



éduthèque

RESSOURCES PÉDAGOGIQUES, CULTURELLES ET
SCIENTIFIQUES, POUR LES ENSEIGNANTS

POUR L'ÉCOLE
DE LA CONFIANCE

UTILISER DES RESSOURCES DE L'EDUTHEQUE QUELQUES PISTES SUR LE THEME DE LA GRAVITATION

Académie de Versailles



académie
Versailles



Région académique
ÎLE-DE-FRANCE

Résumé

Les notions de masse, de poids, d'interaction gravitationnelle de pesanteur, d'impesanteur sont souvent difficiles à appréhender par les élèves. Ce livret propose quelques pistes permettant de les aborder en utilisant des ressources du portail national [éduthèque](#). Celui-ci offre aux enseignants de nombreuses ressources mises à disposition par différents partenaires et qui couvrent un grand nombre de champs disciplinaires.

Mots clés

Masse, poids, gravitation, interaction gravitationnelle, pesanteur, impesanteur.

Public visé

3^{ème}, 2^{nde}, 1S, TS.

Domaines et champs des programmes

Mécanique : champ de pesanteur et interaction gravitationnelle.

Type d'activité

Analyse de documents.

Déroulement – Phase 1

EDUTHEQUE – Le site TV | Superman : la gravité

> Vidéo (5 min 56 s)

> Niveaux : 3^{ème}, 2^{nde}, 1S, TS

« Malgré son apparence tout à fait humaine, Superman est capable de prouesses extraordinaires car il est en réalité un extra-terrestre, en provenance de Krypton, une planète imaginaire où la gravité est 30 fois supérieure à celle de la Terre. C'est ce qui explique qu'il puisse sauter par-dessus des immeubles de 60 mètres de haut et faire des bonds de plus de 200 mètres. Il est un peu, mais en sens inverse, comme les astronautes qui, sur la Lune, faisaient des bonds incroyables, car la gravité lunaire est le sixième de la gravité terrestre. Cette variation de gravité explique par exemple les performances inhabituelles enregistrées aux Jeux Olympiques de Mexico, ville d'altitude. »

>> Faire visionner par les élèves la vidéo de l'entretien avec l'astrophysicien Roland LEHOUCQ qui aborde la notion de gravité à travers le décryptage scientifique de la force extraordinaire dont est doté Superman dans la série BD éponyme.

<https://www.lesite.tv/edutheque/cycle-4/physique-chimie/video/roland-lehoucq-superman-la-gravite>

>> Puis demander aux élèves de compléter :

- la **FICHE ÉLÈVE n°1** disponible à la page 21 (correction en page 22) ;
- la **FICHE ÉLÈVE n°2** disponible à la page 23 (correction en page 24) ;

du livret pédagogique d'accompagnement de la ressource vidéo, disponible en téléchargement sous cette dernière.

Déroulement – Phase 2

EDUTHEQUE – CNES | Qu'est-ce que l'impesanteur ?

> Animation multimédia

> Niveaux : 2^{nde}, 1S, TS

« Dans tout champ de gravitation, tout corps en chute libre est en impesanteur »

>> Faire consulter par les élèves l'animation multimédia du CNES illustrant la notion de pesanteur et d'impesanteur disponible en bas de la page suivante consacrée à l'espace :

<https://edutheque.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/11179-em-qu-est-ce-que-l-espace.php>

L'animation multimédia se décline en quatre modules mobilisant les verbes d'action suivants : comprendre ; se tester ; approfondir ; expérimenter.

>> **Questions possibles :**

1. Quelles conditions doivent être réunies pour qu'un corps soit en chute libre ?
2. Dans quelle circonstance(s) peut-on dire qu'un corps est en impesanteur ?
3. Donner quelques exemples de situations dans lesquelles un corps est en impesanteur.

