

Utilisation des nouvelles éphémérides de l'IMCCE

Pierre Causeret, Esbarres, pierre.causeret@wanadoo.fr

Il y a quelques années, le site de l'IMCCE était piraté. Cela a pris un peu de temps, mais un nouveau site est né, très facile à utiliser même par nos élèves. Voici quelques exemples d'utilisation des éphémérides de ce nouveau portail de l'IMCCE (Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides).

Si vous tapez ssp.imcce.fr dans la ligne d'adresse de votre navigateur préféré, vous devriez arriver à cette page d'accueil :



Fig.1. Page d'accueil du site <https://ssp.imcce.fr/forms>

Trois choix vous sont proposés :

1. Visibilité des astres

« Ce formulaire permet de calculer les instants de lever, de passage au méridien et de coucher du Soleil, de la Lune et des planètes, pour un lieu géographique donné et pour une date ou une période de temps (limitée à 730 jours) comprise entre le 1^{er} janvier 1951 et le 31 décembre 2024 ».

Le lieu géographique peut-être simplement un nom de ville (à partir du code postal par exemple), éventuellement une adresse plus précise ou des coordonnées géographiques.

Il est d'ailleurs possible de demander la précision de la seconde de temps.

2. Observation des planètes

« Ce formulaire permet de calculer les éphémérides utiles à l'observation du Soleil, de la Lune, des planètes, de leurs satellites, des astéroïdes et des comètes depuis la Terre. »

Pour un lieu donné, une date et une heure données (ou plusieurs, jusqu'à 10 000), et pour l'astre choisi, on obtient une multitude de renseignements : coordonnées équatoriales topocentriques, angle horaire, azimut et hauteur, distance à l'observateur, magnitude visuelle, élongation solaire, phase...

3. Éphémérides de position

« Ce formulaire permet de calculer les éphémérides de position du Soleil, de la Lune, des planètes, de

leurs satellites, des astéroïdes et des comètes pour un système de coordonnées et une époque donnés ».

On peut choisir le centre du repère (Soleil, Terre, observateur...), le plan de référence (équateur, écliptique), le type de coordonnées (sphériques ou cartésiennes)¹... On obtient les coordonnées demandées, la magnitude, la phase, l'élongation...

Quelques remarques :

- pour le choix de l'astre, pas de problème pour le Soleil, la Lune ou les planètes. Pour les comètes ou les astéroïdes, il faut noter le nom international (par exemple Ceres pour Cérés, Europa pour Europe) dans la fenêtre « Planètes naines, satellites, astéroïdes et comètes ». Si vous tapez Halley, vous aurez le choix entre Halley (Asteroid) et 1P, P/halley (Comet) ;
- si vous voulez revenir à la page d'accueil de la figure 1, cliquez sur le logo de l'IMCCE en haut ;
- tous les résultats sont exportables pour pouvoir être exploités ensuite, avec un tableur par exemple, en format xml, csv ou txt. Dans la suite, nous avons privilégié le format csv ;
- lors de l'export en csv ou txt, on peut demander à ce que les angles (ascension droite, déclinaison, longitude et latitude écliptiques...) soient sous forme décimale. Cela facilite les calculs pour la suite. Voici quelques exemples d'utilisation de ces éphémérides.

Étudier la durée de la journée au cours de l'année

On voudrait étudier les variations de la durée de la journée tout au long de l'année, pour un lieu donné, son école par exemple.

La première étape consiste à récolter les données, les heures de lever et de coucher du Soleil pour une année (voir le premier encadré page suivante).

¹ Pour ces différents repères, on pourra se reporter à l'article Repérage, notions de base, dans le numéro 155 des Cahiers Clairaut.

