Activité 1 : A quoi servent les lois que l'astronome Johannes Kepler a découvert ? – TP numérique

L'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides (IMCCE) a pour mission de calculer la position des astres à intervalles de temps réguliers. Grâce au site web de l'IMCCE, nous avons téléchargé les données brutes pour les planètes Mercure, Vénus, la Terre et Mars ainsi que pour la comète Encke.
Un programme Python permet de traiter ces données pour :

- Tracer la trajectoire des planètes et de la comète dans le référentiel héliocentrique.
- Etudier l'évolution de leur vitesse.
- Déterminer leur période de révolution.

Ces différentes fonctionnalités nous permettront de mettre en évidence les trois lois que l'astronome danois Johannes Kepler (1571 - 1630) a découvert.

Partie 1 : 1ère loi de Kepler

➢ Copier les fichiers *Kepler_ELEVE.py*, *Mercure.csv*, *Venus.csv*, *Terre.csv*, *Mars.csv* et *Comete.csv* situés dans l'espace de votre classe et les coller dans votre espace personnel.

1. Ouvrir le fichier *Mercure.csv* et décrire son contenu.

Le ficher Mercure.csv est un tableau composé de plusieurs colonnes : dates, coordonnées x, y, z de Mercure en Unité Astronomique, composantes vx, vy, vz de la vitesse en Unité Astronomique par jour.

➢ Lancer l'IDE Edupython (dossier Autres logiciels sur le Bureau) puis cliquer sur Fichier/Ouvrir pour ouvrir le fichier "Kepler_ELEVE.py".
➢ Exécuter ce programme.

2. Décrire et comparer les orbites de Mercure et Vénus

Les orbites de Mercure et Vénus semblent circulaires. L'orbite de Mercure n'est pas centrée sur le Soleil.

➢ Par analogie avec les lignes de code permettant de lire et d'afficher les orbites de Mercure, Vénus et la Terre, compléter le programme pour lire et afficher les orbites de Mars et de la comète Encke (voir la position des lignes de code en **ANNEXE**). Puis exécuter le programme.

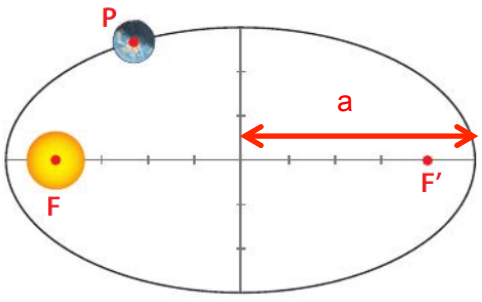
3. Comment qualifier l'orbite de la comète Encke ?

L'orbite de la comète Encke est une ellipse.

1ère loi de Kepler : loi des orbites

Dans le référentiel héliocentrique, la trajectoire du centre de masse d'une planète (ou d'une comète) est une ellipse dont le centre de masse du Soleil est l'un des deux foyers.

NB : le caractère elliptique de l'orbite terrestre est très exagéré !



a : demi-grand axe.

Partie 2 : 2e loi de Kepler

- Retirer les ' ' ' avant les lignes de code de la « PARTIE 2 : 2eme LOI DE KEPLER » **et** à l'avant-dernière ligne du programme (voir leur position en **ANNEXE**).
- Compléter les lignes de code permettant de calculer la liste des distances au Soleil de l'astre et la liste de la vitesse de l'astre (voir leur position en **ANNEXE**).
  Indications :
  - Vous ferez intervenir les variables X, Y, Z et Vx, Vy, Vz.
  - La fonction racine carré du module `numpy` s'écrit `np.sqrt()`
  - L'élévation à la puissance d'un nombre se fait en Python avec : nombre**exposant.
- Exécuter le programme.

