

# Maquette Tournesol

## *Soleil, Terre et rotations*

Maquette pour comprendre  
PhM Observatoire de Lyon

L'observation du Soleil avec quelques précautions est une pratique courante qui a beaucoup d'intérêt par la découverte et le suivi d'un objet essentiellement changeant sur sa surface.

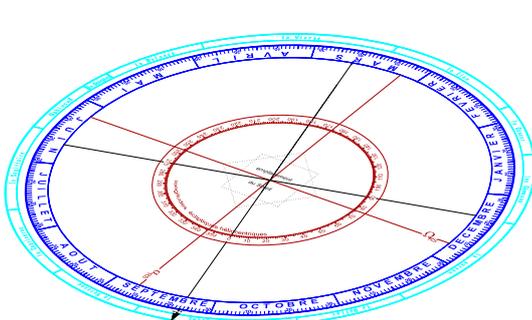
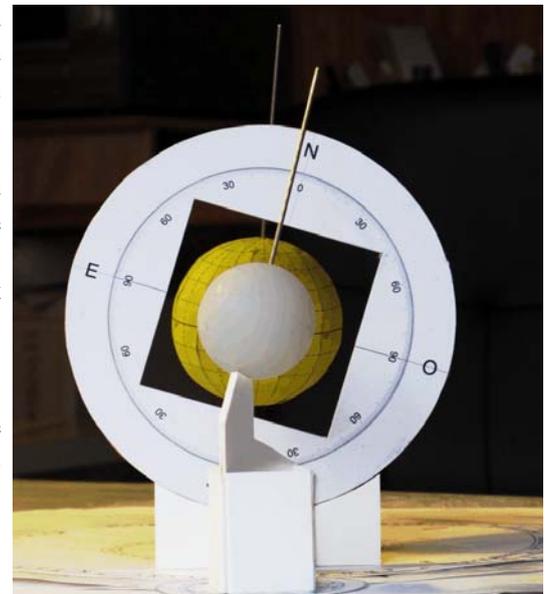
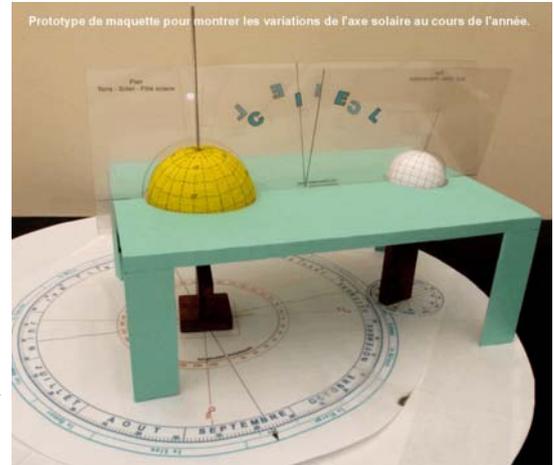
En faire des images est facile avec les instruments actuels disponibles. Par exemple un bon appareil numérique avec un zoom conséquent ( $> \times 10$ ) permet de détecter les plus grandes taches quand elles sont là.

Relier diverses images échelonnées dans le temps entre elles pose problème, car il faut que lors de la prise des images, on ait bien positionné son appareil pour savoir où est le nord de l'image (sans repère équatorial Est-Ouest / Nord-Sud, rien n'est faisable si ce n'est de la photo artistique ou bien se relier approximativement à d'autres images du même moment bien orientées).

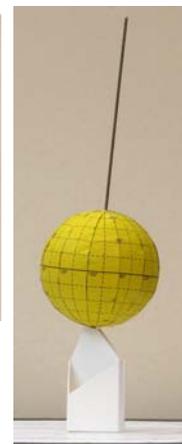
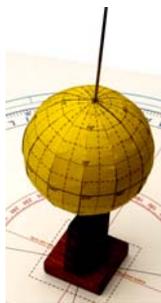
Lorsque toutes nos images sont recalées NSEO, on s'aperçoit que le Soleil ne se présente pas sous le même aspect tout au long de l'année à cause de la variation apparente de l'inclinaison de son axe de rotation par rapport à notre axe polaire.

