LA PARALLAXE DE MARS

Atelier de Recherche Encadré
ROLLINDE DE BEAUMONT Emmanuel
STINCKWICH Serge

BESSOUL Amine
de CUMONT Guillaume
NEGAZZI Adel
REI Antoine
L1 / MIPI

SOMMAIRE

La Parallaxe de Mars

Introduction :

La parallaxe est une notion mettant en évidence l'incidence du changement de position d'un observateur sur l'observation d'un objet. Cette notion est mise en jeu dans de nombreux domaines, dont la photographie, la métrologie, l'astronomie et même la psychologie. En astronomie, cette parallaxe est l'angle sous lequel est vue un astre, et ce sur en fonction de deux positions distinctes. Ceci permet par la suite, entre autre, de déterminer une distance précise entre l'observateur et l'objet prit en considération. On comprend donc qu'elle constitue une notion cruciale en astronomie.

Une longueur de référence doit être utilisée pour calculer la parallaxe. Pour les astres du système solaire, c'est le rayon de la Terre qui sert de référence, on parle ici de la parallaxe diurne. Pour les astres extérieurs du système solaire, on prend pour référence le demi grand axe de l'orbite terrestre, soit une UA. On parle ici de la parallaxe annuelle.
Comme Mars est dans le système solaire, nous allons nous intéresser au parallaxe diurne pour son calcul.

Pour étudier la parallaxe de Mars, nous étudierons le système solaire simplifié, c'est-à-dire, en considérant comme planètes, la Terre et Mars, et comme étoile le Soleil.

I – Définition de la Parallaxe, et Historique :

1) Présentation de Mars dans le système Solaire

Le système solaire est constitué de 8 planètes, et d'une étoile, le Soleil. Dans ce cas présent, nous étudierons dans un système solaire simplifié, ou les planètes considérant ce système seront Mars et la Terre.
Mars est une planète du système solaire. Elle a été formée il y a 4.5 milliards d'années.
Elle est la quatrième planète du système solaire en partant du Soleil, elle est la deuxième plus petite planète de ce système après Mercure. Il s'agit d'une planète tellurique, ce qui signifie qu'elle est composée essentiellement de roches. Sa couleur rouge dû à l'oxyde de fer contenu dans son sol.
Elle ne possède qu'une atmosphère très ténue, ce qui signifie, que la chute de météorites ne peut être arrêtée et de ce fait, elle a été victime de bombardements de météorites, cependant, seul un de ses hémisphères en a été victime.

Le diamètre de Mars est deux fois plus petit que celui de la planète Terre, sa masse arrive au dixième de celui de la Terre. Sa période de révolution est deux fois supérieure à celle de la Terre.

Tableau récapitulatif du système solaire simplifié :

Planètes	***Terre***	***Mars***	***Soleil***
Révolution	365.3 Jours	686.9 Jours	-
Excentricité	0.016	0.093	-
Masse	5.972*10^24 kg	6.39*10^23 kg	1.989*10^30 kg
Distance au soleil (km)	149.6 M	227.9 M	-
Diamètre (km)	12756	6790	-

L'excentricité de la planète Terre, et de Mars nous permet d'étudier ces planètes en considérant leur trajectoire autour du Soleil comme circulaire. En effet, leur trajectoire elliptique peut être approchée par un cercle, ceci est dû à une faible excentricité de leur orbite.
Dans les programmes suivant, leur trajectoire considérée autour du Soleil est donc considérée comme elliptique.

