CORRIGE des EXERCICES – Module 5 : Interactions et forces – L'interaction gravitationnelle

Exercice n°1

QCM Pour chaque question, choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s).

10 La valeur de la force d'attraction du Soleil sur la Terre :

a. est plus grande que celle de la Terre sur le Soleil.

b. est égale à celle de la Terre sur le Soleil.

c. est plus petite que celle de la Terre sur le Soleil.

11 L'interaction gravitationnelle entre deux astres :

a. est constituée de deux actions opposées.

b. est attractive.

c. est répulsive.

12 L'interaction gravitationnelle entre deux astres est modélisée :

a. par deux forces de même valeur.

b. par deux forces de directions différentes.

c. par deux forces de sens opposés.

13 Quel schéma représente correctement l'interaction gravitationnelle entre la Terre et la Lune ?

a.

b.

c.

14 La force d'attraction gravitationnelle entre deux astres a pour expression :

$$F = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

• Jupiter a une masse de $1{,}9 \times 10^{27}$ kg.

• Ganymède, l'un de ses satellites, est situé à $1{,}1 \times 10^{9}$ m de Jupiter. Sa masse est de $1{,}5 \times 10^{23}$ kg.

La force d'attraction exercée par Jupiter sur Ganymède :

a. dépend de la distance entre Jupiter et le Soleil.

b. a une valeur d'environ $1{,}6 \times 10^{22}$ N.

c. a une valeur d'environ $1{,}7 \times 10^{31}$ N.

Exercice n°2

Calculer la valeur d'une force d'attraction gravitationnelle

Le centre de la Lune, satellite naturel de la Terre, se situe à une distance moyenne $d = 3{,}8 \times 10^{8}$ m du centre de la Terre.

L'expression de la force d'attraction gravitationnelle $F_{T/L}$ exercée par la Terre sur la Lune est donnée par la relation $F_{T/L} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{m_T \times m_L}{d^2}$

• Calculer sa valeur.

Données :

• Masse de la Terre : $m_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.

• Masse de la Lune : $m_L = 7{,}35 \times 10^{22}$ kg.

$F_{T/L} = 6{,}67.10^{-11} * 5{,}97.10^{24} * 7{,}35.10^{22} / (3{,}8.10^{8})^2$

$= \underline{2{,}02.10^{20}\ N}$

Exercice n°3

Poids et force d'attraction gravitationnelle

Un éléphant d'Afrique peut atteindre 6 000 kg.

1. Calculer son poids à la surface de la Terre.
2. Calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle F exercée par la Terre sur l'éléphant.
3. Comparer les valeurs de la force d'attraction gravitationnelle et du poids.

Données :

- $g_T = 9{,}8$ N/kg.
- $F = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \dfrac{m_{éléphant} \times m_{Terre}}{R_T^2}$
- Masse de la Terre : $m_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
- Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37 \times 10^{6}$ m.

1. $P_{El} = m_{El} * g = 6000 * 9{,}8$
   $= 58800 = \underline{5{,}88.10^4\ N}$

2. $F_{T/El} = G \,.\, m_{El} \,.\, m_T / R_T =$
   $= 6{,}67.10^{-11} * 6000 * 5{,}97.10^{24} /$
   $(6{,}37.10^6)^2$
   $= \underline{5{,}89.10^4\ N}$

3. On retrouve la même valeur et c'est normal car la force d'interaction gravitationnelle est universelle, on peut l'utiliser dans n'importe quel cas alors que le poids calcule en fait la même valeur de force, mais on ne peut l'appliquer que sur ***Terre***, avec ***g = 9,8 N/kg***.

Exercice n°8

En escalade

Un alpiniste se fait la réflexion suivante : « Plus on s'éloigne du centre de la Terre, et plus l'influence de la gravitation diminue. L'altitude peut donc faciliter l'escalade. »

- Commenter cette réflexion en argumentant.

Voir Fiche de ***TD/Cours n°3*** sur l'***interaction gravitationnelle*** : on a calculé la constante g pour le calcul du poids à la surface terrestre (altitude 0 m, donc au niveau de la mer) et on a trouvé ***g = 9,81 N/kg***. Au sommet de l'Everest (8848 m au dessus du niveau de la mer), on a trouvé : ***g = 9,78 N/kg***, donc on voit une variation de 3 centièmes seulement sur une valeur de presque 10 ! C'est donc minime et si on escalade sur quelques dizaines de mètre, on ne sentira aucune différence ...