Déroulement – Phase 3

EDUTHEQUE – CNES | Vol en impesanteur à bord d'un Airbus A310 « zéro G »

> Activité documentaire

> Niveau : TS

« Au terme apesanteur, utilisé dans le langage courant, on préfère aujourd'hui celui d'impesanteur, en raison de la confusion orale entre « la pesanteur » et « l'apesanteur ». Par ailleurs, l'impesanteur est un état théorique et idéal qui n'existe pas en réalité : il subsiste toujours des forces parasites, donc une pesanteur résiduelle. A bord d'un véhicule spatial, on parle donc en général de micropesanteur, dont la valeur est proche du millionième de la pesanteur terrestre. L'airbus A310 de la société NOVESPACE permet de recréer pendant quelques secondes lors d'un vol parabolique les conditions de micropesanteur »

>> Faire consulter par les élèves :

- les pages 13 et 14 de l'atelier « AD2 – L'impesanteur » du CNES

<https://www.cnes-multimedia.fr/EDUTHEQUE/Universite2014/AD2.pdf>

- la vidéo sur « l'avions zéro G, la science en impesanteur » de la chaîne YouTube « Above Earth »

<https://youtu.be/Y0qswUmSifk>

- la simulation de l'avion zéro G

<http://www.novespace.fr/fr,popup,parabole.html>

>> Questions possibles :

1. L'appellation Airbus A310 « zéro G » laisse penser que la gravité disparaît dans l'avion : est-ce le cas ?
2. Quelle trajectoire doit emprunter l'avion pour créer les conditions de l'impesanteur (ou plus exactement de micropesanteur) ?
3. Schématiser la trajectoire de l'avion en indiquant les zones de micropesanteur, pesanteur et hyperpesanteur.

>> Proposer ensuite aux élèves la résolution de l'exercice suivant :

EXERCICE 1 : vol zéro G (d'après BAC S2016 Liban)

Au printemps 2015, l'airbus A310 Zéro-G a réalisé ses premiers vols scientifiques. Exploité par une filiale du Centre National d'Études Spatiales (CNES), cet avion permet de simuler des conditions d'apesanteur en décrivant des trajectoires paraboliques. Les scientifiques peuvent ainsi mener des expériences sans avoir recours aux missions spatiales.

Document 1 : Trajectoire parabolique de l'A310 Zéro-G

Pour que les passagers et le matériel embarqués dans l'Airbus A310 Zéro-G soient en apesanteur dans le référentiel de l'avion, et qu'ils se mettent à y « flotter », il faut que l'avion soit en chute libre. Dans le référentiel terrestre, un corps est en chute libre lorsque la seule force qui s'exerce sur lui est le poids. Comment mettre l'avion en condition de "chute libre" ? peut-on se demander. Rien de plus "simple". Il suffit que le pilote de l'avion arrive à suivre la bonne trajectoire parabolique.

Extrait d'un article de presse

Document 2 : Caractéristiques du vol parabolique

Angle par rapport à l'horizontale au début de la parabole	47°
Altitude au départ et à la fin de la parabole	7 600 m
Vitesse au début de la parabole	527 km.h ⁻¹
Altitude au sommet de la parabole	8 200 m
Vitesse au sommet de la parabole	355 km.h ⁻¹
Durée d'apesanteur (0 g)	22 s

Déroulement – Phase 4

EDUTHEQUE – CNES | La station spatiale internationale (ISS)

> Activité documentaire

> Niveaux : TS

« La station spatiale internationale ISS (International Space Station) est à ce jour le plus grand des objets **artificiels** placés en orbite terrestre à une altitude moyenne d'environ 400 km. De la taille d'un stade de foot, sa masse est d'environ 435 tonnes. Elle est occupée en permanence par un équipage international qui se consacre à la recherche scientifique dans l'environnement spatial. L'ATV (Automated Transfer Vehicule) est un vaisseau cargo spatial développé par l'Agence spatiale européenne (ESA) chargé de ravitailler l'ISS. »

>> Faire consulter par les élèves la page du CNES consacrée à l'ISS et à l'ATV :

<https://edutheque.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/11118-em-la-station-spatiale-internationale-iss.php>

>> Les élèves pourront tester leurs connaissances sur l'ISS et l'ATV via un quizz du CNES :

https://www.cnes-multimedia.fr/animations-jeunes/Quiz_ISS_ATV_13012011/index.html

>> Proposer ensuite aux élèves la résolution des deux exercices suivants sur l'ISS et l'ATV.

EXERCICE 2 : Étude du mouvement de la station spatiale ISS (d'après BAC S 2013 Amérique du Nord)

La station spatiale internationale, supposée ponctuelle et notée S, évolue sur une orbite qu'on admettra circulaire, dont le plan est incliné de 51,6° par rapport au plan de l'équateur. Son altitude est environ égale à 400 km.

