

Mouvement rétrograde de Mars

Niveau (Thèmes)	Seconde (programmes du 22/01/2019)
Introduction	Cette activité vient en complément des activités sur le tracé des positions d'un point au cours du temps. Elle permet d'aborder la problématique des référentiels et de la relativité du mouvement sur l'exemple du mouvement rétrograde de Mars.
Type d'activité	Activité documentaire. Activité de programmation sous Python.
Compétences	<p>S'APPROPRIER :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et organiser l'information <p>ANALYSER :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Repérer ou sélectionner des informations utiles <p>RÉALISER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Effectuer des conversions, utiliser les puissances de 10 - Utiliser un langage de programmation
CRCN - Compétences Num.	Distinguer une simulation ou une modélisation de la réalité lors du traitement des informations. Préciser le contexte associé aux résultats obtenus et ses conséquences sur leur interprétation. Identifier la nature des modèles employés et leurs limites de validité.
Notions et contenus du programme	Échelles caractéristiques d'un système. Référentiel et relativité du mouvement. Représenter les positions successives d'un système modélisé par un point lors d'une évolution unidimensionnelle ou bidimensionnelle à l'aide d'un langage de programmation.
Objectif(s) pédagogique(s)	Travailler la notion de relativité du mouvement et faire le lien avec les observations astronomiques. Appréhender l'intérêt de la programmation pour traiter des problèmes numériquement complexes. Entrer des valeurs numériques sous un format adapté à un langage de programmation.
Objectifs disciplinaires et/ou transversaux	
Description succincte de l'activité	<p>La première et la seconde partie du travail consistent en une étude documentaire sur l'observation de Mars et la découverte de son mouvement rétrograde. Les élèves doivent représenter les positions de Mars dans le référentiel géocentrique à l'aide de papier calque à partir des positions respectives de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique. Ce travail peut être réalisé en classe entière et terminé, si besoin, à la maison.</p> <p>La troisième partie du travail permet d'approfondir cette étude en s'appuyant sur un programme Python qui permet de représenter les positions de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique puis dans le référentiel géocentrique.</p> <p>Les élèves doivent recueillir les données pertinentes sur les trajectoires des planètes (période de révolution, excentricité, demi-grand axe) et entrer les valeurs numériques sous un format que le langage peut prendre en charge. Ils doivent également choisir la durée du suivi du mouvement (nombre d'années).</p>
Découpage temporel de la séquence	1 séance en classe entière (1h) : étude documentaire et travail sur la relativité du mouvement 1 séance en groupe en salle équipée d'ordinateurs (45 min) : recherche des données pertinentes pour définir le mouvement des planètes, prise en main du programme et modifications afin de représenter la trajectoire de Mars dans le référentiel géocentrique.
Pré-requis	Utilisation de listes sous Python Utilisation de matplotlib sous Python

Outils numériques utilisés/Matériel	Ordinateurs équipés d'Edupython : https://edupython.tuxfamily.org/
Gestion du groupe Durée estimée	Travail en groupe de 4 ou 5 en classe entière (1h) : Parties 1 et 2 Travail en binôme en groupe à effectif réduit (45 min) : Partie 3

Énoncés à destination des élèves

L'outil informatique peut s'avérer particulièrement intéressant pour simuler des situations complexes comme le mouvement des astres.

L'observation de Mars montre ainsi une variation importante de son diamètre apparent (voir <http://www.astrosurf.com/luxorion/Images/mars-opposition-2018.jpg>).

Comment expliquer ce phénomène connu depuis l'Antiquité ?

Document n°1 : Le mouvement rétrograde de Mars.

Le mouvement de Mars a été observé depuis l'Antiquité.

Alors que les étoiles, vues dans le référentiel géocentrique, semblent se déplacer toutes ensemble suivant un mouvement circulaire (qui correspond, dans le référentiel héliocentrique, au mouvement de la Terre sur elle-même), les planètes, elles, se déplacent par rapport à la "voûte céleste" (c'est-à-dire qu'elles ne sont pas fixes par rapport aux étoiles). C'est de ces observations que vient le mot "planète", il veut dire "corps céleste errant".