Récolte des données

1. Aller sur <https://ssp.imcce.fr>
 2. Choisir Visibilité des astres.
 3. Dans la barre d'adresse, entrer le nom de la commune ou le code postal ou une adresse complète.
 4. Pour choisir les dates, cliquer sur ∇ à droite de *Époque* et rentrer la première date au format AAAA-MM-JJ, par exemple 2019-12-21 pour le 21 décembre 2019. Indiquer ensuite le nombre de dates.
 5. Cliquer sur ∇ à droite de *Corps du Système solaire* et cocher Soleil (décocher les autres).
 6. Cliquer sur *Calculer*.
- On obtient alors les heures de lever, de passage au méridien et de coucher du Soleil pour les dates choisies.
7. On peut cliquer sur Az_1 pour que l'azimut soit compté à partir du sud comme les astronomes traditionnellement et non du nord comme les géographes. Si on clique sur $.00$, on aura la précision de la seconde au lieu de la minute.
 8. On enregistre les données en cliquant sur \downarrow . Choisir le format csv par exemple. Choisir sexagésimal pour garder le format h : min (ou décimal pour avoir des heures décimales). Enregistrer le fichier. Choisir le répertoire et le nom du fichier. On peut ensuite fermer la page du site de l'IMCCE.

Visibilité des astres						
Date (UTC)	Lever		Méridien		Coucher	
	heure	azimut	heure	hauteur	heure	azimut
Soleil						
2020-01-01	7:27	124°18'	11:42	19°53'	15:58	235°45'
2020-01-02	7:27	124°09'	11:43	19°58'	15:59	235°54'
2020-01-03	7:27	124°01'	11:43	20°03'	16:00	236°03'

Fig.2. Les résultats affichés par le site de l'IMCCE.

Dans une deuxième étape, on utilise un tableur. On pourra limiter les données si on fait le traitement à la main. On ne gardera par exemple que le 1^{er} de chaque mois. Pour un traitement informatique, on pourra garder les 365 (ou 366) dates de l'année (voir l'encadré ci-dessous).

Mise en forme des données

1. Ouvrir le fichier avec son tableur préféré. Bien choisir le point-virgule comme séparateur.
2. Supprimer les colonnes inutiles pour ne garder que la date, les heures de lever et de coucher du Soleil.
3. Supprimer éventuellement les lignes inutiles. On peut ne garder par exemple que le 1^{er} de chaque mois ; ceux qui voudraient le faire vite peuvent ajouter une colonne ne gardant que les deux caractères de droite de la date (le jour du mois), classer les lignes en fonction de ce jour et ne garder que les 01.

	A	B	C	D
1	Corps	Date (UTC)	Instant du lever (heure)	Instant du coucher (heure)
2	Soleil	2020-01-01	7:27	15:58
3	Soleil	2020-02-01	7:07	16:39
4	Soleil	2020-03-01	6:20	17:24
5	Soleil	2020-04-01	5:19	18:08
6	Soleil	2020-05-01	4:24	18:49
7	Soleil	2020-06-01	3:49	19:26

Fig.3. Début du fichier ouvert et traité avec le tableur de LibreOffice.

La dernière étape consiste à traiter les données, en réalisant un graphique par exemple.

Pour des élèves d'école primaire, différentes représentations sont proposées dans le hors-série *Astronomie à l'école* (p. 73). On peut par exemple placer les heures de lever et de coucher du Soleil sur un graphique pré imprimé sans aucun calcul (figure 4). On peut ensuite chercher à quelles dates la journée est la plus longue, la plus courte, égale à 12 h.

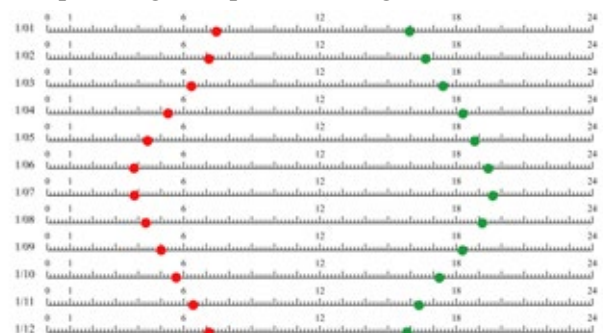


Fig.4. Représentation des heures de lever et de coucher du Soleil à Esbarres le 1^{er} de chaque mois.

