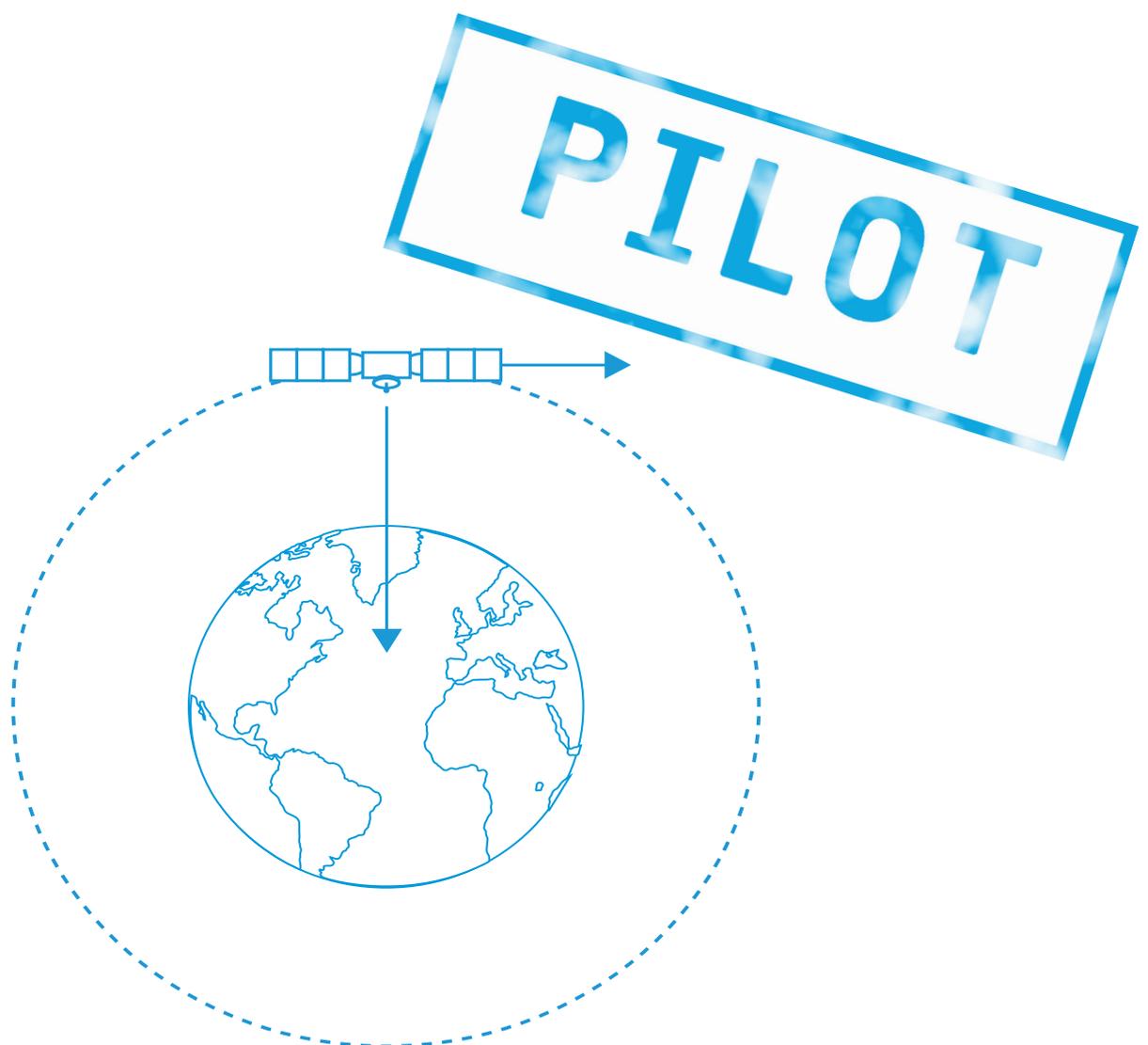


teach with space

→ LES PUIITS DE GRAVITÉ

Modélisation des orbites et compréhension de leurs principes



Infos pratiques	page 3
Informations générales	page 4
Manuel de l'activité 1	page 7
Manuel de l'activité 2	page 8
Manuel de l'activité 3	page 12
Manuel de l'activité 4	page 14
Liens	page 16

LES PUIITS DE GRAVITÉ

Modélisation des orbites et compréhension de leurs principes

EN BREF

Tranche d'âge : 15-18 ans

Type : activité pratique de groupe

Niveau de difficulté : facile

Temps de préparation pour l'enseignant : 15 minutes

Durée de la leçon : Entre 30 minutes et 1 heure, selon la méthode choisie

Coût par élève : faible (moins de 5 euros)

Lieu : intérieur

Éléments requis : cerceaux (Hula hoop), billes, tissu extensible, pinces à dessin

Description

En réalisant cet ensemble d'activités, les élèves apprendront comment les objets se déplacent sous l'influence de la gravité en simulant des orbites et en observant leurs propriétés dans un modèle de champ gravitationnel simple à construire. Les élèves pourront ensuite relier les trois lois du mouvement planétaire de Kepler à leur compréhension de la gravité, avant de découvrir les points de Lagrange dans un système à deux corps. L'ensemble des activités peut être approfondi avec une modélisation mathématique plus poussée d'un champ de gravité. Chaque activité peut être réalisée individuellement.

