

Fiche professeur

THEME du programme : Comprendre

Sous-thème : Champs et forces

De la chute des corps au champ de pesanteur local (étude historique)

Type d'activité : - Activité documentaire et expérimentale

Conditions de mise en œuvre :

Cette activité peut être mise en place lors d'une séance de travaux pratiques de 2h. Il est souhaitable que les élèves aient préalablement préparé la première partie.

Le poids, la pesanteur, la gravité sont des notions déjà rencontrées dans les classes précédentes, notions qui peuvent paraître évidentes, et inévitablement liées : comment aurait-on pu découvrir une de ces notions sans connaître et mentionner les autres ?

Nous essaierons, ici, au travers de textes historiques, de montrer que, de l'étude de la chute des corps jusqu'à la notion de gravité puis de champ de pesanteur, il s'est écoulé plusieurs siècles.

Dans une première partie, on confronte les thèses émises par Aristote et par Galilée sur la chute des corps : la chute dépend-elle de la masse ? du milieu ? Que se passerait-il dans le vide ?

Dans une deuxième partie, on cherche à appliquer l'expérience du pendule effectuée par Galilée permettant de montrer que la masse n'interfère pas sur la chute des corps.

Dans une troisième partie, on définira le champ de pesanteur. Puis, suite à la lecture d'un texte de Huygens, on fait réfléchir les élèves sur la durée des oscillations en fonction de la longueur du pendule afin de déterminer expérimentalement la valeur de l'intensité de la pesanteur puis les caractéristiques du champ de pesanteur dans la classe.

Pré-requis : - La gravitation universelle (seconde)
- Champ de gravitation (première)

NOTIONS ET CONTENUS	COMPETENCES ATTENDUES
Champ de pesanteur local	Comprendre comment la notion de champ a émergé historiquement d'observations expérimentales. Connaître les caractéristiques du champ de pesanteur local.

Compétences transversales :

- rechercher, extraire, des informations dans un document
- formuler une hypothèse et proposer une méthode pour la valider
- Extraire des informations de données expérimentales et les exploiter

Mots clés de recherche : champ de pesanteur ; masse ; chute des corps

Provenance : Académie d'Orléans-Tours

Adresse du site académique : <http://physique.ac-orleans-tours.fr/php5/site/>

De la chute des corps au champ de pesanteur local

Introduction :

La chute des corps est une fatalité. Elle est dans la nature des choses. Tout finit par tomber un jour ou l'autre.

Il n'est donc guère étonnant que ce phénomène ait suscité autant de réflexions, d'opinions, de controverses. Déjà, au IV^{ème} siècle avant notre ère, Aristote en proposa une explication. Mais c'est Galilée qui, le premier, au XVII^{ème} siècle, énonça correctement la loi de la chute des corps. On savait désormais comment les corps tombaient. Mais on ignorait toujours pourquoi. Le XVII^{ème} siècle n'était pas achevé que Newton proposa une explication : les corps tombaient parce que la Terre exerçait sur eux une force attractive.

La théorie Newtonienne, parce qu'elle était universelle et rendait bien compte des phénomènes observés, semblait définitive. Mais elle fut à son tour remise en cause au XX^{ème} siècle par Einstein. L'espace et le temps qu'on avait cru absolus et indépendants, devinrent relatifs et interdépendants. Ils n'étaient plus que les composantes d'un continuum nouveau appelé « espace-temps ».

D'après *L'histoire de la chute des corps*, de Robert Signore

I. La chute des corps : thèses aristotélicienne ou galiléenne ?

1. Après lecture du document 1 en annexe, reformuler les 3 hypothèses émises par Aristote sur la chute des corps.
2. Etude du document 2 en annexe : Extrait des « *Discours* », de Galilée (1638) : texte relatant la conversation entre deux personnages symbolisant les défenseurs des pensées d'Aristote et de Galilée.
 - a. Quelle contradiction est mise en évidence par Salviati dans les lignes 7 à 15 ?
 - b. Quelle hypothèse émise par Aristote est mise en défaut par Salviati dans les lignes 16 et 20 ?
 - c. Quelles hypothèses émises par Aristote est mise en défaut par Salviati dans les lignes 20 à 24 ?
 - d. Quel personnage représente les idées de Galilée ? d'Aristote ?