Que se passe-t-il et comment visualiser les variations ? Avec une maquette qui aura comme base un calendrier circulaire et comme éléments

- une maquette Soleil avec ses coordonnées longitude et latitude
- une maquette Terre
- un plan de l'écliptique où évolue les deux astres
- un cadre rotatif réglable suivant l'époque et la position de l'observateur permet de visualiser le Soleil en observation avec un instrument équatorial <sup>1</sup>



Plan écliptique - calendrier



<sup>1</sup> Instrument équatorial : instrument dont l'un des deux axes de rotation est parallèle à l'axe de rotation de la Terre permettant ainsi de compenser la rotation de la Terre en agissant que sur ce seul axe de positionnement. Ceci permet d'obtenir une observation facilement orientée Nord-Sud et Est-Ouest.

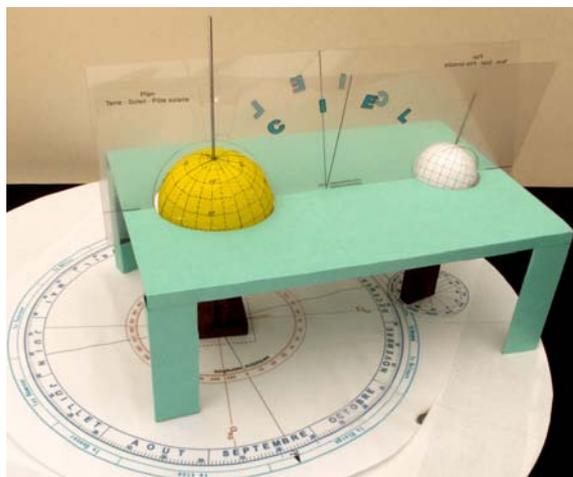
## Description de la maquette Tournesol

Le Soleil placé au centre du plan **calendrier-longitudes éclipse** est positionné avec la bonne inclinaison et bonne direction de son axe de rotation.

Une maquette Terre **dont le centre est à la même hauteur que le centre du Soleil** gravite autour de celui-ci à la périphérie du calendrier circulaire. La Terre a aussi sa propre inclinaison (inclinaison du plan équatorial sur l'écliptique soit  $23^{\circ}45'$ ).

Pour une date choisie la Terre est placée au repère de la date et bien orientée pour respecter la direction du point  $\gamma$ . Pour le faire proprement, la Terre est posée sur un petit calendrier circulaire, et l'on doit mettre les mêmes dates des deux calendriers en coïncidence, les deux cercles étant tangent extérieurement.

Pour matérialiser le plan de l'écliptique et les plans qui relient les axes de rotations et l'écliptique, on y adjoint une *table écliptique* qui comporte sous forme de transparents deux demis-plans mobiles passant par l'axe Soleil Terre (voir figure)



### Utilisation

#### Placement du Soleil

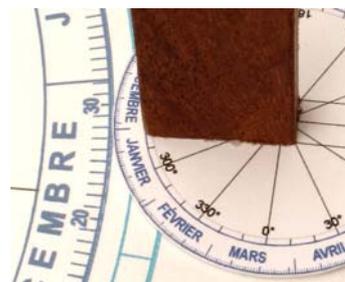
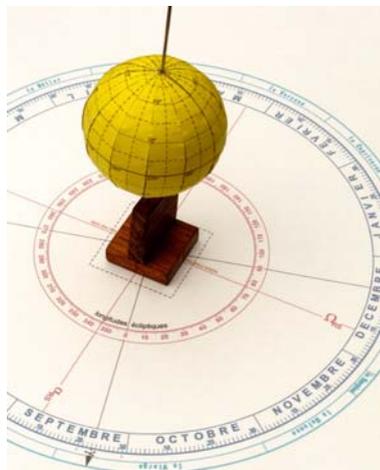
Connaissant la *longitude écliptique* du pôle Nord de l'axe de rotation du Soleil ( $345.76^{\circ}$ ) ou la *longitude du noeud ascendant*<sup>2</sup> de l'écliptique solaire ( $75.76^{\circ}$ <sup>3</sup>), on place le Soleil qui ne sera désormais affecté que par la rotation sur lui-même.

