

# Leçon n°4 : La gravitation

## *Objectifs :*

- Savoir que la gravitation est une interaction attractive à distance entre deux masses ;*
- Savoir qu'elle gouverne les mouvements dans l'Univers;*
- Etre capable d'utiliser la relation mathématique pour calculer une force de gravitation;*
- Connaître l'influence de la masse et de la distance sur l'intensité de la force de gravitation ;*
- Savoir représenter une force de gravitation.*

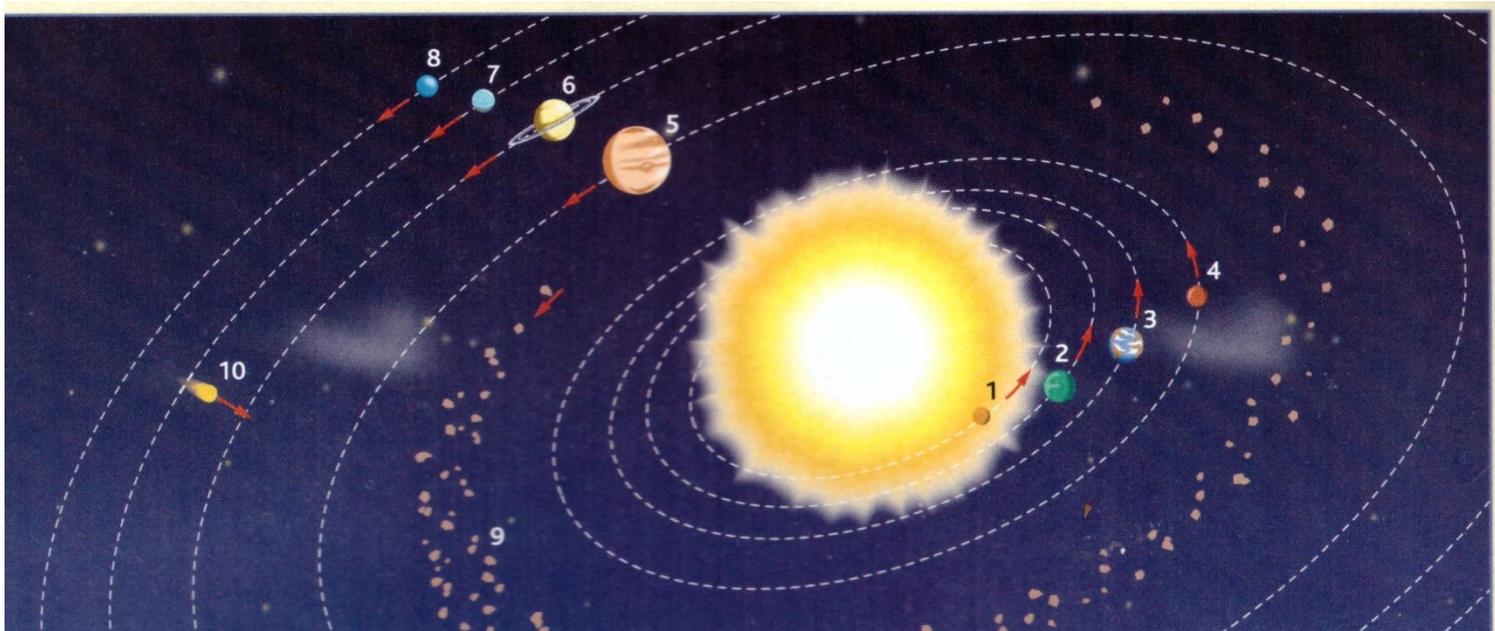
Les documents de cette leçon sont extraits des manuels de 3<sup>ème</sup> :

- Physique-chimie 3<sup>ème</sup> - Sous la direction de René Vento – Editions Bordas
- Physique-chimie 3<sup>e</sup> – Collection micro méga- Sous la direction de Christophe Daujean – Edition Hatier.

# I ) La gravitation : l'interaction qui gouverne tout l'Univers

## A) Notre système solaire

Répondons aux questions de l'activité documentaire suivante :



## Huit planètes seulement

Notre étoile, le Soleil, est une boule de gaz incandescent, ayant une masse colossale : deux milliards de milliards de milliards de tonnes soit  $2 \times 10^{30}$  kg ! À cause de cette masse, il exerce sur tout son entourage une action attractive. C'est la **gravitation**.

Huit planètes gravitent autour du Soleil sur des orbites presque circulaires.

Partant du centre, on croise Mercure (1), puis Vénus (2), la Terre (3) et Mars (4) : ce sont des planètes telluriques, car elles possèdent une croûte solide.

Au-delà se situent les planètes géantes gazeuses : Jupiter (5), Saturne (6), Uranus (7) et Neptune (8).

## Les autres corps du système solaire

La gravitation retient aussi autour du Soleil quelques « planètes naines » (dont Pluton), une multitude d'astéroïdes (9), de quelques dizaines de mètres à plusieurs kilomètres de dimension, ainsi que des comètes (10), qui, des confins du système solaire, plongent parfois vers notre étoile. Ces derniers objets sont rangés dans la catégorie des « petits corps du système solaire ».

De plus, toujours sous l'effet de la gravitation, presque toutes les planètes possèdent leurs propres satellites qui gravitent autour d'elles : Mercure et Vénus n'en possèdent pas, la Terre en possède un : la Lune, et Mars en a 2. Dans l'état actuel des connaissances, Jupiter en possède 63, Saturne 60, Neptune au moins 13, Uranus 27...

---

## Extrayez des informations du document

1. Quelles sont les planètes du système solaire ?
2. Quelles autres catégories d'objets célestes existe-t-il dans le système solaire ?
3. Quelle est l'action du Soleil sur son entourage ?
4. Toutes les planètes ont-elles des satellites naturels ?
5. Tous les objets célestes du système solaire tournent-ils autour du Soleil ?

## Concluez

6. Rédigez votre conclusion en répondant à la question :  
« Qu'est-ce qui maintient les planètes et les satellites sur leur orbite ? »

1) Les **planètes** du système solaire sont : **Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune.**

2) Dans notre **système solaire**, il y a : **une seule étoile** (le Soleil), 8 planètes, des planètes naines, des satellites naturels, des comètes et des astéroïdes.

3) Le Soleil exerce sur son entourage **une action gravitationnelle attractive** (il attire les planètes et les objets du système solaire par gravitation).

4) Toutes les planètes n'ont pas de satellite naturel : Jupiter en possède 63 mais Mercure et Venus n'en possèdent pas.

5) Oui, tous les objets du système solaire tournent, directement (pour les planètes) ou indirectement (pour les satellites des planètes) autour du Soleil.

