

Calculer une orbite de la petite planète Cérés

Collecte des données utiles,
regroupement dans un fichier de paramètres
puis usage du programme Python d'Alexander Davenport.

*(logiciel libre accessible à l'adresse :
<https://github.com/davenporta/OrbitalDetermination35>)*

Imaginé, rédigé et mis en forme avec le logiciel libre Scribus

par Alain LERAUT

Membre de la Société Astronomique de France

Adhérent de l'Association Astronomique de l'Indre

Structure du fichier de paramètres

1994PNinput.txt									
10150	(1994 PN)								
2016-06-22	08:03:10.429	17:26:58.87	30:46:11.30	-0.0195340791840548	0.9323384266123208	0.4041408400938959			
2016-06-30	07:19:24.379	17:08:12.58	27:19:02.51	-0.1537983334829756	0.9221125109705270	0.3997035945290656			
2016-07-07	05:21:27.950	16:51:52.97	23:04:41.48	-0.2682470588825682	0.8998279354659114	0.3900449087482382			
2016-07-13	03:42:48.670	16:38:37.64	18:31:04.40	-0.3635214279037087	0.8710218039698151	0.3775632429881836			

Le fichier fourni par Alexander Davenport

Avec son programme **main.py**, l'auteur fournit un fichier permettant de tester son fonctionnement.

Ce fichier est un exemple de ce que doivent être les paramètres transmis au programme.

Il est au format texte, comprend cinq lignes et s'appelle **1994PNinput.txt**

- La première ligne comprend le numéro d'enregistrement de l'astéroïde, puis un espace, puis, entre parenthèses, sa désignation :

Numéro d'enregistrement : 10150

Désignation : (1994 PN).

- Viennent ensuite quatre lignes de longueurs égales contenant des éléments désignés ci-dessus par un nom ou une abréviation en rouge.

Un espace UNIQUE, symbolisé ici par une barre jaune, sépare chaque contenu.

Les contenus

jour : le jour de l'observation :

année (tiret) mois sur deux chiffres (tiret) jour sur deux chiffres

heure : l'heure de l'observation :

heure sur deux chiffres : minutes sur deux chiffres : secondes avec trois décimales.

A.D : Ascension droite relevée sur le cliché (en notation sexagésimale) :

heure sur deux chiffres : minutes sur deux chiffres : secondes avec deux décimales.

Dec : Déclinaison relevée sur le cliché (en notation sexagésimale) :

degrés sur deux chiffres : minutes sur deux chiffres : secondes sur deux chiffres avec deux décimales.

Viennent ensuite les coordonnées rectangulaires géocentriques du Soleil, X, Y, Z, telles que calculées pour la date et l'heure.

Attention

Le séparateur "-" (tiret) n'est utilisé que pour le jour.

Le séparateur ":" (deux points) est utilisé pour heure, A.D et Dec.

N'utiliser qu'un seul espace à la fois et ne pas introduire d'autres caractères de ponctuation ni ce caractère invisible qu'est la tabulation.

INTENTIONS

Comment fabriquer un fichier de paramètres ?

Le seul moyen de savoir si l'on a compris est d'en fabriquer un et de le tester avec le programme **main.py**.

Afin de limiter les risques liés à une mauvaise collecte des données sur des photographies, nous allons partir de données sûres : celles calculées par l'IMCCE pour Cérés. Pour des dates identiques, nous déterminerons de la même manière les valeurs de X, Y, Z.

Les données calculées seront entrées dans un fichier texte, qui deviendra le fichier de paramètres.

Avec celui-ci, on pourra tester le programme **main.py** selon une syntaxe qui sera rappelée plus loin.

Lecture conseillée :

http://lerautal.lautre.net/journal/AAI/Astrometry/imcce_XYZ.pdf

Coordonnées de Cérés en utilisant le service Myriade de l'IMCCE

The screenshot shows the 'Ephemerides' section of the Myriade web service. It features several input fields and a table of advanced parameters. The 'Target' field is set to 'ceres', the 'Epoch' to 'now, 5, 1.0 - day, UTC', and the 'Reference center' to 'geocenter'. The 'Advanced parameters' section is expanded, showing a table with the following values:

Planetary theory	Reference Plane	Type of Coordinates
INPOP	Equator	Spherical

Below the table, the 'Type of Ephemeris' is set to 'AstrometricJ2000'. A 'Compute Ephemeris' button is located at the bottom of the form.

