

L'ASSISTANCE GRAVITATIONNELLE



Notion(s) mise(s) en jeu durant l'activité :

- ✓ Associer la notion d'interaction à la notion de force.
- ✓ Identifier une force de contact ou à distance.
- ✓ Modéliser une action par une force.
- ✓ Schématiser une force.
- ✓ Identifier les effets d'une ou deux forces sur le mouvement d'un objet.
- ✓ Identifier l'interaction gravitationnelle.
- ✓ Définir la loi de gravitation universelle.

Situation de départ

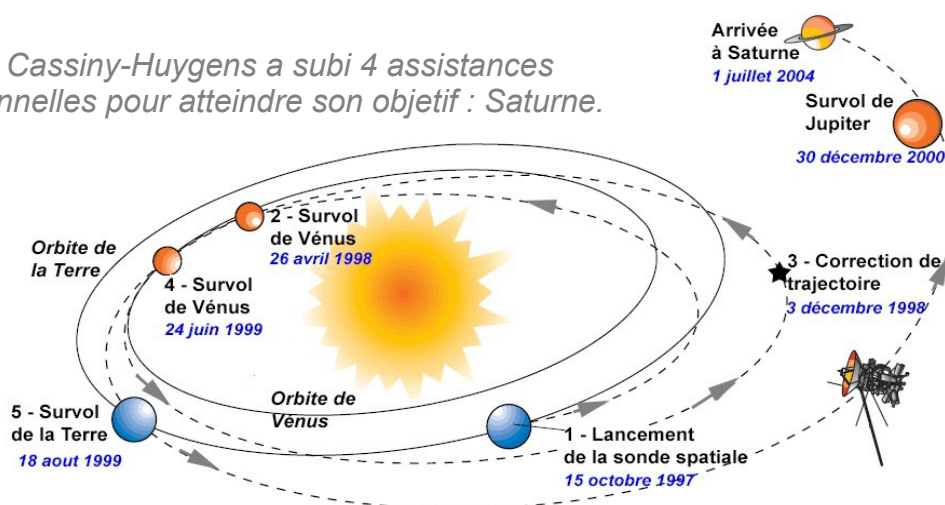
Pour se déplacer, une sonde n'utilise que les lois de l'espace auxquelles elle est soumise pendant son voyage. En orbite autour du Soleil où des planètes qu'elle rencontre, elle se déplace grâce à la gravitation universelle.

La stratégie de l'exploration interplanétaire consiste donc à profiter de l'attraction mutuelle des corps pour diriger les sondes et ajuster leur vitesse.

Un engin peut cependant être doté de moteurs, qui ne sont utilisés qu'occasionnellement pour effectuer de petits changements de trajectoire, de plan orbital ou d'orientation.

Sans dépense d'énergie supplémentaire, une sonde peut modifier sa trajectoire, sa vitesse et même son inclinaison par rapport au plan de l'écliptique. Elle utilise pour cela un principe directement lié aux lois de la gravitation universelle qu'on appelle l'**assistance gravitationnelle** ou **fronde gravitationnelle**.

La sonde Cassini-Huygens a subi 4 assistances gravitationnelles pour atteindre son objectif : Saturne.



Comment caractériser et modéliser l'action d'une planète sur une sonde lors d'une assistance gravitationnelle



Documents

Doc.1 : Le principe de l'assistance gravitationnelle

Lorsqu'une sonde passe à proximité d'une planète, elle entre dans sa zone d'influence. L'attraction qu'elle subit a pour conséquence de la faire "tomber" vers l'astre : sa trajectoire se courbe et sa vitesse augmente. La sonde contourne la planète et s'en éloigne en perdant autant de vitesse qu'elle en a gagné à l'arrivée. La manœuvre n'est pas nulle pour autant : la planète, en se déplaçant autour du Soleil, a communiqué une partie de sa vitesse à la sonde.