Exercice n°4

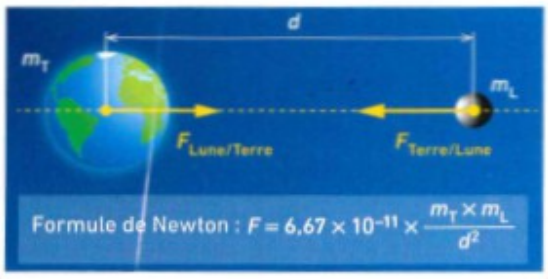
Newton et l'interaction gravitationnelle

Doc. 1 **Les *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* de Newton**

Dans son ouvrage de 1687, Newton énonce que **tous les corps s'attirent mutuellement et que la gravitation augmente avec la masse des corps et diminue rapidement quand on les éloigne.** Cette force étant exercée par chaque corps, la Terre attire la Lune, mais la Lune attire également la Terre avec la même intensité ! De la même façon, votre stylo chute parce que la Terre l'attire, mais le minus attire aussi la maousse...

Science & Vie Junior, mai 2010.

Doc. 2 **La loi de gravitation universelle**



1. Expliquer pourquoi l'expression de la force d'attraction gravitationnelle (doc. 2) est en accord avec la phrase en gras du doc. 1.
2. Justifier l'expression : « le minus attire aussi la maousse ».

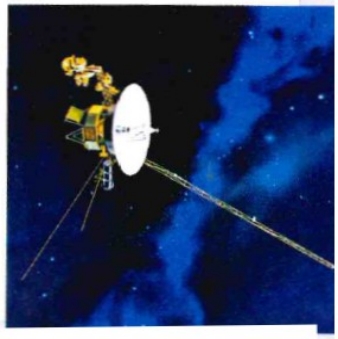
1. La formule montre bien que les 2 masses sont impliquées dans cette interaction (action réciproque entre les 2 corps) et de plus, si on calcule $\boldsymbol{F_{T/L}}$ ou $\boldsymbol{F_{L/T}}$, le résultat sera le même car seule la multiplication change d'ordre, mais on sait bien que l'ordre d'une multiplication n'importe pas (Ex : 3 * 5 = 5 * 3 !), la distance, elle, reste évidemment la même entre les 2 corps.
2. Comme il s'agit d'une interaction, donc ***action réciproque*** et qu'on vient de dire que calculer l'intensité de l'interaction, d'un corps sur l'autre, ou de l'autre corps sur l'un mène au même résultat, alors le plus gros corps (le maousse !) attire le plus petit, mais le plus petit (le minus !) attire aussi le plus gros, et en plus, avec la même intensité ! ***Remarque*** : en revanche, le corps le plus petit sera le plus affecté par cette force, car plus à même de se mettre en mouvement, alors que le plus gros sera plus difficile à déplacer ... mais leur force exercée l'un sur l'autre est la même !

Exercice n°11

Voyage spatial

Doc. 1 La sonde *Voyager I*

- La sonde *Voyager I* a été lancée en 1977 dans le but de mieux connaitre le système solaire. Sa masse est de 825 kg.
- En 2007, elle était à environ 15 millions de kilomètres du Soleil.
- En 2017, cette distance était d'environ 21 millions de kilomètres.



Données :
- Masse du Soleil : $m_s = 1{,}99 \times 10^{30}$ kg.
- Force d'attraction gravitationnelle entre deux corps de masses m_1 et m_2 distants de d :

$$F = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

- Intensité de la pesanteur terrestre : $g_T = 9{,}8$ N/kg.

Doc. 2 La fusée *Titan*

La fusée *Titan 3E* utilisée pour lancer la sonde *Voyager I* avait une hauteur de 48 m et une masse de 633 tonnes.
La poussée de ses moteurs était de 12×10^6 N.

