

La comète de Halley

Objectif

Exploiter, à l'aide d'un langage de programmation, des données astronomiques ou satellitaires pour tester les deuxième et troisième lois de Kepler.

Contexte

En 1684, Edmund Halley est convaincu que les comètes suivent les lois de Newton et par conséquent les lois de Kepler. Nous allons vérifier que c'est bien le cas en s'aidant du langage de programmation Python.



Problématique

Est-ce qu'une comète répond aux lois de Kepler ?

Ressources

Document 1 : Récupérer les éphémérides des astres du système solaire

Elles sont issues du site de l'Observatoire de Paris : <https://www.imcce.fr/fr/ephemerides/> et plus particulièrement via le formulaire SSP mais le site vous permet d'accéder à tout un tas de données astronomiques. Pour récupérer les données cartésiennes de la Terre dans le référentiel héliocentrique par exemple :

<https://ssp.imcce.fr/forms/ephemeris> et sélectionner ce que vous désirez :

- Astre : Terre
- Nombre de dates : 12
- Pas de calcul : 30
- Centre du repère : héliocentre
- Coordonnées : cartésiennes

Note : le reste est inchangé.

On clique sur « calculer ». Tout un tas d'informations sont données sur la position et la vitesse. On exporte les données (petite flèche en haut à droite) dans un format csv ou txt. Dans un premier temps, exporter en format csv (plus facile de supprimer les colonnes qui ne m'intéressent pas) et faire ensuite un fichier txt avec les seules données de travail.

Document 2 : La comète de Halley

En 1684, Edmond Halley, jeune mathématicien anglais correspond avec Isaac Newton sur les causes du mouvement des astres. Bien que Newton ait résolu le problème par la gravitation universelle depuis près de vingt ans, il n'a jamais jugé utile de publier ses travaux. C'est sur l'encouragement de l'astronome Edmund Halley qu'il publia, en 1687, ce qui est souvent considéré comme le plus grand ouvrage scientifique de tous les temps : les *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle*, ou *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Dans cet ouvrage, Newton expose les principes de sa méthode hypothético-déductive, en particulier son souci de vouloir expliquer les phénomènes physique par des lois mathématiques.

C'est en 1759 que la mécanique de Newton va prendre une importance de portée mondiale. Convaincu des idées de Newton, Halley les appliqua au mouvement d'une comète dont l'observation était répertoriée dans différentes chroniques. Halley calcula le jour du retour de la comète en utilisant les lois de Newton qu'il publia en 1705 dans *Synopsis de l'astronomie des comètes*. Il prévoyait un retour pour 1758. Cependant, la comète se rapprocha de Jupiter et décala son retour d'un an mais cela suffit pour considérer les calculs de Halley comme justes. C'est la première fois que les lois de Newton furent prises en compte, montrant la toute-puissance de la physique mathématique qui devint ainsi prédictive.

La comète dans le système solaire

A l'aide du document 1, les données sur Uranus, Jupiter, Saturne et la comète de Halley ont été récupérées et injectées dans un code Python. On souhaite tracer les trajectoires des planètes.