Conclusion : C'est grâce à la **gravitation** que le Soleil maintient chaque planète du système solaire sur son **orbite** . Le Soleil exerce une **action attractive** sur les planètes qui oblige les planètes à décrire des trajectoires **elliptiques** (presque circulaires) autour de lui.

La Terre exerce aussi une action **gravitationnelle** sur les objets situés **sur elle** (tout ce qu'il y a sur la Terre) et **proches d'elle** (les satellites artificiels, la Lune).

C'est cette action gravitationnelle qui est à l'origine des mouvements orbitaux de la Lune (unique satellite naturel de la Terre) et des satellites artificiels.

## B) L'Univers :

Les **étoiles** d'une galaxie s'attirent aussi **mutuellement** sous l'effet de la gravitation.

Dans l'Univers, **le mouvement des galaxies** est aussi gouverné par la gravitation.

## II) Comment la gravitation agit-elle ?

Répondons aux questions de l'activité documentaire :

Quelle analogie y a t-il entre le mouvement d'une fronde et celui d'une planète ?

# 1. La pierre est retenue par l'axe

- Sur un plateau tournant, disposons une bille reliée par un fil à l'axe : la bille représente la pierre d'une fronde.
- Enregistrons le mouvement de la bille avec une webcam. Grâce au film obtenu, observons les positions successives de la bille (une chronophotographie).

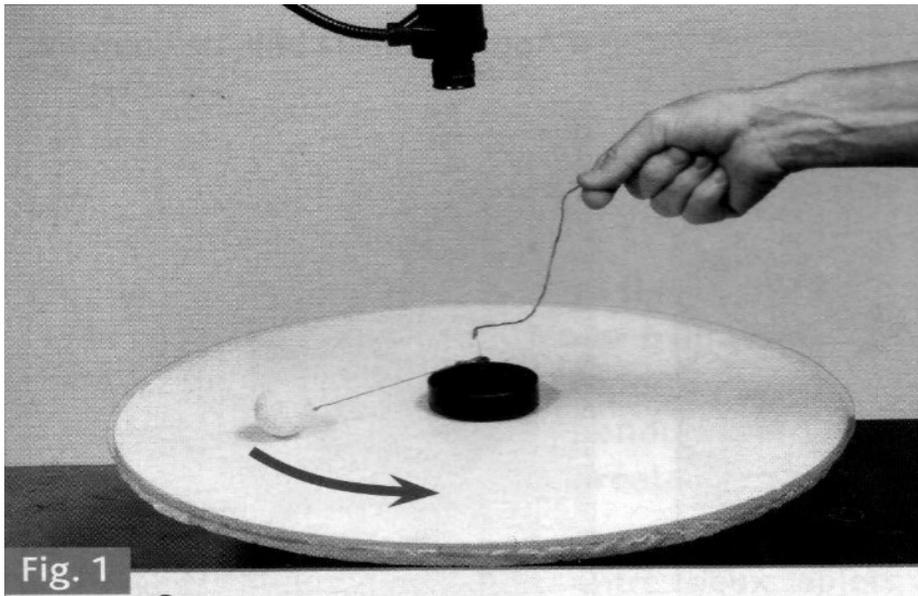


Fig. 1

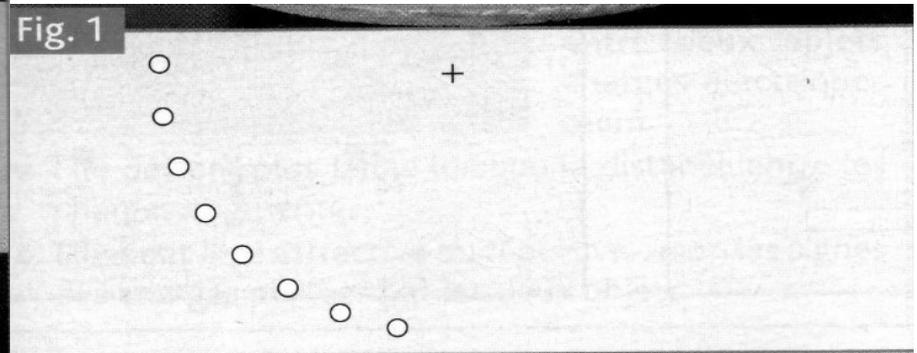
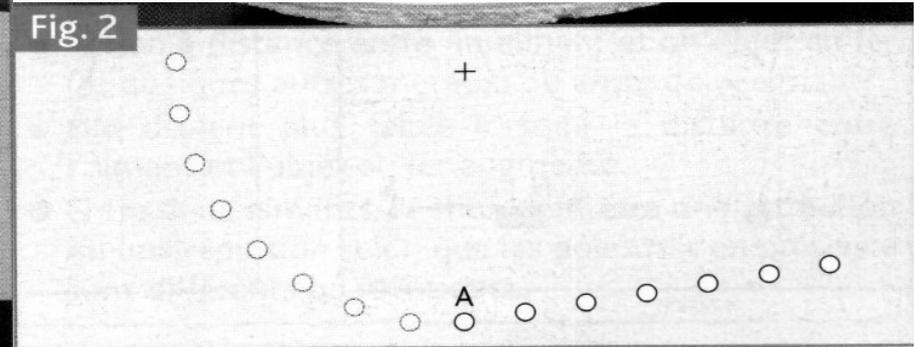
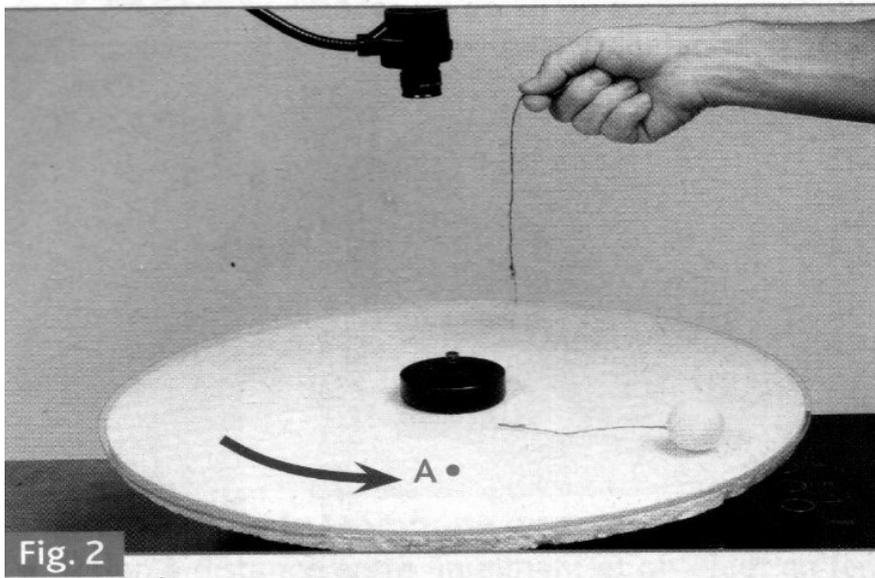


Fig. 1

## 2. La pierre est lâchée

- Soulevons l'aiguille servant d'axe, afin de libérer la bille lorsqu'elle passe au point A.
- Avec la webcam, enregistrons la seconde partie du mouvement de la bille.
- Observons la seconde chronophotographie.