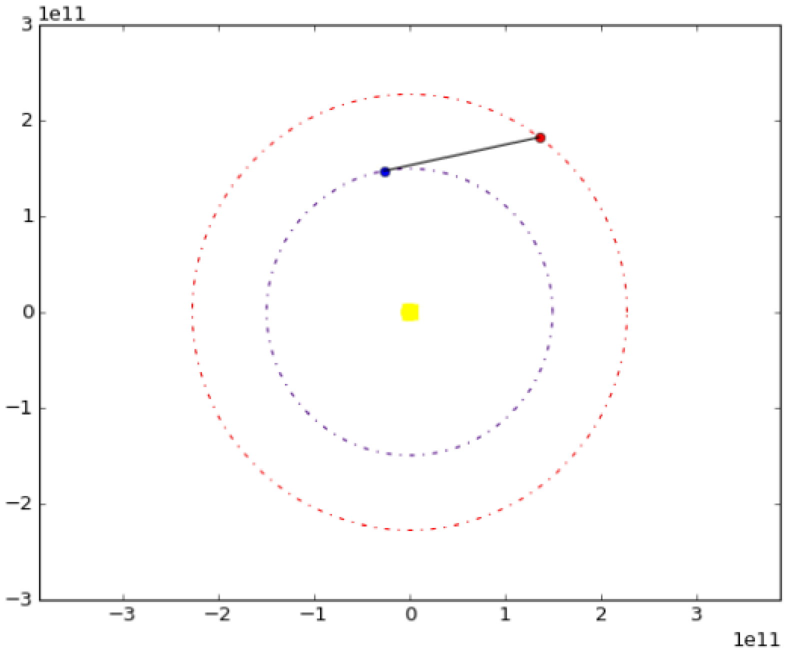
```python
In [ ]: %matplotlib notebook
import numpy as np
import os
import matplotlib.pyplot as plt
from pylab import *
jour=3600*24
an=365*3600*24
UA=149597870000
k=2*np.pi                                  # défintion d'un angle theta
def theta(T):
    return k*np.linspace(0, T, 99)/T
Rayonterre=1*UA
Rayonmars=1.52*UA
Rayonsoleil=696342000
Tterre=1*an
Tmars=1.88*an
Tsoleil=27.28*jour
xs=Rayonsoleil*np.cos(theta(Tsoleil))          #Définition des coordonnées des equations de rotation des astres
ys=Rayonsoleil*np.sin(theta(Tsoleil))
xt=Rayonterre*np.cos(theta(Tterre))
yt=Rayonterre*np.sin(theta(Tterre))
xm=Rayonmars*np.cos(theta(Tmars))
ym=Rayonmars*np.sin(theta(Tmars))
def alpha(t,T):                                #Définition d'un angle alpha
    return k*t/T

def PosMars(t):                                #Fonction pour la rotation de mars
    x = Rayonmars*np.cos(alpha(t,Tmars))
    y = Rayonmars*np.sin(alpha(t,Tmars))
    return [x, y]
def PosTerre(t):                               #Fonction pour la rotation de la terre
    x = Rayonterre*np.cos(alpha(t,Tterre))
    y = Rayonterre*np.sin(alpha(t,Tterre))
    return [x, y]
f = 400
for k in range(f):
    t = 20*jour
    plt.plot(xm,ym,color='red',linewidth=1,linestyle='-.')
    plt.plot(xs,ys,color='yellow',linewidth=10,linestyle='-')
    plt.plot(xt,yt,color='indigo',linewidth=1,linestyle='-.')
    plt.plot(PosMars(t)[0], PosMars(t)[1], 'o', color='red')
    plt.plot(PosTerre(t)[0], PosTerre(t)[1], 'o', color='blue')
    plt.plot([PosTerre(t)[0], PosMars(t)[0]], [PosTerre(t)[1], PosMars(t)[1]],
             color='black',linewidth=1,linestyle='-')
    plt.axis('equal')
    savefig('fichierTemp'+str('%02d' %k)+'.pdf')
    clf()
```

Ainsi, le programme ci-dessus, permet de représenter les trajectoires de la Terre et de Mars autour du Soleil. Cela représente donc, les trajectoires de ces planètes dans un référentiel héliocentrique.

Un trait étant tracé continuellement entre la Terre et Mars, représentant la distance entre ces deux astres à des moments différents dû à la rotation autour du soleil.

