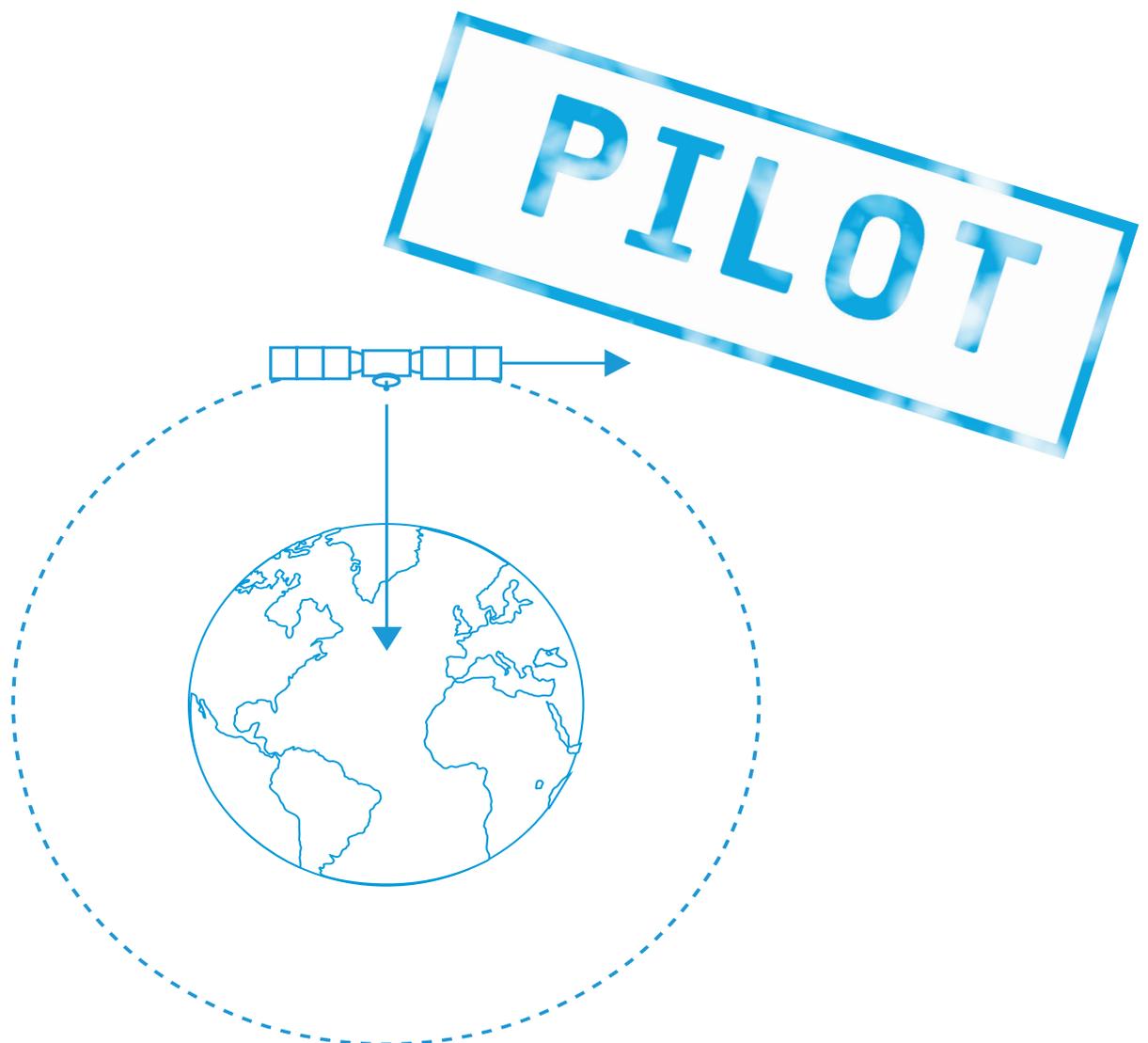


# teach with space

## → LES PUIITS DE GRAVITÉ

Modélisation des orbites et compréhension de leurs principes



<b>Activité 1 : Pourquoi les objets entrent-ils en orbite ?</b>	<b>page 3</b>
<b>Activité 2 : Comment pouvons-nous simuler un champ gravitationnel ?</b>	<b>page 5</b>
<b>Activité 3 : Approfondissement 1 - Qu'est-ce qu'un point de Lagrange?</b>	<b>page 8</b>
<b>Activité 4 : Approfondissement 2 – En quoi un point de Lagrange peut-il être utile à un engin spatial ?</b>	<b>page 10</b>