#### Placement de la Terre

La position de la Terre est fonction de la date d'observation.

Choisir une date. Le cercle calendrier du socle Terre est tangent au cercle calendrier à la date choisie.

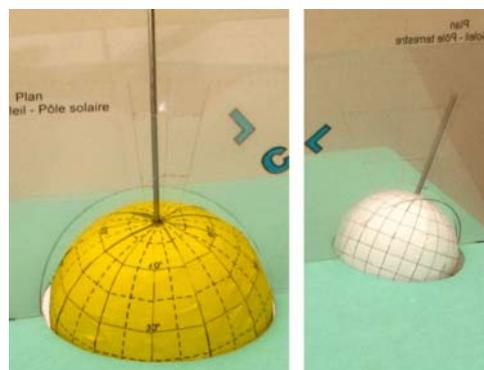
De plus on tourne le socle de la Terre de façon que les dates des deux calendriers coïncident. Ceci permet de donner à la Terre une orientation constante lors de sa rotation autour du Soleil.



### Table écliptique et plans des axes de rotation

On peut alors installer la table écliptique mobile pour matérialiser le vrai plan écliptique et l'axe qui relie les centres Soleil et Terre.

Le dièdre articulé dont l'arête est la ligne Soleil-Terre et matérialisant les demis-plans passant l'un par l'axe de rotation de la terre et l'autre par l'axe de rotation du Soleil peut être posé. Il faut insérer les axes de rotation dans les fentes prévues à cet effet dans chacun des plans. Les inserts sous le dièdre permettent de le placer correctement sur la table écliptique tout en le laissant mobile autour de son axe.



<sup>2</sup> Les longitudes du pôle de l'axe de rotation du Soleil et la longitude du noeud ascendant de l'équateur solaire ne sont pas fixes. Elles sont affectées par la précession qui déplace le point vernal. L'expression plus précise de ces longitudes est :

$$l = l_{2000} + 0.01397 \cdot T \quad (\text{en années depuis J2000}).$$

<sup>3</sup> Ces deux directions de longitude sont orthogonales par construction.

## Cadre d'observation et orientation

Pour concrétiser la vision du Soleil vu de la Terre, on place devant le Soleil, aligné avec la terre un écran rotatif qui sera comme l'observateur sur sa lunette de visée orientée Nord-Sud, Est-Ouest. L'orientation de l'axe polaire du Soleil apparaît immédiatement avec son inclinaison. Ce cadre avec un cercle gradué tourne sur lui-même permettant l'alignement sur l'axe polaire de la terre.



## Simulations et observations

Les images du Soleil pour être exploitées demandent à être réorientées afin que le pôle nord de l'axe de rotation du Soleil soit bien identifié pour appliquer sur l'image solaire une grille de méridiens et parallèles en projection stéréographique et donnant les longitudes et latitudes des points de la surface solaire.

Avec la rotation de la Terre autour du Soleil, que se passe-t-il entre la Terre et le Soleil ? Comment varie l'orientation du Soleil ? Comment la visualiser ? Comment observer l'angle des axes et le mesurer, etc ?

Pour simuler à une date d'observation la position du Soleil, on place la Terre dans le bon sens sur le calendrier. En regardant bien alignés le Soleil derrière la Terre, les deux axes de rotations forment un angle ( $P$ ). Evaluer l'angle et répéter la visée en se décalant d'un mois à chaque fois.

Rechercher les dates où :

- les deux axes semblent confondus ( $P = 0$ )
- l'angle fait par les deux axes maximum

Comparer avec les éphémérides de l'IMCCE <sup>1</sup> à la Table *Soleil* dans le chapitre *Ephémérides pour les observations physiques*.

## Appareillage pour faire des photos.

L'appareil photo permet de fixer les simulations et de faire des mesures d'angle aisément.

Pour cela, il faut se mettre sur un plan suffisamment grand pour que l'appareil ne soit pas trop près. Il faut aussi pouvoir faire tourner l'ensemble de la maquette pour amener la date en direction de l'appareil. Impérativement il faut que l'appareil et son objectif soit à la même hauteur que les centres des deux sphères. Sinon, la visibilité des pôles du Soleil est faussée.