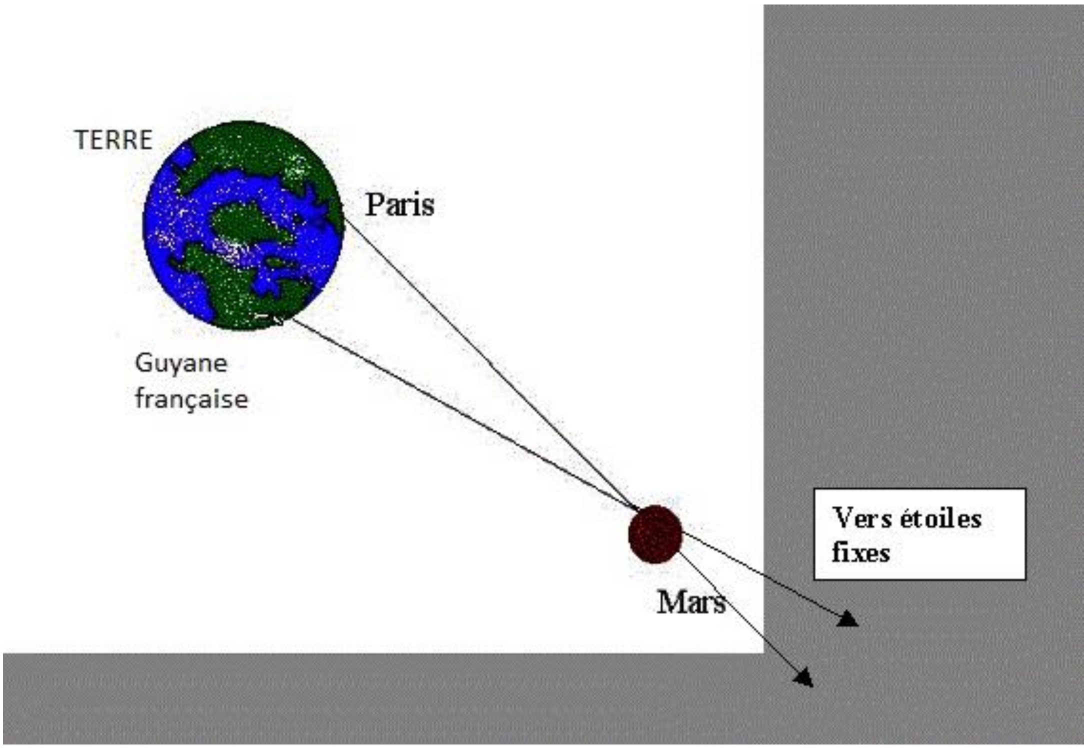
Grâce à cela, nous pouvons observer que cette distance varie, et n'est donc pas continuellement égale. Mais nous verrons cela plus en détails dans la variation de cette distance dans le référentiel géocentrique.

Le résultat de ce programme, est mis en image ci-dessous.


1e11
3
2
1
0
−1
−2
−3
−3
−2
−1
0
1
2
3
1e11

2) Historique du Calcul de la parallaxe de Mars

La parallaxe permet de calculer des distances, la première parallaxe de mars fut mesurée en 1673 par Jean-Dominique Cassini et Jean Richer respectivement situés à Paris et à Cayenne (en Guyane).



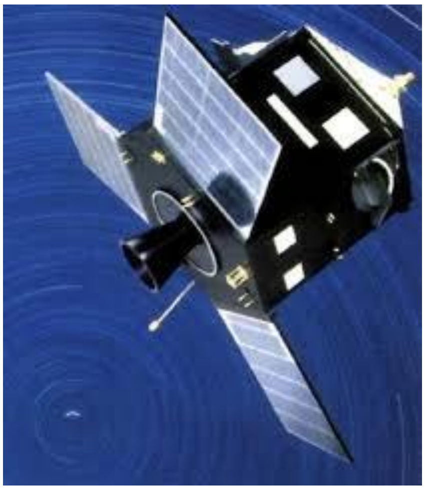
Le calcul de la parallaxe de Mars et basé sur une triangulation découverte par Thalès en 600 av J.C, sous deux positions différentes. Dans ce cas-là Jean-Dominique Cassini et Jean Richer ont chacun noté la position de Mars en même temps, là où ils se situaient respectivement.

Les Grecs, il y a plusieurs siècles, essayèrent de mesurer des parallaxes d'étoiles dites proches, mais contrairement à maintenant leurs instruments n'étaient pas évolués. Cela les poussèrent à croire qu'il n'y avait pas de parallaxe, et ainsi que la Terre était fixe, ne tournant pas autour du Soleil.

Ce fut bien après, à l'aide de la parallaxe diurne que fut calculée la première parallaxe d'une étoile. Cette première mesure fut publiée en 1837 par l'allemand Friedrich Wilhelm Bessel, calculant la parallaxe de 61 Cygni.

