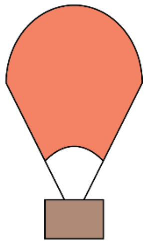
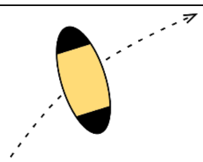
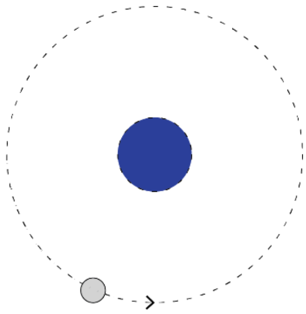
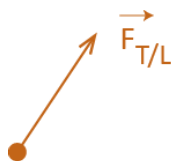
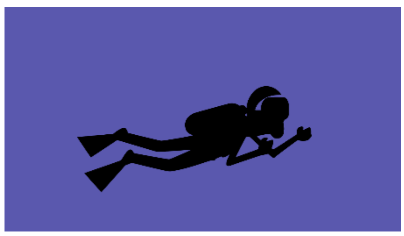
Exercices de la séquence 7
Interactions, actions et forces

EXERCICE 1 : effectuer un bilan des forces

Pour chacune des situations suivantes : représenter le système par un point et schématiser (sans souci d'échelle mais en respectant leurs valeurs comparées) les force qui s'exercent sur lui. Le système à étudier est celui dont le nom est en gras. On pourra s'aider du diagramme système – interactions.

Situations proposées :		**Schémas des forces :**
Une **montgolfière** est immobile, à 50 m au-dessus du sol.		
Un **ballon de rugby** est en vol, immédiatement après avoir été frappé du pied par un joueur qui a souhaité dégager.		
La **Lune** est en orbite autour de la Terre.		
Un **météore** pénètre dans l'atmosphère terrestre, ce qui fait diminuer la valeur de sa vitesse.		
Un **plongeur** emplit d'air son stabilisateur pour amorcer sa remontée à la surface.		

EXERCICE 2 : À propos de la force d'attraction gravitationnelle : vrai ou faux ?

Écrire « vrai » ou « faux » devant chacune des affirmations suivantes. Si nécessaire, la réponse sera justifiée par un calcul.

1. La force exercée par la Terre sur un être humain est plus élevée que la force qu'exerce l'être humain sur la Terre.
   FAUX : ces deux forces sont de valeurs égales.

2. Plus deux objets sont massifs, plus la force d'attraction gravitationnelle qu'ils exercent l'un sur l'autre est élevée.
   VRAI
3. Plus deux objets sont distants l'un de l'autre, plus la force d'attraction gravitationnelle qu'ils exercent l'un sur l'autre est élevée.
   FAUX : la valeur de la force d'attraction gravitationnelle est inversement propositionnelle à d^2.

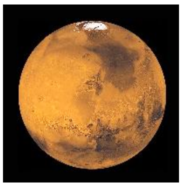
4. La force qu'exerce le Soleil sur la Lune est plus élevée que celle qu'il exerce sur la Terre.
   VRAI : la Lune et la Terre sont à (presque) égale distance du Soleil mais la Terre est beaucoup plus massive que la Lune.

5. La force qu'exerce la Lune sur la Terre est plus élevée que celle qu'exerce le Soleil sur la Terre.
   FAUX : $F_{Lune/Terre} = 2{,}1 \times 10^{20}\ \mathrm{N}$ et $F_{Soleil/Terre} = 3{,}6 \times 10^{22}\ \mathrm{N}$

Données :

- $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$
- Masse du Soleil : $2{,}0 \times 10^{30}\ \mathrm{kg}$
- Masse de la Terre : $6{,}0 \times 10^{24}\ \mathrm{kg}$
- Masse de la Lune : $7{,}4 \times 10^{22}\ \mathrm{kg}$
- Distance Terre – Lune : $3{,}8 \times 10^{5}\ \mathrm{km}$
- Distance moyenne Terre – Soleil : $1{,}5 \times 10^{8}\ \mathrm{km}$
- Distance moyenne Lune – Soleil : $1{,}5 \times 10^{8}\ \mathrm{km}$

EXERCICE 3 : le poids d'un astronaute sur Mars



Mars est la 4ème planète du système solaire. Elle a un rayon de valeur $3{,}4 \times 10^{3}\ \mathrm{km}$ et une masse de valeur $6{,}4 \times 10^{23}\ \mathrm{kg}$.
Les astronautes qui se rendront sur la planète Mars, avec leur équipement, auront une masse d'environ 200 kg.