Objectifs pédagogiques

- Notions sur la force gravitationnelle
- Équilibre des forces
- Orbites
- Lois de Kepler relatives au mouvement planétaire
- Points de Lagrange

Consolidation des acquis

- Consolidation des compétences expérimentales générales
- Application des connaissances acquises par le biais d'observations expérimentales permettant de résoudre des problèmes théoriques.
- Amélioration des compétences d'évaluation
- Application des équations pour résoudre des problèmes théoriques
- Amélioration de la capacité à appliquer des connaissances théoriques à des situations réelles
- Meilleure compréhension de la pertinence des missions scientifiques en dehors du laboratoire

Liens connexes

- Physique : gravité, équilibre des forces, orbites, points de Lagrange
- Maths : application des calculs pour résoudre les problèmes

Autre matériel nécessaire

http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_classroom_demonstration_video_VP04

CONTEXTE

La gravité (ou « pesanteur ») est l'une des forces fondamentales de la nature. C'est la force d'attraction que chaque objet exerce sur tous les autres objets. La force de gravité dépend de la masse de l'objet. Il existe un nombre important de termes liés à la gravité. Ceux-ci incluent :

- **Champ gravitationnel** : zone d'espace autour d'un objet à l'intérieur de laquelle un autre objet subit une force d'attraction gravitationnelle.
- **Accélération gravitationnelle** : accélération d'un objet en raison de sa présence à l'intérieur du champ gravitationnel d'un autre objet.
- **Énergie potentielle gravitationnelle** : énergie qu'un objet possède en raison de sa position dans le champ gravitationnel d'un autre objet.

Bien qu'elle soit faible par rapport à d'autres forces, la gravité détermine en fin de compte la structure de l'Univers à très grande échelle. La compréhension des effets de la gravité est essentielle pour comprendre le comportement des grands objets dans l'espace, qu'il s'agisse des satellites en orbite autour de la Terre, ou des planètes et des autres corps du Système solaire, des étoiles, des galaxies et des amas de galaxies.

Un des effets de la gravité est de provoquer la mise en orbite de petits objets autour de plus grands objets – par exemple, les orbites des planètes autour du Soleil (Figure 1). Le Soleil exerce une attraction gravitationnelle sur les planètes, mais les planètes exercent également leur propre attraction gravitationnelle sur le Soleil ! Cependant, comme le Soleil est extrêmement massif, son mouvement est presque négligeable, tandis que le mouvement des planètes subissant l'attraction du Soleil est beaucoup plus perceptible. Les orbites planétaires peuvent être expliquées par les trois lois du mouvement planétaire de Kepler.

- **Les lois de Kepler** :
 - ✓ Une planète en orbite autour du Soleil suit une trajectoire en forme d'ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers.
 - ✓ Une ligne imaginaire reliant une planète au Soleil « balaie » des zones égales dans des intervalles de temps égaux.
 - ✓ Le carré de la **période orbitale*** d'une planète est directement proportionnel au cube du demi-grand axe de l'orbite.