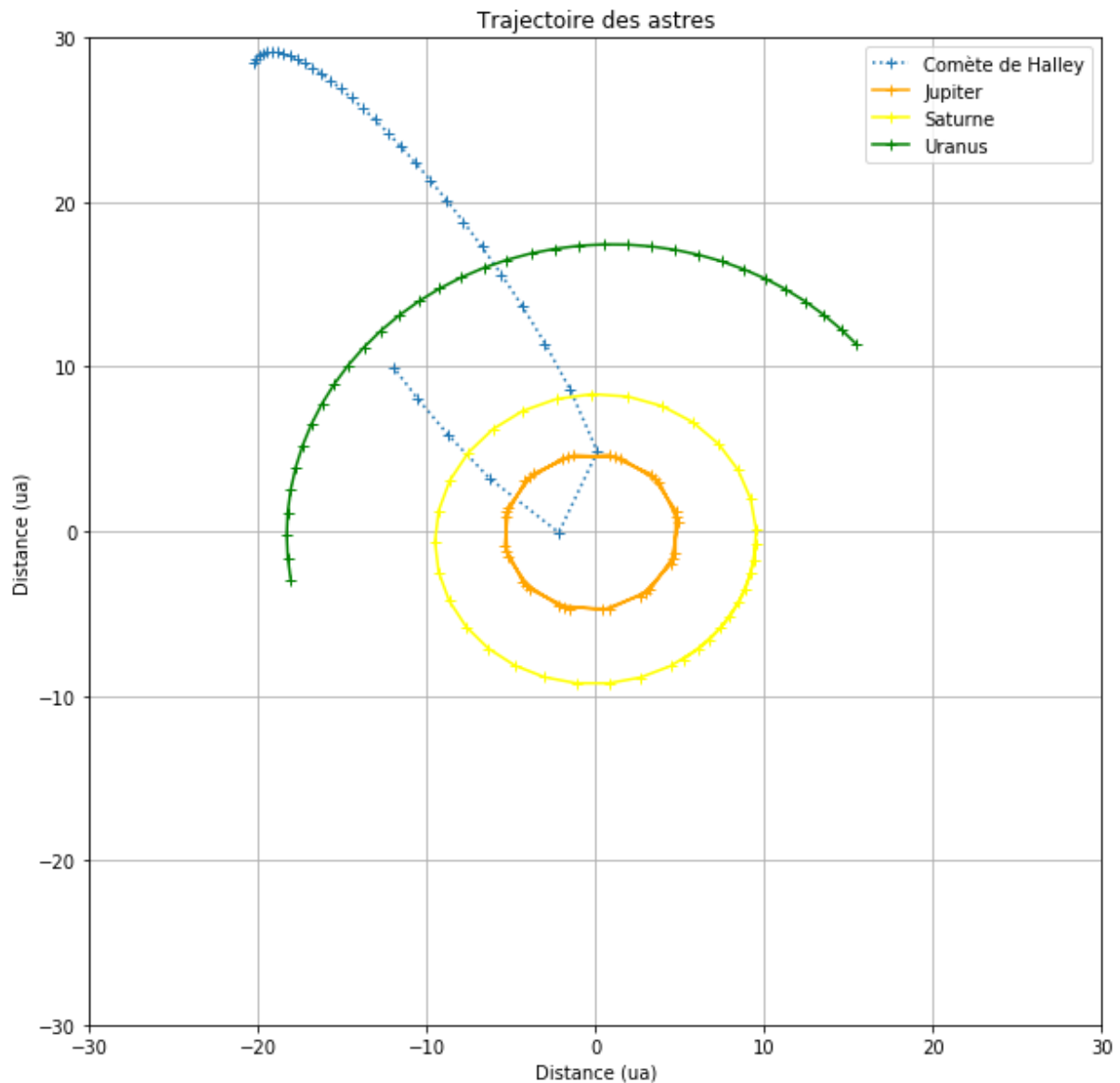
1. Compléter les lignes 15 à 18

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Lecture des données du fichier txt
5 t, x, y = np.loadtxt('Halley.txt', unpack=True, usecols=(0, 1,2), delimiter = '\t', skiprows = 0)
6 tJ, xJ, yJ = np.loadtxt('Jupiter.txt', unpack=True, usecols=(0, 1,2), delimiter = '\t', skiprows = 0)
7 tS, xS, yS = np.loadtxt('Saturne.txt', unpack=True, usecols=(0, 1,2), delimiter = '\t', skiprows = 0)
8 tU, xU, yU = np.loadtxt('Uranus.txt', unpack=True, usecols=(0, 1,2), delimiter = '\t', skiprows = 0)
9
10 #Tracé des trajectoires des planètes
11 fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 10))
12 ax.set_xlim(-30,30)
13 ax.set_ylim(-30,30)
14 plt.grid()