Adresse : <http://vo.imcce.fr/webservices/miriade/?forms>

Regarder l'image attentivement.

Ne pas oublier d'activer les **Advanced parameters** (paramètres avancés).

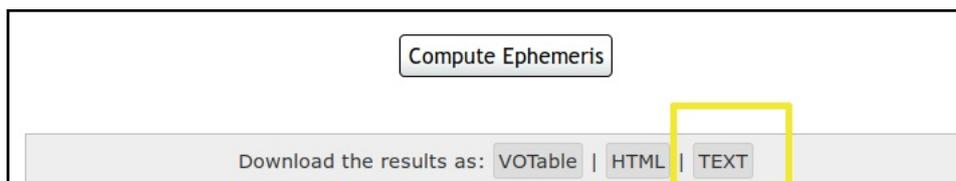
The screenshot shows the 'Calendar' dialog box. It has two tabs: 'Calendar' and 'Julian Day'. The 'Calendar' tab is active. It contains several input fields and a 'Validate' button. The 'Year-Month-Day' field is set to '2019-01-16'. The 'Hours', 'Minutes', and 'Seconds' fields are set to '00'. The 'Number of dates' field is set to '4' with a range of '< 5001'. The 'Time scale' is set to 'UTC'. The 'Computation step' is set to '10' with a dropdown menu set to 'day'. A 'Validate' button is located at the bottom of the dialog.

Attention aussi à la zone **Epoch** : cliquer ici pour ouvrir la boîte de dialogue **Calendar**.

Demander 4 dates espacées tous les 10 jours (**Computation step** : 10 day).

Valider par validate puis cliquer sur le bouton **Compute Ephemeris**.

Récupérer les données utiles



Quand le résultat s'affiche, sauvegardez-le dans un fichier texte en cliquant sur le bouton **TEXT** (encadré ici en jaune).

Extrait du contenu du fichier texte

Les premières lignes ne nous intéressent pas pour le moment. Par contre, les lignes qui commencent par Ceres contiennent les informations utiles.

Mais la totalité de chaque ligne n'est pas nécessaire.

Voici ce qui doit être gardé dans un premier temps :

```
Ceres, 2019-01-16T00:00:00.00, 15 42 13.01841, -13 10 22.9617,  
Ceres, 2019-01-26T00:00:00.00, 15 56 3.55296, -13 56 51.0213,  
Ceres, 2019-02-05T00:00:00.00, 16 08 58.73004, -14 36 3.5298,  
Ceres, 2019-02-15T00:00:00.00, 16 20 44.86768, -15 08 26.3129,
```

Enlever chaque début de ligne jusqu'à la date :

```
2019-01-16T00:00:00.00, 15 42 13.01841, -13 10 22.9617,  
2019-01-26T00:00:00.00, 15 56 3.55296, -13 56 51.0213,  
2019-02-05T00:00:00.00, 16 08 58.73004, -14 36 3.5298,  
2019-02-15T00:00:00.00, 16 20 44.86768, -15 08 26.3129,
```

Remplacer tous le "T" par un espace :

```
2019-01-16 00:00:00.00, 15 42 13.01841, -13 10 22.9617,  
2019-01-26 00:00:00.00, 15 56 3.55296, -13 56 51.0213,  
2019-02-05 00:00:00.00, 16 08 58.73004, -14 36 3.5298,  
2019-02-15 00:00:00.00, 16 20 44.86768, -15 08 26.3129,
```

Remplacer les espaces dans l'ascension droite et la déclinaison par deux points et mettre un zéro à la place d'un espace quand une valeur n'est marquée que par un chiffre (voir ci-dessus puis ci-dessous) :

```
2019-01-16 00:00:00.00, 15:42:13.01841, -13:10:22.9617,  
2019-01-26 00:00:00.00, 15:56:03.55296, -13:56:51.0213,  
2019-02-05 00:00:00.00, 16:08:58.73004, -14:36:03.5298,  
2019-02-15 00:00:00.00, 16:20:44.86768, -15:08:26.3129,
```

Éliminer les virgules :

```
2019-01-16 00:00:00.00 15:42:13.01841 -13:10:22.9617  
2019-01-26 00:00:00.00 15:56:03.55296 -13:56:51.0213  
2019-02-05 00:00:00.00 16:08:58.73004 -14:36:03.5298  
2019-02-15 00:00:00.00 16:20:44.86768 -15:08:26.3129
```

Ces valeurs doivent être sauvegardées dans un fichier texte édité avec un éditeur de texte tel que Notepad ou Geany...