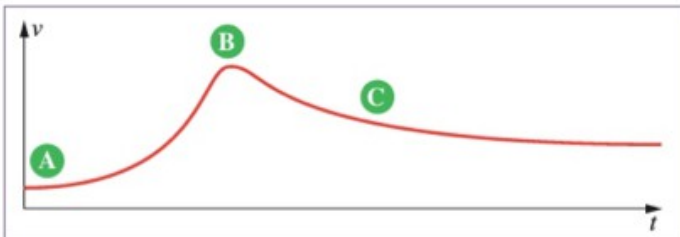


Fig.1 : Variation de la vitesse d'une sonde au cours de l'assistance gravitationnelle d'une planète

La modification de vitesse et la déviation de la trajectoire de l'engin dépendent de la masse de l'astre survolé, de l'altitude du survol et de la vitesse relative à laquelle la manœuvre s'effectue. Si le survol s'effectue dans le sens de déplacement de la planète autour du Soleil, la sonde gagne de la vitesse. Si le survol s'effectue dans le sens inverse, la sonde perd de la vitesse.

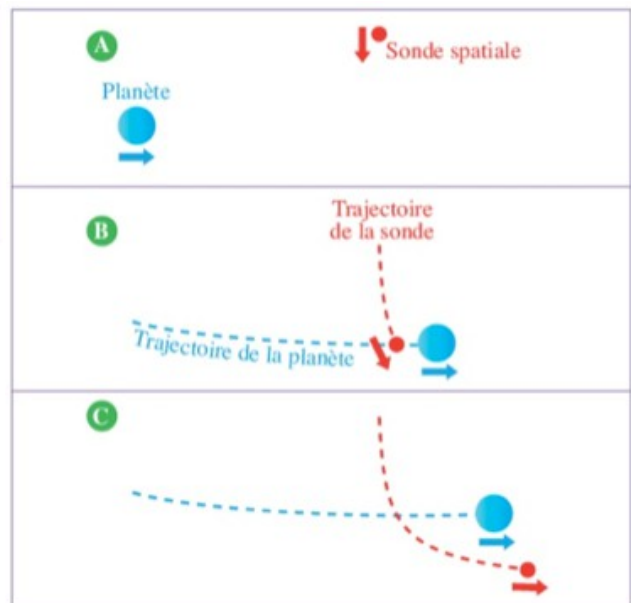


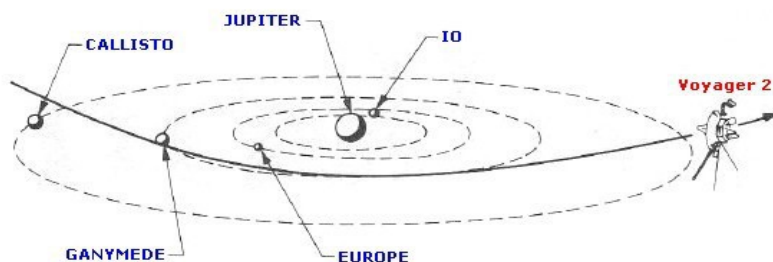
Fig.2 : Trajectoire d'une sonde au cours de l'assistance gravitationnelle d'une planète

Animation

<http://www.cnes-multimedia.fr/animation/assistance-gravitationnelle.html>

Doc.2 : Voyager 2

La sonde Voyager 2, en passant au plus près à 720 000 km de Jupiter, a subi une assistance gravitationnelle et a ainsi pu continuer son chemin en direction de Saturne avec une vitesse suffisante pour ne pas revenir vers l'orbite de la Terre.



Masse de Jupiter :
 $M_J = 1,9 \times 10^{27} \text{ kg}$

Masse de Voyager 2 :
 $M = 700 \text{ kg}$

Doc.3 : Actions et interactions mécaniques

Une **action mécanique** désigne toute cause susceptible de **déformer** un objet ou de **modifier son mouvement**. Elle est toujours exercée par un objet sur un autre objet.