4. Définir le périhélie et l'aphélie de l'astre en justifiant à l'aide du code.

Le périhélie est la position de l'orbite où la distance entre l'astre et le Soleil est minimale (Périhélie comme Près). L'aphélie est la position de l'orbite où la distance entre l'astre et le Soleil est maximale.

5. Que peut-on dire de l'aire balayée par le segment de droite reliant le Soleil à la planète Mars au périhélie et à l'aphélie en des durées égales ?

L'aire balayée par le segment de droite reliant le Soleil à Mars au périhélie et à l'aphélie est la même en des durées égales.

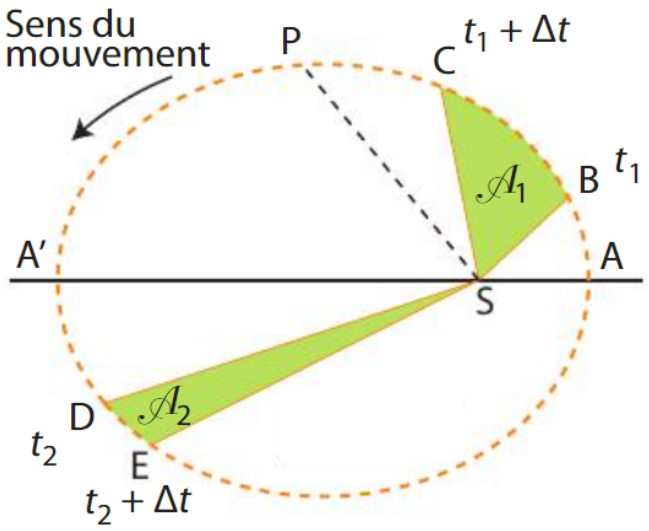
6. Que peut-on en déduire sur la vitesse de la planète Mars au périhélie et à l'aphélie ?

La vitesse de la planète Mars est maximale au périhélie et minimale à l'aphélie.

- Modifier la valeur de la variable `astre` pour vérifier votre affirmation dans le cas de la comète Encke.

2ère loi de Kepler : loi des aires

Le segment de droite reliant les centres de masse du Soleil et de la planète balaie des aires égales pendant des durées égales.
La valeur de la vitesse d'une planète le long de sa trajectoire elliptique autour du Soleil n'est pas constante ; elle est maximale lorsque la planète est au plus proche du Soleil.



Partie 3 : 3e loi de Kepler

- Compléter le code de la partie 3 (voir la position des lignes de code en **ANNEXE**) pour :
  - Calculer la variable a, valeur du demi-grand axe en mètres.
  - Calculer la variable T, valeur de la période de révolution en secondes.
  - Calculer le rapport $\frac{T^2}{a^3}$ et l'afficher.

  Indication : 1 unité astronomique (UA) = 1,5 x 10^{11} m
- Exécuter le programme.

7. Comparer la valeur du rapport $\frac{T^2}{a^3}$ pour la comète Encke et pour la planète Mars.

Pour la planète Mars : $\frac{T^2}{a^3} \approx 2{,}951 \times 10^{-19}\ s^2.m^{-3}$

Pour la comète Encke : $\frac{T^2}{a^3} \approx 2{,}958 \times 10^{-19}\ s^2.m^{-3}$*. Ces deux valeurs sont très proches.*

8. Calculer le rapport $\frac{4\pi^2}{GM_s}$. Conclusion ?

- G la constante universelle de gravitation : G = 6,67 x 10^{-11} N.m^2.kg^{-1}
- M_s la masse du Soleil : M_s = 1,99 x 10^{30} kg

Le calcul donne $\frac{4\pi^2}{GM_s} \approx 2{,}974 \times 10^{-19}\ N^{-1}.m^{-2}$*. C'est la valeur trouvée pour* $\frac{T^2}{a^3}$*. Donc* $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_s}$

3ère loi de Kepler : loi des périodes

Pour toutes les planètes du Système solaire, le rapport entre le carré de la période de révolution T et le cube de la longueur a du demi-grand axe est égal à une même constante :

