

AVEC NOS ÉLÈVES

Conceptions initiales sur l'impesanteur

Olivier Gayrard

Comment expliquer l'impesanteur à des élèves ? Olivier Gayrard propose de commencer par recueillir leurs hypothèses avant d'expérimenter. Avec des résultats parfois surprenants...

L'expérience quotidienne de toute personne ayant les deux pieds au sol met en évidence l'existence d'une force qui fait chuter tout objet vers le bas. C'est le poids de cet objet. Chose merveilleuse, les astronautes⁴, dans leurs laboratoires spatiaux, ou directement dans l'espace, flottent. Nous avons réfléchi, avec des élèves de 5^e et de 4^e n'ayant pas suivi de cours de mécanique, à cet étrange phénomène.

Les hypothèses

J'ai proposé aux élèves deux photographies. La première (figure 1) a été prise durant la mission STS-127. Nous voyons l'astronaute de l'Agence Spatiale Canadienne, Julie Payette, qui flotte dans le laboratoire Columbus de l'ESA. La seconde (figure 2), présente Dave Williams, un autre astronaute de l'ASC, en sortie extravéhiculaire.

Dans les deux cas, le questionnement de départ était : « Pourquoi semble-t-elle (il) flotter ? »

Le tableau 1 présente les hypothèses rédigées par les élèves.



Fig.1. L'astronaute canadienne Julie Payette.



Fig.2. L'astronaute Dave William en sortie dans l'espace

| | | |
|--------|--|----|
| Hyp 1 | Il y a de l'apesanteur, ou grâce à l'apesanteur, ou être en apesanteur. | 10 |
| Hyp 2 | Il n'y a pas ou plus de force de gravité ou pas de gravité, ou pas de centre de gravité, ou en dehors du centre de gravité, ou pas de gravitation terrestre. | 29 |
| Hyp 3 | Il y a de l'anti-gravité ou gravité inversée. | 2 |
| Hyp 4 | Il n'est plus dans l'atmosphère, ou l'air, ou l'ozone, ou le dioxygène, ou plus de pression (hypothèse essentiellement apparue avec la diapositive D ₂). | 15 |
| Hyp 5 | Car il y a de l'air, ou un gaz, ou de l'atmosphère, ou une pression (hypothèse essentiellement apparue avec la diapositive D ₁). | 9 |
| Hyp 6 | Dans l'espace il y a de la gravité ou de la gravitation. | 9 |
| Hyp 7 | Il n'y a pas d'apesanteur. | 2 |
| Hyp 8 | Ils sont trop loin. | 4 |
| Hyp 9 | Le poids diminue ou ils pèsent moins. | 3 |
| Hyp 10 | Sans hypothèse. | 7 |
| Hyp 11 | Hypothèses absconses ou trop confuses : air qu'il y a dans l'hélium, ... | 5 |

Tableau 1. Les hypothèses. La dernière colonne représente le nombre d'élèves ayant formulé ce type de réponse.

La discussion avec les élèves qui ont proposé l'hypothèse H1 indique que l'apesanteur est vue

⁴ On parle d'astronautes américains, de cosmonautes russes, de spatonautes français et même de taïkonautes chinois pour le même métier, celui d'aller dans l'espace. Plusieurs de ces termes sont utilisés indifféremment ici.

aussi bien comme une force permettant au corps de flotter, ce qui est faux, que comme une absence de pesanteur, le préfixe a- étant privatif. En s'en tenant à cette dernière interprétation, rappelons que la force de gravitation est à portée infinie. Aussi nul lieu ne peut en toute rigueur échapper à la pesanteur. En l'occurrence, le terme de micro-gravité serait plus judicieux.

Ceux ayant suggéré l'hypothèse H2 sont bien conscients d'une force de gravité qui cloue au sol et supposent son extinction à l'altitude de nos stations. On peut néanmoins calculer que l'accélération de la pesanteur terrestre g diminue de 1 % quand on s'élève de 32 km. À l'altitude où gravitent nos stations, soit 300 km, g est voisin de $0,9 g_0$, où g_0 est la valeur au niveau de la mer. Cette hypothèse est invalidée.