Mars, avec son mouvement rétrograde, était tout particulièrement intrigant.

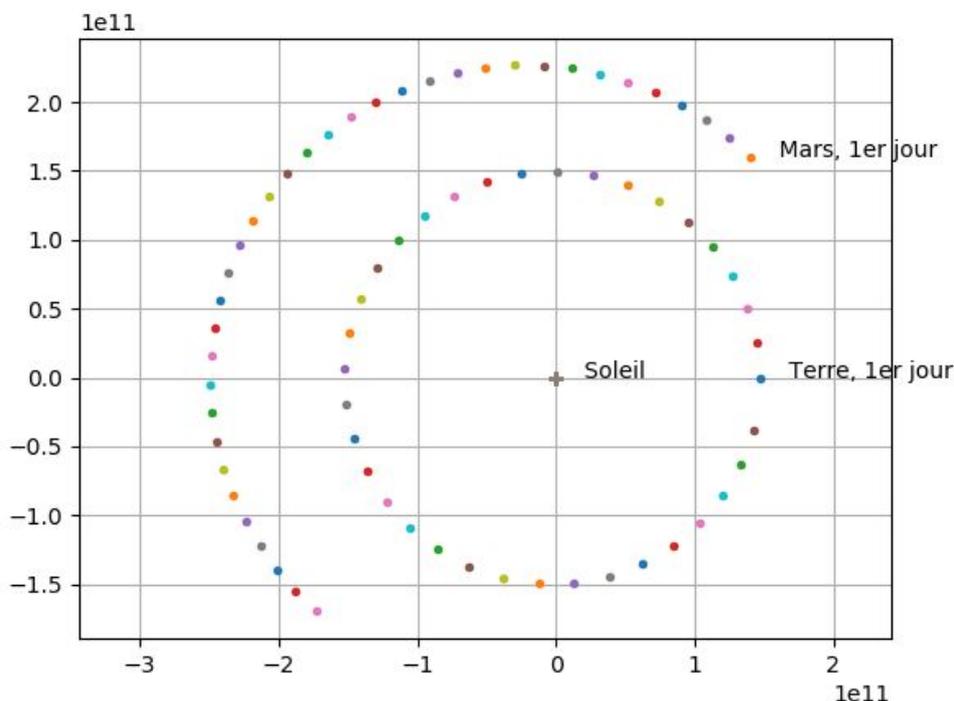
Les premières tentatives d'explication de ces observations ont été émises dans le cadre d'un système géocentrique (sphères homocentriques du grec *Eudoxe de Cnide*, (-406 à -355). Alors que, dans ce système, les étoiles ont un simple mouvement de rotation autour de la Terre, vue comme le centre de l'Univers, il est nécessaire, pour expliquer le mouvement apparent de Mars par rapport aux étoiles, de l'attribuer à un double mouvement : la planète serait en rotation autour d'un point qui lui-même se déplacerait le long d'un cercle centré sur la Terre...

Le premier système héliocentrique (et la première explication du mouvement de Mars dans ce système) est dû au grec *Aristarque de Samos* (-310 à -230). Ce système a toutefois été longtemps rejeté, parfois même oublié, et il faudra attendre *Copernic* (1473 à 1543) pour que l'affirmation que le système solaire n'est pas centré sur la Terre soit à nouveau défendue ouvertement. En dépit de la condamnation de *Galilée* (en 1633), les idées de Copernic n'ont pas totalement disparu dans les années qui ont suivi, mais il sera nécessaire d'attendre la fin du dix-septième siècle, voire le dix-huitième, selon les pays, pour que ces idées soient à nouveau largement acceptées par les scientifiques.

D'après Gabrielle Bonnet et Philippe Saadé, "Le mouvement rétrograde de Mars" (17/11/2003, consulté le 29/12/2018) http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Mouvement_Mars.xml

Document n°2 : Les trajectoires de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique

Le référentiel héliocentrique est un repère attaché au centre du Soleil et dont les axes pointent vers trois étoiles considérées comme fixes par rapport à lui (étoiles lointaines). C'est dans ce référentiel que l'on a coutume de dire que "les planètes tournent autour du Soleil". Voici une représentation des positions de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique, enregistrées tous les dix jours (terrestres) pendant une année (terrestre). Le sens du mouvement est à l'inverse des aiguilles d'une montre (sens anti-horaire). Les axes sont gradués en mètre.



