

# Activité 7 : Orbite L2 de Gaia

## Fiche enseignant

Au cours de cet atelier, les élèves se baseront sur le cas de l'orbite de Gaïa au point de Lagrange L2 pour comprendre la nature des orbites. Ils réviseront les bases de la gravité, et réaliseront une mise en pratique impliquant la simulation des orbites et l'observation de leurs propriétés à l'aide de puits de gravité. Cela leur permettra d'avoir un bon aperçu des fondements de la mécanique orbitale et la nature unique du point de Lagrange L2.

Cette activité peut également être étendue aux élèves plus âgés avec une modélisation mathématique plus approfondie du scénario du point L2.

### **Niveau des classes :**

- Lycéen
- Terminale pour la fin de l'activité « pour aller plus loin »

### **Notions du programme :**

- Science Physique : gravité, période orbitale, lois de Kepler
- Pour aller plus loin (terminale) Science: loi de gravitation de Newton, mouvement circulaire, vitesse angulaire, accélération centripète

### **Pré-requis :**

- Pour l'atelier standard : connaissance de base de la gravité utile, mais pas indispensable
- Pour aller plus loin : Equations de la théorie des champs gravitationnels, équations du mouvement circulaire

### **Matériel nécessaire :**

- Un ordinateur pour diffuser la vidéo de GAIA (pré-enregistrée en .mp4 ou .mov ou à regarder en direct - connexion internet requise). Avant cette session, les puits de gravité devront être construits.
- Vidéo Youtube fabrication puit de gravité :  
<https://www.youtube.com/watch?v=-nSohIHtOyM>  
<https://www.youtube.com/watch?v=WRrj3CTfPm8>
- Pour la suite de l'atelier, « pour aller plus loin » : calculatrices scientifiques.

### **Note pour la fin optionnelle de l'atelier :**

Pour la suite de l'atelier, « pour aller plus loin », vous pouvez supprimer les diapositives en donnant les équations de base et définir cela comme un défi ouvert pour les élève à travailler.

### **Introduction :**

1/ Diapos 1-2 : Commencez par une introduction à Gaia en allant regarder la vidéo (sans paroles) sur le lien [http://spaceinvideos.esa.int/Videos/2013/06/Gaia\\_scanning\\_the\\_sky](http://spaceinvideos.esa.int/Videos/2013/06/Gaia_scanning_the_sky)  
La vidéo donne un bon aperçu du satellite (vue intérieure et extérieure) et de la mission (la façon de scanner le ciel).

# Activité 7 : Orbite L2 de Gaia

## Fiche enseignant

### 2/ Diapos 3 - 6: LA GRAVITE – force gravitationnelle

Pourquoi les choses tournent-elles? La clé est la gravité et la vitesse tangentielle de l'objet en orbite. La gravité attire l'objet sur la masse centrale et la vitesse tangentielle le fait avancer dans l'espace. Lorsque ces deux forces deviennent équivalentes, la courbure résultante du chemin correspondra à la courbe nécessaire pour l'orbite.

Les diapositives contiennent la loi de gravitation de Newton. L'analyse de cette loi, même à un niveau simple, est très intéressante à faire : la force d'attraction sera considérée comme nulle uniquement pour une distance infinie entre 2 corps. Chaque corps ayant une masse affecte tout autre corps gravitationnellement.

Comme vous pouvez le voir sur la diapositive N°6 avec les deux étudiantes assises à une table, cette force entre 2 personnes est vraiment très faible.

Alors que tout objet avec une masse exerce une force gravitationnelle sur tout autre objet avec une masse, la force de gravité est en fait très faible.

### **Force d'attraction due à la pesanteur environ 1/10 000 000 N**

#### 3/ Partie 1 :

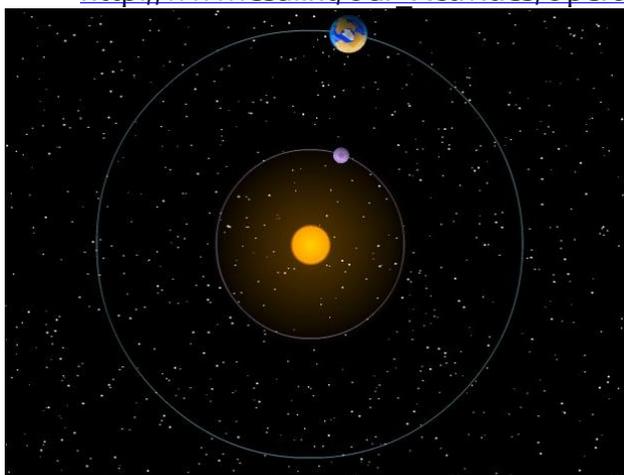
Vous pouvez faire calculer le poids des étudiantes, la force de gravitation entre les 2 étudiantes et la comparer à la force de gravitation entre le soleil et la terre ou la terre et la lune.