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

### Le saviez-vous ?

La Station spatiale internationale (ISS) est située à 400 km au-dessus de la surface de la Terre. Il s'agit d'un laboratoire spatial en orbite qui abrite généralement six astronautes simultanément. La gravité attire l'ISS vers la Terre, mais l'ISS suit également une trajectoire horizontale à une vitesse constante d'environ 27 500 km/h – environ 500 fois la vitesse d'une voiture ! Cette vitesse de propulsion vers l'avant empêche l'ISS d'être attirée en direction de la Terre. Au lieu de cela, la station est quelque sorte en « chute libre » autour de la Terre. En raison de cette chute constante, les astronautes à bord connaissent des conditions de microgravité.

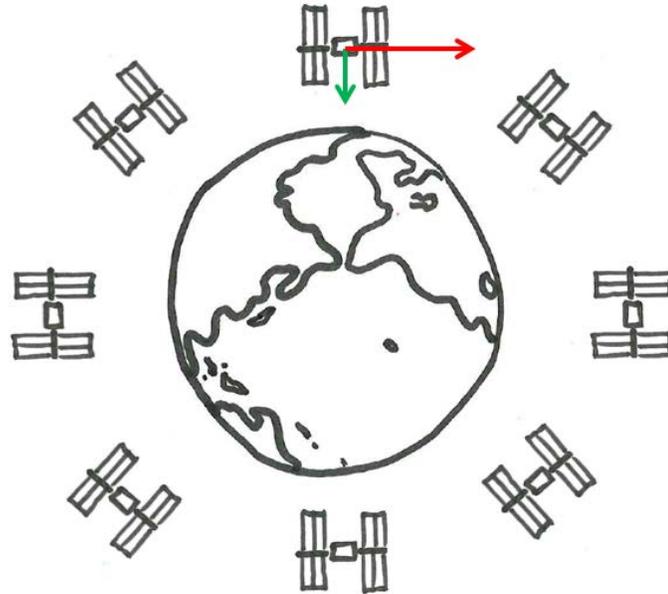


Sans la gravité (ou « pesanteur »), nos vies seraient très différentes. La Terre ne serait pas en orbite autour du Soleil, la Lune ne serait pas en orbite autour de la Terre, nous floterions dans l'espace, et il n'existerait pas de satellites d'observation de la Terre. Mais comment, exactement, la gravitation peut-elle permettre la mise en orbite d'un objet ? Pourquoi des objets tels que les satellites ne tombent-ils pas au sol ou ne s'envolent-ils pas dans l'espace ?

Une orbite résulte de l'équilibre de l'attraction gravitationnelle exercée sur un objet combinée à la vitesse vers l'avant de l'objet.

### Exercice

Le diagramme ci-dessous représente l'ISS en orbite stable autour de la Terre. Il s'agit d'un modèle simplifié qui n'est pas à l'échelle :



*Figure A1* Modèle simplifié de l'ISS en orbite autour de la Terre.

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

---

---

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

---

---

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 ?

---

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.

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.

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

Le champ gravitationnel d'un objet est la zone d'espace qui l'entoure, et à l'intérieur de laquelle un autre corps subit une attraction gravitationnelle. Au cours de cette activité, vous créez un « puits de gravité ». Il s'agit d'un modèle qui permet de visualiser le mouvement de petits objets dans le champ gravitationnel d'un objet plus grand.

### Équipement

- 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)

### La sécurité avant tout

- Toutes les personnes participant à cette activité doivent porter des lunettes de sécurité pour protéger leurs yeux au cas où le tissu perdrait de sa tension et que les billes roulant à la surface s'envoleraient, ou au cas où les billes s'écarteraient de leur trajectoire.
- Lorsque vous utilisez un puits de gravité, veillez à toujours le maintenir horizontal.

### Exercice

1. Recouvrez le cerceau avec le tissu extensible.
2. Étirez le tissu et attachez-le à l'arceau en utilisant des pinces à dessin espacées uniformément autour du bord, comme indiqué sur la figure A2.



Figure A2 Tissu attaché au cerceau à l'aide de pinces à dessin.

3. La participation de deux personnes au minimum est requise pour tenir le cerceau à plat et horizontalement. Une troisième personne fait rouler une bille sur le tissu. Décrivez le mouvement de la bille.