Modèle de début de fichier de paramètres

En première ligne : 00001 (CERES)

Puis les lignes du bas de la page précédente.

Cela donne, ensemble :

```
00001 (CERES)
```

```
2019-01-16 00:00:00.00 15:42:13.01841 -13:10:22.9617
```

```
2019-01-26 00:00:00.00 15:56:03.55296 -13:56:51.0213
```

```
2019-02-05 00:00:00.00 16:08:58.73004 -14:36:03.5298
```

```
2019-02-15 00:00:00.00 16:20:44.86768 -15:08:26.3129
```

Enregistrer le fichier en lui donnant un nom évident. Par exemple, ici : **ceres.txt**

Il faut maintenant compléter chaque ligne avec les valeurs de X, Y, Z du Soleil pour les mêmes dates et heures.

Voir page suivante

Les coordonnées X, Y, Z pour le Soleil

Lecture conseillée :

http://lerautal.lautre.net/journal/AAI/Astrometry/imcce_XYZ.pdf

The screenshot shows the 'Ephemerides' software interface. At the top, there are tabs for 'Ephemerides', 'ViSiON', and 'ESO Phase 2'. Below the tabs, there are three dropdown menus: 'Target' set to 'p:Soleil', 'Epoch' set to '2019-01-16 00:00:00, 4, 10 - day, UTC', and 'Reference center' set to 'geocenter'. Below these is an 'Advanced parameters' section with an expand/collapse arrow. It contains three columns: 'Planetary theory' with options 'INPOP', 'INPOP DE405/LE405', and 'INPOP DE406/LE406'; 'Reference Plane' with options 'Equator' and 'Ecliptic'; and 'Type of Coordinates' with options 'Rectangular', 'Spherical', and 'Rectangular Dedicated to obs.'. Below these columns is a 'Type of Ephemeris' dropdown menu with options 'AstrometricJ2000', 'AstrometricJ2000', 'ApparentOfDate', 'MeanJ2000', and 'MeanOfDate'. At the bottom right of the form is a 'Compute Ephemeris' button.

L'image ci-dessus résume les paramètres :

Sun, mêmes paramètres temporels que précédemment.

Reference center : geocenter (les coordonnées sont centrée sur la Terre).

Attention : **Type of Coordinates = Rectangular**.

Quand les éphémérides sont calculées, enregistrer au format **TEXT** comme pour Ceres.

Contenu du fichier texte

Seules les lignes commençant par Sun nous intéressent. Voici la première :

```
Sun, 2019-01-16T00:00:00.00, 0.4202178736113,  
-0.8159815100181, -0.3537315557430, ....
```

Toute la partie Sun, 2019-01-16T00:00:00.00, est "à jeter".

parcontre les trois série de nombres sont à recopier dans la feuille de calcul (dans l'ordre).

Extrait du contenu du fichier texte (pour X, Y, Z)

```
Sun, 2019-01-16T00:00:00.00, 0.4202178736113,  
-0.8159815100181, -0.3537315557430,  
Sun, 2019-01-26T00:00:00.00, 0.5711999752221,  
-0.7356925250964, -0.3189209383746,  
Sun, 2019-02-05T00:00:00.00, 0.7046224260699,  
-0.6326350215815, -0.2742501100403,  
Sun, 2019-02-15T00:00:00.00, 0.8162708120911,  
-0.5100266307747, -0.2211003913161,
```

Éliminer au début de chaque ligne Sun, le jour et l'heure :

```
0.4202178736113, -0.8159815100181, -0.3537315557430,  
0.5711999752221, -0.7356925250964, -0.3189209383746,  
0.7046224260699, -0.6326350215815, -0.2742501100403,  
0.8162708120911, -0.5100266307747, -0.2211003913161,
```

Éliminer les virgules :

```
0.4202178736113 -0.8159815100181 -0.3537315557430  
0.5711999752221 -0.7356925250964 -0.3189209383746  
0.7046224260699 -0.6326350215815 -0.2742501100403  
0.8162708120911 -0.5100266307747 -0.2211003913161
```

(S'assurer que chaque groupe de chiffres est séparé du précédent par un espace.)