On note réellement un effet de la gravité quand on a des objets massifs comme des planètes.

#### 4/ Diapos 7-13: Les orbites

Montrer la vidéo d'une orbite

[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Operations/What\\_are\\_Lagrange\\_points](http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/What_are_Lagrange_points)



Earth and a spacecraft orbiting the Sun

Le satellite tourne plus vite autour du Soleil que la Terre. Les 2 objets ne sont pas “synchronisés” et alignés avec le Soleil

# Activité 7 : Orbite L2 de Gaia

## Fiche enseignant

- Détermination du lien entre la distance orbitale et les périodes utilisant l'expérience du puit de gravité

5/ Partie 2 :

### Expérience à réaliser : fabrication du puit de gravité

(Note de sécurité: les élèves doivent porter des lunettes de sécurité lors de la conduite de cette pratique pour éviter que les billes impactent le visage).

Le fait de tirer le tissu vers le bas simule la déformation de l'espace due à une étoile. Pour représenter une étoile de masse supérieure, tirez encore plus vers le bas.

La bille va parcourir un chemin déterminé par sa vitesse et l'attraction de l'étoile

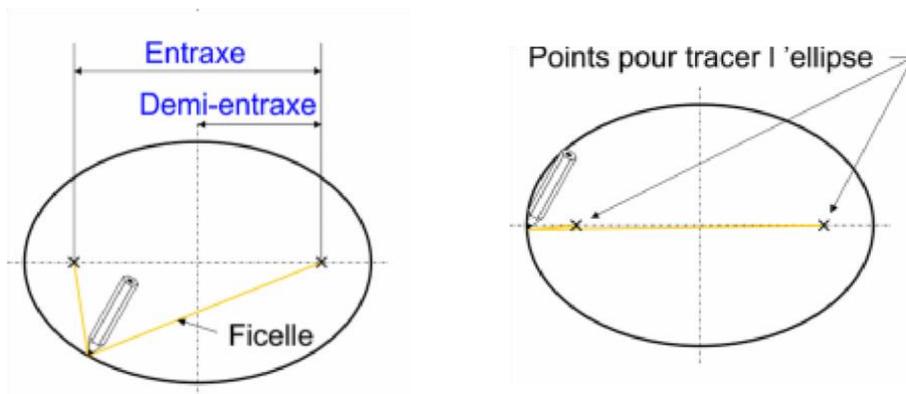
Donnez à la bille (votre planète) une vitesse tangentielle au lancé

FAIRE UN BILAN de cette simulation pratique : Qu'ont-ils découvert ? Vous avez sans doute trouvé que, même si certaines de vos orbites semblaient assez circulaires, vous avez tendance à obtenir des orbites elliptiques.

6/ Activité 3

Dessiner une ellipse avec un crayon et une ficelle

- Placez deux points sur l'axe le plus long de l'ellipse, chacun à égale distance du centre, après avoir déterminé leurs positions avec l'outil ci-dessous.
- Prenez une ficelle d'une longueur un peu supérieure au grand axe.
- Attachez cette ficelle aux points précédemment placés (matérialisés par deux punaises) sans la tendre. La longueur de la ficelle entre les deux points doit être **égale au grand axe**
- Puis prenez un crayon, placez-le de façon à tendre la ficelle comme sur le dessin ci-contre
- Faites-le glisser tout en **gardant la ficelle tendue** afin de dessiner l'ellipse



En option, parler de la diapositive 13 avec la 3ème loi de Kepler si approprié.

# Activité 7 : Orbite L2 de Gaia

## Fiche enseignant

7/ Diapos 15-18: Les points de Lagrange

Les élèves utiliseront les résultats de leurs observations du puits de gravité pour prédire ce qui devrait arriver à l'orbite d'un objet à L2.

Les liens proposés sur le powepoint sont très utiles pour une vue d'ensemble

Explication des points de Lagrange :

Lien ESA : [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Operations/What\\_are\\_Lagrange\\_points](http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/What_are_Lagrange_points)

Ainsi, au point de Lagrange L1, la gravité de la Terre est juste assez forte pour contrecarrer une partie de l'attraction du Soleil, attirant le vaisseau spatial, le ralentissant et le forçant à avoir la même période que la Terre. Des missions comme SOHO sont placées dans cette position.