## Observez

1. Quelle est la trajectoire de la bille lorsqu'elle est retenue par l'axe (Fig. 1) ?
2. Comment est modifiée cette trajectoire quand on supprime le lien avec l'axe (Fig. 2), à partir du point A ?

## Exploitez vos observations

3. Dans ce dispositif, qu'est-ce qui joue le rôle d'une planète ? du Soleil ?
4. Quel est le rôle du fil ? À quoi peut-on le comparer dans le cas d'une planète tournant autour du Soleil ?
5. Qu'advierait-il des planètes si subitement le Soleil disparaissait ?
6. Quelle différence y a-t-il entre l'action du fil et de l'axe sur la bille, et celle du Soleil sur la planète ?

## Concluez

7. Rédigez votre conclusion en répondant à la question : « Quelle analogie y a-t-il entre le mouvement d'une fronde et celui d'une planète ? »

1) La trajectoire est **circulaire**.

2) A partir du point A, lorsque la bille n'est plus retenue par le fil, la trajectoire est une ligne **droite** ; la trajectoire devient **rectiligne** .

3) L'axe et le fil jouent le rôle du **Soleil** et la bille joue le rôle d'une **planète**.

4) Le fil exerce sur la bille une action qui oblige la bille à tourner autour de l'axe. Dans le cas des planètes tournant autour du Soleil, il n'y a pas de fil. L'action qui oblige les planètes à tourner autour du Soleil est la force de gravitation. Elle s'exerce entre le Soleil et chacune des planètes. Elle est due au fait que le Soleil et les planètes ont une masse. Le fil de l'activité 2 peut donc être comparé à la force de gravitation.

5) Si le Soleil disparaissait, les planètes cesseraient de tourner et se mettraient à aller « tout droit », toujours à la même vitesse (comme la bille quand on brûle le fil). Les planètes adopteraient donc un mouvement **rectiligne uniforme**.

6) Ces deux actions sont des actions **attractives** , mais, dans le cas de l'action de l'axe et du fil sur la bille, il s'agit d'une action **de contact** alors que dans le cas de l'action gravitationnelle du Soleil sur la planète, il s'agit d'une action **à distance**.

7) Le mouvement d'une fronde et celui d'une planète sont tous les deux des mouvements **circulaires** .

- Dans le cas de la fronde, la main et le fil exercent sur la bille une **action mécanique attractive de contact** .
- Dans le cas d'une planète, le Soleil exerce sur la planète une action **gravitationnelle attractive à distance** .

## Analogies avec les différentes actions présentées leçon 3

Type d'action	Action attractive ou répulsive	Action attractive seulement	Action de contact	Action à distance
Action électrostatique	X			X
Action magnétique	X			X
Gravitation		X		X
Action mécanique		X	X	

**ATTENTION** : La gravitation est une interaction, c'est-à-dire une action réciproque.

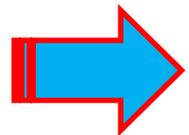
L'objet A attire l'objet B, mais quelles que soient les masses de A et de B, l'objet B attire l'objet A avec la même force !

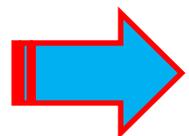
Définition (à savoir parfaitement) :

La gravitation est une interaction attractive à distance entre deux objets qui ont une masse.

### III) L'influence de la distance et l'influence de la masse :

Que se passe-t-il si on change la distance entre les objets ou si la masse des objets change ?

 Plus les masses sont grandes (plus elles sont lourdes), plus la force d'interaction gravitationnelle est grande.

 Plus les masses sont proches (plus la distance est petite), plus la force d'interaction gravitationnelle est grande.

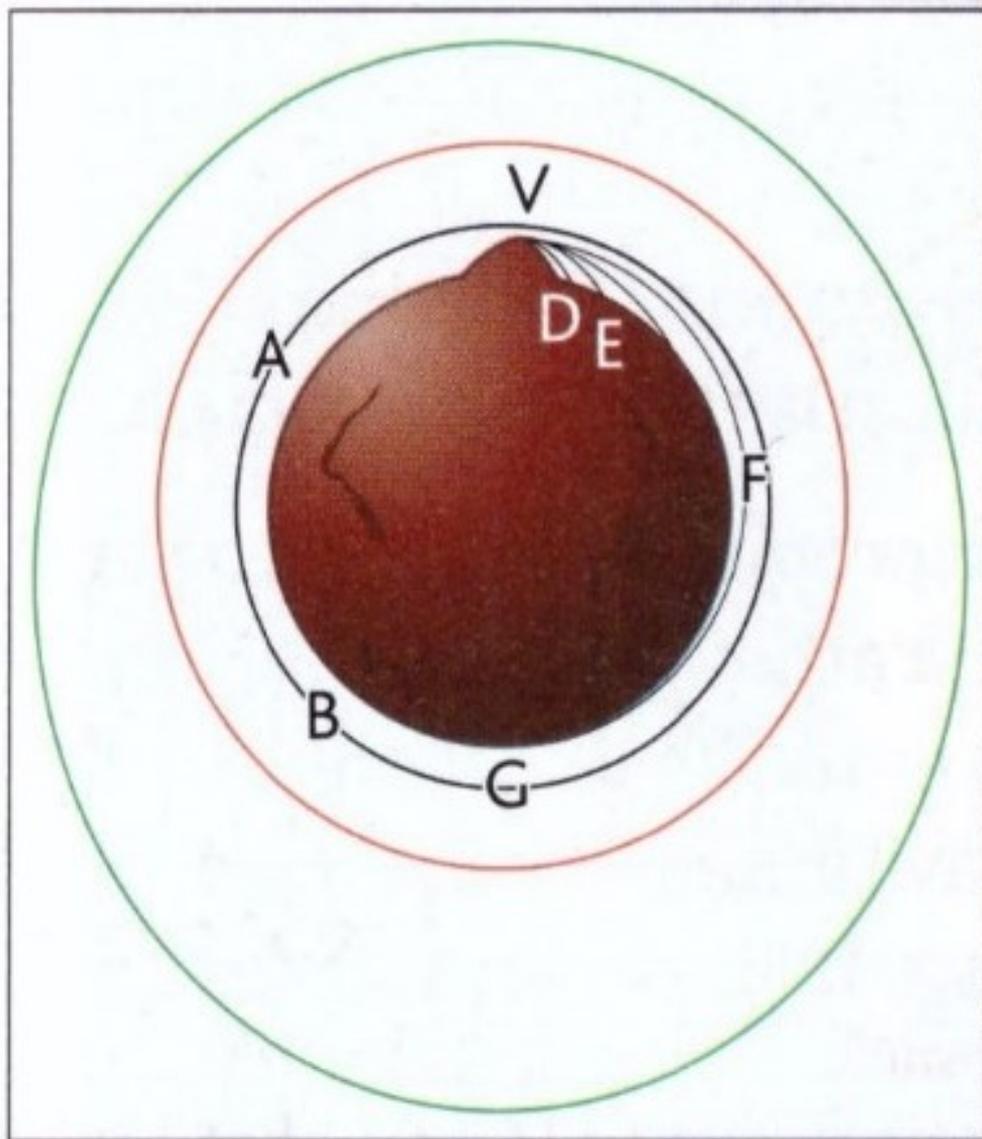
Document sur  
les travaux de  
Isaac Newton :  
La pomme de  
Newton