Chacune des quatre lignes ci-dessus va compléter les lignes 2, 3, 4 et 5 du fichier **ceres.txt**.

Voir ci-dessous une capture de ce fichier

00001 (CERES)
2019-01-16 00:00:00.00 15:42:13.01841 -13:10:22.9617 0.4202178736113 -0.8159815100181 -0.3537315557430
2019-01-26 00:00:00.00 15:56:03.55296 -13:56:51.0213 0.5711999752221 -0.7356925250964 -0.3189209383746
2019-02-05 00:00:00.00 16:08:58.73004 -14:36:03.5298 0.7046224260699 -0.6326350215815 -0.2742501100403
2019-02-15 00:00:00.00 16:20:44.86768 -15:08:26.3129 0.8162708120911 -0.5100266307747 -0.2211003913161

La partie la plus difficile du travail est terminée.

Avant de passer à la suite relire le fichier texte et vérifier que les espaces sont là où ils doivent être, que les signes ":" et "-" le sont également.

Le fichier de paramètres devra être copié dans le même répertoire que le programme **main.py** d'Alexander Davenport.

Exécution du programme

Modification de la quatrième ligne

Les quatre premières lignes :

```
import numpy as np
from math import *
import matplotlib
# matplotlib.use('Qt5Agg')
```

Mettre un dièse au début de la 4ème ligne.

(Cela évite d'installer de nombreuses bibliothèques Python).

Lancer l'exécution du programme

Ouvrir un terminal et se positionner dans le répertoire qui contient à la fois le programme **main.py** et le fichier de paramètres **ceres.txt**.

Par exemple, sur ma machine :

```
$cd orbit/OrbitalDetermination35-master/
```

Puis lister le contenu du répertoire pour s'assurer que les deux fichiers sont bien présents.

```
$ls
```

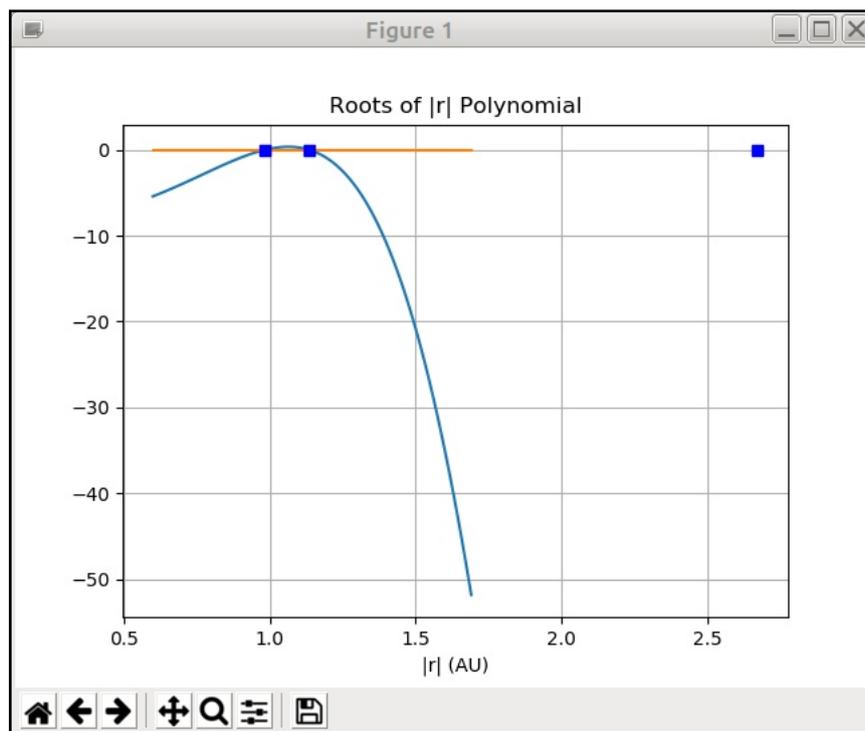
Si c'est bien le cas, on peut maintenant taper la commande suivante :

```
$python3 main.py ceres.txt
```

Assez rapidement, on obtient l'affichage de la fenêtre affichée page suivante.