Document n°3 : les caractéristiques des trajectoires de la Terre et de Mars

Les trajectoires des planètes sont définies par les lois de la mécanique qui, en première approximation, peuvent se réduire aux lois du mouvement de Newton et à la loi de la gravitation universelle.

Il est possible de montrer que les trajectoires sont alors des ellipses caractérisées par un certain nombre de paramètres :

- la valeur du demi-grand axe de l'ellipse (la moitié du grand axe de l'ellipse),
- la valeur de l'excentricité (inférieure à 1, plus elle est proche de 0 plus l'ellipse tend vers le cercle),
- la période de révolution de la planète (le plus souvent exprimée en jours terrestres, c'est la durée que met la planète pour effectuer une révolution complète autour du Soleil).

Vous trouverez ces caractéristiques aux adresses suivantes :

- pour la Terre : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre>
- pour Mars : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_\(plan%C3%A8te\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_(plan%C3%A8te))

Document n°4 : programme Python - le mouvement rétrograde de Mars

```
import matplotlib.pyplot as plt
import math
Delta_t = 10 #la position des planètes est enregistrée tous les 10 jours
Suivi = 1 #le suivi sera effectué pendant cette durée exprimée en année
i = 0
#toutes les distances sont exprimées en mètre

#####
#####      A COMPLETER      #####
#####

#pour la Terre

a_3 =      # demi grand axe
e_3 =      #excentricité sans unité
T_3 =      #période de révolution en jours terrestres

#pour Mars

a_4 =      # demi grand axe
e_4 =      #excentricité sans unité
T_4 =      #période de révolution en jours terrestres

#####
#####

#les variables de position sont définies comme des listes
#dans le référentiel héliocentrique
X_T_helio = []
Y_T_helio = []
X_M_helio = []
Y_M_helio = []

#dans le référentiel géocentrique
X_M_geo = []
Y_M_geo = []

n_3 = math.floor(T_3/Delta_t) #permet de ne garder que la partie entière du rapport T3/Dt
while i <= Suivi*n_3:
    #positions successives de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique
    x_t_i = -a_3*e_3+a_3*math.cos(2*math.pi*Delta_t*i/T_3)
    y_t_i = a_3*math.sqrt(1-e_3*e_3)*math.sin(2*math.pi*Delta_t*i/T_3)
    x_m_i = -a_4*e_4+a_4*math.cos(2*math.pi*Delta_t*i/T_4)
    y_m_i = a_4*math.sqrt(1-e_4*e_4)*math.sin(2*math.pi*Delta_t*i/T_4)
```

```
#définir les coordonnées de Mars dans le référentiel géocentrique
```

```
xm=x_m_i - x_t_i
```

```
ym=y_m_i - y_t_i
```

```
#ajouter les positions calculées aux listes qui les contiennent
```

```
X_T_helio.append(x_t_i)
```

```
Y_T_helio.append(y_t_i)
```

```
X_M_helio.append(x_m_i)
```

```
Y_M_helio.append(y_m_i)
```

```
X_M_geo.append(xm)
```

```
Y_M_geo.append(ym)
```

```
i += 1
```

```
#si on veut tracer les positions de Mars et de la Terre dans le référentiel héliocentrique :
```

```
for j in range(Suivi*n_3):
```

```
    plt.title("Mouvement de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique")
```

```
    plt.xlim(-3e11, 3e11)
```

```
    plt.ylim(-3e11, 3e11)
```

```
    plt.plot(X_T_helio[j], Y_T_helio[j], ".")
```

```
    plt.plot(X_M_helio[j], Y_M_helio[j], ".")
```

```
    plt.plot(0,0, "+")
```

```
    plt.pause(0.05)
```

```
    plt.grid(True)
```

```
    plt.axis('equal')
```

```
plt.annotate(' Soleil', xy=(0,0))
```

```
plt.annotate(' Terre, 1er jour', xy=(X_T_helio[0], Y_T_helio[0]))
```

```
plt.annotate(' Mars, 1er jour', xy=(X_M_helio[0], Y_M_helio[0]))
```

```
plt.savefig('trajectoires_terre_mars_helio.png')
```

```
plt.show()
```

```
plt.close()
```

```
#si on veut tracer les positions de Mars dans le référentiel géocentrique
```

```
plt.annotate('Terre', xy=(0,0))
```

```
for j in range(Suivi*n_3):
```

```
    plt.title("Mouvement de Mars dans le référentiel géocentrique")
```

```
    plt.xlim(-5e11, 5e11)
```

```
    plt.ylim(-5e11, 5e11)
```

```
    plt.plot(X_M_geo[j], Y_M_geo[j], ".")
```

```
    plt.plot(0, 0, "+", label='Terre')
```

```
    plt.pause(0.05)
```

```
    plt.grid(True)
```

```
    plt.axis('equal')
```

```
plt.annotate(' Mars', xy=(X_M_geo[0], Y_M_geo[0]))
```

```
plt.savefig('mouvement_retrograde_mars.png')
```

```
plt.show()
```

```
plt.close()
```

