville du tableau la plus proche de votre droite : ces villes sont alors sensiblement à la même longitude.

Exemple : Evreux est à peu près à la même longitude que Toulouse soit $01^{\circ}26'34''$

Vous pouvez interroger le site Internet de l'Institut Géographique National. Il vous donnera la longitude et la latitude de votre commune.

- Heure solaire : 12 heures

- Correction longitude : Le soleil se déplace de 1 degré toutes les 4 minutes (car il parcourt 360° en 24 heures). Hyères étant à l'est de Greenwich la correction est de $- 4 \text{ mn} * 6^{\circ} 07'46'' = - 24\text{mn } 31\text{s } 04$.

- Correction fuseau horaire : + 1 heure

- Correction « équation du temps » : D'après les abaques du TP 7 on lit directement +9 mn

Heure légale correspondant au midi solaire = $12\text{h} - 24\text{mn } 30\text{s} + 1\text{h} + 9\text{mn} = 12\text{h } 44\text{mn } 30\text{s}$

La mesure devra être effectuée aux alentours de 12h 45mn.

Une variante consiste à mesurer l'angle de direction de visée du solarscope lorsque l'image du Soleil se déplace le long d'une droite horizontale située au milieu de l'écran et passant donc par le centre du tube porte objectif. Cette détermination est beaucoup plus approximative.

- 2 - 2 - Mesure l'angle de visée grâce au rapporteur sur le flanc du Solarscope :

A l'instant déterminé ci-dessus, pointer la direction du Soleil et régler le Solarscope en hauteur et en azimut pour obtenir sur l'écran l'image du Soleil en superposition avec le tube porte objectif (l'image du Soleil étant plus grande que le tube porte objectif, il suffit de rendre ces deux cercles concentriques). Relever alors sur le flanc gauche de l'appareil l'angle indiqué par le fil à plomb. On peut estimer la précision de la mesure au demi degré. Cette mesure est la valeur de h.

Recommencer cette mesure 15 jours après si les conditions météorologiques le permettent, bien qu'un échantillonnage de mesures espacées de 1 mois suffise à la construction de la courbe $h = f(t)$, t étant la date correspondant à la mesure.

- 3 -RESULTATS

Suivant la latitude de la mesure on obtient une courbe ayant une allure similaire à celle représentées sur le schéma ci-dessous, mais dont la position sur les axes des ordonnées dépend de la latitude du lieu d'observation.

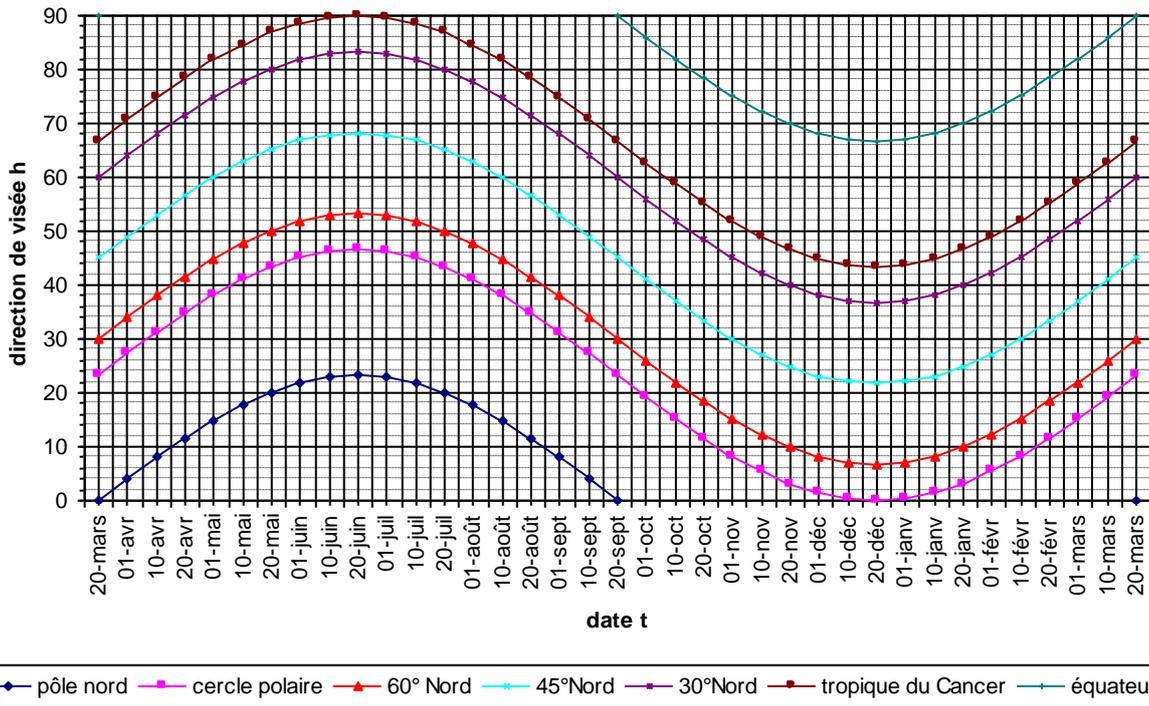
Si l'on veut déterminer la latitude du lieu d'observation et l'inclinaison de l'axe des pôles avec cette seule mesure, on effectue la mesure comme indiquée précédemment, on reporte la valeur de cette mesure sur le graphique ci-dessous et par extrapolation (tracé d'une courbe parallèle aux autres), on repère les points de la courbe extrapolée aux solstice d'été (h max) et d'hiver (h min). Sur l'axe des ordonnées on relève les valeurs des angles respectifs. Il suffit alors d'effectuer les calculs de α et de λ comme expliqué précédemment. La précision sera moindre.