Données :

- rayon de la Terre : $R = 6380$ km
- masse de la station : $m = 435$ tonnes
- masse de la Terre, supposée ponctuelle : $M = 5,98 \times 10^{24}$ kg
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
- altitude de la station ISS : h
- expression de la valeur de la force d'interaction gravitationnelle F entre deux corps A et B ponctuels de masses respectives m_A et m_B , distants de $d = AB$: $F = G (m_A \times m_B) / d^2$

1. Représenter sur un schéma :

- la Terre et la station S, supposée ponctuelle ;
- un vecteur unitaire \vec{U} orienté de la station S vers la Terre (T) ;
- la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la station S.

Donner l'expression vectorielle de cette force en fonction du vecteur unitaire \vec{U} .

2. En considérant la seule action de la Terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération \vec{a}_S de la station dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen, en fonction de G , M , h , R et du vecteur unitaire \vec{U} .

3. Vitesse du satellite.

3.1. Montrer que, dans le cas d'un mouvement circulaire, la valeur de la vitesse du satellite de la station

a pour expression : $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$.

3.2. Calculer la valeur de la vitesse de la station en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

4. Combien de révolutions autour de la Terre un astronaute présent à bord de la station spatiale internationale fait-il en 24h ?

EXERCICE 3 : trajectoire et énergie de l'ATV

L'énoncé et sa correction proposés par le CNES sont téléchargeables depuis la page :

https://edutheque.cnes.fr/sites/default/files/drupal/201610/default/exercice_physique_atv.docx

ANNEXES :

Correction de l'EXERCICE 1 Vol zéro G

Correction issue du site : <http://labolycee.org/>

1. Étude du mouvement de chute libre

1.1. Lorsqu'un système est en chute libre, il n'est soumis qu'à son poids. Dans ces conditions, on peut considérer que l'énergie mécanique du système se conserve.

1.2. Vérifions la conservation de l'énergie mécanique entre deux positions de l'avion. On supposera que l'intensité g du champ de pesanteur est constante au cours du mouvement et qu'elle est égale à celle au niveau de la surface de la Terre.

Position 1 : l'avion démarre sa parabole

Altitude $z_1 = 7\,600$ m

Vitesse $v_1 = 527$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$

Position 2 : l'avion est au sommet de sa parabole

$z_2 = 8\,200$ m

$v_2 = 355$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$

Énergie mécanique

$$E_{m1} = E_{C1} + E_{PP1}$$

$$E_{m1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot z_1$$

$$E_{m2} = E_{C2} + E_{PP2}$$

$$E_{m2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot z_2$$

$$E_{m1} = 1,3 \times 10^{10} \text{ J}$$

$$E_{m2} = 1,3 \times 10^{10} \text{ J}$$

L'énergie mécanique **est conservée**, les caractéristiques de la trajectoire parabolique sont compatibles avec une chute libre de l'avion.

Remarque : en réalité l'avion subit d'autres forces que le poids, mais elle se compensent.

2. Intensité du champ de pesanteur dans un vol zéro-G

2.1. On considère que la force poids \vec{P} est égale à la force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{T/o}$ exercée par la Terre sur un objet de masse m .

$$P = m \cdot g_h$$

$$F_{T/o} = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$$

$$\text{Ainsi } m \cdot g_h = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$$

Finalement, on retrouve l'expression proposée $g_h = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$

2.2. Au cours du vol Zéro-G, l'altitude varie entre 7 600 m et 8 200 m.

Déterminons la valeur de l'intensité du champ de pesanteur pour chacune de ces altitudes :

$$g_2 = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24}}{(6,38 \times 10^6 + 8200)^2} = 9,76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$g_1 = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24}}{(6,38 \times 10^6 + 7600)^2} = 9,76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

En stockant g_1 et g_2 en mémoire de la calculatrice, on obtient une variation très faible $\Delta g = -1,8 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Ainsi, il est légitime de considérer que l'intensité de la pesanteur est constante lors d'un vol Zéro-G.