En collège, on pourra demander à calculer la durée de la journée et la représenter sur un graphique.

Si on choisit un traitement informatique, on peut conserver tous les jours de l'année, faire calculer à l'ordinateur la longueur de la journée et lui faire tracer le graphique.

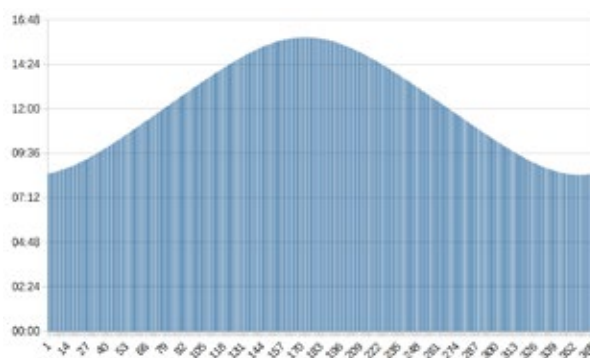


Fig.5. Durée de la journée pour chaque jour de l'année. Graphique réalisé avec un tableur.

Trouver le sud

Quand on veut installer un cadran solaire, il faut connaître avec précision la direction du sud. Les éphémérides de l'IMCCE sont très pratiques pour

cela. On cherche l'heure précise de passage du Soleil au méridien un jour donné pour le lieu désiré. Ce jour-là et à l'heure donnée par l'IMCCE à la seconde près, l'ombre d'un fil à plomb sur un sol horizontal indique la direction nord-sud.

Attention, l'heure est donnée en temps universel. Il reste à ajouter une heure (en heure d'hiver) ou deux heures (en heure d'été) pour avoir l'heure de sa montre

Comparer l'heure de passage de la Lune au méridien avec les horaires de marée

Autre proposition d'activité, toujours avec ce premier formulaire de l'IMCCE *Lever et coucher des astres*, mais en sélectionnant la Lune.

On ne garde comme information que l'heure de passage de la Lune au méridien et on compare avec les horaires de marée. On s'aperçoit que ce passage au méridien est suivi quelques heures plus tard par une marée haute. Ce décalage, assez variable, dépend du port. On l'appelle l'établissement du port. Le décalage est dû au temps que l'onde de marée se forme et arrive sur la côte. Il vaut environ 3 h sur la côte atlantique, 6 h à Saint-Malo, 9 h au Havre... La marée est donc en relation avec la Lune.

Il faut rappeler qu'il y a une deuxième marée haute chaque jour quelques heures après le passage de la Lune à l'antiméridien, côté nord et sous l'horizon.

Observation des planètes

Le deuxième formulaire concerne les positions des astres vus depuis un lieu donné sur Terre. Il peut servir à préparer une soirée d'observation mais les logiciels de type planétarium sont davantage utilisés. L'intérêt particulier de ces éphémérides, c'est d'une part que l'on peut facilement avoir des données pour une série d'heures ou de dates et d'autre part, qu'elles sont plus précises et plus sûres.

On peut les utiliser par exemple pour une occultation d'étoile par un astéroïde, pour simuler une éclipse de Soleil, pour retrouver des observations anciennes...

Le formulaire est là aussi très simple à compléter.

Représenter la rétrogradation de Mars

On peut la représenter vue du centre de la Terre ou vue depuis sa surface, la différence ne sera pas visible. On utilise ici le 3^e formulaire, éphémérides de position.

Dans une première étape, il s'agit de récupérer les

coordonnées de la planète chaque jour pendant 6 mois au moins, aux alentours de l'opposition. La prochaine opposition ayant lieu le 13 octobre 2020, nous allons suivre Mars du 1^{er} juillet 2020 au 31 janvier 2021.

Il faudra ensuite dessiner la trajectoire apparente de Mars devant les constellations. La méthode la plus simple consiste à utiliser les coordonnées géocentriques écliptiques de Mars et à représenter les positions de la planète en projection quadratique avec la longitude écliptique en abscisse et la latitude écliptique en ordonnée (voir CC n° 164). Si on veut représenter également quelques constellations en fond, c'est un peu plus compliqué.