15 plt.plot(..., '+:', label="Comète de Halley")           #A compléter
16 plt.plot(..., '+-',color='orange', label="Jupiter")    #A compléter
17 plt.plot(xS,yS,'+-',color='yellow', label=".....")    #A compléter
18 plt.plot(xU,yU,'+-',color='green', label=".....")      #A Compléter
19 plt.title('Trajectoire des astres')
20 plt.xlabel('Distance (ua)')
21 plt.ylabel('Distance (ua)')
22 plt.legend(loc='upper right')
23 plt.show()

```

L'exécution du code complet donne le graphique suivant :



2. Quel est le référentiel d'étude ?
3. Commenter la trajectoire de la comète.

On souhaite faire apparaître les aires balayées et comparer leurs valeurs. Pour cela, on insère quelques lignes de code supplémentaires :

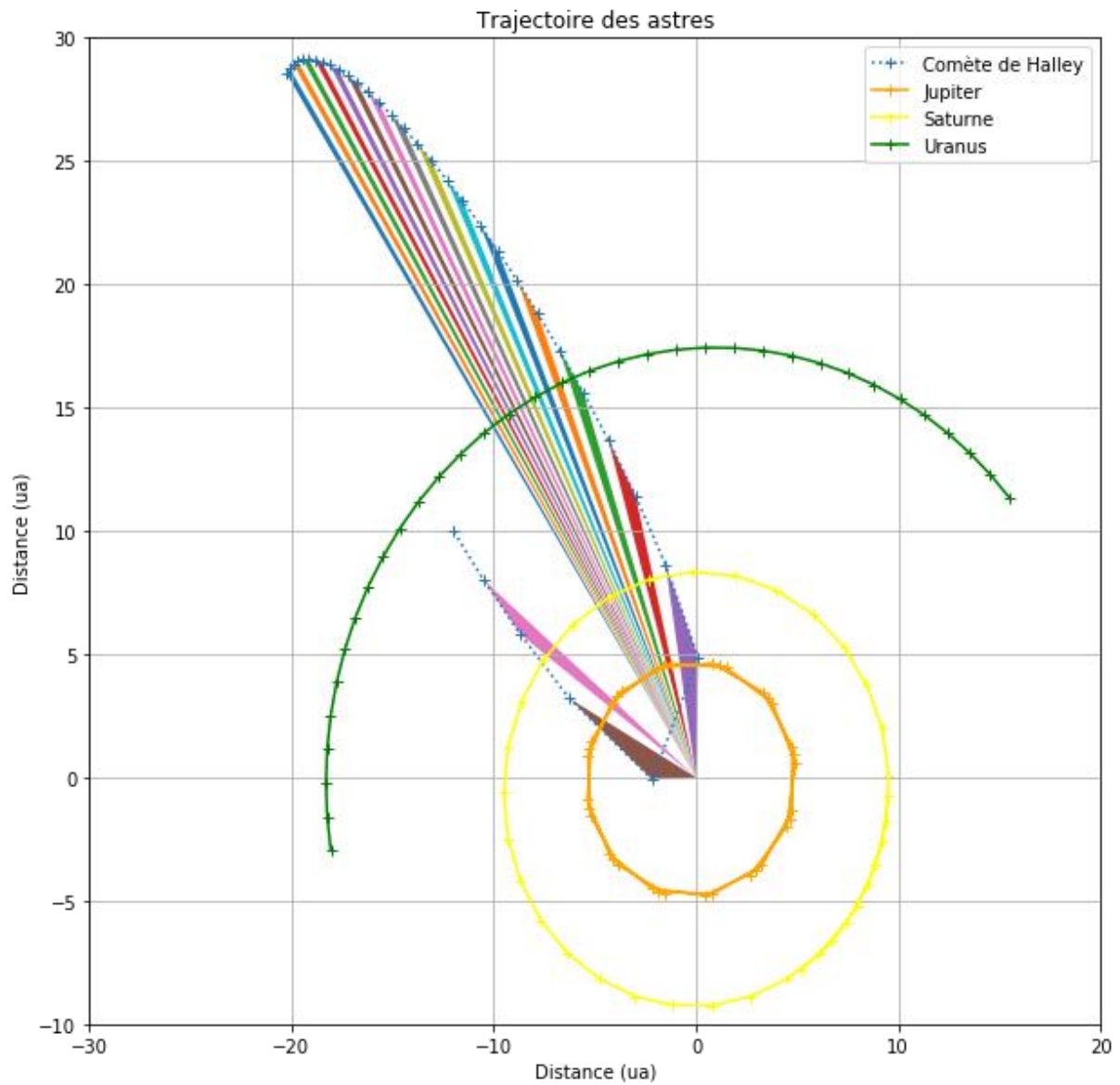
```