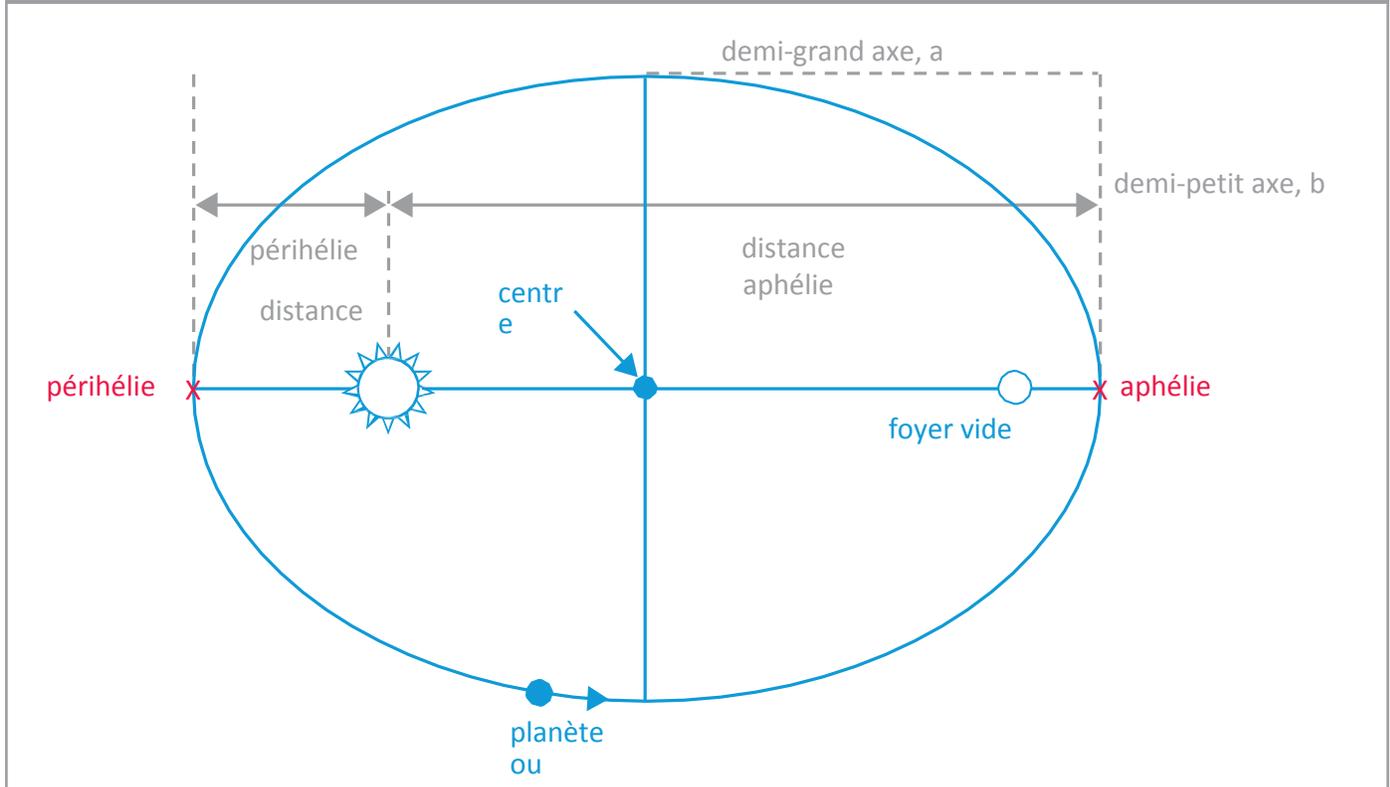
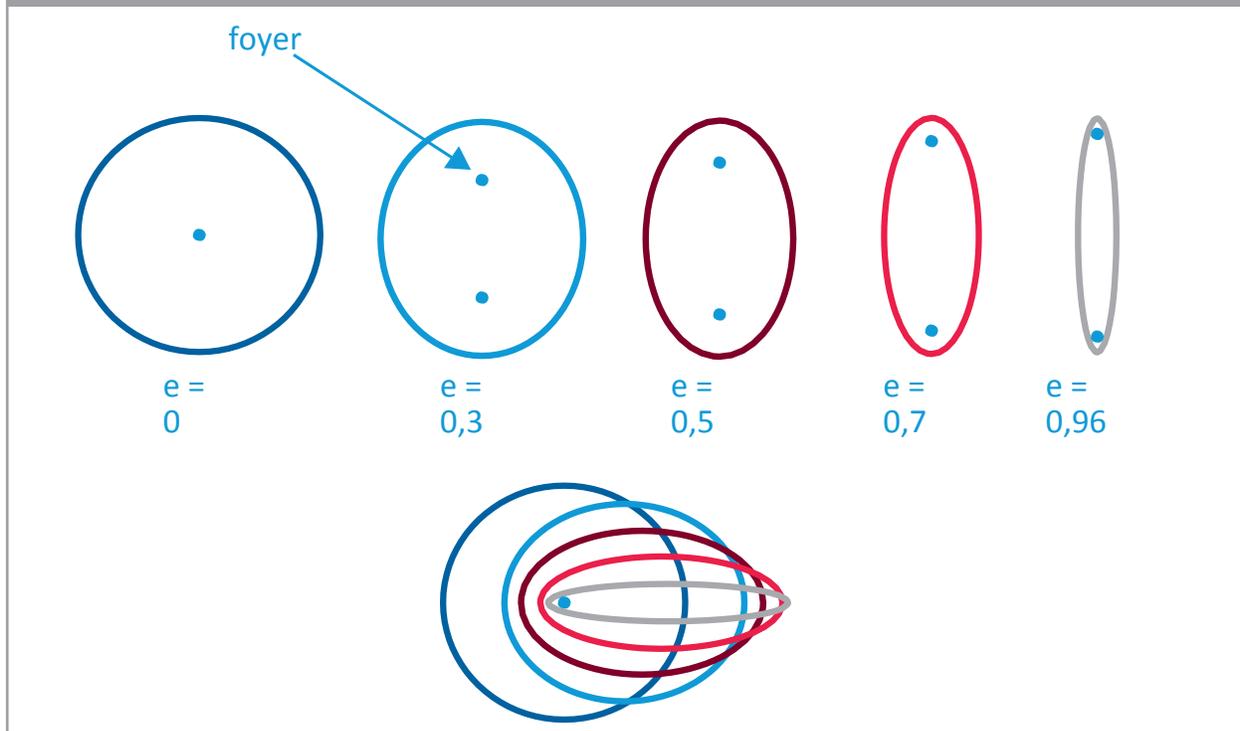


Illustration 1 : *Orbite elliptique d'une planète ou d'une comète autour du Soleil. Le périhélie et l'aphélie définissent les distances de la planète ou de la comète les plus proches et les plus éloignées du Soleil.*

Le Soleil est toujours au centre d'une orbite elliptique. Pour chaque point sur une ellipse, la somme des deux distances par rapport à chacun des foyers est constante.

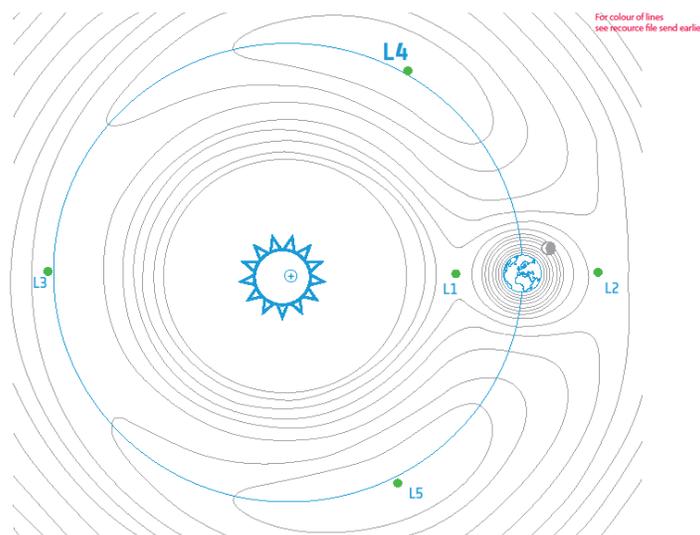
Pour comprendre les orbites elliptiques, nous devons définir deux propriétés : l'axe principal et l'axe secondaire (Figure 1). L'axe principal est le plus long diamètre d'une ellipse qui passe par les deux foyers et le centre. L'axe secondaire est le plus petit diamètre d'une ellipse. Il coupe l'axe principal à un angle de 90° . Ces deux lignes imaginaires et les emplacements correspondants d'un objet qui décrit une orbite elliptique jouent un rôle important dans le calcul de la vitesse et de l'énergie de l'objet en orbite. Le demi-grand axe correspond à la moitié de la longueur du grand axe (ou axe principal) et le demi-petit axe à la moitié de la longueur du petit axe (ou axe secondaire). Pour un cercle, ces deux axes ne sont pas différents, et correspondent au rayon du cercle.