## Utilisation du cadre rotatif

Pour une observation à une date choisie, mettre la Terre dans la bonne position et orientation.

Mettre près du Soleil, aligné sur l'axe Terre Soleil, le cadre rotatif. En regardant avec du recul le Soleil aligné derrière la Terre, le Soleil doit paraître au centre du cadre.

Tourner le cercle de façon que le bord du cadre soit vu avec le recul parallèle au bord du cadre.

Le cadre représente la vision d'un observateur terrestre observant le Soleil avec un instrument équatorial. Le Nord est en haut de son image, l'Est à gauche (ou si l'image donnée par l'instrument inversée, le Nord en bas et l'Est à droite)

L'angle que fait l'axe de rotation du Soleil lisible sur la graduation est l'angle  $P$  dont il faudra faire la correction pour amener son image orientée vers le pôle du Soleil.

## Utilisation de la table écliptique

<sup>1</sup> Les éphémérides se trouvent <http://solaire.obspm.fr/pages/ephemerides/ephem.html>

# Construction

## Éléments et plans

La construction de la maquette peut être faite à la grandeur de son choix. Il n'y a rien d'imposé sur les dimensions du Soleil et de la Terre, de la dimensions du calendrier éclipseptique.

Seules les contraintes de matériaux et de commodité de maniement sont à considérer.

Les objets présentés et proposés utilisent des éléments et matériaux courants : feuilles A3 pour le support, balle de tennis ou balle de ping-pong, ou balle de polystyrène, bois de récupération pour les support (épaisseur 9 ou 10 mm), carton de dessous de tablette de chocolat, etc. Ceci signifie que pour ajuster avec précision les divers éléments, entre autre les hauteurs des différentes sphères, il faut reprendre les cotes des plans en fonction de ses matériaux.

- le calendrier tient sur une feuille A3, feuille que l'on peut plastifier pour la rigidifier ou le coller sur un carton. Si vous employez le fichier à imprimer téléchargeable, vous aurez une base de construction : diamètre du calendrier (240 mm) qui impose la distance Soleil Terre de la *table éclipseptique*.

- la sphère Soleil ne doit pas être trop grande, mais suffisamment pour bien voir le réseau des méridiens et parallèles (si on les trace). Le diamètre d'une balle de tennis semble convenable (64 mm). La Terre doit être plus petite, mais quand même visible, au plus le diamètre d'une balle de ping-pong (40 mm).

- le petit calendrier circulaire sous le socle de la Terre doit avoir un diamètre suffisamment grand pour être lisible. Il fait socle et assure la stabilité de la Terre. Celui proposé a un diamètre de 56 mm. L'imprimer sur transparent est plus pratique, car on peut le faire plus large tout en gardant le même diamètre du calendrier, pour assurer la stabilité et voir le grand calendrier en dessous.

- les axes de rotation doivent être assez longs et fins pour bien marquer les directions des axes. Parmi les essais, le plus approprié semble la baguette de soudure inox de 1.7 mm de diamètre, mais d'autres matériaux sont tout aussi bien. L'axe doit être assez fin et rigide. L'inclinaison voulue ( $7.25^\circ$  pour le Soleil et  $23.45^\circ$  pour la Terre) peuvent être obtenue de trois façons :

1) en pliant l'axe de l'angle voulu à l'aide d'un gabarit pour ajuster, mais il faut qu'il soit bien assujéti au socle pour ne pas tourner dans son trou

2) en faisant un trou incliné dans le support en l'inclinant sous la perceuse à colonne à l'aide d'une cale dont on a calculé la hauteur en fonction de la largeur du morceau de bois <sup>1</sup>

3) en faisant un trou perpendiculairement à la surface et en retaillant le support en biais pour donner la bonne inclinaison.