Exemple : à Hyères le 20 janvier 03, $h = 27^\circ \leftrightarrow$ En reportant ce point sur le graphique ci-dessous et par interpolation on trouve : $h(\text{min}) = 24^\circ$, $h(\text{max}) = 70^\circ$

$$\text{Latitude } l = 90^\circ - (70^\circ + 24^\circ) / 2 = 43^\circ \text{ (théorie } 43^\circ 07' 11'')$$

$$\text{Inclinaison de l'axe des pôles } p = 70^\circ - 24^\circ / 2 = 23^\circ \text{ (théorie } 23^\circ 27').$$

$$h = f(t)$$



- 4 - DONNEES THEORIQUES

Inclinaison de l'axe des pôles : $p = 23^{\circ}27'$

Longitude et latitude l de quelques villes françaises :

Ville	Agen (47)	Ajaccio (2A)	Bastia (2B)	Belfort (90)	Biarritz (64)	Bordeaux (33)
Longitude	00°37'10''	08°44'13''	09°27'01''	06°51'00''	- 01°33'22''	- 00°34'42''
Latitude	44°12'15''	41°55'36''	42°42'03''	47°38'30''	43°28'54''	44°50'19''
Ville	Bourges (18)	Brest (29)	Calais (59)	Chamonix (74)	Cherbourg (50)	Grenoble (38)
Longitude	02°23'47''	- 04°29'08''	01°51'23'	06°52'11''	-01°36'53''	05°43'37''
Latitude	47°05'04'	48°23'27''	50°56'53'	45°55'23''	49°38'22''	45°11'16''
Ville	Lannion (22)	Lille (59)	Limoges (87)	Lyon (69)	Marseille (13)	Montpellier (34)
Longitude	- 03°27'15''	03°03'30''	01°15'45''	04°50'32''	05°22'38''	03°52'38''
Latitude	48°44'00''	50°37'57''	45°50'07''	45°45'35'	43°17'51''	43°36'43''
Ville	Nantes (44)	Nice (06)	Paris (75)	Perpignan (66)	Poitiers (86)	Rennes (35)
Longitude	- 01°33'10''	07°16'09''	02°20'43''	02°53'44''	00°20'10''	- 01°40'46''
Latitude	47°13'05''	43°42'10''	48°51' 39''	42°41'55''	46°34'55''	48°06'53''
Ville	Strasbourg (67)	Toulon (83)	Toulouse (31)	Vannes (56)		
Longitude	07°44'55''	05°55'53''	01°26'34''	- 02°45'37''		
Latitude	48°35'04''	43°07'33''	43°36'19''	47°39'21''		