Travail à réaliser.

Partie 1. Etude des documents.

- (1) Souvent, la trajectoire de la Terre est considérée comme circulaire. Justifier à partir des documents à votre disposition la validité de cette approximation.
- (2) Sur la représentation du document n°2, numéroter les positions de la Terre et de Mars : T_0, T_1, \dots et M_0, M_1, \dots correspondant à la position des planètes en fonction de la date, 0 correspondant au premier jour.
- (3) Au cours de l'année observée, pour quelle position les deux planètes sont-elles les plus proches à la même date ? les plus éloignées ?
- (4) Estimer alors la valeur de la distance minimale et de la distance maximale entre la Terre et Mars au cours de cette année.

- (5) Comment expliquer la différence de diamètre apparent de la planète Mars au cours de l'année lorsqu'elle est observée depuis la Terre ?

Partie 2. Première approche du "mouvement rétrograde".

Pour comprendre et représenter le mouvement de Mars par rapport à la Terre, il faut représenter les positions de Mars dans un référentiel attaché à la Terre.

- (1) Définir le référentiel terrestre puis le référentiel géocentrique.
- (2) On se propose de suivre la méthode présentée ci-dessous pour représenter les positions de Mars par rapport à la Terre.
 - Placer le centre d'une feuille de papier calque sur la position 1 de la Terre sur la figure du document n°2. Tracer le repère (T, x, y) lié au centre de la Terre (T_0) à cet instant.
 - Marquer la position de Mars dans ce repère le même jour (M_0).
 - Déplacer la feuille de telle sorte que les axes restent parallèles et que le centre du repère coïncident avec la position suivante (T_1) de la Terre.
 - Marquer la position de Mars dans ce repère ce même jour (M_1).
 - Répéter cette opération pour repérer toutes les positions de Mars représentées sur la figure du document 2.
- a. Pourquoi peut-on affirmer que la trajectoire de Mars que l'on obtiendra est la trajectoire de Mars dans le référentiel géocentrique ?
- b. Construire cette trajectoire.
- c. Les estimations réalisées dans la partie précédente (questions 4 et 5) sont-elles validées ?

Partie 3. Simulation du "mouvement rétrograde" à l'aide d'un programme Python.

Afin de suivre les positions de Mars dans le référentiel géocentrique pendant plusieurs années, on a réalisé une ébauche de programme en langage Python.

Vous devez modifier/compléter ce programme afin de pouvoir :

- modifier la ligne 4 pour effectuer le suivi des positions de Mars et de la Terre dans le référentiel héliocentrique pendant 10 années terrestres,
- rechercher et compléter les valeurs des caractéristiques des trajectoires des planètes (lignes 14 à 22).