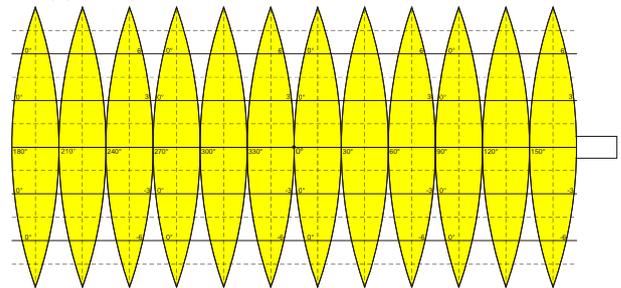
Dans ces conditions les deux ouvertures de la table éclipseptique sont fixées. La distance entre les centres est de  $240/2+56/2 = 148$  mm, et les trous ont pour diamètre  $64+2 = 66$  et  $40+2 = 42$  mm.

- le réseau de coordonnées du Soleil.

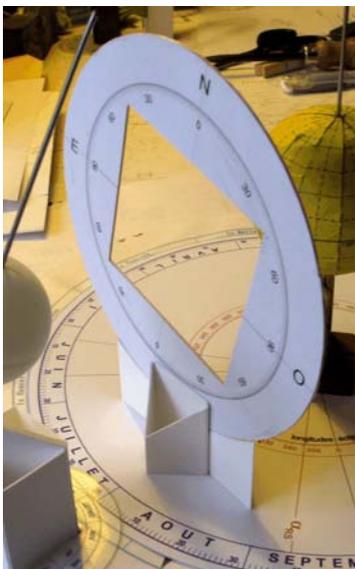
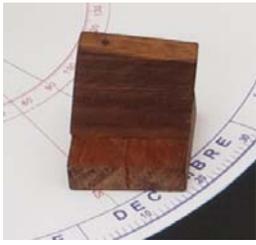
Il doit être ajusté à la circonférence de la sphère Soleil à mieux que le mm (Voir en annexe sur la pose des coordonnées, l'astuce à partir d'un fichier PDF pour imprimer avec une échelle plus petite que 1 et arriver à la bonne dimension)

Remarque - les supports du Soleil et de la Terre. Les plans et fichiers imprimables fournis sont faits pour les diamètres

des sphères utilisées, car il faut que les centres des sphères soient situés à la verticale des milieux des bases des socles. Ceci implique de bien mettre les centres des sphères à 9 cm de hauteur.



<sup>1</sup> Pour caler les pièces sous le bon angle, il est pratique de se faire des petits gabarits en carton épais, le tracé des angles se faisant au rapporteur ou, plus précis, avec les calcul des tangentes des angles d'inclinaison voulus.



## Matériels

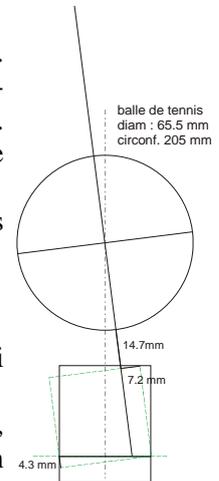
### Découpage et montage

L'usage du cutter quoiqu'il pose des problèmes en milieu scolaire est recommandé et nécessaire pour certains découpages de cartons (quand il y a plusieurs épaisseurs superposées).

Le carton le plus souvent employé fait 6/10<sup>èmes</sup> d'épaisseurs. Il permet un pliage propre après avoir marqué les traits de pliage. Pour les gourmands, certaines tablettes de chocolat fournissent un excellent carton de cette épaisseur.

Suivant vos préférences, les socles fabriqués et proposés peuvent utiliser le bois ou le carton. Le carton a l'avantage de permettre une construction complète avec l'utilisation des multi-épaisseurs pour tenir les axes, sans outillage nécessaire avec le bois : scie à ruban, perceuse... Le calcul des dimensions pour le pliage et collage peut être un exercice d'algèbre et de géométrie.

Le collage se fait soit à la colle en tube (type Scotch), soit cyanoacrylate (attention les doigts), ou colle vinylique suivant les pièces : surfaces ou arêtes à coller.



### Plan de l'écliptique

Aucun problème particulier de fabrication. L'imprimer sur un traceur ou imprimante qui admettent le format A3 ou plus grand.