TP4 : LATITUDE DU LIEU D'OBSERVATION ET INCLINAISON DE L'AXE DES PÔLES

Nom :

Classe :

Ville :

Longitude :

Midi solaire théorique :
(se référer aux abaques du TP 2 du manuel « écoles primaires »)

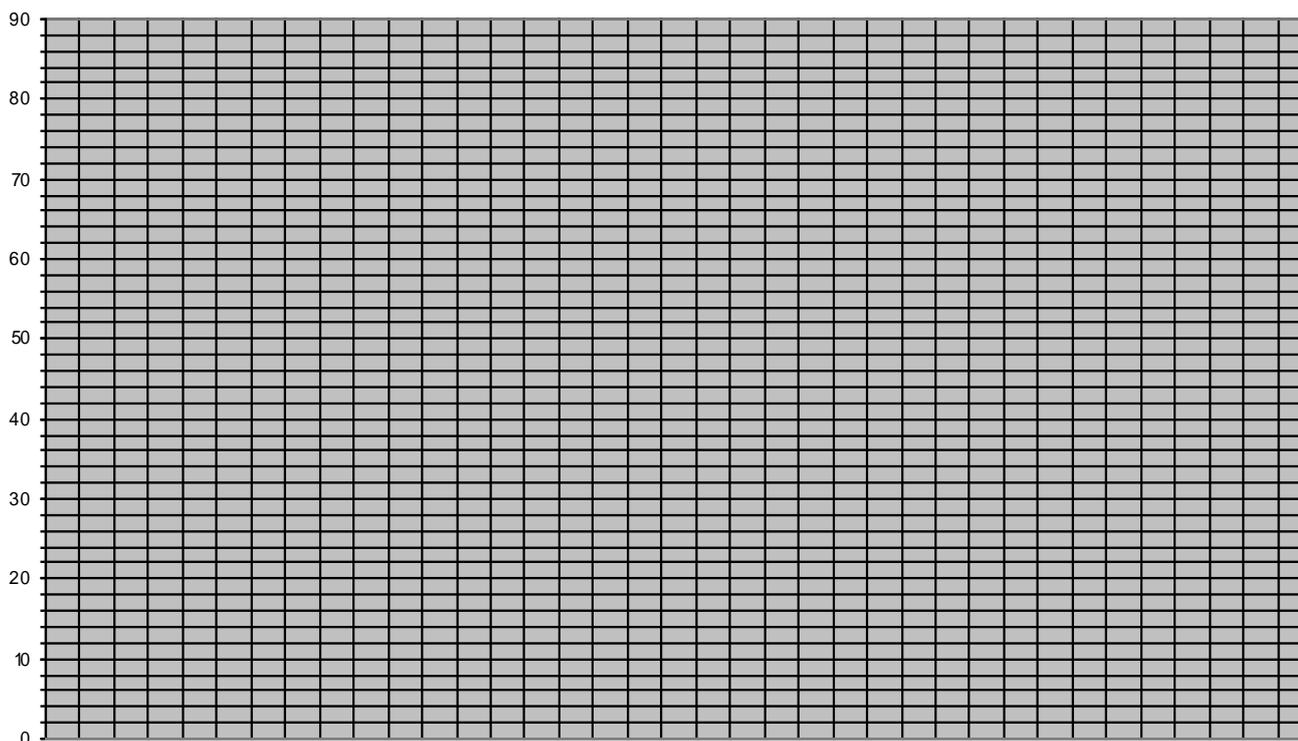
Date (j-m-a)												
h (degré)												
Date (j-m-a)												
h (degré)												

h minimum :
(degré)

h maximum :
(degré)

Inclinaison $p = (h \text{ max.} - h \text{ min.})/2 =$
de l'axe des pôles

Latitude $l = 90^\circ - [(h \text{ max} + h \text{ min})/2] =$



◆ Série1

DATE

		Niveau
TP 5	Ellipticité de l'orbite terrestre	Collège et Lycée

**En cours d'élaboration
- prochainement disponible -**

Moyens

Un Solarscope, un chronomètre
Variante : un ordinateur.