II. Vérification expérimentale de la thèse galiléenne

Afin de vérifier expérimentalement l'influence (ou pas) de la masse sur la chute d'un corps, Galilée a eu l'idée de ralentir le mouvement de chute en travaillant sur un plan incliné ou avec un pendule.

Salviati :

En fin de compte, j'ai pris deux boules, l'une de plomb, l'autre de liège, celle-là au moins cent fois plus lourde que celle-ci, puis j'ai attaché chacune d'elles à deux fils très fins, longs tous deux de quatre ou cinq coudées : les écartant alors de la position perpendiculaire, je les lâchais en même temps, et celles-ci, suivant les circonférences des cercles ayant les fils égaux pour rayons, dépassaient la perpendiculaire pour remonter de l'autre côté, par la même voie. (...)

Travail à effectuer :

1. Quelle hypothèse émise par Salviati cette manipulation peut permettre de valider ou d'invalider ?
2. Mettre en place un protocole expérimental. Le faire valider par le professeur.
3. Réaliser l'expérience.
4. Conclure : Lequel des deux grands penseurs a-t-il raison au vu des résultats de votre expérience ?
5. Comparer l'évolution des amplitudes des oscillations (des allers-retours) des deux pendules. A quoi est due cette différence de mouvement ? Par extrapolation, pensez-vous comme Simplicio qu'un morceau de laine, dans le vide ne tombera pas aussi vite qu'un morceau de plomb ?
6. A l'époque de Galilée, il fut impossible de réaliser une expérience de chute des corps dans le vide. En 1971, David Scott, sur la lune permit cette vérification : visionner la vidéo « Exp David Scott Plume et marteau » ou à l'adresse :

http://www.dailymotion.com/video/x15x72_chutevide4_school

III. Le champ de pesanteur local

1. Origine de la gravité par Newton

Mais, quelle est la cause de la chute ? La réponse de Galilée est plutôt évasive :

« Je dis donc qu'un corps pesant possède par nature un principe intrinsèque pour se mouvoir vers le centre commun des graves, c'est-à-dire de notre globe terrestre, d'un mouvement continuellement et toujours également accéléré. »

Newton montre que la force de gravitation (centripète) qui retient la lune sur son orbite (circulaire) est la même que celle qui s'applique aux corps placés à la surface de la Terre : les deux forces n'en font qu'une ! Newton est le premier à faire la distinction entre la masse et le poids.

- a. Quel objet, selon Newton, est donc à l'origine de la chute des corps ? La chute dépend-elle « d'un principe intrinsèque que possède par nature les corps » comme le pensait Galilée ?
- b. Nous dirons que la Terre crée **un champ de pesanteur** en son voisinage. En vous inspirant des termes « champ opératoire », « champ de bataille », etc, définir le terme « champ de pesanteur ».
- c. Recopier les propositions correctes :
 - Il existe un champ de pesanteur partout dans la classe
 - Il existe un champ de pesanteur seulement là où il y a des objets possédant une masse.
 - Le champ de pesanteur existe du fait de la masse M de la Terre.
 - Le champ de pesanteur existe en un point A du fait de la masse M de la Terre et de la présence d'un objet de masse m en ce point A.

2. Mesure du champ de pesanteur local par Huygens

« L'on assure d'avoir trouvé dans la Cayenne, qui est un pays dans l'Amérique, éloigné seulement de 4 à 5 degrés de l'Equateur, qu'un pendule qui bat la seconde, y est plus court qu'à Paris d'une ligne et un quart. D'où s'en suit que, si on prend des pendules d'égale longueur, celui de la Cayenne fait des allées un peu plus lentes que celui de Paris. La vérité du fait étant posée, on ne peut douter que ce ne soit une marque assurée de ce que les corps pesants descendent plus lentement en ce pays là qu'en France. Et comme cette diversité ne saurait être attribuée à la ténuité (raréfaction) de l'air, qui est plus grande dans la zone torride (parce qu'elle devrait causer un effet tout contraire) je ne vois pas qu'il puisse y avoir d'autre raison, sinon qu'un même corps pèse moins sous la ligne (l'équateur) que sous des climats qui s'en éloignent. »

Huygens, en 1690, dans le *Discours de la cause de la pesanteur*

Questions :

1. En vous aidant de votre montage expérimental, déterminez quelle doit être la longueur du pendule pour que celui-ci batte la seconde.
2. D'après le texte, dans quelle partie du globe terrestre, la période du pendule est-elle la plus grande ?
3. « *les corps pesants descendent plus lentement en ce pays là qu'en France.* » : quelle grandeur physique évoquée dans le terme « corps pesant » est responsable de cette différence de mouvement ? Peut-on alors dire que la valeur du champ de pesanteur (= intensité de la pesanteur) est identique en tout point du globe terrestre ?