Fig.1



En 1665, la peste se déclare à Londres. Isaac Newton interrompt ses études et se réfugie dans la campagne anglaise du Lincolnshire. La légende veut que ce soit en observant la chute d'une pomme dans son jardin qu'il eut l'idée de sa théorie de la gravitation universelle (**Fig. 1**) : comme la pomme, la Lune devrait tomber sur la Terre, mais son mouvement la fait perpétuellement tomber « à côté » de la Terre. Sa vitesse lui permet d'être en orbite autour de notre planète. C'est la même force qui fait tomber la pomme et qui maintient la Lune sur son orbite : sans elle, la Lune partirait en ligne droite.

Newton imagine de lancer une pierre avec une vitesse horizontale de plus en plus élevée (Fig. 2) : la pierre retomberait de plus en plus loin et il arriverait un moment où sa trajectoire s'incurverait pour suivre le contour de la Terre ; elle deviendrait alors un satellite de la Terre comme la Lune !



▲ Fig. 2

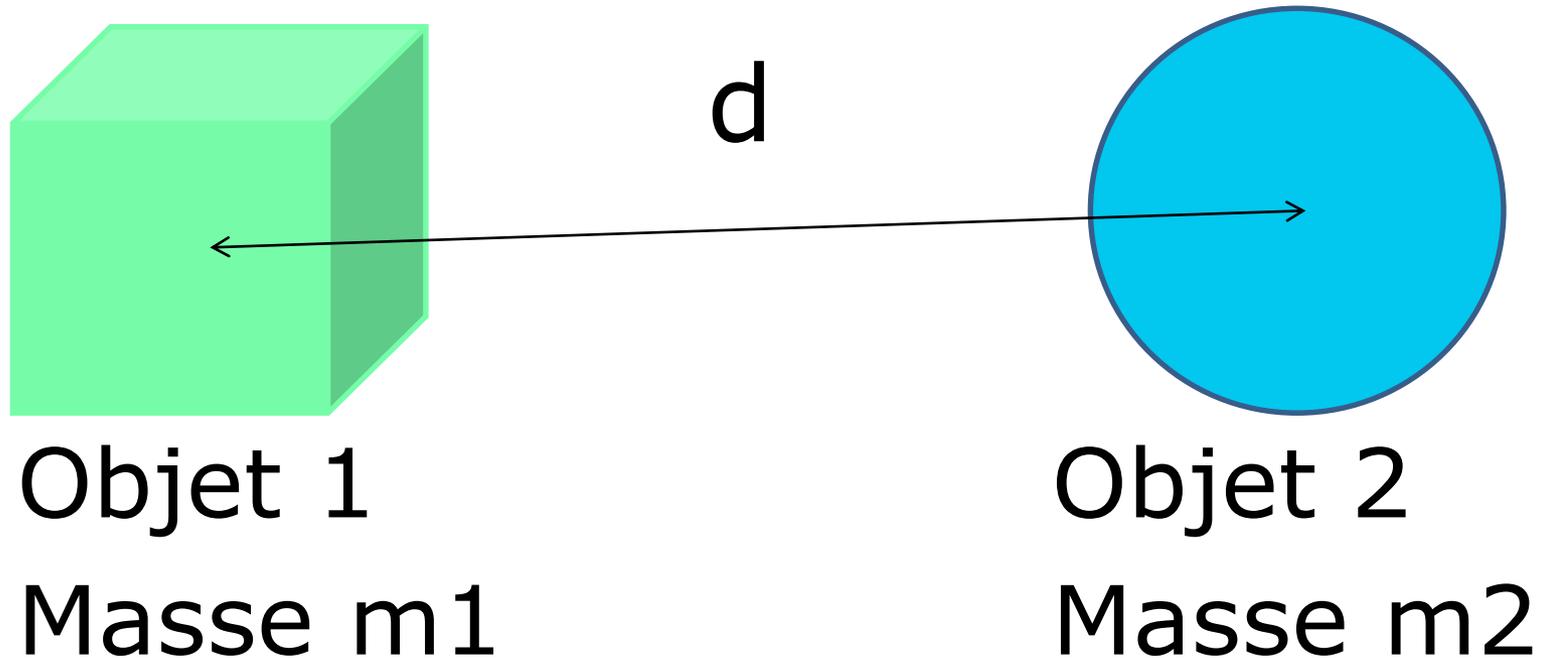
En 1687, le savant publie sa théorie de la gravitation dans son ouvrage *Philosophiae naturalis principia mathematica*.

La découverte de la planète Neptune, en 1841, constitue une éclatante confirmation de cette théorie : à partir des perturbations observées dans le mouvement de la planète Uranus, Urbain Le Verrier prédit l'existence d'une autre planète et en calcule même la position. C'est bien à cet endroit du ciel que Neptune est observée par l'astronome allemand Johan Galle.

1. Quelle est la cause commune du mouvement de la Lune et de celui de la pomme qui tombe ?
2. Pourquoi la Lune ne tombe-t-elle pas sur la Terre ?

**Réponses :** Comme la pomme tombe du pommier sous l'effet de l'attraction gravitationnelle exercée par la Terre, la Lune « tombe » en permanence « sur » la Terre ; mais comme la vitesse de la Lune est très grande, la Lune « tombe » en permanence « à côté de la Terre », un peu trop loin : elle tourne autour de la Terre.