L'excentricité est une mesure de l'écart de forme entre une ellipse et le cercle parfait (elle est notée « e » dans la figure 2). Un cercle est un type d'ellipse particulier où les deux foyers se chevauchent, et où l'excentricité est égale à 0. Une excentricité avec une valeur supérieure à 1 n'est pas une ellipse, mais une hyperbole. Une orbite d'une valeur de $e > 1$ n'est pas stable – le corps en orbite échappera à la traction gravitationnelle exercée par un plus grand corps.



↑ Illustration 2 : Excentricité de différentes ellipses. À mesure que l'excentricité augmente, les ellipses semblent plus « écrasées ».

Les engins spatiaux en orbite peuvent parfois tirer avantage des effets de la gravité. Les forces gravitationnelles combinées de la Terre et du Soleil peuvent parfois créer une force centripète égale à la force centrifuge exercée sur l'engin spatial en orbite. L'équilibrage de ces forces crée des points d'équilibre qui permettent à un engin spatial de rester en orbite plus longtemps et de requérir moins de manœuvres de repositionnement. Ces positions d'équilibre sont appelées « points de Lagrange » (Figure 3).



↑ Illustration 3 : Les points de Lagrange pour le système Terre-Soleil Tous les systèmes à deux corps possèdent cinq points de Lagrange.

Activité 1 : Pourquoi les objets entrent-ils en orbite ?

Cette activité utilise l'exemple de la Station spatiale internationale (ISS) en orbite autour de la Terre pour expliquer le principe de l'orbite. L'orbite résulte de l'attraction gravitationnelle de la Terre avec la vitesse en avant de l'ISS. Le but de l'activité est de faire comprendre aux élèves comment et pourquoi de petits objets entrent en orbite autour d'objets plus grands.

Réponses aux questions figurant sur la feuille d'activité des élèves

1. Observez la figure A1. Décrivez tout ce que la flèche rouge peut représenter.

La flèche rouge représente le mouvement vers l'avant de l'ISS. Il peut s'agir de sa vitesse en avant, ou de son accélération due à cette vitesse. Il peut s'agir également de la force d'inertie de l'ISS.

2. Décrivez tout ce que la flèche verte peut représenter.

La flèche verte peut représenter l'accélération gravitationnelle de l'ISS provoquée par la gravité de la Terre, ou l'attraction gravitationnelle de la Terre subie par l'ISS.

3. Imaginons que la gravité de la Terre disparaisse soudainement (cas purement fictif). Dans ce cas, vers quelle direction l'ISS se dirigerait-elle à la figure A1 ?

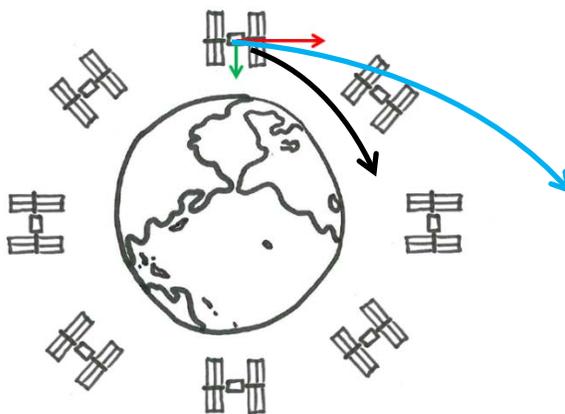
L'ISS se dirigerait en ligne droite vers la droite par rapport à la Terre si la gravité disparaissait.

4. Sur la figure A1, dessinez en bleu une trajectoire que l'ISS pourrait suivre si sa vitesse était plus rapide que celle indiquée ici.

Reportez-vous à la figure 4. L'ISS se déplacerait en décrivant une orbite plus large, échappant éventuellement au champ gravitationnel terrestre si la gravité se réduisait suffisamment.

5. Sur la figure A1, dessinez en noir une trajectoire que l'ISS pourrait suivre si (en théorie) la force de la gravité terrestre augmentait soudainement.

Reportez-vous à la figure 4. L'ISS se déplacerait en décrivant une orbite plus petite, et pourrait s'écraser sur la Terre si la gravité augmentait suffisamment.



↑ Illustration 4 : L'orbite de l'ISS autour de la Terre. La trajectoire que l'ISS pourrait suivre si la gravité de la Terre se réduisait est indiquée par la flèche bleue, et celle qu'elle pourrait suivre si la gravité de la Terre augmentait est indiquée par la flèche noire.

Activité 2 : Comment pouvons-nous simuler un champ gravitationnel ?

Dans cette activité pratique, les élèves utilisent un cerceau (Hula hoop) et un tissu extensible pour modéliser le champ gravitationnel d'un grand corps céleste. Le cerceau représente une zone d'espace à l'intérieur de laquelle des objets tels que des planètes et des satellites sont soumis à l'influence gravitationnelle d'un autre objet, tel que le Soleil ou une autre étoile.