Aller page suivante

Suite de l'exécution du programme



Le programme calcule les éléments orbitaux par approximations successives. Cela peut générer des calculs très très longs et, pour les abrégés, Alexander Davenport nous propose d'introduire une valeur par nous même.

Quelle valeur introduire ?

Un nombre décimal dont la valeur est comprise entre les deux points bleus de la courbe affichée ci-dessus.

(c'est à dire pas moins de 1.0 et pas plus de 1.2... à vue de nez).

Comment introduire le nombre ?

Fermer la fenêtre contenant la courbe : cela nous donne la main dans le terminal. Dans celui-ci, on nous demande :

```
alain@alain-Lenovo-U41-70:~/orbit/OrbitalDetermination35-master$ python3 main.py
ceres.txt
[0.9814303001817236, 1.1370520990907949, 2.671056772463779]
Pick a root to try by index: 
```

Pick a root to try by index: (donner une amorce pour la recherche)

Taper 1.1 puis entrer. (Attention point décimal et pas virgule).

Passer page suivante pour obtenir les résultats.

Résultats

Orbital Elements (Epoch JD 2457597.125):

a: 2.76358124422

e: 0.0747367046411

i: 10.597572163307602

O: 80.25874052818703

w: 72.77435944124575

Me: -136.89527550285425

Que valent ces résultats ?

Comparons avec les éléments orbitaux pris sur Wikipedia à l'adresse :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/\(1\)_C%C3%A9r%C3%A8s](https://fr.wikipedia.org/wiki/(1)_C%C3%A9r%C3%A8s)

	A	B	C	D
1	Caractéristiques	Wikipedia	Symbole A.Dave.	Valeur calculée
2	Demi-grand axe	2,768134...	a	2.763...
3	Excentricité	0,07570...	e	0.074...
4	Inclinaison	10,581...	i	10.597...
5	Longitude du nœud ascendant	80,314...	O	80.258...
6	Argument du périhélie	72,814...	W	72.774...
7	Anomalie moyenne	224,095...	Me	<u>-136.895</u>

Les valeurs ne sont pas strictement identiques mais sont proches, sauf dans le cas de l'anomalie moyenne.

Remarquons que celle-ci varie entre 0 et 360 degrés et que si l'on ajoute 360 à -136,595 on va obtenir une valeur proche de 224

Remarquons aussi que les valeurs données par Wikipedia sont obtenues avec des moyens (matériels, logiciels et intellectuels) sans commune mesure avec les miens.

Conclusion

Puisqu'il faut trancher, estimons que le programme libre d'Alexander Davenport donne des résultats de bonne qualité et que nous pouvons utiliser cet outil pour la suite de notre travail.

COMPLÉMENTS

Le programme informatique écrit en langage Python par **Alexander Davenport** est accessible ici : <https://github.com/davenporta/OrbitalDetermination35>

Un grand merci à cet auteur d'avoir mis son travail en license libre.

Des captures d'écran ont été effectuées depuis le site de l'**IMCCE**.

La modification des images a été faite en utilisant le logiciel libre **Gimp**.

La mise en forme de ce document a été réalisée avec le logiciel libre **Scribus**.

Le programme **main.py** a été modifié avec l'éditeur de programmation libre **Geany**.

Droit d'usage de ce document

Il est placé dans le cadre des licenses Creative Commons selon les termes suivants :

Il est possible d'utiliser gratuitement ce support , de le dupliquer, sous réserve de ne pas dissimuler le nom de son auteur, de ne pas le modifier et de ne pas en faire un usage commercial.

Liens et ressources en ligne

Site de l'AAI (Association Astronomique de l'Indre) : <http://aai.free-hosting.fr/>

Scribus : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Scribus>

Scribus sur Framalibre : <https://framalibre.org/content/scribus>

Gimp sur Framalibre : <https://framalibre.org/content/gimp>

Geany sur Framalibre : <https://github.com/davenporta/OrbitalDetermination35>