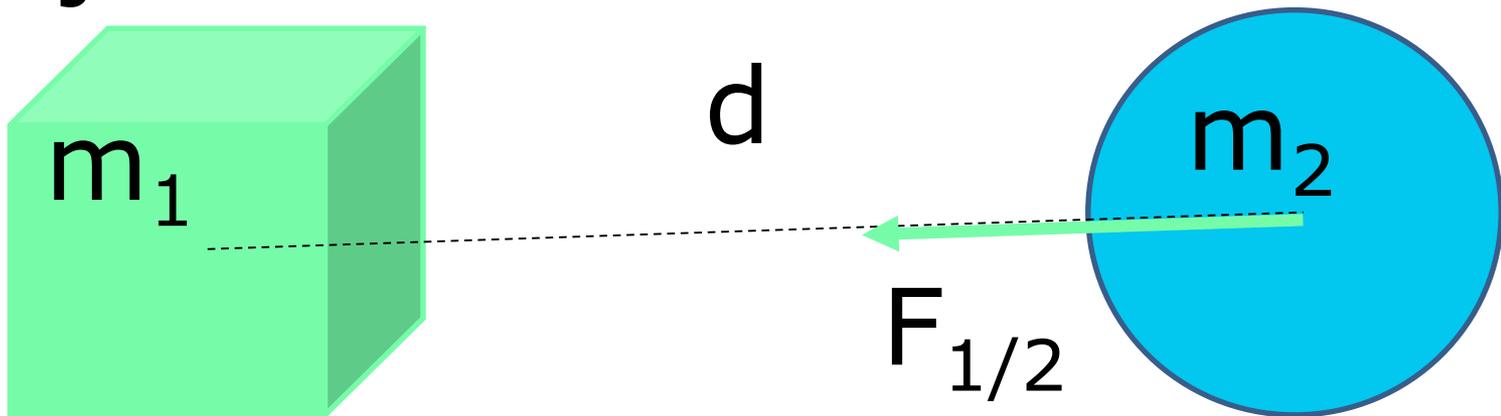
# V ) Expression mathématique de la force de gravitation :



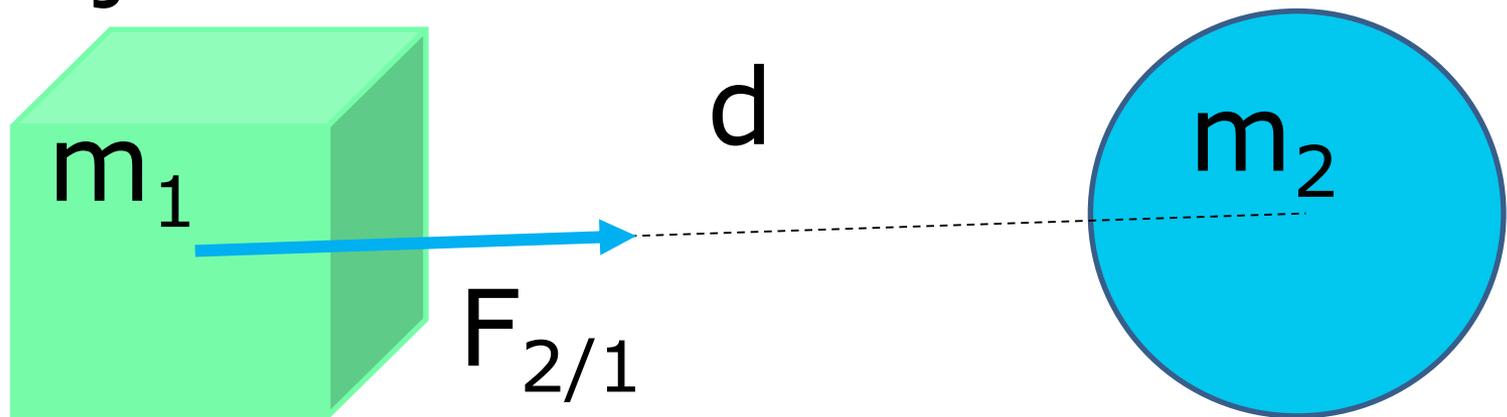
Les deux objets sont séparés d'une distance  $d$ .

Ces objets peuvent être des planètes, des étoiles, des galaxies...ou n'importe quel objet ayant une masse.

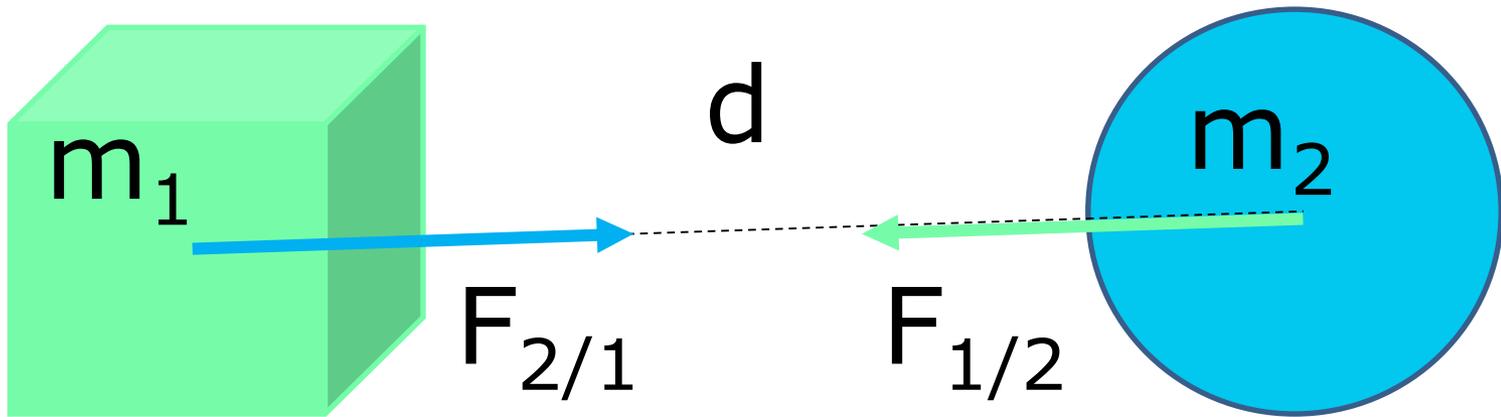
L'objet 1 attire l'objet 2 : l'objet 1 est alors l'acteur, l'objet 2 est le receveur. L'objet 1 exerce sur l'objet 2 une force de gravitation  $F_{1/2}$ , modélisée par une flèche accrochée au centre de gravité de l'objet 2.



L'objet 2 attire l'objet 1 : l'objet 2 est alors l'acteur, l'objet 1 est le receveur. L'objet 2 exerce sur l'objet 1 une force  $F_{2/1}$ , modélisée par une flèche accrochée au centre de gravité de l'objet 1.



Comme la gravitation est une interaction,  $F_{1/2} = F_{2/1}$  : les deux forces ont la même valeur mais elles ont des sens opposés.



Les 2 flèches ont la même longueur.