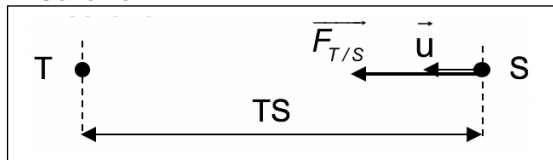
Remarque : autre méthode $g = \frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$ avec G , M_T et R_T constantes.

h varie de $8200 - 7600 = 600 \text{ m}$, or $R_T = 6,38 \times 10^6 \text{ m}$. La variation de h étant négligeable face à R_T , on peut considérer que g est constante.

Correction de l'EXERCICE 2 Étude du mouvement de la station spatiale ISS

Correction issue du site : <http://labolycee.org/>

1. Schéma :



L'expression vectorielle de la force gravitationnelle

$\vec{F}_{T/S}$ exercée par la Terre T sur la station S est :

$$\vec{F}_{T/S} = G \times \frac{m \cdot M}{(d_{TS})^2} \cdot \vec{u}$$

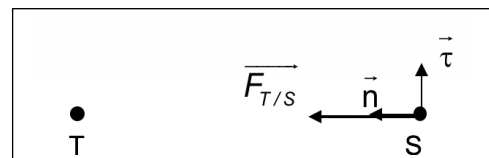
2. Le système {station ISS} est étudié dans le référentiel géocentrique supposé galiléen.

La station n'est soumise qu'à la force gravitationnelle $\vec{F}_{T/S}$.

La masse m de la station étant constante, la deuxième loi de Newton s'écrit : $\vec{F}_{T/S} = m \cdot \vec{a}_S$

En posant $d_{TS} = R + h$, il vient : $G \cdot \frac{m \cdot M}{(R + h)^2} \cdot \vec{u} = m \cdot \vec{a}_S$

Finalement : $\vec{a}_S = \frac{G \cdot M}{(R + h)^2} \cdot \vec{u}$



3.1. Dans le repère de Frenet $(S, \vec{n}, \vec{\tau})$,

$$\text{le vecteur accélération s'écrit : } \vec{a}_s = \frac{v^2}{(R+h)} \vec{n} + \frac{dv}{dt} \vec{\tau}.$$

avec $\vec{n} = \vec{u}$ on a :

$$\vec{a}_s = \frac{v^2}{(R+h)} \vec{u} + \frac{dv}{dt} \vec{\tau}.$$

En égalant les deux expressions de l'accélération, il vient : $\frac{G.M}{(R+h)^2} \vec{u} = \frac{v^2}{(R+h)} \vec{u} + \frac{dv}{dt} \vec{\tau}$

$$\text{Par identification on obtient : } \begin{cases} \text{sur } \vec{u} : \frac{G \times M}{(R+h)^2} = \frac{v^2}{(R+h)} \\ \text{sur } \vec{\tau} : 0 = \frac{dv}{dt} \Rightarrow v = \text{cte} \end{cases}$$

La valeur de la vitesse de la station est constante ; donc le mouvement est uniforme.

L'expression de la vitesse v s'obtient à partir de la relation : $\frac{G \times M}{(R+h)^2} = \frac{v^2}{(R+h)}$

$$v^2 = \frac{G \times M}{(R+h)} \text{ soit finalement : } v = \sqrt{\frac{G \times M}{R+h}}$$

3.2. On convertit $R+h$ en m :

$$v = \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,98 \times 10^{24}}{6380 \times 10^3 + 400 \times 10^3}} = 7,67 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1} = 7,67 \text{ km.s}^{-1}.$$

4. Soit T la période de révolution de la station autour de la Terre, comme le mouvement est circulaire et

uniforme de rayon $R+h$, la vitesse v s'écrit : $v = \frac{2\pi \cdot (R+h)}{T}$

$$\text{donc } T = \frac{2\pi \cdot (R+h)}{v} \text{ soit } T = \frac{2\pi(6380 \times 10^3 + 400 \times 10^3)}{7,67 \times 10^3} = 5,56 \times 10^3 \text{ s} = 1,54 \text{ h}$$

Le nombre n de révolutions de la station en $\Delta t = 24 \text{ h}$ est $n = \frac{\Delta t}{T}$

$$n = \frac{24}{1,54} = 15,6. \text{ Un astronaute à bord de la station ISS fait plus de 15 fois le tour de la Terre en 24h.}$$