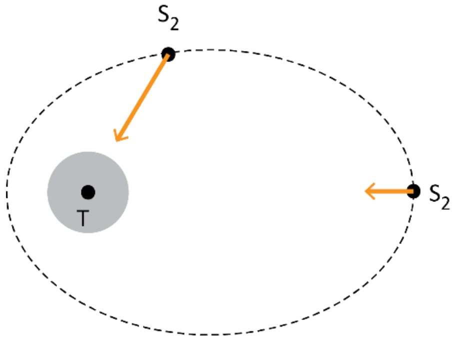
1. Que vaut le poids d'un astronaute, avec son équipement, sur Terre ?
$$P = mg = 200 \times 9{,}81 = 1{,}96 \times 10^{3}\ \mathrm{N}$$

2. Calculer la valeur du champ de pesanteur à la surface de Mars.
$$g_M = G\frac{M_M}{R_M^2} = 3{,}7\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$$

3. Cocher les affirmations justes parmi les propositions suivantes :
   ☐ ~~Sur Mars, la masse des astronautes, avec leur équipement, ne vaudra plus que 74 kg ;~~
   ☒ Sur Mars, la masse des astronautes, avec leur équipement, vaudra 200 kg ;
   ☐ ~~Sur Mars, le poids des astronautes, avec leur équipement, ne vaudra plus que 74 kg ;~~
   ☐ ~~Sur Mars, le poids des astronautes, avec leur équipement, vaudra 200 kg ;~~
   ☒ Sur Mars, le poids des astronautes, avec leur équipement, vaudra 740 N ;
   ☐ ~~Sur Mars, le poids des astronautes, avec leur équipement, vaudra 1962 N.~~

EXERCICE 4 : Spoutnik, 1er satellite artificiel de l'Histoire

Spoutnik est le premier satellite artificiel de l'Histoire. Il a été mis en orbite autour de la Terre par l'URSS en 1958. Il s'agissait d'une sphère d'aluminium munie de quatre antennes, de masse totale $m = 82$ kg.
La figure ci-contre représente, en pointillés la trajectoire de Spoutnik, le centre T de la Terre et deux positions, notées S_1 et S_2, du centre de Spoutnik.



1. Spoutnik, sur son orbite, n'est soumis qu'à une seule force : comment s'appelle-t-elle ?
C'est la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre.

2. Donner l'expression vectorielle de cette force et précisant les unités de toutes les grandeurs intervenant dans cette relation.

$$\overrightarrow{F_{T/S}} = -G\frac{M_T m}{d^2}\vec{u}$$

3. Représenter la force qui s'exerce sur Spoutnik aux deux positions repérées sur la figure. On ne respectera pas d'échelle particulière mais les valeurs comparées des deux forces tracées seront respectées.
4. Donner l'expression de **la valeur** de la force évoquée à la question 1.

$$F_{T/S} = G\frac{M_T m}{d^2}$$

5. Le poids de Spoutnik à la surface de la Terre s'exprime par : $P = mg$ avec $g \approx 10\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$. Exprimer g en fonction des données du préambule, en exploitant la relation de la question 4.

$$g = G\frac{M_T}{d^2}$$

6. Que vaut le poids de Spoutnik à la surface de la Terre ?

$$P = mg \approx 820\ \mathrm{N}$$

7. Lorsqu'il est sur son orbite, **la masse** de Spoutnik :
   - ○ ~~est nulle ;~~
   - ○ ~~est non nulle mais inférieure à 82 kg ;~~
   - ⊗ est égale à 82 kg ;
   - ○ ~~est supérieure à 82 kg.~~
8. Lorsqu'il est sur son orbite, **le poids** de Spoutnik :
   - ○ ~~est nul ;~~
   - ⊗ est non nulle mais inférieur à la valeur obtenue à la question 6 ;
   - ○ ~~est égal à la valeur obtenue à la question 6 ;~~
   - ○ ~~est supérieur à la valeur obtenue à la question 6.~~
9. À quelle distance de T Spoutnik aurait-il un poids 100 fois inférieur à sa valeur à la surface de la Terre ?
Puisque le poids est inversement proportionnel au carré de la distance, il faut multiplier par 10 la distance entre S et T pour que le poids soit divisé par 100, soit : $d = 10 \times R_T = 63800$ km.