Équipement (pour 1 puits de gravité)

- Un carré de 1 x 1 m de tissu extensible
- 1 cerceau (Hula hoop)
- 8 pinces à dessin
- 4 billes
- 1 élastique
- 30 cm de ficelle
- Un poids (masse) entre 600 et 1000 g
- Des lunettes de sécurité (une paire par personne)

Exercice

Toutes les instructions sont fournies dans la feuille d'activité de l'élève. Les instructions décrivent la configuration d'un puits de gravité étape par étape, afin de modéliser le champ gravitationnel. Cette expérience pratique utilisant un puits de gravité permet aux élèves de mieux comprendre les orbites et la gravité. Visionnez la vidéo d'accompagnement de la ressource « apprendre avec l'espace - puits de gravité | VP04 » pour une démonstration vidéo du puits de gravité (reportez-vous à la section Liens de ce document). Notez que le puits de gravité est une modélisation simplifiée, et qu'il existe des différences importantes entre ce modèle et un vrai système gravitationnel.

Si l'on fait rouler une bille sur un tissu plat, elle se déplace à une vitesse constante en ligne droite – aucune force de gravité n'agit sur la bille. Si l'on tire sur le tissu avec la main, ou à l'aide d'une bille et d'un élastique, on simule un champ de gravité autour d'un objet (pour simuler un objet de masse plus élevée, il suffit de tirer davantage sur le tissu).

Les élèves sont invités à travailler en groupes de trois ou quatre, de sorte qu'au moins deux élèves puissent mimer la gravité en tirant sur le tissu pendant que les trois autres font rouler les billes. Les élèves sont priés d'écrire leurs observations avant de penser aux questions de la discussion. Une fois les observations des élèves consignées, organisez une discussion autour des réponses à ces questions avec votre classe.

Réponses

6. Indiquez ce que les objets suivants représentent. Expliquez en quoi ils sont similaires aux objets de la vie réelle qu'ils représentent.

Masse suspendue	Puits de gravité	Bille
Représente un objet céleste volumineux, tel qu'une étoile ou une planète. Elle abaisse le tissu, créant une zone d'espace à l'intérieur de laquelle un objet plus petit tombera en direction de la masse suspendue.	Champ gravitationnel d'un objet céleste volumineux, tel qu'une étoile ou une planète. Tout objet plus petit placé dans ce champ gravitationnel sera attiré vers le milieu.	Petit objet qui est affecté par le champ gravitationnel d'un plus grand objet. La bille étant beaucoup plus petite que la masse suspendue, son propre puits de gravité est insignifiant.

7. Décrivez le mouvement de la bille par rapport au mouvement qu'elle décrit sans puits de gravité.
La bille se déplace maintenant autour du puits de gravité en formant un cercle ou une ellipse. La trajectoire qu'elle suit devient de plus en plus petite avec le temps.
8. Essayez d'envoyer une bille en décrivant une orbite elliptique le long d'une trajectoire passant très près du centre du puits de gravité. Décrivez le mouvement de la bille.
La bille se déplace facilement en décrivant une orbite elliptique. La bille poursuit son orbite de telle sorte que le point où la bille est au plus proche du centre change à chaque révolution autour du puits de gravité. La bille se déplace plus rapidement lorsqu'elle est proche du centre du puits de gravité.
9. Prenez deux billes et tenez-les dans une main. Séparez-les légèrement de sorte à établir une certaine distance entre elles. Envoyez-les « en orbite » en les libérant en même temps. Elles sont censées former deux orbites distinctes. Décrivez une orbite par rapport à l'autre.
Les deux billes décrivent des orbites elliptiques, mais elles ne se déplacent pas ensemble ou ne se suivent pas. La bille libérée plus près du bord supérieur du puits de gravité se déplace plus lentement, et il lui faut plus de temps pour atteindre le centre.
10. Utilisez votre puits de gravité de manière à recueillir suffisamment d'observations variées, puis réfléchissez aux questions suivantes avant d'en discuter avec la classe.
Organisez une discussion autour des réponses aux questions suivantes avec vos élèves.
Vous pouvez prouver chaque réponse en utilisant le puits de gravité si vous le souhaitez.

Quelle est la relation entre la vitesse de la bille et sa distance par rapport au puits de gravité? Pouvez-vous expliquer vos observations ?

La bille se déplace plus rapidement lorsqu'elle se rapproche du centre du puits de gravité, et plus lentement lorsqu'elle s'en éloigne. Ceci est également vrai pour les planètes du Système solaire : les planètes plus proches du Soleil (Mercure, Vénus, Terre et Mars) voyagent plus rapidement que les planètes plus éloignées du Soleil (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune). Ceci s'explique par cette loi : plus un petit objet est proche d'un plus grand objet, plus la force de gravité qu'il subit est forte.

Quelle est la relation entre la distance de la bille par rapport au centre du puits de gravité et le temps qu'il lui faut pour compléter une orbite ? Pouvez-vous expliquer vos observations ? La réponse à cette question est similaire à celle de la question précédente. Plus une bille est éloignée du centre du puits de gravité, plus elle se déplace lentement, et doit se déplacer plus loin, de sorte que le temps nécessaire pour compléter une orbite est beaucoup plus long.

Il est possible de comprendre cela en termes de loi de conservation de l'énergie. Un objet dans un champ gravitationnel a une énergie potentielle gravitationnelle (GPE). Il s'agit de l'énergie stockée par un objet en raison de sa position dans un champ gravitationnel. Si un objet subit l'attraction du champ gravitationnel d'une masse plus grande, plus la différence entre les masses de ces objets est importante, plus la GPE de l'objet de plus petite masse sera grande. (Le résultat d'une GPE importante est que la petite masse libérerait plus d'énergie en tombant vers la grande masse).