Une action mécanique peut être :

- **de contact** si elle s'exerce au contact de l'objet ;
- **à distance** si elle s'exerce à distance de l'objet ;
- **localisée** si elle s'exerce sur petite zone de l'objet ;
- **répartie** si elle s'exerce sur une surface ou sur tout le volume de l'objet.

Lorsqu'un objet A exerce une action mécanique sur un objet B, alors l'objet B exerce sur l'objet A une **action opposée** (action réciproque).

On dit que les objets A et B sont en **interaction**.

A SAVOIR

Doc.4 : Force d'attraction gravitationnelle

En considérant deux corps A et B ponctuels exerçant une force gravitationnelle l'un sur l'autre, Newton établit :

- que la force agissante entre deux corps s'exerce en ligne droite entre les deux corps et est proportionnelle à $\frac{1}{d^2}$, où d est la distance entre les deux corps A et B.
- que cette force est proportionnelle à la quantité de matière présente dans le corps A exerçant cette force. Il suppose donc que la force est proportionnelle à sa masse m_A .
- en vertu du principe des actions réciproques, que la force exercée par l'autre corps sur le premier doit être égale (et de sens opposé) et doit aussi être proportionnelle à m_B , la masse du deuxième corps B.

Aucun autre paramètre ne semblant rentrer en compte, cette force s'exprime sous la forme :

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

F en newton (N), m_A et m_B en kilogramme (kg) et d en mètre (m)

G est la constante universelle de gravitation environ égale à : $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

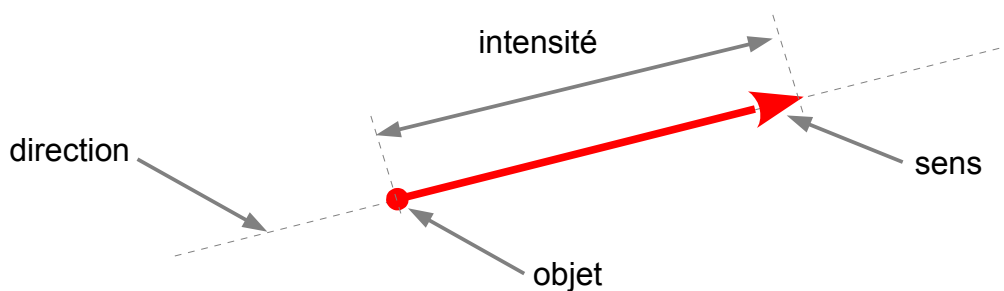
A SAVOIR

Doc.5 : Modélisation d'une action mécanique par une flèche (vecteur)

Une force modélise l'action d'un objet (acteur) sur un autre objet (receveur).

Pour représenter la force d'un objet sur un autre, on trace une flèche (vecteur force) :

- sa longueur représente l'**intensité** de la force (échelle à établir ou respecter) ;
- sa **direction** est celle de l'action mécanique ;
- son **sens** est celui de l'action mécanique ;
- son **point de départ** est l'objet sur lequel l'action mécanique est appliquée (receveur).



Cette flèche n'est pas du tout la même que celle modélisant le mouvement d'un objet (vecteur vitesse).

A SAVOIR

Quelques questions :

1. Quel phénomène physique est à l'origine d'une assistance gravitationnelle ?
2. Caractériser ce phénomène.
3. A l'aide du **Doc.1**, indiquer la position (A, B ou C) dans laquelle la sonde a une vitesse maximale par rapport au Soleil.
4. A l'aide du même document, montrer que l'effet de fronde gravitationnelle a permis d'augmenter la vitesse de la sonde par rapport au Soleil.
5. Quels sont les effets d'une assistance gravitationnelle sur le mouvement d'une sonde spatiale par rapport au Soleil ?
6. Calculer l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle à l'origine de l'assistance gravitationnelle décrite dans le **Doc.2**.
7. Représenter cette force sur un schéma.
8. Quel serait le mouvement d'une sonde spatiale n'étant sous aucune influence gravitationnelle y compris celle du Soleil ?

Conclusion :

- Répondre à la question de la situation de départ.