La valeur des forces  $F_{1/2}$  et  $F_{2/1}$  est alors donnée par l'expression :

$$F_{1/2} = F_{2/1} = G \times \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

dans laquelle G est la constante de gravitation universelle, qui vaut :

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg} \times \text{s}^2.$$

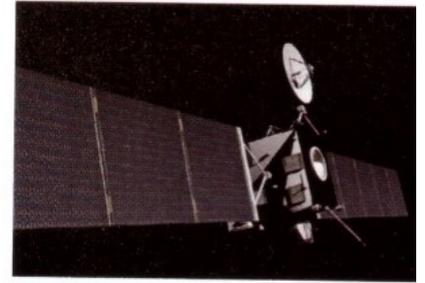
La force de gravitation est donc :

- proportionnelle à la masse de chaque objet ;
- inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare les 2 objets.

### 3 L'assistance gravitationnelle

En août 2014, après un trajet de 6,5 milliards de kilomètres, la sonde spatiale Rosetta arrive à proximité de la comète 67P.

► Cette sonde n'a-t-elle utilisé que son moteur pour se déplacer ?



#### Doc. 1

### L'assistance gravitationnelle

L'assistance gravitationnelle consiste à utiliser volontairement l'attraction exercée par un astre pour modifier le mouvement d'une sonde. Pour cela, il faut que la sonde passe près de cet astre (dans sa « zone d'influence », Fig. 1), mais en maintenant une distance suffisante pour ne pas s'y écraser !

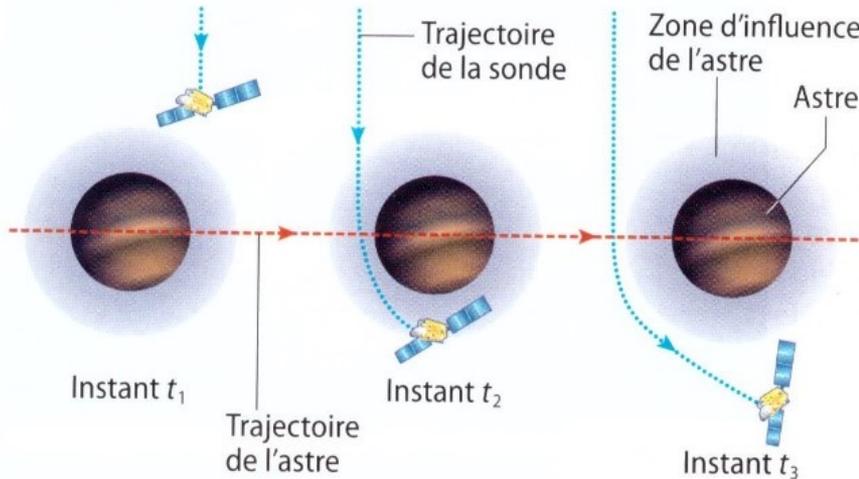


Fig. 1 : Trajectoire d'une sonde passant près d'un astre.

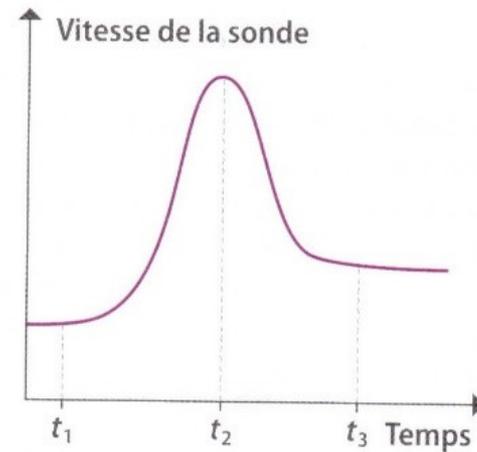


Fig. 2 : Évolution de la vitesse d'une sonde passant près d'un astre.

## Doc. 2

### Animation

Chasing a comet

[hatier-clic.fr/pcb010](http://hatier-clic.fr/pcb010)

## La mission Rosetta

Rosetta est une mission de l'Agence spatiale européenne ayant pour but d'étudier la composition de la comète 67P Churyumov-Gerasimenko et de mieux connaître l'évolution du système solaire depuis sa naissance. Mise en orbite autour de la Terre par le lanceur Ariane le 2 mars 2004, la sonde Rosetta a subi trois assistances gravitationnelles de la Terre, lui permettant de passer de 30 km/s à 38,7 km/s et ainsi d'économiser le carburant qui aurait été nécessaire pour cette accélération. Le 12 novembre 2014, la sonde dépose son petit robot Philae sur la comète.



Fig. 3 : Rosetta aux abords de la comète 67P.

## Questions

### Comprendre

1. Comment évolue le mouvement d'une sonde lorsque celle-ci entre dans la zone d'influence d'un astre ?
2. Pourquoi une sonde ne doit-elle pas passer trop près d'un astre ?

### Raisonner

3. Quel phénomène est responsable de la modification du mouvement d'une sonde à son passage près d'un astre ?

### Conclure

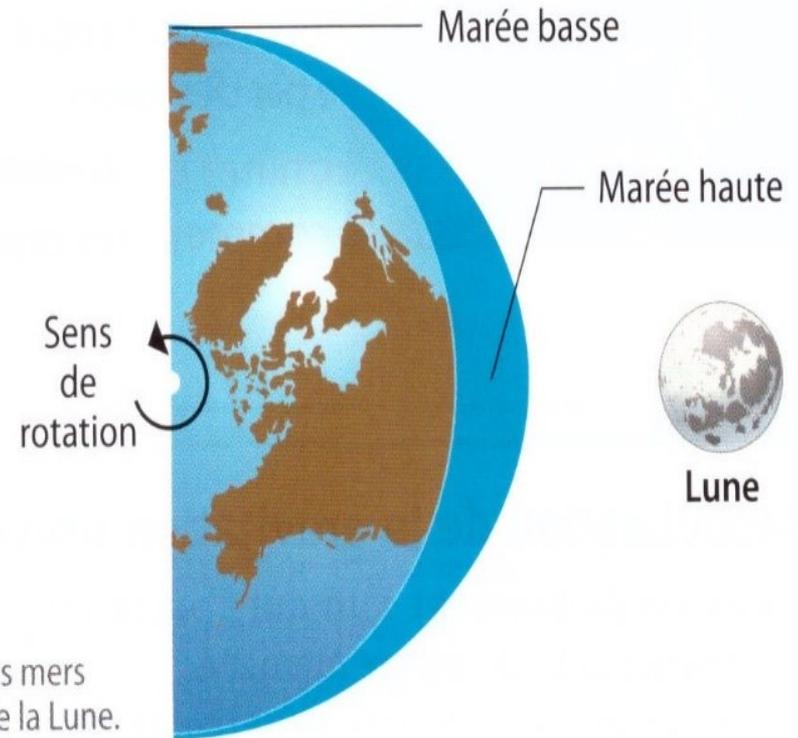
4. Lors de voyages interstellaires, quel est l'intérêt d'utiliser l'assistance gravitationnelle ?