---

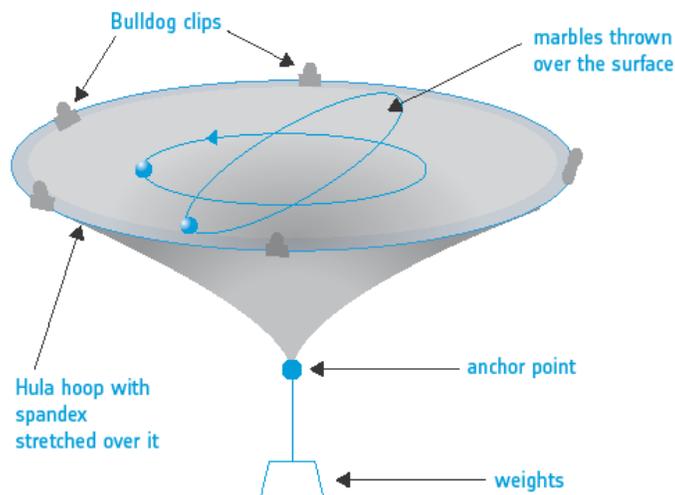
---

4. Créez un puits de gravité en plaçant ou en suspendant une masse au centre du tissu (Figure A3). La masse peut être suspendue de la manière suivante :
  - Placez une bille au centre du tissu.
  - Enroulez le tissu autour de la bille et fixez-le fermement à l'aide d'un élastique.
  - Passez un bout de ficelle à travers l'élastique et faites un nœud.
  - Accrochez une masse à l'autre extrémité de la ficelle.



*Figure A3 Fabrication du puits de gravité*

5. Envoyez une bille en orbite autour du puits de gravité, en la poussant dans une direction horizontale, comme indiqué à la figure A4.



*Figure A4 Configuration complète du puits de gravité.*

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

7. Décrivez le mouvement de la bille par rapport au mouvement qu'elle décrit sans puits de gravité.

---

---

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.

---

---

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.

---

---

---

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.

- Quelle est la relation entre la vitesse d'une bille et sa distance par rapport au puits de gravité? Pouvez-vous expliquer vos observations ?
- 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 ?
- L'une des orbites était-elle parfaitement circulaire ? Expliquez pourquoi il est facile, ou difficile, de produire une orbite circulaire.
- Pourquoi la bille ne tombe-t-elle pas directement au centre du puits de gravité ? Comparez cette observation avec le système Terre/ISS. Expliquez les similarités et les différences entre ce modèle et le système Terre/ISS réel.

### Le saviez-vous ?

L'ESA a exploré la gravité terrestre au cours de la mission GOCE (Mission d'étude de la gravité et de la circulation océanique en régime stable). On suppose généralement que le champ gravitationnel terrestre est constant, mais il existe en réalité des variations subtiles dues à des facteurs tels que la rotation de la Terre, la position des montagnes et des fosses océaniques, et les variations de densité à l'intérieur de la Terre. Le satellite GOCE mesure ces petites variations. Les données de GOCE sont utilisées pour mieux comprendre les processus qui prennent place à l'intérieur de la Terre, la circulation océanique, les changements du niveau de la mer, et pour des applications pratiques telles que la cartographie de la hauteur de la surface terrestre. De plus, les mesures sont utilisées pour améliorer les estimations de l'épaisseur de la calotte polaire et de son mouvement.



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

Dans un système à deux corps comme le Soleil et la Terre, trois forces agissent : la gravité du Soleil, la gravité de la Terre, et une force centrifuge créée par la rotation du Soleil et de la Terre autour d'un centre de gravité commun. Un **point de Lagrange** est un endroit situé sur l'orbite d'une planète où les forces entre le Soleil et la planète s'équilibrent, créant un point d'équilibre. La figure A6 montre comment la combinaison du puits gravitationnel du Soleil et du puits gravitationnel de la Terre avec l'espace normal conduit à produire cinq points disséminés autour des deux grandes masses, où toutes les forces que subirait un petit corps placé à cet endroit s'annuleraient. Les cinq points de Lagrange dans le système Soleil-Terre sont illustrés à la figure A7.

### Exercice

Gonflez un ballon pour créer un modèle de l'Univers. La surface du ballon représente l'espace incurvé. Mimer la présence d'une « étoile » et une « planète » sur le ballon en appuyant avec vos doigts pour créer des dépressions, comme représentées à la figure A8. Pouvez-vous voir qu'il y a des points où la surface du ballon est plate à cause des dépressions ? Un petit objet pourrait en théorie être placé en équilibre à l'un de ces endroits (par quelqu'un suffisamment adroit). Notez qu'il s'agit d'un modèle simplifié qui permet de visualiser les points de Lagrange – la situation réelle est beaucoup plus compliquée.