Une planète en mouvement comprend une énergie cinétique ainsi qu'une GPE. Parce que l'énergie est conservée, en tout point de l'orbite la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle est la même, mais l'équilibre entre les deux change constamment. À mesure qu'une planète s'éloigne du Soleil, l'augmentation de sa GPE entraîne une diminution de l'énergie cinétique (donc, la planète ralentit). À mesure qu'une planète se rapproche du Soleil, la diminution de sa GPE entraîne une augmentation de son énergie cinétique (donc, la planète accélère)

L'une des orbites était-elle parfaitement circulaire ? Expliquez pourquoi il est facile, ou difficile, de produire une orbite circulaire.

Les élèves ont dû remarquer que, bien que certaines orbites semblaient assez circulaires, la majorité des orbites semblaient extrêmement elliptiques. Les orbites des billes ont tendance à être elliptiques car il est difficile de les libérer avec une vitesse et une direction qui équilibrent parfaitement la « force » d'attraction qu'elles subissent, exercée par le puits de gravité.

Dans la réalité, nous n'observons jamais d'orbites parfaitement circulaires au sein de notre Système solaire. Toutes les planètes du Système solaire décrivent une orbite elliptique autour du Soleil, selon la première loi de Kepler. Cependant, les excentricités de ces ellipses sont très petites, ce qui signifie que les orbites sont presque circulaires. Certains objets tels que les comètes ont des excentricités extrêmement élevées – beaucoup proviennent de bien au-delà des orbites de Pluton et de Neptune avant de se rapprocher du Soleil (Figure 5).

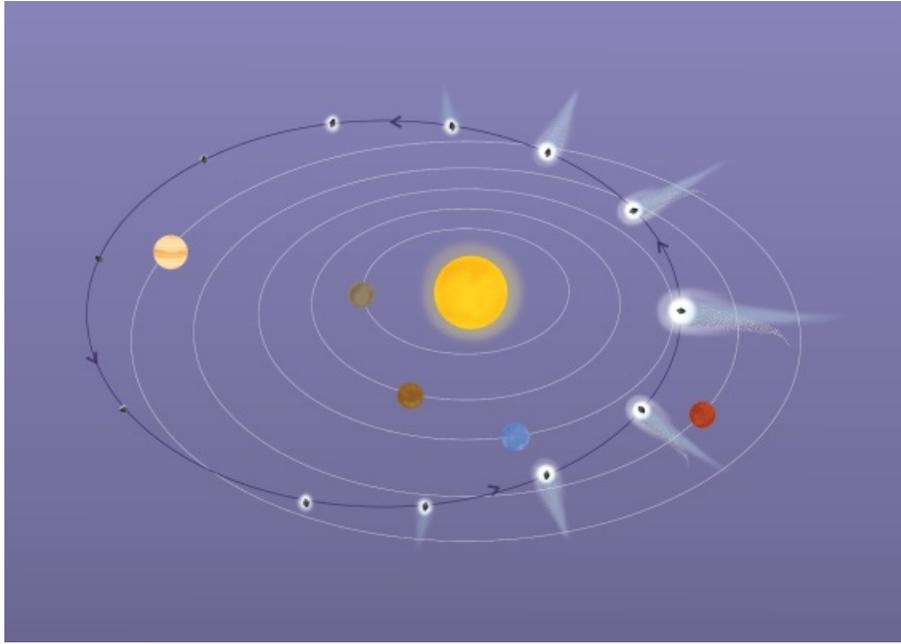


Illustration 5 : Les orbites très légèrement elliptiques des planètes jusqu'à Jupiter (orbites illustrées en blanc), comparées à l'orbite très elliptique de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko (orbite illustrée en noir).

Pourquoi la bille ne tombe-t-elle pas directement au centre du puits de gravité ? Comparez cette observation avec le système Terre/ISS. En quoi les deux systèmes sont-ils similaires/différents?

L'attraction gravitationnelle (ici, la surface inclinée du puits de gravité) fait tomber la bille vers le centre, mais la bille possède également une vitesse de propulsion vers l'avant. La combinaison de ces deux propriétés du système fait que la bille se met en orbite autour du puits de gravité, au lieu de tomber directement au centre. Finalement, la bille perd suffisamment d'énergie cinétique (l'énergie de mouvement) pour que la « force » exercée par le puits de gravité la fasse tomber au centre. La même chose se produirait dans le Système solaire. Si une planète perdait toute son énergie cinétique, elle serait alors attirée vers le Soleil.

Le système Terre/ISS est similaire. La force de gravité de la Terre combinée à la vitesse en avant de l'ISS signifie que l'ISS reste en orbite autour de la Terre, plutôt que de s'envoler dans l'espace ou de tomber vers la Terre.

La différence avec le système Terre/ISS est que la Terre exerce une réelle force de gravité sur l'ISS – alors que dans notre puits de gravité, nous ne faisons que simuler la gravité à l'aide d'une surface inclinée. Cette surface inclinée exerce une force de frottement sur la bille qui perd très rapidement son énergie cinétique et tombe au centre du puits.

Activité 3 : Approfondissement 1 - Qu'est-ce qu'un point de Lagrange?