L'hypothèse H3 est un concept de science-fiction. L'hypothèse H4 est apparue avec la diapositive D₂. L'atmosphère est perçue comme ce qui maintient au sol. En dehors de celle-ci, la voltige serait la règle. Une expérience avec une cloche à vide, bien que procurant un vide tout relatif, met à mal cette conception.

L'hypothèse H5 s'est manifestée avec la diapositive D₁. L'idée est sensiblement la même que précédemment. Le corps de Julie Payette étant dans une capsule remplie d'air, elle-même enveloppée de vide, la pression exercée par l'air sur son corps la maintiendrait en équilibre. Dans la cloche à vide, une petite boule transparente avec un personnage à l'intérieur invalide cette hypothèse.

Les élèves ont joué le jeu, et presque tous ont écrit une hypothèse. Parfois un seul mot. Les hypothèses H6 et H7, tout en se rapprochant de la vérité pour H6, doivent être ainsi prises en compte. Remarquons que ce vocabulaire, même s'il est souvent improprement utilisé ou conceptualisé, n'est pas hors sujet. Ce qui est en soit déjà positif.

En effet, quelques hypothèses, classées H11, sont hors de propos, comme l'existence d'aimants dans le vaisseau, ou bien inintelligibles.

Les hypothèses H8 et H9 sont à rapprocher de ce qui a déjà été dit à propos de H2.

Une expérience

L'équivalence entre la chute libre et l'impesanteur n'est pas apparue dans les hypothèses. Aussi, j'ai directement proposé l'expérience suivante :

« Nous sommes maintenant sur Terre. Dans un cadre de bois (de masse 206 g), un cosmonaute de plastique (de masse 6 g) pend par un fil de canne à pêche. Ce fil est lui-même attaché à un second fil reliant les extrémités supérieures du cadre en bois ».

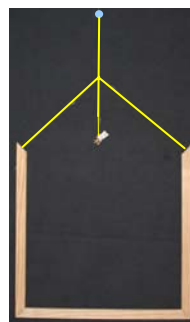


Fig.3. Dispositif de départ de l'expérience.

Les fils sont repassés en jaune. Le dispositif pend par la punaise bleue.

Que va-t-il se passer si on lâche l'ensemble ?

Sur la figure 3, nous voyons le dispositif soulevé tel qu'il a été présenté aux élèves. Ils ont été invités à répondre à la question suivante : « Que se passera-t-il lorsque le dispositif sera lâché ? » Les trois diapositives de la figure 4 ont été projetées.

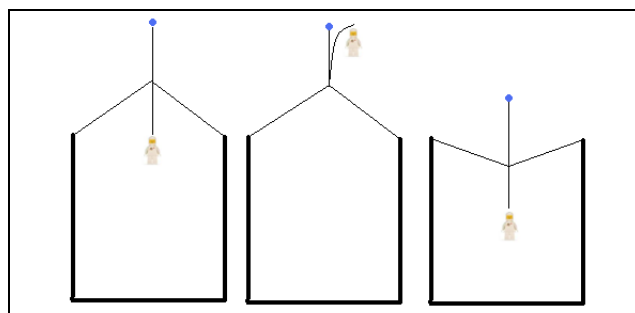


Fig.4abc. Trois réponses possibles à la chute libre du dispositif.

Les réponses sont présentées dans le tableau 2.

| | |
|--|------|
| <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Rien ne change (figure 4a) | 13 % |
| <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Le cosmonaute passe au-dessus (figure 4b) | 51 % |
| <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Le cosmonaute passe au-dessous (figure 4c) | 36 % |

Tableau 2 : comment chute le cosmonaute ?