20 #Tracé des aires
21 i = 1
22 A=[]
23 while i < len(t)-1 :
24     →alpha = np.arctan2(y[i-1], x[i-1])-np.arctan2(y[i], x[i])
25     →r0 = np.sqrt(x[i]**2 + y[i]**2)
26     →r1 = np.sqrt(x[i-1]**2 + y[i-1]**2)
27     →Aire = r0*r1*np.sin(alpha)/2
28     →A.append(Aire)
29     →plt.fill([x[i], x[i-1], 0], [y[i], y[i-1], 0])
30     →i += 2

```

4. A quoi sert la ligne 22 ?
5. Que permet de calculer la ligne 24 ?
6. Que permettent de calculer les lignes 25 et 26 ?
7. Justifier l'écriture de l'aire, ligne 27.

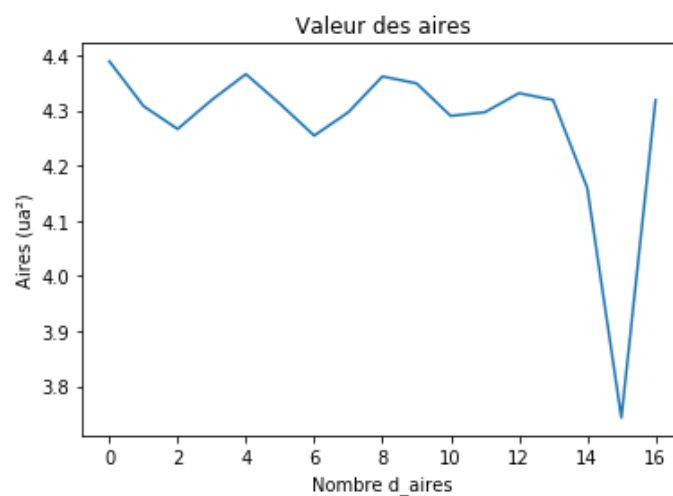
L'exécution du code complet donne le graphique suivant :



Remarquez que les limites du graphique ont été modifiées pour zoomer sur les trajectoires.