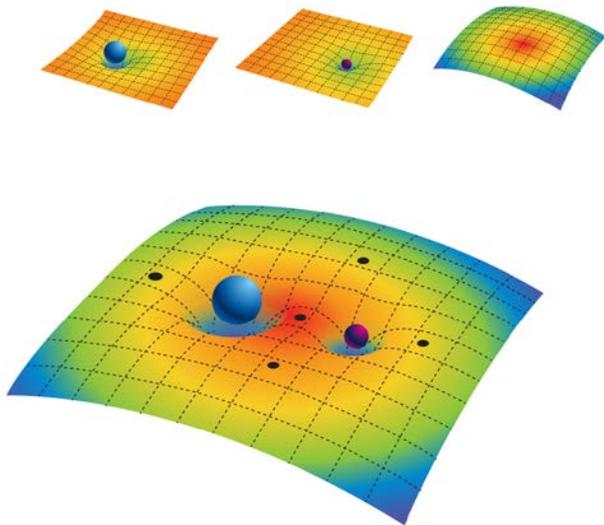


Figure A6 Combinaison du puits de gravité du Soleil et du plus petit puits de gravité de la Terre.

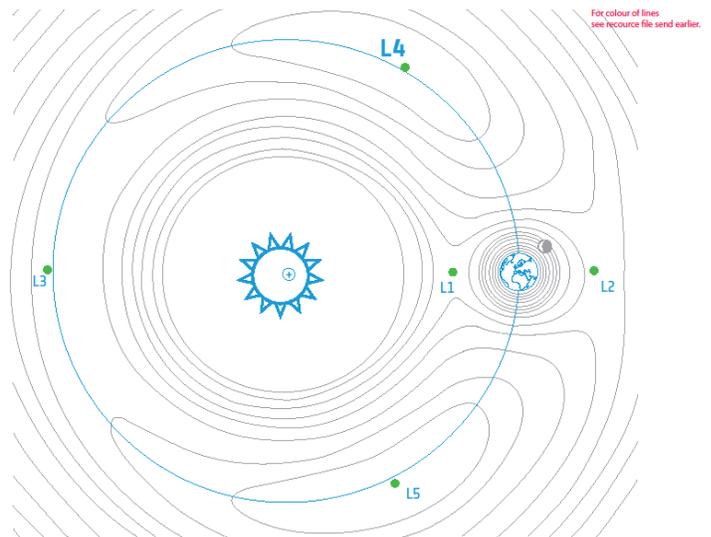


Figure A7 Les points de Lagrange pour le système Terre-Soleil Tout système à deux corps (p. ex. : Terre-Soleil, Terre-Lune, Soleil-Jupiter) aura cinq points de Lagrange.

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.

---

---

---

---

---

---

---

2. En vous référant à l'attraction gravitationnelle du Soleil et de la Terre, essayez d'expliquer pourquoi un objet en L2 est dans une position d'équilibre.

---

---

---

---

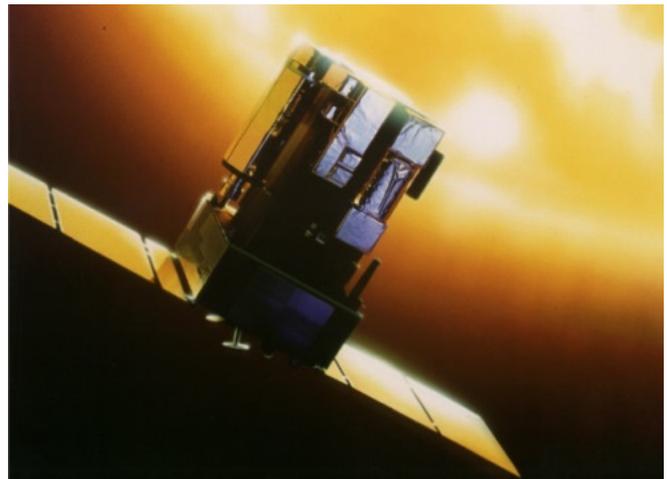
---

---

---

### Le saviez-vous ?

L'observatoire solaire et héliosphérique SOHO de l'ESA/la NASA surveille le Soleil à partir de L1. À ce point, la gravité combinée de la Terre et du Soleil maintient l'engin spatial dans une orbite stabilisée entre la Terre et le Soleil. De cette position, SOHO aperçoit constamment le Soleil et peut donc réaliser des observations pendant 24 heures de jour. SOHO a été conçu pour étudier la structure interne du Soleil, son atmosphère extérieure étendue, la couronne et l'origine du vent solaire.