## L'interaction Terre-Lune

La Lune reste en orbite autour de la Terre car la Terre exerce sur elle une attraction de même nature que celle qu'exerce le Soleil sur les planètes.

Cette attraction est réciproque : la Lune attire aussi la Terre, comme en témoigne le phénomène des marées. Le niveau des mers et océans situés face à la Lune s'élève localement (marée haute). Puis, quand la Terre a fait un quart de tour sur elle-même, environ six heures plus tard, ces mers et océans ne sont plus face à la Lune et leur niveau s'abaisse (marée basse, [Fig.3](#)).

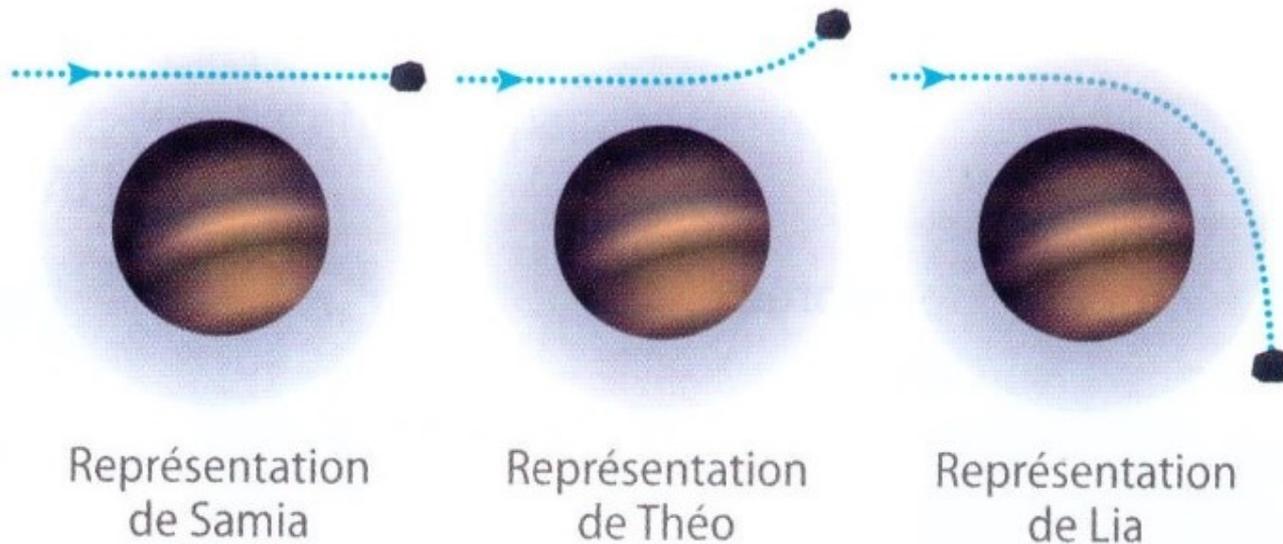
**Fig. 3** : Représentation schématique du niveau des mers et des océans sur Terre par rapport à la position de la Lune.



# Exercice 1 :

Trois élèves ont représenté la trajectoire d'un astéroïde passant près d'une planète.

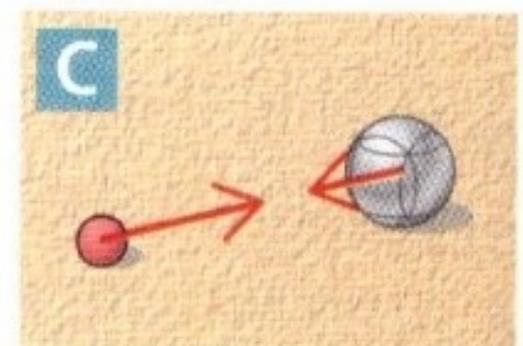
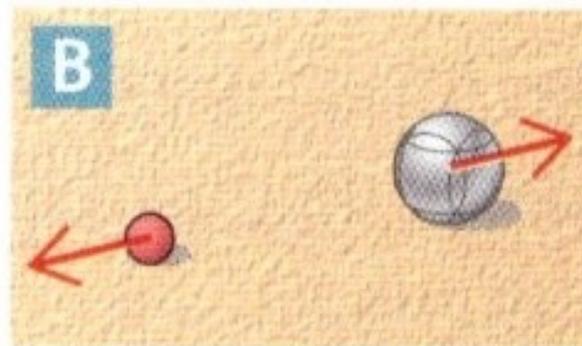
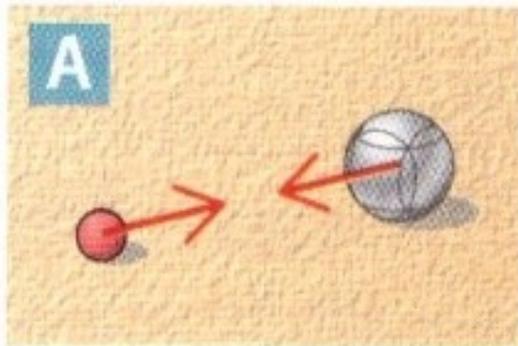
a. Quel élève a représenté correctement la trajectoire de l'astéroïde ? Justifie ta réponse.



b. Qu'arriverait-il si l'astéroïde passait trop près de la planète ?

## Exercice 2 :

Quatre élèves ont représenté les forces de gravitation s'exerçant entre une boule de pétanque et un cochonnet, dont la masse est bien plus faible.



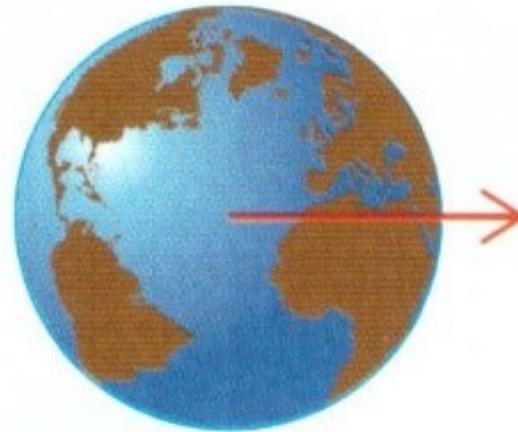
- Quelle représentation est correcte ? Justifie ta réponse.

## Exercice 3 :

Anais a réalisé le schéma ci-contre. L'échelle utilisée pour tracer le segment fléché est 1 cm pour 1 000 N.

**a.** Quelle force représente le segment fléché sur ce schéma ?

**b.** Détermine la valeur de cette force. Explique ta méthode.



Terre



Satellite

## Exercice 4 :

1) Calculez la force d'interaction gravitationnelle qui s'exerce entre la Terre et le Soleil.