Travail expérimental à effectuer :

La période d'un pendule (= la durée d'un aller-retour), notée **T** (en **s**) peut être déterminée par la formule : $T = 2\pi \times \sqrt{\frac{l}{g}}$ où **l** représente la longueur (en **m**) du pendule et **g**, l'intensité de la pesanteur (unité du SI).

1. Après avoir mesuré **T** pour différentes longueurs **l**, déterminez, par le tracé d'un graphe adéquate, la valeur de l'intensité de pesanteur dans la salle de classe.
2. Commentez la précision de votre résultat par rapport aux données ci-dessous :
A Paris, en unités internationales, $g_A = 9,81$; à Cayenne, $g_B = 9,78$.
3. **Afin de représenter le champ de pesanteur, on utilise un vecteur. Cet outil mathématique permet de « visionner » les modifications de l'espace causées par la présence de la Terre.**
 - a. En vous référant à la position d'équilibre du pendule, indiquez la direction et le sens du champ de pesanteur dans la classe.
 - b. Peut-on considérer que le champ de pesanteur local est uniforme ?
 - c. Sur un schéma de la salle de classe, représenter le champ de pesanteur en différents points de l'espace.

Annexe (à joindre aux questionnaires des élèves)

Document 1 : La thèse d'Aristote sur la chute des corps

Selon Aristote (-384, -322), chaque corps possède un lieu propre où il se dirige naturellement en raison d'une qualité intrinsèque. Ainsi, les corps pesants se dirigent-ils naturellement vers le centre de l'univers, tandis que les corps légers s'élèvent vers la périphérie. Il s'agit de savoir pourquoi et comment les choses légères et les choses lourdes sont mues vers leur lieu propre.

Une pesanteur déterminée parcourt une distance déterminée en un temps déterminé. Si une demi-pesanteur met tel temps, la pesanteur qui est double mettra moitié moins de temps. Mais la vitesse de chute dépend aussi des propriétés du milieu traversé. Moins ce milieu est résistant, plus la chute est rapide. La résistance du milieu traversé est d'autant plus facile à vaincre que le poids du corps est grand ; c'est d'ailleurs pourquoi les corps les plus lourds tombent plus vite.

D'après *L'histoire de la chute des corps*, de Robert

Document 2 :

Salviati.	« Si donc nous avons deux mobiles possédant des vitesses naturelles inégales, il est clair qu'en attachant le plus lent au plus rapide la vitesse de celui-ci serait partiellement ralentie par le plus lent, et celle du plus lent partiellement accrue par le plus rapide. N'êtes-vous pas d'accord avec moi sur ce point ?	L1 L2 L3 L4 L5
Simplicio.	Il ne peut, à mon avis, en aller autrement.	L6
Salv.	Mais, s'il en est ainsi, et s'il est vrai encore qu'une grande pierre se meut, par exemple, avec huit degrés de vitesse et une plus petite avec quatre degrés, il s'ensuivra, si on les attache, que l'ensemble se mouvra avec une vitesse inférieure à huit degrés ; or, les deux pierres, réunies, forment une pierre plus grande que celle qui se mouvait avec huit degrés de vitesse, et que la plus grande se meut par conséquent moins vite que la plus petite, ce qui va contre votre supposition. Vous voyez donc comment, si vous supposez qu'un mobile plus grave se meut plus vite qu'un mobile moins grave, j'en conclus, de mon côté, qu'un mobile plus grave se meut moins vite.	L7 L8 L9 L10 L11 L12 L13 L13 L14 L15
Salv.	... Dans le vif-argent ¹ , l'or non seulement tombe vers le fond plus rapidement que le plomb, mais il est le seul à descendre, tous les autres corps, métaux et pierres, montant vers la surface pour y flotter, alors que dans l'air les boules d'or, de plomb, de cuivre, de porphyre ² , ou de toute autre substance auront des vitesses si voisines qu'une boule d'or, après une chute de 100 coudées, ne précédera pas de quatre doigts une boule de cuivre ; c'est alors, considérant ces faits, qu'il me vint à l'esprit que si l'on supprimait totalement la résistance du milieu, tous les corps descendraient avec la même vitesse.	L16 L17 L18 L19 L20 L21 L22 L23 L24
Simpl.	Voilà une bien grande affirmation, seigneur Salviati. Je ne croirai jamais, pour ma part, que même dans le vide, si le mouvement y était possible, un flocon de laine tomberait aussi vite qu'un morceau de plomb. »	L25 L26 L27

Galilée, en 1638, dans les *Discours*

(1) Le vif-argent était autrefois le nom utilisé pour désigner le mercure.