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_s} = constante$$

ANNEXE

Partie 1 : 1ère loi de Kepler

```
terre = lecture_csv("Terre.csv")
X_terre = terre[0]
Y_terre = terre[1]
Z_terre = terre[2]

############################################################
#          DEBUT DE LA PARTIE 1 A COMPLETER                #
############################################################


#Tracer les orbites et placer les legendes
ax = figure.add_subplot(121)
trace_orbite(X_mercure, Y_mercure, "black") #Pour tracer l'orbite de Mercure en noir
trace_orbite(X_venus, Y_venus, "orange") #Pour tracer l'orbite de Venus en orange
trace_orbite(X_terre, Y_terre, "blue") #Pour tracer l'orbite de la Terre en bleu


############################################################
#            FIN DE LA PARTIE 1 A COMPLETER                #
############################################################

```

Partie 2 : 2e loi de Kepler

```
ax.set_ylabel('$y$ (UA)') #Nom de l'axe des y
ax.set_xlabel('$x$ (UA)') #Nom de l'axe des x
plt.grid(True) #Pour tracer la grille

''' #Guillemets à supprimer pour prendre en compte la suite du code.

################################################################
#PARTIE 2 : 2eme LOI DE KEPLER : LOI DES AIRES
################################################################
#Lire les vitesses selon x, y, z
Vx_mars = mars[3]
Vy_mars = mars[4]
```

```
#Ecrire la legende
ax1.text(0,2.5,"Troisième loi de Kepler ", color='red', fontsize=14)
ax1.text(1,2,"- Demi-grand axe $a$ : "+'$a$=' + str(round(aUA,4)) +" UA")
ax1.text(1,1.5,"- Période de révolution $T$ : "+'$T$=' + str(Tj) +" jours")
ax1.text(1,1,"- "+r"$\frac{T^2}{a^3} = $" + str('A COMPLETER')) #A COMPLETER

''' #Guillemets à supprimer pour prendre en compte la suite du code.

plt.show() #Pour afficher le graphique
```

```
#Calculer la liste des distances au Soleil de l'astre et la liste de sa vitesse

############################################################
#          DEBUT DE LA PARTIE 2 A COMPLETER                #
############################################################

distance_au_Soleil = []
vitesse = []
for i in range(len(X)):
    distance_au_Soleil.append( #A COMPLETER ) #Calcul de la distance au Soleil
for i in range(len(Vx)):
    vitesse.append( #A COMPLETER ) #Calcul de la vitesse

############################################################
#            FIN DE LA PARTIE 2 A COMPLETER                #
############################################################
```

Partie 3 : 3e loi de Kepler

```
#A COMPLETER POUR CALCULER a, valeur du demi-grand axe en mètres

#Calculer la periode de revolution en jours
i=1
if astre == "comete": #Pour les donnees de la comete, les points sont tellement rapproches d'un jour pour les planetes.
    Tj = len(X) #Les donnees de la comete couvrent exactement une orbite.
else:
    while abs(X[i]-X[0])>0.01 or abs(Y[i]-Y[0])>0.01 or abs(Z[i]-Z[0])>0.01: #Pour les planetes, on a tres proches de la position initiale.
        i = i+1
        Tj=i

#A COMPLETER POUR CALCULER T, valeur de la periode de revolution en secondes

#Ecrire la legende
ax1.text(0,2.5,"Troisième loi de Kepler ", color='red', fontsize=14)
ax1.text(1,2,"- Demi-grand axe $a$ : "+'$a$=' + str(round(aUA,4)) +" UA")
ax1.text(1,1.5,"- Période de révolution $T$ : "+'$T$=' + str(Tj) +" jours")
ax1.text(1,1,"- "+r"$\frac{T^2}{a^3} = $" + str('A COMPLETER')) #A COMPLETER POUR AFFICHER T^2 / a^3
```