1. Faire la liste des interactions dans lesquelles est engagée la fusée *Titan* lorsqu'elle est immobile, avant son lancement. Préciser s'il s'agit d'interaction de contact ou à distance.
2. Calculer le poids de la fusée Titan lors de son décollage.
3. a. Schématiser les forces exercées sur la fusée Titan lorsqu'elle vient de quitter le sol, pendant son décollage.
Échelle : 1 cm correspond à 2×10^6 N.
b. Pourquoi la fusée *Titan* peut-elle décoller ?
4. a. Schématiser les forces d'attraction gravitationnelle exercées entre le Soleil et *Voyager I*.
b. Comment la valeur de ces forces a-t-elle évoluée entre 2007 et 2017 ? Justifier.
c. Calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil sur *Voyager I* en 2017.

1. Interactions :
   a) Avec la Terre (poids appliqué sur Titan)
   b) Avec le sol (Réaction du sol, qui soutient Titan)
   c) Avec l'air (mais comme Titan est immobile, pas de frottement)
2. On a la formule : $\boldsymbol{P = m * g = 633.10^3 * 9{,}8 = \underline{6{,}20.10^6\ N}}$
3. a) Les forces qui s'appliquent sur la fusée sont : le Poids (verticale, vers le bas, longueur de flèche : 3,1 cm à l'échelle proposée), la poussée (verticale, vers le haut, de longueur de flèche : 6 cm à l'échelle proposée) et les frottements (mais on n'a aucune valeur, en tous cas verticaux, vers le bas, car opposés au sens du déplacement).

b) Elle peut décoller car alors la poussée l'emporte sur le poids, et donc peut s'élever, verticalement. Pour qu'il y ait un mouvement il faut toujours qu'une force l'emporte au moins sur une autre ...

4. a) Dans l'espace, si Voyager I n'utilise pas de propulsion, car déjà lancée, alors il ne reste que l'interaction gravationnelle. Donc les 2 forces attractives entre la sonde et le sont de direction portée par le centre du Soleil et le centre de Voyager, opposées toutes deux (voir schéma de l'Exercice 1, question 13, réponse a))
5. Entre 2007 et 2017, la distance entre Soleil et Voyager 1 a augmenté, donc l'attraction subie par Voyager 1 a diminué car on sait que le carré de la distance est au dénominateur de la formule donnant l'intensité de cette force d'interaction gravitationnelle.
6. $F = G.m_V.m_S / d_{V/S}^2 = 6{,}67.10^{-11} * 825 * 1{,}99.10^{30} / (21.10^9)^2$
   $= \underline{2{,}48.10^{-16}\ N}$

Exercice n°5

La découverte de la planète Neptune

Doc. 1 La planète inconnue

Au début du XIXe siècle, un astronome de l'Observatoire de Paris, Alexis Bouvard, chargé de calculer les éphémérides* d'Uranus, constata qu'il était impossible de représenter correctement par le calcul le mouvement de cette planète. Il eut l'idée que ce mouvement pouvait être perturbé par l'attraction d'une autre planète inconnue. Plusieurs astronomes s'employèrent à essayer de vérifier cette hypothèse et de trouver cette nouvelle planète. François Arago, qui était en charge de l'Observatoire, demanda à un jeune astronome, Urbain Le Verrier (1811-1877) de s'occuper du problème. Le Verrier le résolut en 1846 grâce à de lourds calculs, et prédit la position de la nouvelle planète. [Elle] fut trouvée presque immédiatement à l'observatoire de Berlin. C'est Neptune, la plus lointaine des huit planètes du Système solaire.
Le Verrier devint alors célèbre dans le monde entier. Il succéda en 1854 à Arago à la direction de l'Observatoire de Paris.

Site de l'observatoire de Paris.
www.obspm.fr, novembre 2016.

* position d'astres à intervalles réguliers

1. À partir du doc. 1, montrer que les évolutions en sciences se font progressivement et par enrichissement de théories scientifiques.
2. a. En admettant que les trajectoires d'Uranus et de Neptune sont circulaires autour du Soleil, représenter les trajectoires de ces deux planètes. Positionner ces planètes sur leur orbite de façon à ce que la distance qui les sépare soit minimale.
   b. Calculer la valeur de la force exercée par Neptune sur Uranus dans cette situation.
3. Formuler une hypothèse permettant d'expliquer pourquoi cette force varie au cours du déplacement des planètes sur leur orbite.
4. Justifier alors les perturbations du mouvement d'Uranus.