Une fois les modifications apportées, enregistrer ensuite le fichier sur l'ENT avec un nom de la forme : MARS-NOM1-NOM2 où NOM1 et NOM2 correspondent aux noms des élèves du binôme.

Lancer le programme, observer le résultat et comparer à la construction réalisée dans la partie 2.

Corrigé pour les enseignant.e.s

Le programme complet :

```
import matplotlib.pyplot as plt
import math
Delta_t = 10 #la position des planètes est enregistrée tous les 10 jours
#####
Suivi = 10 #le suivi sera effectué pendant cette durée exprimée en année
i = 0
#toutes les distances sont exprimées en mètre

#####
#####          A COMPLETER          #####
#####

#pour la Terre

a_3 = 1.49598e11 # demi grand axe
e_3 = 0.0167 #excentricité sans unité
T_3 = 365.256 #période de révolution en jours terrestres

#pour Mars

a_4 = 2.27937e11 # demi grand axe
e_4 = 0.09341 #excentricité sans unité
T_4 = 686.96 #période de révolution en jours terrestres

#####
#####

#les variables de position sont définies comme des listes
#dans le référentiel héliocentrique
X_T_helio = []
Y_T_helio = []
X_M_helio = []
Y_M_helio = []
#dans le référentiel géocentrique
X_M_geo = []
Y_M_geo = []

n_3 = math.floor(T_3/Delta_t)
while i <= Suivi*n_3:
    x_t_i = -a_3*e_3+a_3*math.cos(2*math.pi*Delta_t*i/T_3)
    y_t_i = a_3*math.sqrt(1-e_3*e_3)*math.sin(2*math.pi*Delta_t*i/T_3)
    x_m_i = -a_4*e_4+a_4*math.cos(2*math.pi*Delta_t*i/T_4+math.pi/4)
    y_m_i = a_4*math.sqrt(1-e_4*e_4)*math.sin(2*math.pi*Delta_t*i/T_4+math.pi/4)
    xm=x_m_i - x_t_i
    ym=y_m_i - y_t_i
    X_T_helio.append(x_t_i)
    Y_T_helio.append(y_t_i)
    X_M_helio.append(x_m_i)
    Y_M_helio.append(y_m_i)
    X_M_geo.append(xm)
    Y_M_geo.append(ym)
    i += 1
```

#si on veut tracer les positions de Mars et de la Terre dans le référentiel héliocentrique :

```
for j in range(Suivi*n_3):
    plt.title("Mouvement de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique")
    plt.xlim(-3e11, 3e11)
    plt.ylim(-3e11, 3e11)
    plt.plot(X_T_helio[j], Y_T_helio[j], ".")
    plt.plot(X_M_helio[j], Y_M_helio[j], ".")
    plt.plot(0,0, "+")
    plt.pause(0.05)
    plt.grid(True)
    plt.axis('equal')
plt.annotate(' Soleil', xy=(0,0))
plt.annotate(' Terre, 1er jour', xy=(X_T_helio[0], Y_T_helio[0]))
plt.annotate(' Mars, 1er jour', xy=(X_M_helio[0], Y_M_helio[0]))
plt.savefig('trajectoires_terre_mars_helio.png')
plt.show()
plt.close()
```

#si on veut tracer les positions de Mars dans le référentiel géocentrique

```
plt.annotate('Terre', xy=(0,0))
for j in range(Suivi*n_3):
    plt.title("Mouvement de Mars dans le référentiel géocentrique")
    plt.xlim(-5e11, 5e11)
    plt.ylim(-5e11, 5e11)
    plt.plot(X_M_geo[j], Y_M_geo[j], ".")
    plt.plot(0, 0, "+", label='Terre')
    plt.pause(0.05)
    plt.grid(True)
    plt.axis('equal')
plt.annotate(' Mars', xy=(X_M_geo[0], Y_M_geo[0]))
plt.savefig('mouvement_retrograde_mars.png')
plt.show()
plt.close()
```

Retour d'expérience :

Les plus-value pédagogiques (enseignants/élèves) :

Les freins :

Les leviers :

Les pistes pour aller plus loin ou généraliser la démarche :

Production d'élèves :

à venir