8. Quelles lignes du code ont été modifiées pour zoomer ?
9. Proposer une modification de ces lignes de code.

Les aires calculées sont stockées dans la liste notée « A ». Les valeurs sont compilées dans le graphique suivant :

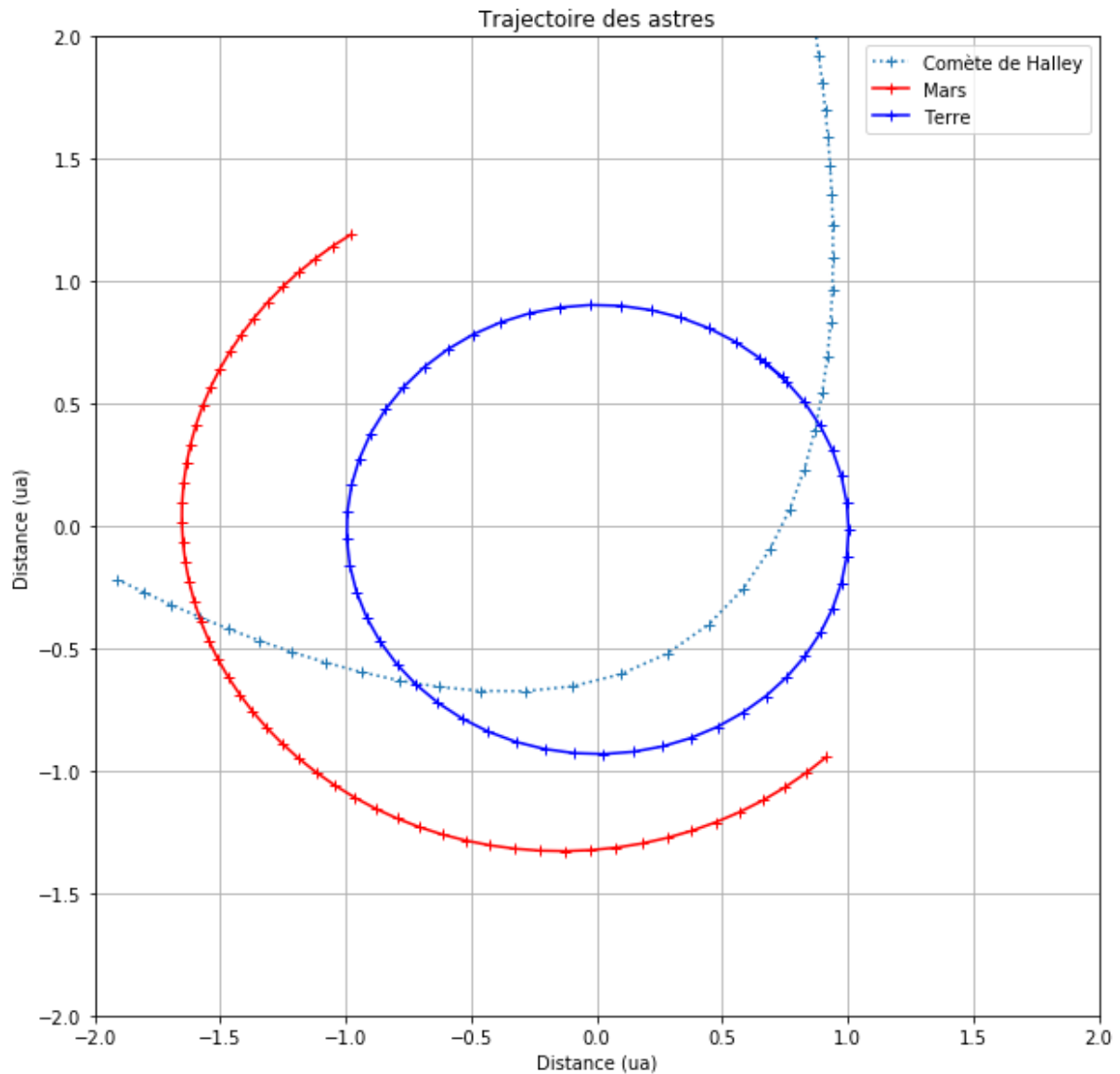


10. Commenter la courbe obtenue.
 11. Est-ce que la 2^{ème} loi de Kepler vous semble valide ? Justifier.
 12. Proposer une méthode pour valider la 2^{ème} loi de Kepler
-

La comète près du Soleil

A l'aide du document 1 et du code proposé à la question 1 :

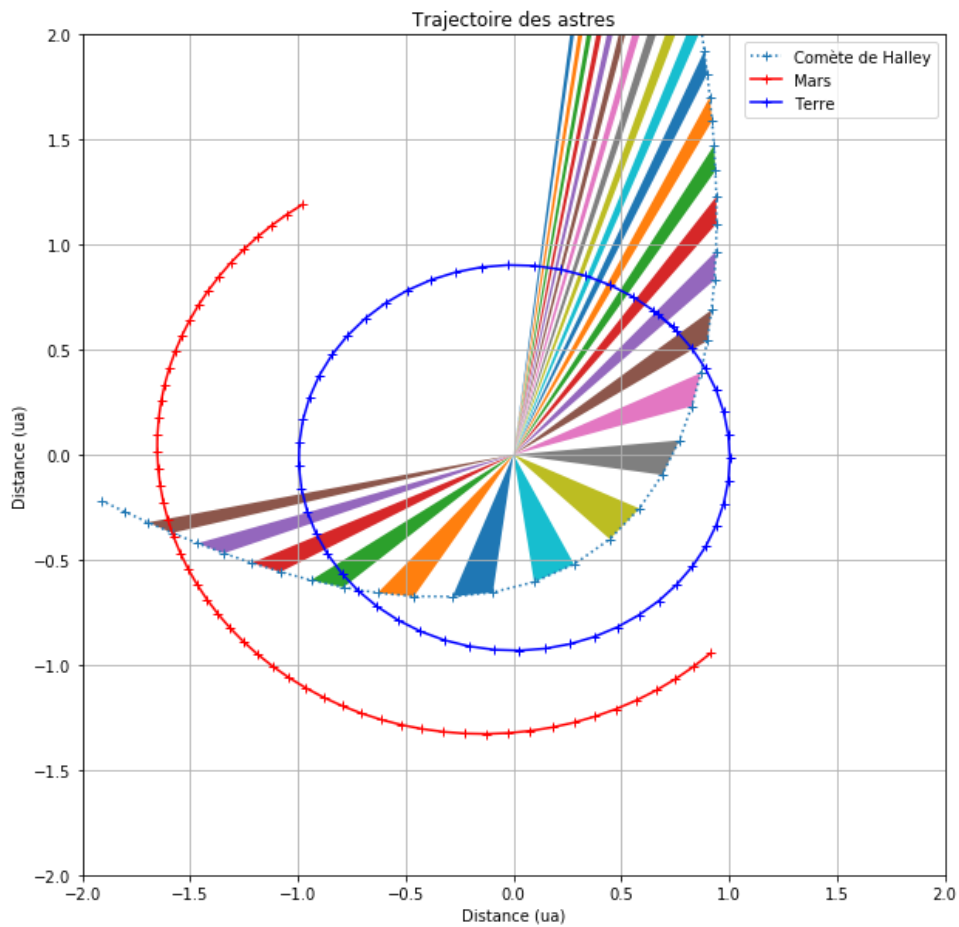
1. Récupérer les données sur la Terre et Mars avec les paramètres du document 1.