Cette activité d'approfondissement convient aux élèves plus âgés (16 ans et plus) qui ont une connaissance plus approfondie de la gravité et de ses effets. Au cours de cette activité, les élèves sont initiés aux points de Lagrange, qui sont des positions dans l'espace où les forces gravitationnelles et centrifuges s'équilibrent, et qui fournissent aux engins spatiaux la stabilité nécessaire pour réaliser leurs observations. Les élèves sont invités à utiliser un ballon pour modéliser leurs propres points de Lagrange. Lorsqu'ils gonflent le ballon et simulent une étoile et une planète en appuyant leurs doigts sur la surface, ils peuvent voir que ces points à la surface du ballon sont plus plats, et donc plus stables.

Exercice

Les étudiants sont invités à considérer pourquoi les points de Lagrange sont stables, en utilisant leur imagination et leur bon sens pour fournir des réponses. Les élèves peuvent cependant bénéficier de quelques conseils tirés des réponses ci-dessous.

Réponses aux questions figurant sur la feuille d'activité des élèves

1. En référence à l'attraction gravitationnelle du Soleil et de la Terre, essayez d'expliquer pourquoi un objet en L1 est dans une position d'équilibre.

Selon la troisième loi de Kepler, plus un objet est proche du Soleil, plus il se déplace vite. Ainsi, tout engin spatial voyageant autour du Soleil en décrivant une orbite plus petite que celle de la Terre dépassera rapidement la Terre. Cependant, si l'engin spatial est placé en un point directement entre le Soleil et la Terre, il sera affecté à la fois par la gravité du Soleil et par la gravité de la Terre qui le tirera dans la direction opposée et annulera une partie de l'attraction du Soleil. Dans l'ensemble, l'attraction vers le Soleil est plus faible, et l'engin spatial ralentit. À une certaine distance de la Terre, l'engin spatial sera affecté de telle sorte que les forces agissant sur lui seront équilibrées. Il s'agit du point L1.

2. En référence à l'attraction gravitationnelle du Soleil et de la Terre, essayez d'expliquer pourquoi un objet en L2 décrit une orbite stable.

Un effet similaire à celui de L1 se produit également du côté « nocturne » de la Terre, au-delà de l'orbite terrestre. Un engin spatial placé à ce point est plus éloigné du Soleil et devrait donc suivre une orbite plus lente que l'orbite terrestre. Cependant, l'attraction supplémentaire de notre planète s'ajoute à celle du Soleil, et permet à l'engin spatial de se déplacer plus rapidement, en alignant sa vitesse avec celle de la Terre. À un endroit particulier, appelé L2, l'attraction gravitationnelle terrestre est juste suffisante pour que l'engin spatial se déplace à la même vitesse que la Terre.

Si vous le souhaitez, vous pouvez présenter brièvement les points L3, L4 et L5 (les trois autres points de Lagrange) aux élèves :

L3 se trouve derrière le Soleil, du côté opposé à la Terre, juste au-delà de la distance correspondant à l'orbite de notre planète. Les objets en L3 ne peuvent pas être vus depuis la Terre. Ce point offre la possibilité d'observer la face cachée du Soleil.

Un engin spatial à L1, L2 ou L3 est « métastable », tel une balle en équilibre au sommet d'une colline. Une petite poussée ou un choc suffit à l'éloigner de ce point – de sorte qu'un engin spatial doit effectuer des mises à feu fréquentes pour rester dans ce que l'on appelle les « orbites de halo » autour du point de Lagrange.

Vu du Soleil, les points L4 et L5 se trouvent le long de la même orbite que celle de la Terre, à 60 degrés plus avant et derrière la Terre. Contrairement aux autres points de Lagrange, L4 et L5 résistent aux perturbations gravitationnelles. Ils offrent une très grande stabilité, tels de grands bols pouvant accueillir des objets. Lorsqu'il est doucement déplacé, un objet en orbite autour du point de Lagrange ne s'en éloigne pas. En raison de cette stabilité, des objets tels que des poussières et des astéroïdes ont tendance à s'accumuler dans ces régions.

Activité 4 : Approfondissement 2 – En quoi un point de Lagrange peut-il être utile à un engin spatial ?

Dans cette activité, les élèves constatent la stabilité des engins spatiaux aux points de Lagrange et la raison pour laquelle ils sont placés à ces points. Les élèves étudient ensuite différents engins spatiaux réels pour déterminer s'ils sont situés à un point de Lagrange et, dans l'affirmative, en quoi cela est avantageux.

Réponses aux questions figurant sur la feuille d'activité des élèves

1. Un engin spatial peut être placé à un point de Lagrange pour obtenir une orbite plus stable autour du Soleil. Une orbite stable signifie que l'engin spatial est susceptible de rester dans cette position en ne requérant que peu d'interventions. Expliquez pourquoi une orbite stable est utile à un engin spatial.