L'évolution des méthodes de calcul liés à la parallaxe comme la parallaxe diurne, se sont vues très vite limitées sur Terre. La limitation fut provoquée par les distances trop importantes, des turbulences atmosphériques provenant de la température, de la pression, du vent ou encore de l'humidité. Tout ceci a induit à réduire la possibilité de calcul, puisque ces turbulences atmosphériques vont diminuer la précision du calcul et le résultat sera alors proche de celui des variations des turbulences.

Des moyens vont alors être mis en place, avec le satellite Hipparcos lancé en août 1989, avec pour mission de calculer les parallaxes et de recenser les étoiles (tycho et tycho2 sont les catalogues de références des étoiles). Il va permettre l'élimination des turbulences atmosphériques, alors de nouvelles possibilités de calcul de parallaxe sont disponibles. Le satellite Hipparcos aura alors une précision supérieure aux astronomes étant sur Terre, pouvant calculer avec précision la parallaxe de plus de 100 000 étoiles, jusqu'à une distance de quelque centaines d'année lumière.



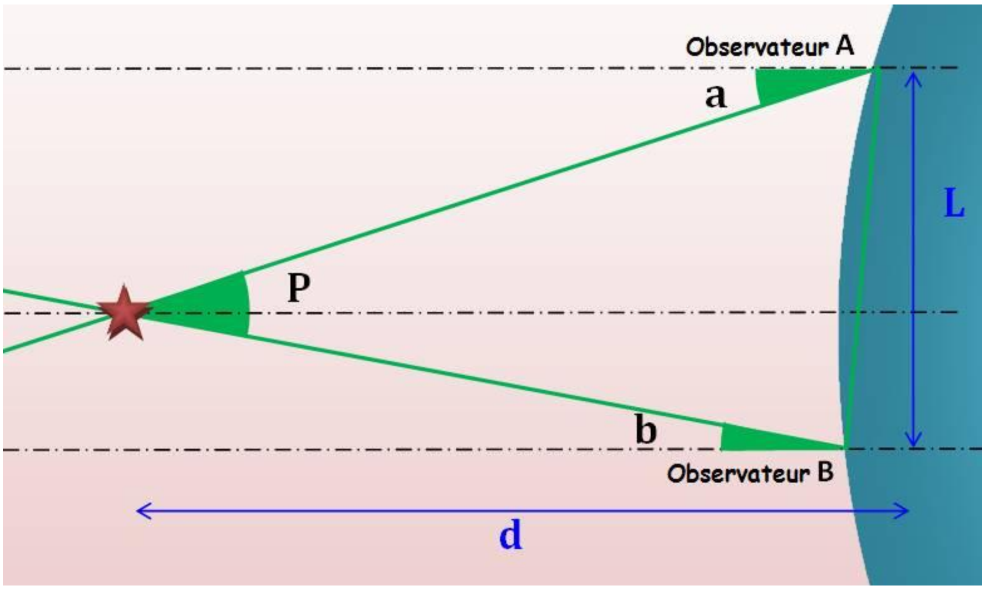
Sachant qu'Hipparcos possède un angle de mesure pas assez important (58°) pour recenser plus d'étoiles, un projet va alors naître, c'est le satellite Gaïa qui va être lancer en décembre 2013. Membre du projet ESA HORIZON 2000+, Gaïa obtient maintenant un angle de mesure plus important (106,5°), et permet d'obtenir des mesures plus lointaines à l'aide de calcul de la parallaxe d'un astre, ou encore à l'aide de calcul en lien ou autre que la parallaxe. Puisque, malgré l'utilité importante du calcul de la parallaxe, celui-ci se vu accompagné de nouvelles méthodes améliorant nos connaissances de la Voie Lactée (magnitude apparente).

Gaïa ayant pour but de recenser tout type d'astre (astéroïdes, naine brune, quasars, etc.).

II – Principe de la parallaxe de Mars :

Tout d'abord, il faut préciser qu'il existe plusieurs types de parallaxes en astronomies. En effet, en fonction de la distance de l'astre dont on veut mesurer la parallaxe, il y a certaines différences. En effet on peut citer par exemple la parallaxe solaire, la parallaxe spectroscopique, ou encore la parallaxe diurne. On appelle parallaxe diurne "P" d'un astre l'angle sous lequel on verrait depuis cet astre le rayon terrestre aboutissant au lieu d'observation. La parallaxe diurne est nulle si l'astre est au zénith. Elle est maximum lorsque l'astre est à l'horizon. C'est ce que l'on appelle la parallaxe horizontale. La parallaxe horizontale d'un corps du système solaire est définie comme l'angle sous lequel on voit un rayon terrestre depuis ce corps. C'est donc cette parallaxe diurne, aussi appelée géocentrique, qui concerne Mars.