EXERCICE 5 : comment connaît-on la masse de la Terre ?

Cet exercice a pour but de comprendre comment, grâce aux lois de la physique, les scientifiques ont réussi à « peser » les astres de l'Univers, les planètes en particulier. Nous prenons la Terre comme exemple : nous verrons que c'est le mouvement de son satellite, la Lune, qui permet de déterminer sa masse.

DOCUMENT 1 : le mouvement de la Lune

La lune effectue autour du centre de la Terre un mouvement circulaire uniforme. Elle se trouve à une distance de la terre de valeur moyenne $R = 3{,}82 \times 10^5$ km et effectue une révolution tous les 27 jours.

DOCUMENT 2 : force exercée sur un système en mouvement circulaire uniforme

Les lois de Newton permettent de démontrer que, si un système est soumis à une force non compensée dirigée en permanence vers un point fixe, son mouvement est circulaire uniforme à condition qu'il ait une vitesse de valeur v telle que :

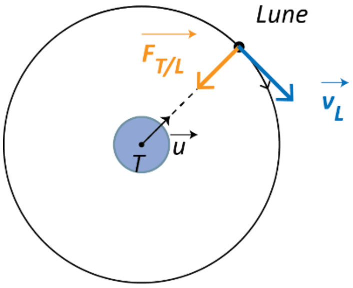
$$v^2 = F \times \frac{R}{m}$$

- F étant la valeur de la force non compensée exercée sur le système, exprimée en N.
- v étant sa vitesse, exprimée en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- m étant sa masse exprimée en kg
- R étant le rayon de sa trajectoire exprimé en m

1. D'après les données du document 1, que vaut la vitesse de la Lune par rapport à la Terre, que nous noterons v_L ? La réponse sera donnée en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.
   Rappel : le périmètre d'un cercle de rayon R vaut : $p = 2\pi R$.

$$v_L = \frac{\text{périmètre}}{T} = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2 \times \pi \times 3{,}82 \times 10^8}{27 \times 24 \times 60 \times 60} = \mathbf{1{,}0 \times 10^3\ m \cdot s^{-1}}$$

2. Compléter la figure ci-dessous en représentant la force qui s'exerce sur la Lune sans souci d'échelle mais en respectant sa direction et son sens. Nommer cette force.
   Il s'agit de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre :



3. Représenter, sans souci d'échelle, le vecteur vitesse $\overrightarrow{v_L}$ de la Lune.
4. Comment peut-on expliquer, à l'aide des lois de la mécanique, que seule change la direction du mouvement de la Lune ? On pourra exploiter les lois de la mécanique apprises en classe de 2nde pour répondre.
   La seule force qui s'exerce sur la Lune est, en permanence, **perpendiculaire à son vecteur-vitesse** : seule change la direction de celui-ci mais pas sa valeur.

5. Utiliser la loi de la Gravitation Universelle et la relation donnée dans le document 2 pour obtenir l'expression suivante de la masse de la Terre :

$$M_T = \frac{R v_L^2}{G}$$

La relation du document 2, appliquée à la situation de la Lune, donne :

$$\begin{aligned} v_L^2 &= F_{T/L}\frac{R}{m_L} \\ &= G\frac{M_T m_L}{R^2}\frac{R}{m_L} \\ &= \frac{GM_T}{R} \end{aligned}$$

On obtient donc l'expression de la masse de la Terre :

$$M_T = \frac{Rv_L^2}{G}$$

6. En déduire, finalement, la valeur de la masse de la Terre.

Application numérique :

$$M_T = \frac{3{,}82 \times 10^8 \times (1{,}0 \times 10^3)^2}{6{,}67 \times 10^{-11}} = \mathbf{6{,}0 \times 10^{24}\ kg}$$

7. Au XVIIIème siècle, les physiciens ont utilisé les lois de Newton, comme nous venons de le faire, pour déterminer toutes les masses des planètes du système solaire… toutes sauf deux : il a fallu attendre la fin du XIXème siècle pour que les masses de Mercure et Vénus soient enfin connues. À votre avis, pourquoi ?

Ni Vénus ni Mercure ne possède de satellite naturel.

EXERCICE 6 : comment connaît-on la masse de Mercure ?