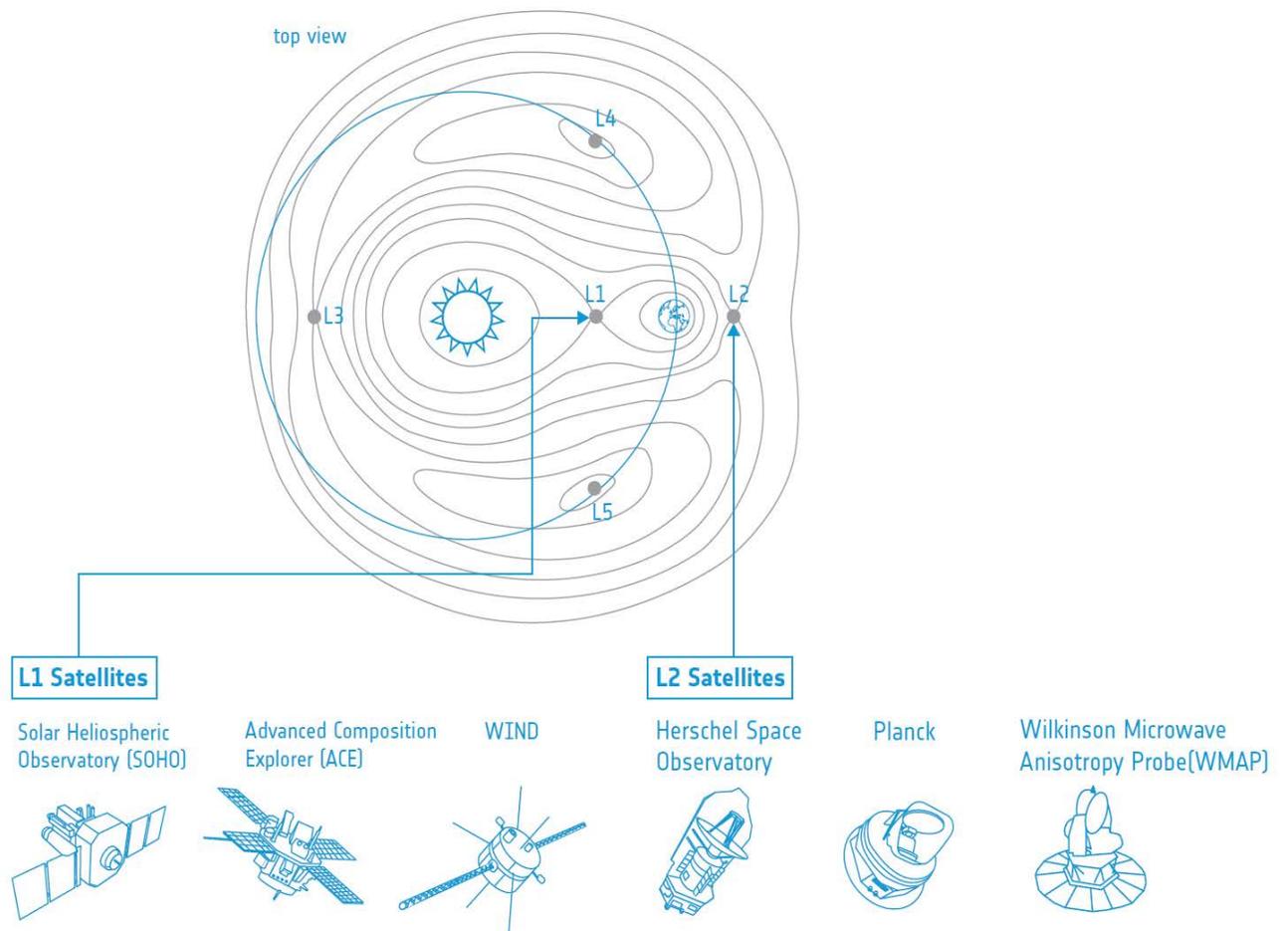
Un engin spatial décrivant une orbite stable nécessite moins d'énergie pour maintenir sa position ; il dérive moins, et requiert donc moins de corrections de sa trajectoire orbitale. Cela se traduit par une économie de temps, d'énergie et d'argent par rapport à une orbite instable.

2. Imaginez que vous avez placé un engin spatial en orbite à l'un des points de Lagrange que vous pouvez voir sur votre modèle de ballon (reportez-vous à l'activité A3 ou à la figure A8). Selon vous, que se passerait-il si vous déplaciez légèrement votre engin spatial du point de Lagrange ? Expliquez s'il existe une différence entre votre modèle de ballon et le système illustré à la figure A8. L'engin spatial se comporterait-il de la même manière dans les deux systèmes ?

Pour L1, L2 et L3, l'engin spatial s'éloignerait du point de Lagrange. Expliquer aux élèves que sur leur modèle de ballon statique tous les points de Lagrange sont instables, de sorte qu'un engin spatial s'éloignerait de n'importe quel point de Lagrange. Dans un système de référence rotatif, ce qui est le cas pour les systèmes Soleil-Terre et Terre-Engin spatial, L4 et L5 deviennent stables. Un objet reviendrait vers le point de Lagrange même s'il était légèrement repoussé.

3. Effectuez une recherche sur les engins spatiaux réels pour savoir s'ils ont été, sont ou seront positionnés à un point de Lagrange. En considérant la mission d'observation que chaque engin spatial est destiné à remplir, citez les raisons pour lesquelles les engins peuvent être placés à un point de Lagrange. Les exemples d'engins spatiaux que vous pourriez rechercher incluent Genesis, SOHO, Gaia et le télescope spatial James Webb. Vous pouvez trouver des informations à ce sujet sur le site Web de l'ESA.

La figure 8 présente quelques-uns des engins spatiaux qui sont ou ont été placés en orbite aux points L1 et L2 de Lagrange. Ce diagramme peut être montré aux étudiants avant ou après avoir répondu à la question 3.



↑ Illustration 8 : Exemples d'engins spatiaux situés en L1 et L2.

Liens

Apprendre avec l'espace

Les puits de gravité– Vidéo de démonstration en classe (VP04) :
http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_classroom_demonstration_video_VP04

Missions et projets scientifiques liés à l'ESA

ISS : http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station

GOCE : http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/GOCE

Rosetta : http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

SOHO : http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/SOHO_overview2

Herschel : http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Herschel

Planck : http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Planck

Points de Lagrange : http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/What_are_Lagrange_points

Concept développé pour l'ESA par la National Space Academy (NSA, Royaume-Uni)