Récolte des données

1. Aller sur <https://ssp.imcce.fr>
 2. Choisir Ephémérides de position.
 3. Corps du Système solaire. Choisir Mars.
 4. Époque
Date. Mettre la 1^{ère} date à 0 h : 2020-07-01T00:00:00
Échelle de temps : UTC
Nombre de dates : 215
Pas de calcul : 1 jour.
 5. Système de coordonnées
Centre du repère : géocentre
Plan de référence : écliptique
Type d'éphémérides : J2000
Coordonnées : sphériques
Options (théorie planétaire) : n'importe.
 6. Exporter sous csv.
Format des angles : décimal
Format des dates : ISO.
- Enregistrer le fichier. Choisir le répertoire et le nom du fichier.

On peut ensuite fermer la page du site de l'IMCCE.

Mise en forme et traitement des données

1. Ouvrir le fichier avec son tableur préféré. Bien choisir le point-virgule comme séparateur.
2. Supprimer les colonnes inutiles pour ne garder que date, longitude, latitude et éventuellement magnitude.
3. Éventuellement, remplacer tous les points par une virgule après avoir tout sélectionné (suivant ce qu'admet votre tableur).
4. Sélectionner les longitudes et latitudes.
5. Insérer un diagramme (type nuage de points).
6. Modifier la hauteur ou la largeur du diagramme pour avoir la même échelle en abscisse et en ordonnée.



Fig.6. La rétrogradation de Mars du 1^{er} juillet 2020 (à droite) au 31 janvier 2021 (à gauche).

Cette rétrogradation peut aussi être représentée à l'aide d'un logiciel de dessin pouvant lire des données, comme GeoGebra ou Processing.

Tracer la trajectoire d'une comète

« Début décembre, la comète 2I/Borisov est passée au plus près du Soleil, au périhélie. On a montré qu'elle devait provenir de l'extérieur du Système solaire. Peut-on représenter sa trajectoire ? À partir des coordonnées de l'IMCCE, le problème n'est pas si simple puisqu'elle n'orbite ni dans le plan de l'équateur, ni dans le plan de l'écliptique. Nous supposons néanmoins qu'elle orbite dans un plan contenant le Soleil, ce qui est proche de la réalité, les perturbations dues aux différentes planètes étant faibles à côté de l'attraction du Soleil.

Pour tracer cette trajectoire, nous allons chercher, dans le plan de son orbite, les coordonnées de la comète en coordonnées polaires : il faut donc trouver la distance au centre du repère, ρ , et l'angle avec la direction origine, θ . Le Soleil S sera l'origine du repère et la direction SP (Soleil - Périhélie) sera l'axe à partir duquel on mesure les angles. La distance au Soleil est donnée dans les éphémérides. Il manque l'angle. On peut le trouver à partir du produit scalaire de deux vecteurs.

Petit rappel mathématique :

Si on appelle C la position de la comète, S le Soleil et P le périhélie :

$$\vec{SC} \cdot \vec{SP} = SC \times SP \times \cos\theta$$

Si on appelle (X, Y, Z) les coordonnées cartésiennes de la comète dans un repère de centre S et X_p, Y_p, Z_p celles du périhélie, on a aussi :

$$\vec{SC} \cdot \vec{SP} = X \times X_p + Y \times Y_p + Z \times Z_p$$

Avec les éphémérides, on peut connaître SC, SP ainsi que les coordonnées de C et de P, on en déduit facilement θ . Les calculs sur tableur sont dans l'encadré 2.