<u>Comment calculer le parallaxe diurne (La théorie) :</u>

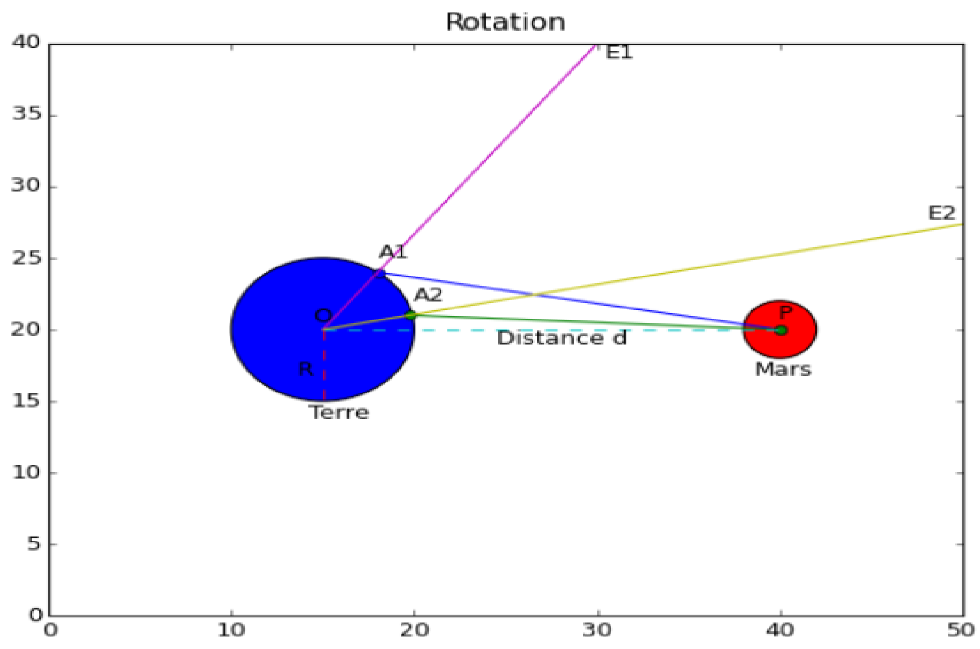


Etant dans un cas d'angles petits, on peut approximer de cette manière :

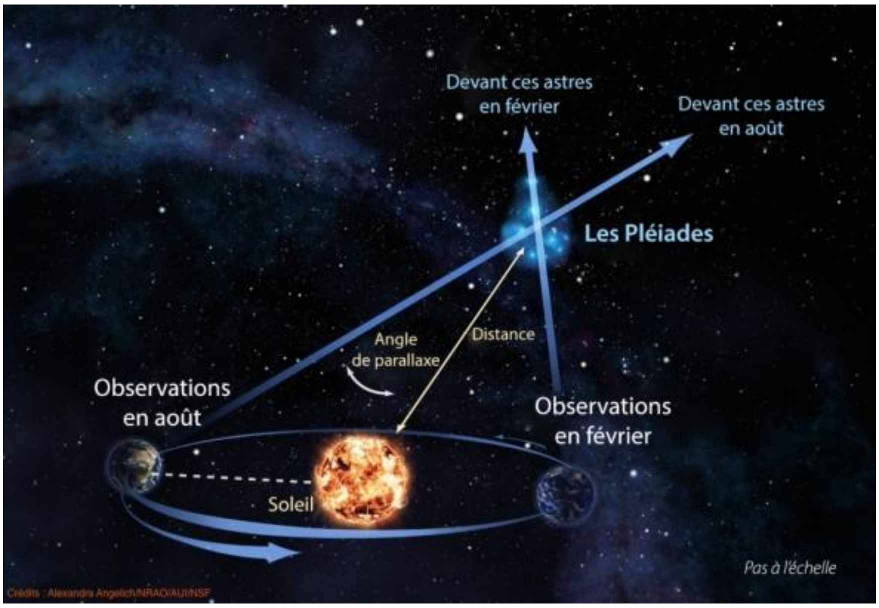
$\tan a = \frac{L_a}{d}$	$\approx a$	
$\tan b = \frac{L_b}{d}$	$\approx b$	
$P = a + b$	$= \frac{L_a + L_b}{d}$	$= \frac{L}{d}$