Les élèves ayant fait le choix de la figure b n'avaient aucun doute. Le cosmonaute s'échappe par le haut de son cadre. La différence de masse est toujours invoquée, et assurément, un astronaute de plomb dans un cadre de balsa aurait produit une solution inverse. Plusieurs élèves supposent un glissement du cosmonaute vers l'intérieur du cadre car ce dernier, disent-ils, tire dans ce sens. Ils sont peu à envisager la chute libre telle que Galilée l'énonça au début du XVII^e siècle.

L'impesanteur expliquée à des collégiens

Imaginons que le cadre de bois soit les parois du vaisseau de notre cosmonaute, et accompagnons-le dans sa chute. En d'autres termes, pendons un second passager qui nous représentera. Que voyons-nous de notre entourage proche ? Rien ne s'échappe du cadre, comme nous pouvoir le voir sur la figure 5. Donc notre compagnon de voyage reste par rapport à la cabine, et à nous-mêmes, immobile. Nous flottons ! Si je glisse sous ses pieds un pese-personne, la balance indiquera qu'il ne pèse rien !

La sensation de pesanteur n'existe plus. Nous tombons tous, ni plus vite, ni moins vite que les objets qui nous entourent. Remarquons que la gravité, elle, n'a pas disparu. Bien au contraire, elle est la cause de notre mouvement. Voici la singularité de l'impesanteur. N'étant soumis qu'au champ de gravitation, dans notre mouvement de chute libre, nous avons l'illusion que ce champ n'existe pas !

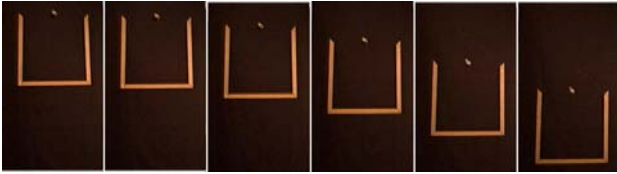


Fig.5. L'expérience filmée de la chute libre du cosmonaute ; une image tous les 1/30 s, vitesse d'obturation 250 ms.

Et à des lycéens, sur Terre ...

Pour étudier le mouvement d'un objet, nous devons disposer d'un système de référence. Nous sommes en tant qu'observateurs, liés à un repère terrestre. Nous admettrons ce référentiel galiléen. Pour simplifier, supposons que notre cadre chute dans un puits où règne le vide. Sur la distance parcourue, nous considérons l'accélération de la pesanteur constante. Un repère lié au cadre a un mouvement accéléré par rapport à la Terre: ce référentiel n'est pas galiléen. Quelles forces s'exercent sur notre astronaute, le vaisseau étant pris comme référence ? D'une part, la force de gravitation, et d'autre part

une force inertielle, égale et opposée. Cette dernière n'est pas à proprement parler une force ; elle n'existe que dans le référentiel lié au vaisseau. Notre passager est donc soumis à un ensemble de forces dont la somme est nulle. Dans notre référentiel terrestre, c'est-à-dire inertielle, n'agit que la force de gravitation, qui fait chuter cadre et cosmonaute sans distinction. Le cosmonaute dans son vaisseau n'éprouve aucun mouvement : il flotte. De mon point de vue terrestre, il est en chute libre.

... puis dans un satellite.

Le mouvement du satellite sera décrit dans un référentiel géocentrique R_g , supposé galiléen. Supposons de plus la trajectoire du satellite circulaire, que le cosmonaute occupe le centre d'inertie de son vaisseau, que le mouvement du satellite soit repéré par un repère R_s lié au satellite lui-même, et que ce dernier soit immobile par rapport à son référentiel. Alors, il ne s'exerce sur le spationaute que deux forces, la gravitation terrestre, $\vec{F}_g = -G \times \frac{M_t \times M_s}{OS^3} \times \vec{OS}$, et une force inertielle, $\vec{F}_{in} = M_s \times \omega^2 \times \vec{OS}$, R_s n'étant pas galiléen. (O est le centre de la Terre et S le spationaute).

Les conclusions du paragraphe précédent peuvent être réitérées, en entendant par chute libre un mouvement régi par la seule gravité. ■