Au point L2, la gravité de la Terre est juste assez forte pour ajouter à la force d'attraction du Soleil et « pousser » le vaisseau spatial, le faisant se déplacer plus rapidement et le forçant à avoir la même période que la Terre.

8/ Partie 4 diapo 16 : Les points de Lagrange

Repensez aux puits de gravité :

- Comment la période des objets plus lointains variait-t-elle par rapport aux objets plus proches ?
- Quelle est la relation entre l'orbite de l'objet proche et celle de l'objet plus éloigné ?
- Pourquoi doit on choisir le point L1 plutôt que le point L2 ?

Poursuivre les diapos et expliquer le plus précisément le choix de L2 : protection des radiations solaire (dos au soleil) ; pas d'ombre, distance proche pour envoyer des données

À la distance L2, la force gravitationnelle de la Terre est juste pour maintenir l'engin en alignement avec la Terre.

### Suite de l'atelier « Pour aller plus loin »

Diapositives 20 – 24 : Extension pour les étudiants de terminale Scientifique

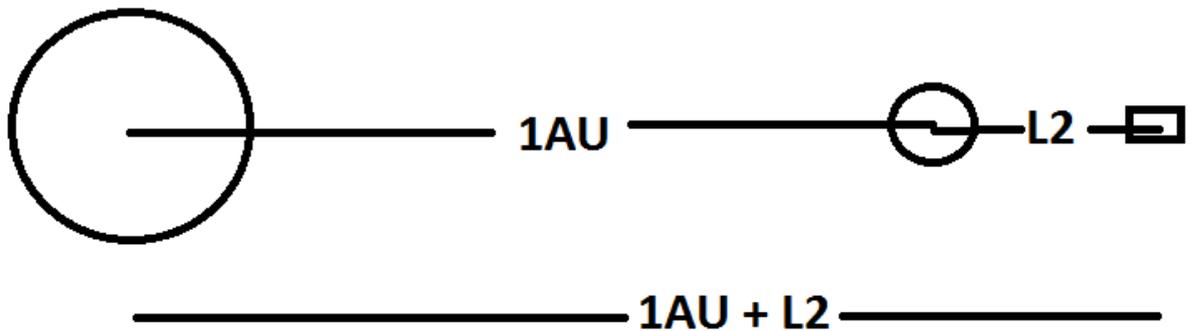
Cette activité permet aux élèves d'utiliser les concepts de mouvement circulaire et d'attraction gravitationnelle pour établir une équation leur permettant de prouver que 1 500 000 km est une solution pour le point Lagrange L2. La clé de ceci est que, pour que L2, la Terre et le Soleil soient en alignement constant, L2 doit avoir la même vitesse angulaire que la Terre.

Voir fiche solution professeur Calcul de L2

# Activité 7 : Orbite L2 de Gaia

## Fiche enseignant

### Teacher solution: Mathematical Modelling of L2



Gaia and the Earth have the same  $\omega = \omega_e$

$$\text{Gravitational force Gaia experiences} = \frac{GM_S M_{Gaia}}{(1AU + L2)^2} + \frac{GM_E M_{Gaia}}{L2^2}$$

Centripetal force =  $m\omega^2 r$

And for an orbit, the centripetal force = gravitational force

$$\text{Therefore } M_{Gaia} \omega_E^2 (1AU + L2) = \frac{GM_S M_{Gaia}}{(1AU + L2)^2} + \frac{GM_E M_{Gaia}}{L2^2}$$

By dividing both sides by  $M_{Gaia} \omega_e^2$  we lose the need for the mass of Gaia:

$$1AU + L2 = \frac{GM_S}{\omega_E^2 (1AU + L2)^2} + \frac{GM_E}{\omega_E^2 L2^2}$$

At this point, rearrangement and simplification can be used, however this yields a polynomial which will be difficult for most students to solve.

Students can however calculate  $\omega_e$  and substitute known values to prove that 1.5 million km is a valid solution.

### Calculating $\omega_e$

Since the Earth will rotate through  $2\pi$  radians in time period T.

$$T = 365.25 \text{ days} = 31557600 \text{ seconds}$$

$$\omega_e = 2\pi/T = 1.99 \times 10^{-7} \text{ rad s}^{-1}$$

Constants to substitute in:

$$M_S = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg} \quad M_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$1AU = 150,000,000 \text{ km} \quad L2 = 1,500,000 \text{ km}$$

Remember distances must first be converted into m