PRINCIPE ET MISE EN ŒUVRE

Mettre en évidence l'ellipticité de l'orbite terrestre et la mesurer

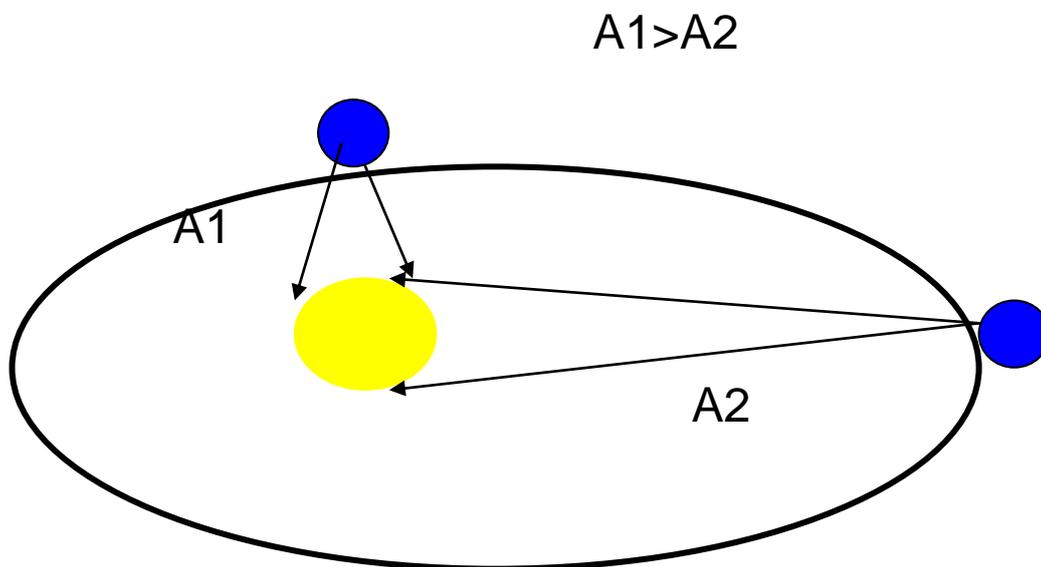
MESURES

Mesurer le diamètre apparent au cours de l'année.

Avec un chronomètre

Avec un ordinateur et un logiciel prochainement disponible sur le site www.solarscope.org.

EXPLOITATION



RESULTATS

Tracé de l'orbite terrestre.
Ellipticité

SOLARSCOPE		Niveau
TP 6	L'EQUATION DU TEMPS	Collège et Lycée

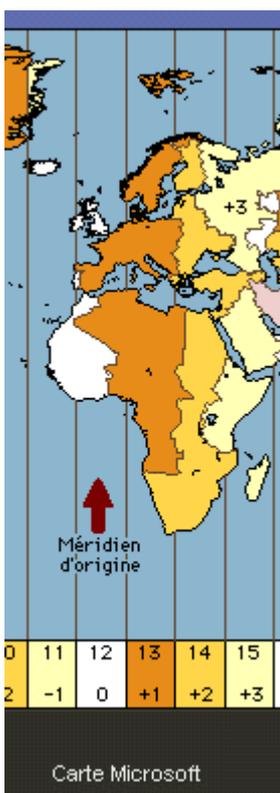
- MATERIEL

Un solarscope (utilisation en intérieur, derrière une vitre)
 Un écran quadrillé (optionnel)
 Une montre indiquant les heures, minutes, secondes.

-1- PRINCIPE

Il est midi solaire lorsque le soleil est au point culminant de sa trajectoire diurne apparente : C'est le « midi solaire vrai ». Si on regarde à cet instant l'heure légale, c'est-à-dire celle de notre montre, il n'y a pas coïncidence. Plus généralement, à tout instant de la journée, ces grandeurs diffèrent et vérifient l'équation :

HEURE LEGALE = HEURE SOLAIRE + CORRECTION LONGITUDE + CORRECTION FUSEAU HORAIRE + CORRECTION « EQUATION DU TEMPS »



La correction de la longitude est à effectuer par rapport au méridien 0 ou méridien de Greenwich. Sachant que 360° (1 rotation complète de la Terre) correspondent à 24 heures, on effectue la correction en longitude par proportionnalité entre les angles et les temps.