### Données :

- masse de la Terre  $M_T = 5,97 \times 10^{24}$  kg.
- masse du Soleil  $M_S = 2 \times 10^{30}$  kg
- distance Terre-Soleil  $d = 150\,000\,000$  km
- $G = 6,67 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup> /kg<sup>2</sup>
- $F = G \times m_1 \times m_2 / d^2$  (avec les masses en kg et la distance en mètres).

2) Faites un schéma. Représentez les forces  $F_{T/S}$  et  $F_{S/T}$  en utilisant l'échelle 1 cm pour  $10^{26}$  N.

# Exercice 5 :

Un satellite Météosat SG tourne autour de la Terre sur une trajectoire circulaire à 36 000 km d'altitude. Le rayon de la Terre est 6 300 km.



## Je réponds directement

■ Schématise la situation et représente les forces de gravitation s'exerçant entre la Terre et ce satellite en prenant comme échelle 1 cm pour 100 N.

**Aide** Lors de l'utilisation de la formule p. 72, tu dois prendre la distance entre le centre de la Terre et le satellite.

### Données

$$m_{\text{Terre}} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$m_{\text{Satellite}} = 2\,010 \text{ kg}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$$

## Je suis guidé

a. Schématise la situation.

b. En utilisant la formule p. 72, calcule la valeur des forces de gravitation s'exerçant entre la Terre et le satellite Météosat.

**Aide** Dans ton calcul, tu dois utiliser la distance entre le centre de la Terre et le satellite.

c. Représente ces forces sur ton schéma en prenant comme échelle 1 cm pour 100 N.

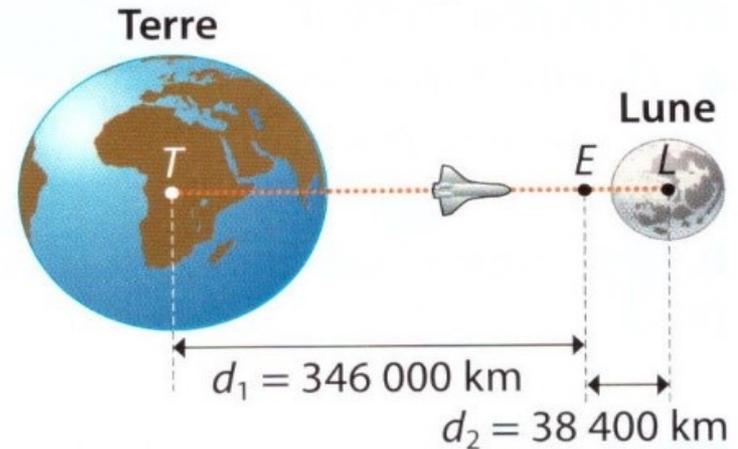
Formule p 72 :  $F = G \times m_1 \times m_2 / d^2$  (avec les masses en kg ; la distance en mètres).

On considère que la Terre, la navette et la Lune sont alignés.

## Exercice 6 :

Une navette spatiale décolle de la Terre pour aller sur la Lune.

Pendant le vol, elle est soumise aux forces de gravitation exercées par la Terre et la Lune.



- Laquelle de ces deux forces a la plus grande valeur lorsque la navette est à mi-parcours ? Justifie.
- Comment évolue la valeur de la force exercée par la Terre sur la navette lorsque celle-ci s'en éloigne ?
- Calcule la valeur de la force de gravitation exercée par la Terre sur la navette, et celle exercée par la Lune sur la navette si cette dernière se situe au point E. Pourquoi le point E peut-il être qualifié de « point d'équilibre » ?

### Données

$$m_{\text{Terre}} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$m_{\text{navette}} = 2,05 \times 10^6 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Lune}} = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$$

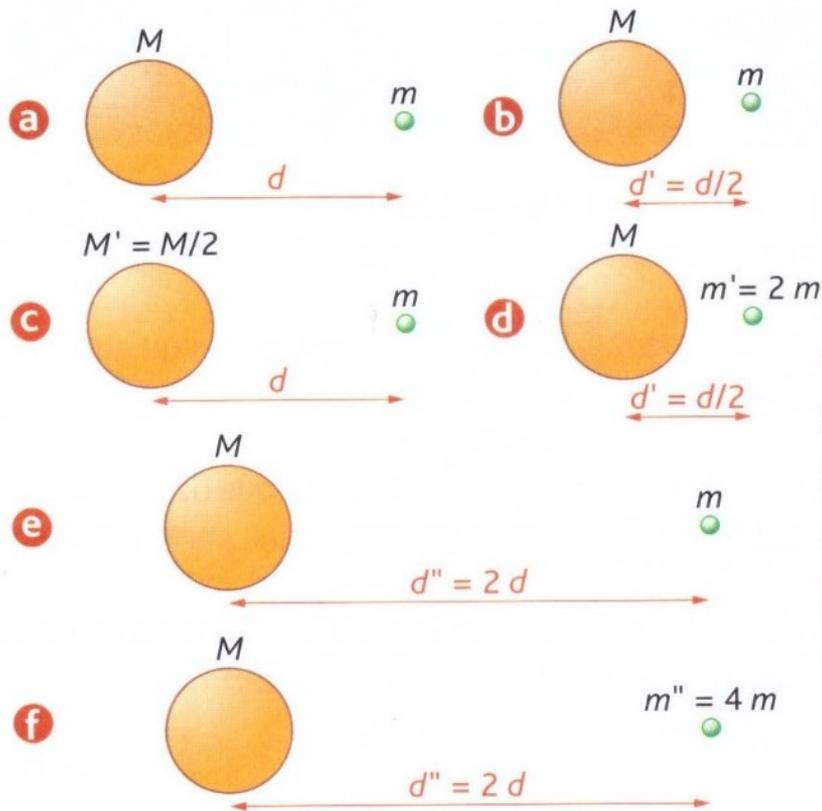
$$F = G \times m_1 \times m_2 / d^2$$

(avec les masses en kg ;  
la distance en mètres).

La force  $F$  d'interaction gravitationnelle entre deux masses  $M$  et  $m$  dépend de la valeur de ces masses et de la distance  $d$  qui les sépare. Elle s'exprime par la relation :

$$F = G \times \frac{M \times m}{d^2} \text{ où } G \text{ est une constante.}$$

Voici quelques situations où deux masses s'attirent :



## Exercice 7 :

1. Classez ces situations de l'attraction la plus forte à la plus faible entre les deux masses, en justifiant ce choix.
2. Par rapport à la situation a, combien de fois chacune des autres interactions est-elle plus forte ou plus faible ?
3. Proposez deux nouvelles situations où l'attraction entre les deux masses serait neuf fois plus faible qu'en a.