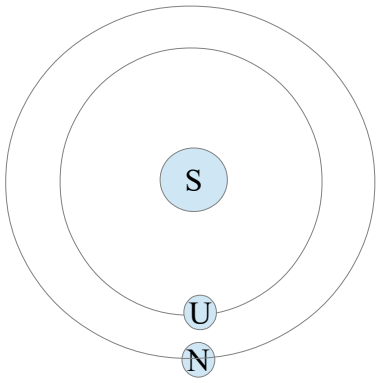
Données :

- Expression de la force d'attraction gravitationnelle : $F = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{m_N \times m_U}{d^2}$.
- Masse de Neptune : $m_N = 1{,}024 \times 10^{26}$ kg.
- Masse d'Uranus : $m_U = 8{,}681 \times 10^{25}$ kg.
- Distance Soleil-Neptune : $d_{S\text{-}N} = 4{,}498$ milliards de km.
- Distance Soleil-Uranus : $d_{S\text{-}U} = 2{,}877$ milliards de km.

1. ***Etape 1*** : Bouvard a découvert une anomalie dans le mouvement d'Uranus
   Etape 2 : Arago mandate Le Verrier pour faire des calculs de vérification.
   Etape 3 : Le Verrier prédit l'existence d'une nouvelle planète (Neptune), responsable de l'anomalie de trajectoire d'Uranus.
   Etape 4 : l'observatoire de Berlin confirme l'existence en trouvant Neptune dans le ciel observé !

Conclusion : un problème scientifique se fait par étapes successives, en découpant le problème en problèmes plus simples, que plusieurs scientifiques peuvent alors, en collaboration, selon leurs talents respectifs, résoudre, afin de mettre en commun leurs résultats et trouver une réponse globale au "gros" problème initial à résoudre.

2. a) Voir ci-dessous.



b) $F_{U/N} = G.m_U.m_N / d_{U/N}^2$
$= 6{,}67.10^{-11} * 1{,}024.10^{26} * 8{,}681.10^{25} / (1{,}621.10^{12})^2$
$= \underline{2{,}26.10^{17}\ N}$
car : $d_{U/N} = d_{S/N} - d_{S/U}$
$= 4{,}498.10^{9} - 2{,}877.10^{9} = 1{,}621.10^{12}\ m$

3+4) Ne tournant pas à la même vitesse autour du soleil, Uranus et Neptune s'éloignent puis se rapprochent, et donc cette force d'interaction gravitationnelle varie aussi (car dépend de la distance entre les 2 corps), ce qui perturbe le mouvement d'Uranus (mais Neptune est aussi "perturbée" en retour !).

Exercice n°9

Les corps révolvants selon Newton

Dans la traduction des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* d'Isaac Newton, on peut lire les extraits suivants.

① Les satellites de Jupiter gravitent vers Jupiter, ceux de Saturne vers Saturne et les planètes principales vers le Soleil, et c'est par la force de leur gravité que ces corps révolvants* sont retirés à tout moment de la ligne droite et qu'ils sont retenus dans des orbites curvilignes.

* qui opèrent un mouvement de révolution

② Comme toute attraction est mutuelle [...] Jupiter doit graviter vers tous ses satellites, Saturne vers tous les siens, la Terre vers la Lune, et le Soleil vers toutes les planètes principales.

③ Toutes les planètes gravitent les unes vers les autres, ainsi Jupiter et Saturne en s'attirant mutuellement, troublent sensiblement leurs mouvements vers leur conjonction*, le Soleil trouble ceux de la Lune, et le Soleil et la Lune ceux de notre mer.

* Situation dans laquelle deux planètes sont proches l'une de l'autre.