Pour la commodité de l'utilisation, il est conseillé de le découper suivant le cercle extérieur, le plastifier ou non et de le coller sur un plus grand support circulaire. La manipulation demande souvent de tourner autour de la maquette ou de la faire tourner pour voir les différents aspects suivant le jour de l'année choisi.

### Les supports Soleil et Terre

- modèles en bois.

L'épaisseur du bois utilisé est de 9 mm. Si l'épaisseur est un peu différente, adapter la hauteur de la pièce verticale pour compenser la variation d'épaisseur.

Pour donner au trou la bonne inclinaison, on le fait sur une perceuse colonne, perpendiculairement au côté avant de couper la partie en biais.

-

- modèles en carton

Ils sont construits par la superposition de 4 épaisseurs contrecollées de carton dont les deux centrales comporteront un évidement à la bonne inclinaison de l'axe pour recevoir le bas de l'axe de rotation, et les deux épaisseurs extérieures auront leurs côtés rabattus et collés faisant la base du socle et assurant la stabilité du support.

Pour la Terre, suivant la nature du calendrier circulaire (carton épais ou transparent) collé dessous, il faudra tenir compte de son épaisseur pour que la sphère soit bien à 9 cm de hauteur.

Il est possible de visualiser le plan de l'équateur en ajoutant sur le support Terre.

### Cadre d'observation

Il se compose du cadre avec sa fenêtre carrée inscrite dans un cercle comportant une graduation circulaire et les indications des quatre directions NSEO et d'un support permettant de le faire tourner sur son centre.

Le cadre est à imprimer sur papier ou bristol, à contre coller sur du carton de 6/10<sup>ème</sup> d'épaisseur (carton de pâtisserie) pour rigidifier et à découper proprement.

Le support comporte trois parties dont celle du milieu, collée entre les deux pieds possède une découpe en arc concave sur laquelle repose le cadre circulaire, permettant de le faire tourner sur son centre.

Le cadre doit avoir son centre à la même hauteur que les sphères Soleil et Terre (ici 9 cm).

### Collage du réseau de coordonnées sur une sphère

Particulièrement pour le Soleil, un réseau de longitudes et latitudes sert à mieux préciser les angles de positionnement.

Ce réseau composé de 12 fuseaux côte à côte peut être dessiné ou imprimé sur papier. Le carton ne convient pas

à cause du collage difficile avec la courbure à donner.

L'échelle du graphique à découper doit être très bien ajustée à la circonférence de la sphère .

Découper soigneusement les fuseaux du réseau de coordonnées.

Mettre approximativement la bande autour de la sphère à la hauteur d'un grand cercle et coller la languette seulement sur elle-même en serrant bien sur la sphère.

Ajuster le milieu de la bande sur un diamètre de la sphère en vérifiant qu'en rabattant les pointes vers les deux pôles, ces pointes se rejoignent juste au pôle. Les sommets des fuseaux doivent se rejoindre juste aux pôles, et il ne doit pas laisser d'espace libre ou se recouvrir aux pôles.

Sinon, faire glisser la sphère dans le cylindre des fuseaux, d'un côté ou de l'autre pour ajuster le placement.

L'ajustement fait, on enduit de colle successivement un côté, puis l'autre, la sphère et on rabat les fuseaux en les plaquant avec précision en remontant vers les pôles. Essuyer les surplus de colle.

Les deux pôles du réseau bien ajusté donnent les endroits où percer pour passer l'axe polaire de la sphère.

### **Pôles d'une sphère et perçage**

Il n'est pas toujours facile de percer une sphère en deux points opposés d'un diamètre si l'on n'est pas outillé (tour de mécanicien assez grand).

Voici la méthode de la bande de papier.

- Mesurer avec précision le diamètre de la sphère. Calculer son demi-périmètre ( $\pi R$  ou  $\pi D/2$ ).
- Faire un premier petit trou avec une épingle(ou un foret) à l'un des pôles choisis.
- Prendre une bande de papier ou de bristol un peu plus longue que le demi-diamètre. Faire un trou à une extrémité (5 mm du bord). Faire un trou à l'autre extrémité à la distance de ce demi-diamètre.
- Fixer avec une épingle la bande par l'un de ses trous au pôle déjà percé.