Récolte des données

Même principe que pour la rétrogradation de Mars avec ces quelques différences :

3. Corps du Système solaire. Taper Borisov et choisir 2I, Borisov (Comet)
4. Mettre la 1^{ère} date à 0 h : 2017-01-01T00:00:00
Nombre de dates : 350
Pas de calcul : 7 jours.
5. Centre du repère : héliocentre
Coordonnées : rectangulaires

Mise en forme et traitement des données

1. Ouvrir le fichier avec le point-virgule en séparateur.
2. Supprimer les colonnes inutiles pour ne garder

que la date, px, py, pz (les coordonnées cartésiennes) et Dobs (ici la distance au Soleil) dans les colonnes A à E.

3. Éventuellement remplacer tous les points par une virgule après avoir tout sélectionné, suivant ce qu'admet votre tableur.

4. Repérer le périhélie (Dobs minimal). On le trouve à la ligne 155.

5. Calculer cos theta dans la colonne F. Pour cela, on tape, en F2 :

$$=(B2*B\$155+C2*C\$155+D2*D\$155)/E2/E\$155$$

6. Calculer theta dans la colonne G. Taper en G2 :
= ACOS(F2)

7. Calculer les coordonnées cartésiennes X et Y de la comète dans le plan de son orbite.

Dans case H2, taper "=-E2*SIN(A2)"

Dans case I2, taper "=-E2*COS(A2)"

8. Recopier les cases F2 à I2 vers le bas.

9. Quand on passe le périhélie, il faut que l'angle change de signe. Taper en G156 : = -ACOS(F2) et recopier vers le bas.

10. Sélectionner les colonnes H et I et créer un graphique type nuage de points ou XY.

11. Modifier la hauteur ou la largeur du diagramme pour avoir la même échelle en abscisse et en ordonnée.

	B	C	D	E	F	G	H	I
1	px (au)	py (au)	pz (au)	Dobs (au)	cos theta	theta	X1	Y1
2	7,32382	14,5236	14,5455	21,82075	-0,083794	1,65469	21,744	-1,82845
3	7,28518	14,4426	14,4507	21,68398	-0,083032	1,65392	21,6091	-1,80046
4	7,20653	14,3616	14,356	21,54721	-0,08226	1,65315	21,4742	-1,77247
5	7,14788	14,2805	14,2612	21,41043	-0,081478	1,65236	21,3392	-1,74448

Fig. 7. Le tableur avec les données d'origine et les quatre colonnes supplémentaires. L'unité de distance (au), est l'unité astronomique soit environ 149 600 000 km.

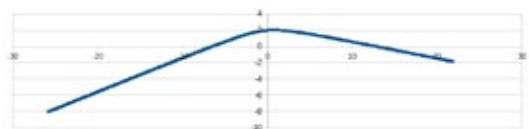


Fig. 8. Trajectoire de la comète 2I/Borissov de 2017 à 2023.

Étudier les positions des satellites de Jupiter

On veut tracer sur le mois de janvier 2020 l'évolution des quatre satellites galiléens de Jupiter.

Récolte des données

Même principe que précédemment mais à faire 5 fois puisqu'il faut récupérer les coordonnées de Jupiter ainsi que celles de Io, Europe, Ganymède et Callisto.

Pour Io, par exemple :

3. Corps du Système solaire. Taper Io.
4. Mettre la 1^{ère} date à 0 h : 2020-01-01T00:00:00
Nombre de dates : 745
Pas de calcul : 1 heure
5. Centre du repère : géocentre
Plan de référence : écliptique
Coordonnées : sphériques

Mise en forme et traitement des données

1. On ne garde dans chacun des tableurs que la longitude écliptique de Jupiter et de chacun des satellites.
2. On réunit les 5 colonnes sur une même feuille de calcul.
3. Pour chaque satellite, on calcul l'écart de longitude écliptique à Jupiter.
4. On utilise un logiciel de dessin pour traduire l'évolution de ces écarts en courbe.

Le graphique de droite donne le résultat obtenu avec le logiciel gratuit Processing.

Cet article vous a proposé quelques utilisations des éphémérides de l'IMCCE mais vous pourrez en trouver de nombreuses autres.

Le nouveau site ssp.imcce.fr doit encore évoluer, il pourra donner lieu à d'autres applications avec des élèves.