1. Dans l'extrait ①, à quoi Newton fait-il référence lorsqu'il parle de « la force de leur gravité » ?
2. En prenant l'exemple de la Terre et la Lune, expliquer le passage de l'extrait ② : « toute attraction est mutuelle ».
3. Que signifie le verbe « graviter » dans les extraits ② et ③ ? Comment le sens de ce verbe a-t-il évolué de nos jours ?
4. Dans l'extrait ③, pourquoi Newton affirme-t-il que les planètes troublent le mouvement des autres ?
5. À quel phénomène Newton fait-il référence dans l'extrait ③ lorsqu'il écrit que le Soleil et la Lune troublent les mouvements de la mer ?

1. Il fait référence à l'interaction gravitationnelle, qui s'exercent entre 2 corps.
2. Une interaction est une action réciproque, autrement dit : mutuelle. Les satellites de chaque planète attirent autant la planète qu'elles les attirent (mais attention, comme ils sont plus légers, la force d'interaction a bien plus d'effets sur eux, qui se mettent à

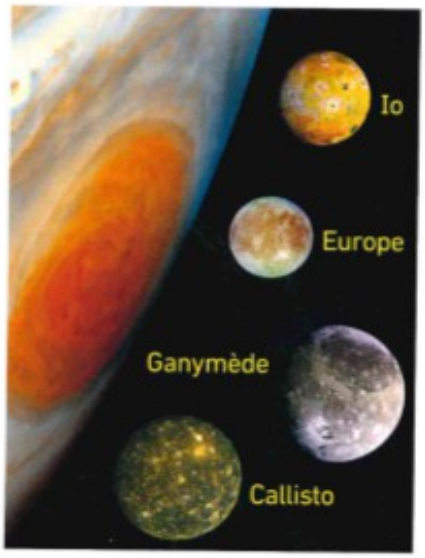
tourner autour d'eux, que leur action sur leur planète, qui ne se met pas à tourner autour d'eux !)

3. ***Graviter*** : se dit d'un corps plus léger, qui ***tourne*** autour d'un corps bien plus lourd, sous l'action de l'interaction gravitationnelle de ce dernier, sur le premier.
4. Dans le système solaire (mais ailleurs dans l'univers aussi, on retrouve des planètes qui gravitent autour d'étoiles, de satellites autour de planètes ...), tous les corps célestes ont des masses tellement grande que même à grande distance, ils s'attirent tous un peu les uns les autres, d'autant plus qu'ils se rapprochent : comme leur distance varie, leur influence les uns sur les autres aussi et cela occasionne des petites variations de trajectoire !
5. Ce sont les ***phénomènes de marée*** : la Lune surtout, bien plus proche, peut attirer l'eau terrestre et la faire monter (ou redescendre lorsqu'elle n'est pas "en face" d'elle) ...

Exercice n°14

Jupiter et ses satellites

La planète Jupiter possède de très nombreux satellites naturels. En 1610, Galilée observa les quatre plus gros de ces satellites : Io, Europe, Ganymède et Callisto.

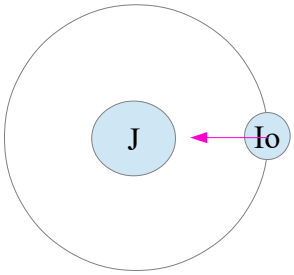


1. Faire un schéma où apparaissent Jupiter et Io. Représenter, sans souci d'échelle, la force $F_{J/I}$ exercée par Jupiter sur Io.
2. Calculer la valeur de cette force.

Données :

- Expression de la force d'attraction gravitationnelle : $F = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{m_1 \times m_2}{R^2}$
- Masse de Jupiter : $m_1 = 1{,}90 \times 10^{27}$ kg.
- Masse de Io : $m_1 = 8{,}93 \times 10^{22}$ kg.
- Rayon de l'orbite de Io : $R = 421\,700$ km.

1. *Schéma* :



La force d'interaction gravitationnelle s'exerce entre les centres de gravité de chaque objet en attraction et elle peut se représenter par une "flèche" (appelé vecteur – force, en mathématiques) : ici, Jupiter attire Io, donc la flèche pointe de Io vers Jupiter, depuis le centre de Io.

2. $F_{J/Io} = G.m_J.m_{Io} / d_{J/Io}^2$
$= (6{,}67.10^{-11})*(8{,}93.10^{22})*(1{,}90.10^{27}) / 421700000^2$
$= \underline{6{,}36.10^{16}}$ N