Mercure photographiée par la sonde Messenger en janvier 2008 – source : Wikipédia

Mercure est la planète la plus proche du Soleil. On sait depuis longtemps que son rayon vaut $R_M = 2{,}44 \times 10^3$ km mais sa masse est plus compliquée à déterminer que celle de la plupart des autres planètes car elle ne possède pas de satellite naturel. On ne peut donc pas utiliser la méthode introduite dans l'exercice précédent.
Cet exercice propose d'étudier une mesure récente réalisée par la sonde Messenger lors de son survol de Mercure en janvier 2008.

1. Pour un objet situé à une distance d du centre de Mercure, exprimer la valeur du champ de pesanteur de Mercure en fonction de M_M (masse de mercure) et d.

$$g_M = G\frac{M_M}{d^2}$$

2. Lorsque Messenger se trouvait à 200 km au-dessus du pôle Nord de Mercure, le champ de pesanteur a été mesuré : $g_M = 3{,}14\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$.
Exploiter cette information pour déterminer la masse de Mercure.

$$M_M = \frac{g_M d^2}{G} = \frac{3{,}14 \times \left((2{,}44 \times 10^3 + 200) \times 10^3\right)^2}{6{,}67 \times 10^{-11}} = \mathbf{3{,}28 \times 10^{23}\ kg}$$

EXERCICE 7 : quel gaz utiliser pour remplir un ballon ?

On souhaite trouver « le bon gaz » pour remplir un ballon de baudruche et assister à l'envol de celui-ci. On propose les gaz suivants (non dangereux et faciles à trouver dans le commerce), donnés avec leurs masses volumiques à 20°C et sous la pression atmosphérique :

Gaz	air	Hélium He	Diazote N_2	Dioxygène O_2	Argon Ar
$\rho\ (\mathrm{kg \cdot m^{-3}})$	1,21	0,17	1,16	1,42	1,66

1. Lorsqu'il est en l'air, nommer les trois forces qui s'exercent sur le ballon et, en supposant que le ballon monte verticalement, préciser la direction et le sens de chacune d'elles.
S'exercent sur le ballon :
- son poids, vertical et vers le bas ;
- la poussée d'Archimède, verticale et vers le haut ;
- la force de frottement exercée par l'air, verticale et vers le bas.

2. On note : m_b la masse du ballon vide, ρ_{gaz} la masse volumique du gaz contenu dans le ballon et ρ_{air} celle de l'air ambiant. Exprimer, en fonction de V, ρ_{gaz} et/ou ρ_{air}, la valeur du poids du ballon ainsi que celle de la poussée d'Archimède qu'exerce l'air sur lui.
Donnée : la poussée d'Archimède exercée par un fluide sur un objet dont un volume V_i est immergé a pour valeur : $\Pi = \rho_{fluide} V_i g$.
Poids : $P = mg = (m_{gaz} + m_b)g = m_b g + \rho_{gaz} V g$
Poussée d'Archimède : $\Pi = \rho_{air} V g$

3. Exploiter les données du préambule pour identifier le meilleur choix du gaz, parmi ceux proposés, avec lequel il faut gonfler le ballon pour qu'il s'envole. Justifier la réponse à l'aide des expressions précédentes.
Pour qu'il s'envole, il faut que le ballon soit empli d'un gaz le moins dense possible, afin que la poussée d'Archimède qui s'exerce sur lui ait une valeur plus élevée que son poids.