In [1]:

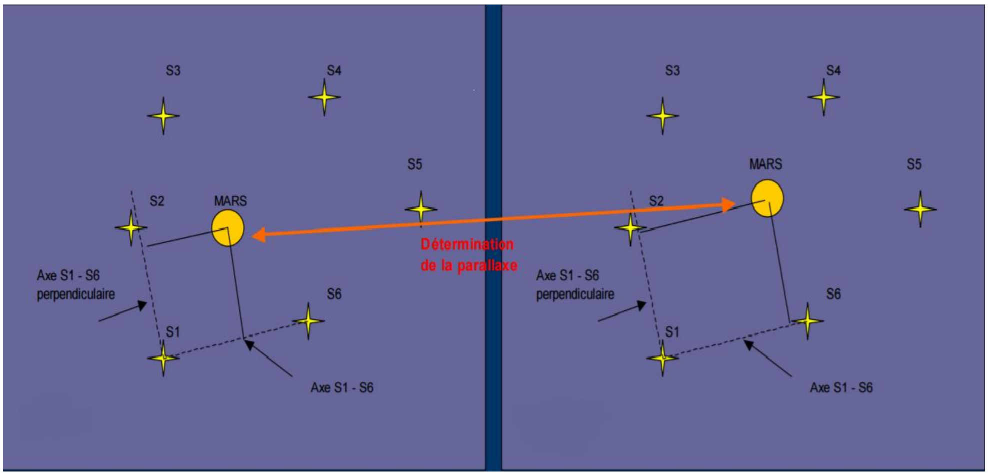
```
import numpy as np
%matplotlib notebook
from math import *
import matplotlib.lines as mlines
from matplotlib import pyplot as plt
from matplotlib import animation
ax = plt.axes(xlim=(0, 50), ylim=(0, 40))
ax.set_title("Rotation", va='bottom')  # Création du repère
def Terre(Rayon):                       #Fonction definissant un cercle pour la Terre
    Terre= plt.Circle((15, 20), Rayon, fc='blue')
    return plt.gca().add_patch(Terre)
def Mars(Rayon2):                       #Fonction definissant un cercle pour Mars
    Mars=plt.Circle((40, 20), Rayon2, fc='red')
    return plt.gca().add_patch(Mars)
Terre(5)
Mars(2)

x1, y1 = [18,40],[24,20]                # Definisson de plusieurs points
x2, y2 = [19.75, 40], [21, 20]
x=[15,40]
y=[20,20]
x_rayonT=[15,15]
y_rayonT=[20,15]
segment_A1=[20,40]
segment_A11=[15,30]
segment_A2=[20,40]
segment_A22=[15,110]
# Ajoutons maintenant des notations dans le schéma afin de le rendre compréhensible.
plt.annotate("Terre", xy = (12.5, 12), xytext = (15, 15), textcoords = 'offset points')
plt.annotate("Mars", xy = (37, 15), xytext = (15, 15), textcoords = 'offset points')
plt.annotate("Distance d", xy = (22, 17), xytext = (22, 17), textcoords = 'offset points')
plt.annotate("A2", xy = (20, 22), xytext = (0, 0), textcoords = 'offset points')
plt.annotate("A1", xy = (18, 25), xytext = (0, 0), textcoords = 'offset points')
plt.annotate("P", xy = (40, 20.75), xytext = (0, 0), textcoords = 'offset points')
plt.annotate("O", xy = (14.5, 20.5), xytext = (0, 0), textcoords = 'offset points')
plt.annotate("R", xy= (12, 15), xytext = (15, 15), textcoords = 'offset points')
plt.annotate("E1", xy = (30.5, 39), xytext = (0, 0), textcoords = 'offset points')
plt.annotate("E2", xy= (46.5, 26), xytext = (15, 15), textcoords = 'offset points')


plt.plot(x1, y1,x2,y2,marker = 'o')
plt.plot(x_rayonT,y_rayonT,'--')
plt.plot(x,y,'--')
plt.plot(segment_A11,segment_A1)
plt.plot(segment_A22,segment_A1)
plt.savefig('DashedLine_01.png')
plt.show()
```