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

### Exercice

1. Un engin spatial peut être placé à un point de Lagrange pour obtenir une orbite plus stable autour du Soleil. Un engin spatial de masse relativement faible placé à n'importe quel point de Lagrange est susceptible de rester à ce point en requérant peu d'interventions. Expliquez pourquoi une orbite stable est utile à un engin spatial.

---

---

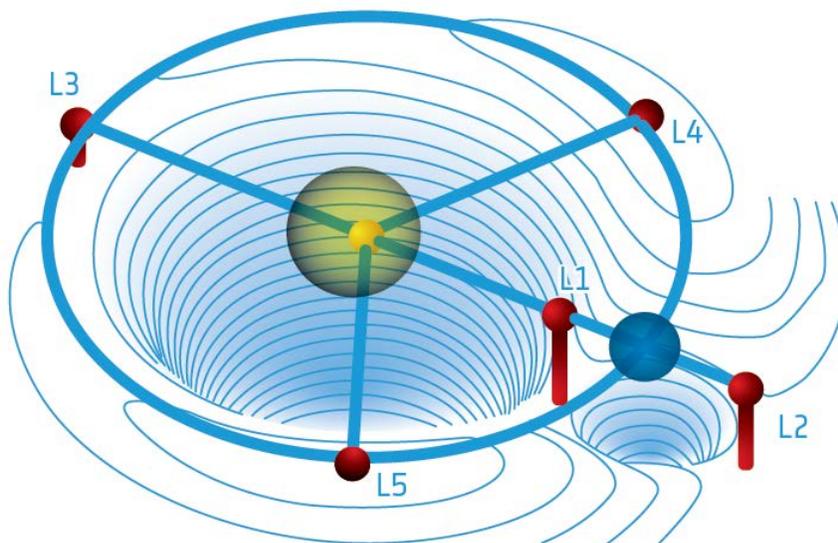
---

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 déplaçiez 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 ?

---

---

---



*Figure A8* Vue détaillée des points de Lagrange dans le système Soleil-Terre. Les lignes de contour sont des lignes d'attraction gravitationnelle constante.

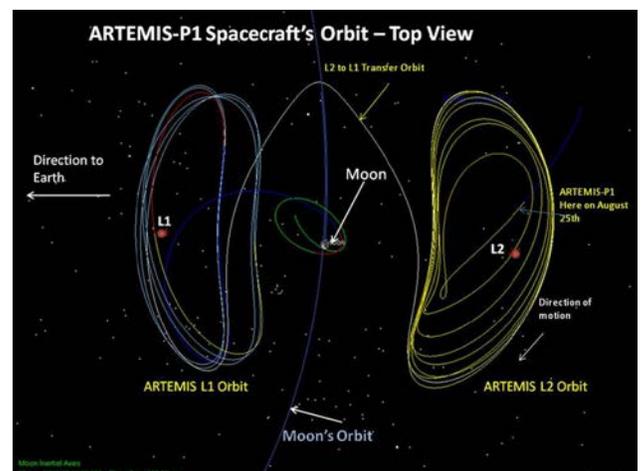
Dans un système rotatif réel, L4 et L5 ressemblent plus à des bols qu'à des collines. Cela signifie que même si un vaisseau spatial est légèrement éloigné du point de Lagrange, il y retombera. Ces points sont extrêmement stables.

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, d'un point de vue scientifique. Les exemples d'engins spatiaux que vous pourriez rechercher incluent Lisa Pathfinder, SOHO, Gaia et le télescope spatial James Webb. Vous pouvez trouver des informations à ce sujet sur le site Web de l'ESA.

Sonde spatiale	Points de Lagrange	Motif

### Le saviez-vous ?

Il existe également des points de Lagrange dans le système Terre-Lune. Le satellite ARTEMIS-P1 de la NASA utilise la stabilité des points L1 et L2 de la combinaison Terre-Lune pour décrire une orbite (une étrange orbite en forme de rein) autour de la Lune. Cette forme d'orbite permet à Artemis d'étudier en détail l'interaction de la Lune avec le Soleil.



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