4. Une fois qu'il a été gonflé et lâché en l'air, représenter les forces qui s'exercent sur le ballon.

EXERCICE 8 : le décollage d'une montgolfière

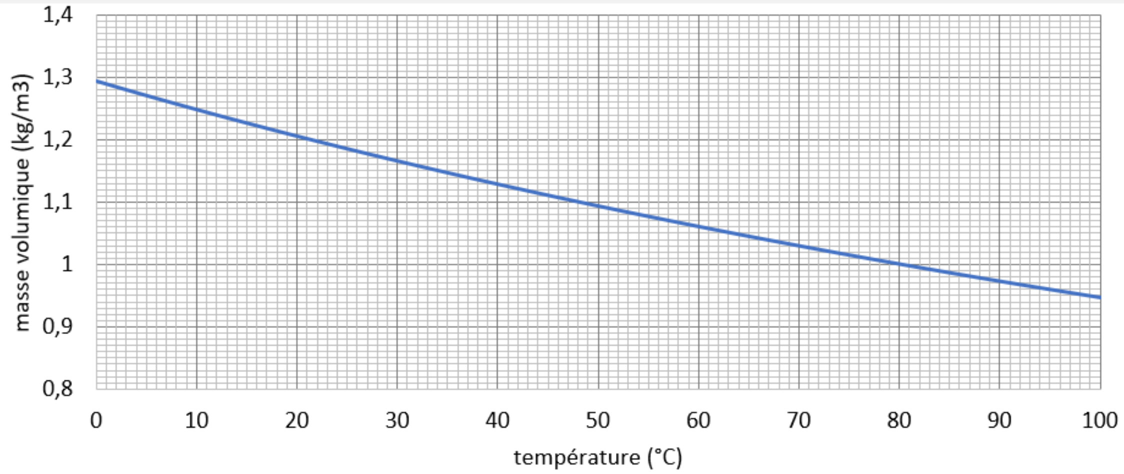
La photographie à gauche ci-dessous montre une montgolfière, encore au sol, dont l'air est chauffé par le brûleur. La photographie de droite montre cette même montgolfière après qu'elle a quitté le sol.

une montgolfière avant et après son envol (images libre de droits d'auteur sous Creative Commons CC0)

DOCUMENT 1 : données sur la montgolfière étudiée

Volume du ballon lorsque la montgolfière est « gonflée » : $V = 2{,}0 \times 10^3\ \mathrm{m}^3$
Masse de la montgolfière sans air (nacelle, toile, équipement et passagers) : $m_M = 550\ \mathrm{kg}$

DOCUMENT 2 : masse volumique et température de l'air



1. Sans faire de calcul, expliquer pourquoi le fait de chauffer l'air à l'intérieur de la montgolfière permet à celle-ci de s'élever vers le haut. On utilisera le document 2 pour répondre.
   Le fait de chauffer l'air diminue sa masse volumique, comme le montre le document 2, ce qui diminue la valeur du poids total de la montgolfière mais reste sans conséquence sur la poussée d'Archimède exercée sur elle par l'air extérieur. Ainsi, à partir d'une certaine température, la poussée d'Archimède l'emporte sur le poids et la montgolfière décolle.

On note : ρ_{int} la masse volumique de l'air à l'intérieur de la montgolfière et ρ_{ext} celle de l'air extérieur.

2. Exprimer en fonction de ρ_{int}, ρ_{ext}, m_M, V et g le poids total de la montgolfière lorsque le ballon est empli d'air.

$$\begin{aligned} P &= m_{tot} g \\ &= (m_M + m_{air})g \\ &= m_M g + \rho_{int} V g \end{aligned}$$

3. Exprimer la valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'air extérieur sur la montgolfière lorsque celle-ci est emplie d'air, en fonction de ρ_{ext}, V et g.
C'est l'air extérieur qui exerce la poussée, donc :
$$\Pi = \rho_{ext} V g$$

4. Parmi les deux forces évoquées aux questions 3 et 4, laquelle doit être la plus élevée pour que la Montgolfière amorce un mouvement vers le haut ? En déduire la relation :
$$\rho_{int} \leq \rho_{ext} - \frac{m_N}{V}$$
La montgolfière décolle lorsque la poussée d'Archimède est plus élevée que le poids de la montgolfière. D'où :
$$P \leq \Pi$$
$$m_M g + \rho_{int} V g \leq \rho_{ext} V g$$
$$\rho_{int} V g \leq \rho_{ext} V g - m_M g$$
$$\rho_{int} \leq \rho_{ext} - \frac{m_M}{V}$$

5. Le jour du décollage, la température ambiante vaut 15°C. En déduire la valeur de ρ_{ext} à l'aide du document 2.
Par lecture graphique : $\rho_{ext} = 1{,}23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

6. En déduire la valeur de ρ_{int} permettant à la montgolfière de décoller.
La valeur maximale de ρ_{int} permettant le décollage de la Montgolfière est donc :
$$\rho_{int} = 1{,}23 - \frac{550}{2{,}0 \times 10^3} = \mathbf{0{,}96\ kg \cdot m^{-3}}$$

7. Finalement, déterminer la température que doit atteindre l'air à l'intérieur de la montgolfière pour permettre son décollage.
Le graphique du document 2 montre que la température doit atteindre **94 °C.**