Attention : Pour les villes situées à l'ouest du méridien de Greenwich il faut ajouter la correction de temps, tandis que pour celles de l'est il faut la retrancher.

Exemple : longitude de Hyères $6^\circ 07' 46''$ à l'est $\leftrightarrow 6,1294^\circ$ à l'est

Correction = $- 24 \times 3600 \times 6,1294^\circ / 360^\circ = - 1471 \text{ s} = - 24 \text{ min } 31 \text{ s}$

N.B : La longitude et latitude des villes françaises sont disponibles sur le site Internet de l'IGN.

La correction de fuseau horaire correspond au fait que la France est à l'heure de l'Europe centrale et non à celle de Greenwich. A cette correction de fuseau horaire de +1 heure, il faut également ajouter le décalage d'une heure supplémentaire durant l'été. La correction est donc de +1 heure l'hiver et de +2 heures l'été.

La correction « équation du temps » peut atteindre + ou - 16 minutes et varie au cours de l'année. Les causes de ce décalage sont d'une part l'ellipticité de l'orbite terrestre, et d'autre part l'inclinaison de l'axe des pôles de la Terre, responsable de la succession des saisons. En première approximation, cette « équation du temps » peut se modéliser comme la somme de deux fonctions sinusoïdales : Une fonction sinusoïdale de période annuelle, s'annulant au moment où la Terre passe à son périhélie (point de l'orbite terrestre le plus proche du soleil), le 4 janvier environ, et d'amplitude liée à l'excentricité de l'orbite terrestre ; une autre fonction sinusoïdale de période semi annuelle, s'annulant aux équinoxes, et d'amplitude liée à l'inclinaison de l'axe des pôles.

De ce fait, des mesures répétées au cours de l'année (environ 3 par mois) de l'instant de passage du Soleil à sa hauteur maximale donc du midi solaire vrai, donnent un échantillonnage suffisant de l'« équation du temps » pour éventuellement remonter (suivant le niveau scolaire des élèves) à la valeur de l'excentricité de l'orbite terrestre.

- 2 – MISE EN ŒUVRE

Détermination du midi solaire à l'aide du solarscope :

Matériel :

le solarscope

Une montre indiquant les heures, minutes et secondes

La manipulation peut se faire à l'intérieur d'une salle de classe, derrière une vitre, ce qui affranchit des perturbations dues au vent.

On mesure l'heure précise de passage du soleil à une hauteur donnée, en traçant un repère horizontal sur l'écran, lors de sa phase ascendante (avant le midi solaire) et à cette même hauteur lors de sa phase descendante (après le midi solaire). La moyenne des deux instants donne le midi solaire vrai.

On peut améliorer la mesure en procédant de même pour différentes hauteurs de visée, et en prenant la moyenne des résultats obtenus.

Cette manipulation est détaillée par le TP 2 du manuel « écoles primaires » : Détermination du midi solaire.

Quelques remarques concernant cette manipulation :

La trajectoire observée sur l'écran nous renseigne sur l'avant ou l'après « midi solaire ». L'image du soleil que nous observons est une image « inversée », car le solarscope est un petit télescope, soit l'association d'une lentille convergente et d'un miroir sphérique. Si l'image du soleil se déplace sur l'écran de droite à gauche et de haut en bas, c'est que le soleil se déplace en réalité d'est en ouest (normal !) et de bas en haut : il est dans sa phase ascendante. Si l'image du soleil se déplace sur l'écran toujours de droite à gauche mais de bas en haut, c'est que le soleil se déplace toujours d'est en ouest mais de haut en bas : il est dans sa phase descendante. Théoriquement au midi solaire, l'image du soleil se déplace sur l'écran de droite à gauche horizontalement. Mais la détermination de cet instant est trop imprécise.