A travers ceci, on peut déjà comprendre pourquoi il y a différentes parallaxes. En effet, si l'on décide de calculer la parallaxe d'étoiles lointaines par exemple à travers cette méthode, il devient évident que les calculs seront erronés. La longueur d séparant la Terre et l'astre en question sera beaucoup trop grande par rapport à la longueur L, censée représenter la distance entre les deux observations.
Dans ce cas de figure, il est donc crucial de prendre deux positions beaucoup plus éloignés. Le diamètre même de la Terre n'est alors pas assez, on est donc obligés de prendre deux positions de la Terre sur son orbite, et donc à des périodes différentes, comme le montre ce schéma :



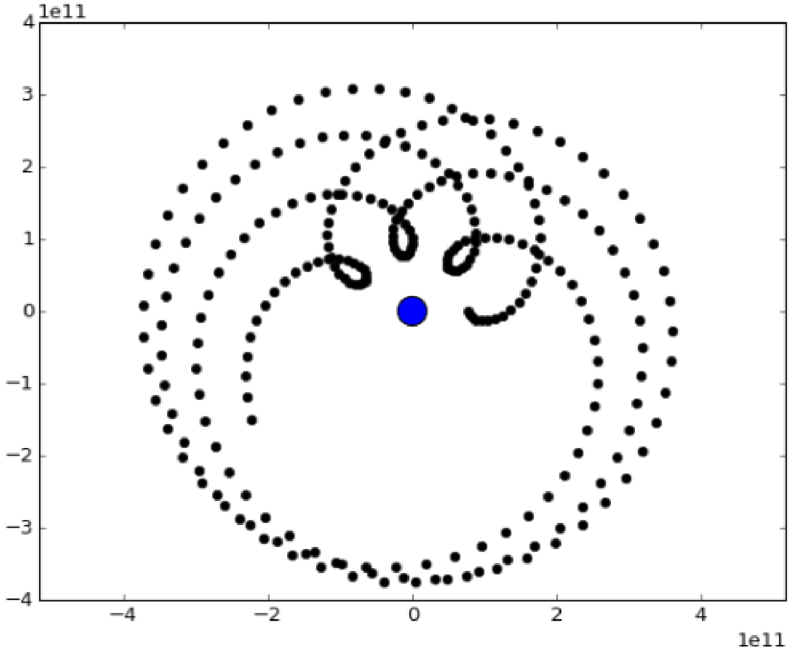
Calcul expérimental de la parallaxe (La pratique) :
L'expérience consiste bien évidemment à avoir deux équipes se positionnant en deux points éloignés sur Terre, et à prendre deux photos du ciel. Il faut bien évidemment que le ciel soit dégagé, et que les images soient prises au même moment. On prend alors la position de mars, dans les deux images, par rapport à des étoiles assez éloignées pour être considérées fixes. De cela, on peut déterminer la parallaxe



On remarque donc que la parallaxe de Mars se traduit donc par une différence de sa position par rapport aux étoiles fixes dans les deux images.