Avec la pointe d'un crayon mis juste dans le deuxième trou de la bande tracer sur la sphère en tendant la bande l'arc de cercle vers l'autre pôle. Tourner la bande autour de l'épingle de  $90^\circ$  et recommencer le tracé. L'intersection des deux arcs, si tout cela est fait avec précision, donne le deuxième pôle. Vérifier la position du pôle, en tournant encore la bande de  $90^\circ$

Un repère tracé au milieu du segment donné par les deux trous donne la position de l'équateur ; il peut être marqué en faisant un trou à cet endroit dans la bande et avec la pointe du crayon dans le trou, tracer l'équateur en faisant tourner la bande autour des deux pôles.

Cette méthode s'applique très bien sur des balles de ping-pong (diamètre 40 mm).

## Utilisation

Le maniement de la maquette est assez simple, mais pour bien observer les alignements, angles, et retrouver les valeurs des éphémérides, il convient de placer soigneusement les diverses parties bien correctement : orientation de l'axe du Soleil, positionnement de la Terre en fonction du jour, centrage et alignements des diverses parties.

### Placement du Soleil

Placement de la Terre

placement du plan équatorial

Retour sur les saisons

Visualisation rapide de l'angle polaire et variation

Visualisation du dièdre

Variations de l'angle du dièdre

Observation par le cadre géocentrique

Observations et traitement avec appareil photo

## Annexe I

Observation du Soleil - grille de positionnement  
Utilisation des Ephémérides en ligne de l'IMCCE

[http://www.imcce.fr/fr/ephemerides/formulaire/form\\_ephephys.php](http://www.imcce.fr/fr/ephemerides/formulaire/form_ephephys.php)

### ÉPHÉMÉRIDES PHYSIQUES : CONSTANTES ET DÉFINITIONS

Les définitions relatives aux calculs d'éphémérides pour l'observation physique des corps du système solaire sont détaillées dans les documents (postscript) suivants :

Définitions relatives aux éphémérides pour l'observation physique des corps du système solaire, J. Berthier, Note scientifique et technique du Bureau des longitudes, S061, 1998 (1.3 Mbytes)

Chapître X de Introduction aux éphémérides astronomiques, supplément explicatif à la Connaissance des temps, Bureau des longitudes, Les Editions de Physique, 1997 (362 Ko)

Les données astrométriques et les paramètres pour l'observation physiques des planètes, des satellites naturels et des astéroïdes peuvent aussi être consultées sur le serveur de base de données astronomiques de l'Institut de mécanique céleste.

On trouvera ci-dessous les valeurs recommandées par l'Union Astronomique Internationale pour la direction du pôle nord de rotation et pour le méridien origine des planètes, de la Lune, du Soleil et des deux astéroïdes Ida et Gaspra. Ces valeurs sont celles publiées par Seidelmann et al., 2002, Report of the IAU/IAG Working Group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites: 2000 (Celestial Mech., 82, 83-111, 2002). On trouvera aussi les valeurs de ces paramètres pour les astéroïdes (1) Cères (a), (2) Pallas (b) et (4) Vesta (a) ainsi que pour la comète P/Wirtanen (c). Pour les autres astéroïdes, on se reportera à l'entête des résultats.

(a) J.D. Drummond, R.Q. Fugate, J.C. Christou, 1998, Icarus, 132, 80-99, 1998

(b) J.D. Drummond, W.J. Cocke, 1989, Icarus, 78, 323-329, 1989

(c) calculées par l'Institut de mécanique céleste, 1997

Paramètres de rotation:

RA0, De0

Coordonnées équatoriales pour l'équinoxe J2000 à l'époque J2000. Les coordonnées approchées du pôle nord du plan invariant sont: RA0 = 273.85°, De0 = 66.99°

W Position du méridien origine, compté le long de l'équateur de la planète

T Durée écoulée depuis l'époque origine exprimé en siècles juliens de 36525 jours

d Durée écoulée depuis l'époque origine exprimé en jours.

L'époque origine est le 1er janvier 2000 à 12h, soit la date julienne 2451545.0 TDB. L'unité est le degré et la fraction décimale de degrés.