2. Ecrire un code complet qui permette d'obtenir le graphique suivant :



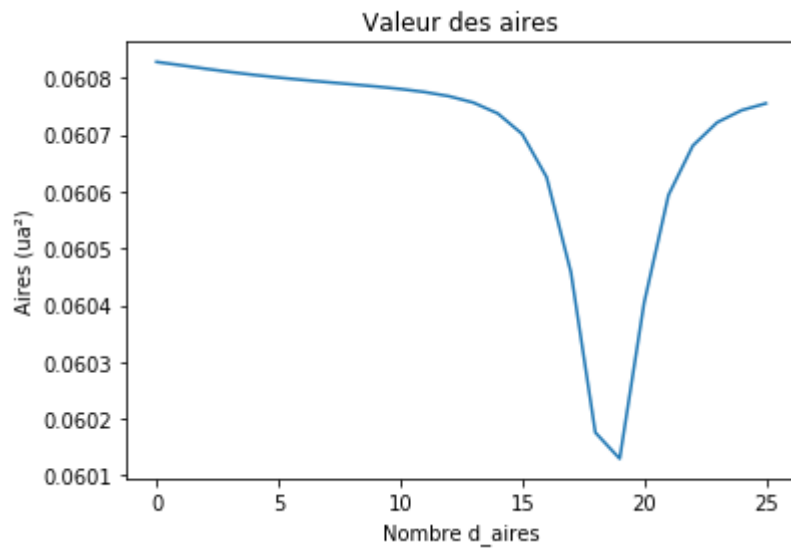
Vous ferez une capture d'écran du code que vous joindrez à votre copie.

3. Ecrire le code complet qui permette de tracer les aires sur ce graphique. Vous ferez une capture d'écran du code que vous joindrez à votre copie.

Après exécution du code, vous devez obtenir le graphique suivant :



Les aires calculées sont stockées dans la liste notée « A ». Les valeurs sont compilées dans le graphique suivant :



1. Commenter la courbe obtenue.
2. Est-ce que la 2^{ème} loi de Kepler vous semble valide ? Justifier.