<u>Rétrogradation</u> :
Parler de la position de Mars implique de prendre en considération un autre aspect du mouvement de cette planète, son caractère rétrograde. Un mouvement rétrograde est un mouvement qui va en sens inverse du mouvement initial pendant une période donnée. C'est le cas du mouvement de Mars dans un référentiel géocentrique, comme le montre le code que nous avons fait.

```
In [ ]: from __future__ import division
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import *
from pylab import *
import os
%matplotlib notebook
jour=3600*24          #Posons plusieurs constantes
an=365*3600*24
UA=149597870000
k=2*np.pi
def theta(T):
    return k*np.linspace(0, T, 99)/T
Rayonterre=1*UA
Rayonmars=1.52*UA
Rayonsoleil=696342000
Tterre=1*an

maxx = 175
Tmars=1.88*an
Tsoleil=27.28*jour
xs=Rayonsoleil*np.cos(theta(Tsoleil))
ys=Rayonsoleil*np.sin(theta(Tsoleil))
xt=Rayonterre*np.cos(theta(Tterre))
yt=Rayonterre*np.sin(theta(Tterre))
xm=Rayonmars*np.cos(theta(80))
ym=Rayonmars*np.sin(theta(80))
def angle(t,T):
    return k*t/T

def PosMars(t):          # Position Mars
    x = Rayonmars*np.cos(angle(t,Tmars))
    y = Rayonmars*np.sin(angle(t,Tmars))
    return [x, y]
def PosTerre(t):       #Positions Terre
    x = Rayonterre*np.cos(angle(t,Tterre))
    y = Rayonterre*np.sin(angle(t,Tterre))
    return [x, y]
def rétrogradation(t):                             #Definition d'une fonction de rétrogradation
    return [m-t for t,m in zip(PosTerre(t),PosMars(t))]
def Terre(Rayon):                      #Definition d'un cercle représentant la terre
    Terre= plt.Circle((15, 20), Rayon, fc='blue')
    return plt.gca().add_patch(Terre)
Terre(2e10)
for k in range(maxx):
    t =150*jour
    plt.plot(rétrogradation(t)[0], rétrogradation(t)[1], 'o', color='black')
    plt.plot([rétrogradation(t)[0]],[rétrogradation(t)[1]],'--')
    plt.plot()
    plt.axis('equal')
    filename = 'fichierTemp'+str('%02d' %k)+'.pdf'
    savefig(filename)
```



La trajectoire de Mars dans le référentiel géocentrique donne une trajectoire unique avec des boucles qui se répètent en se déplaçant, ce qui est dû au mouvement rétrograde de Mars qui a été découvert en étudiant la parallaxe de Mars.

Conclusion

L'étude de la parallaxe de Mars a poussé dans le passé des scientifiques à découvrir plus précisément le mouvement rétrograde de cette planète. Actuellement, l'angle de la parallaxe de Mars est connu précisément depuis quelques siècles notamment depuis le 19e siècle.

Avec l'évolution constante qui a suivi la découverte et l'étude de la parallaxe de Mars, Les mesures d'aujourd'hui, ne sont que plus précises, pour son calcul exact.

Cette étude de la parallaxe nous a permis d'approcher des données physiques par des modèles mathématiques, retranscrit par code au niveau informatique notamment pour leur trajectoire et ainsi obtenir un modèle représentant les trajectoires de Mars selon des référentiels différents (géocentrique, héliocentrique). Ainsi, représenter cette particularité de la rétrogradation de Mars à l'aide de la découverte de la parallaxe de Mars.

Bibliographie

- https://astronomia.fr/1ere_partie/distances.php
- https://briankoberlein.com/2015/01/08/martian-chronicles/
- https://briankoberlein.com/2013/10/29/pattern-recognition/
- https://briankoberlein.com/?s=PARALLAX
- https://briankoberlein.com/2014/04/13/parallax-view/
- https://briankoberlein.com/2016/06/09/new-evidence-challenges-rate-cosmic-expansion/
- http://www.podcastscience.fm/dossiers/2015/12/04/cosmographie-ou-sommes-nous/
- http://www.astronomyforbeginners.com/astronomy/mars.php
- http://edu-observatory.org/mcc/homework/homework.ch.4-5/index.html
- http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/lectures/copernicus.htm
- http://villemin.gerard.free.fr/Cosmogra/Parallax.htm
- https://www.nasa.gov/audience/forstudents/9-12/features/F_Mars_Chronology.html
- https://www.nasa.gov/home/hqnews/2000/00-176.txt
- http://eaae-astronomy.org/WG3-SS/WorkShops/Triangulation.html
- https://www.cliffsnotes.com/study-guides/astronomy/observational-properties-of-stars/stellar-parallax-and-distances
- http://www.techrepublic.com/blog/web-designer/how-the-parallax-effect-is-used-in-web-design/
- http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/parallaxe_dun_astre/76762
- http://clea-astro.eu/avec-nos-eleves/dernieres-nouvelles/mars-parallax/documents/lacaille-lalande-1751
- http://astronomie-smartsmur.over-blog.com/article-4-7-la-distance-de-mars-98474780.html
- https://experiencesaphelie.wordpress.com/les-experiences-daphelie/parallaxe-mars/
- http://www.astro-carl.com/imprimer.php3?id_article=74
- http://www.planetastronomy.com/articles/mesure-distance.htm
- http://serge.mehl.free.fr/anx/parallaxe.html
- http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Mouvement_Mars.xml