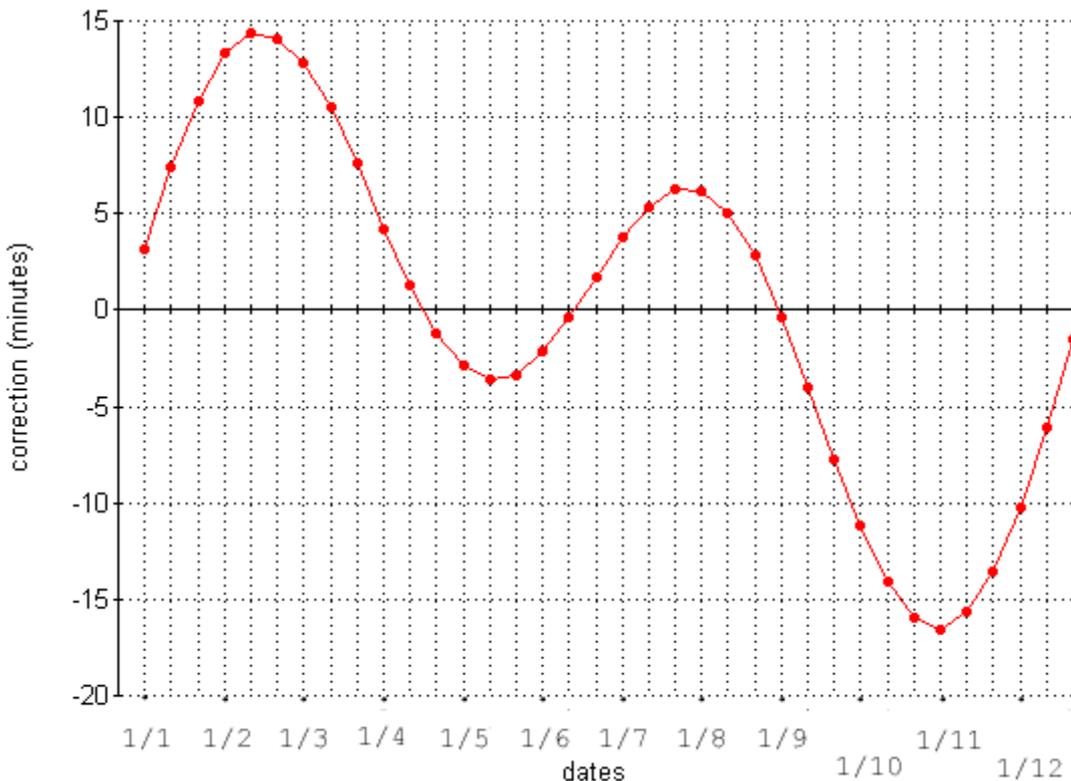
-3- RESULTATS

Pour les élèves des collèges, il est intéressant de travailler sur le protocole d'observation afin d'obtenir une bonne reproductivité des mesures suivant différents manipulateurs. A l'issue de relevés de mesures tout au long de l'année, les élèves peuvent tracer la courbe de « l'équation du temps » et la comparer avec une courbe expérimentale donnée ci-dessous. Faire l'analogie avec les courbes se trouvant tracées sur les cadrans solaires de certaines villes.

Pour approfondir, les élèves des lycées peuvent interpréter cette équation du temps et par une méthode de réduction simple (qui peut être manuelle), évaluer l'excentricité E de l'orbite terrestre ($E = 0.0167$).

Le mode de réduction le plus synthétique (mais aussi le plus abstrait) passe par une analyse de Fourier, réalisable grâce aux logiciels de calcul formel disponibles dans les lycées. Cette approche est bien sûr réservée aux élèves des classes préparatoires, seuls susceptibles d'utiliser un tel outillage conceptuel.

Equation du temps



LIGHT TEC Optical Instruments
Espace Alexandra
359 rue St Joseph
83400 Hyères
FRANCE

Tel: +33 (0) 4 94 12 18 48 - Fax : +33 (0) 4 94 12 18 49

www.solarscope.com