(2) Le porphyre est une roche magmatique

I. La chute des corps : thèses aristotélicienne ou galiléenne ?

1. Etude du document 1 :

- *Hypothèse 1 : Les corps du fait de leur caractère pesant ou léger se déplacent inévitablement vers un lieu prédéfini.*
- *Hypothèse 2 : Le temps de chute dépend de la pesanteur d'un objet : plus l'objet est pesant, plus sa durée de chute est faible.*
- *Hypothèse 3 : La vitesse de chute dépend du milieu traversé.*

2. Etude du document 2 :

- a. *Par un raisonnement par l'absurde, Salviati met en doute le fait que la durée de chute dépend du caractère lourd ou léger de l'objet qui tombe.*
- b. *Salviati cherche à montrer que les hypothèses 1 et 3 sont fausses ou incomplètes : un même objet peut se déplacer vers le haut ou vers le bas selon le milieu dans lequel il est plongé (l'objet ne se déplace donc pas vers un milieu prédéfini). D'autre part, un objet ne fait pas que chuter : certains milieux peuvent non seulement freiner la chute mais aussi empêcher celle-ci.*
- c. *Salviati montre que l'hypothèse 2 est fautive : la vitesse de chute ne dépend pas de la pesanteur de l'objet puisque des boules de porphyre (légère) et de mercure (très lourde) tombent quasiment aussi vite.*
- d. *Salviati représente les idées de Galilée et Simplicio représente les idées d'Aristote.*

II. Vérification expérimentale de la thèse galiléenne

1. Cette manipulation permettra de vérifier si la durée de l'oscillation du pendule dépend ou pas de la masse de celui-ci.
2. Protocole expérimental :

A donner aux élèves si la mise en place d'un protocole pose problème :

Suite du discours de Salviati :

« une bonne centaine d'allées et venues, accomplies par les boules elles-mêmes, m'ont clairement montré qu'entre la période du corps pesant et celle du corps léger, la coïncidence est telle que sur mille vibrations comme sur cent, le premier n'acquiert sur le second aucune avance, fût-ce la plus minime, mais que tous deux ont un rythme de mouvement rigoureusement identique.

On observe également l'action du milieu qui, en gênant le mouvement, ralentit bien davantage les vibrations du liège que celles du plomb, sans toutefois modifier leur fréquence ; même si les arcs décrits par le liège n'ont plus que cinq ou six degrés, contre cinquante ou soixante pour le plomb, ils sont en effet traversés par des temps égaux. »

- 3.
4. On remarque que la durée des oscillations ne dépend pas de la masse, le temps de chute du pendule ne dépend donc pas de la masse : Salviati (Galilée) avait raison.
5. Les oscillations du pendule de plus faible masse s'amortissent davantage que celles du pendule de grande masse (mais la période n'est pas modifiée). Ceci est dû au milieu matériel (l'air) qui a une influence plus importante sur les oscillations de l'objet de faible masse. On peut imaginer que si ce milieu était le vide, les deux pendules auraient un mouvement parfaitement identique.
6. David Scott nous montre que dans le vide, les deux objets ont exactement le même mouvement : Simplicio avait tort d'émettre des doutes.

III. Le champ de pesanteur local

1. Origine de la gravité par Newton

- a. Selon Newton la Terre (plus précisément, sa masse) est à l'origine de la chute des corps puisque la force à laquelle ils sont soumis n'est autre que la force de gravitation. Ainsi, la chute ne dépend pas « d'un principe intrinsèque que possède par nature les corps » comme le pensait Galilée.
- b. Le « champ de pesanteur » représente l'espace soumis à l'influence de la Terre.
- c. Les propositions correctes sont :
 - Il existe un champ de pesanteur partout dans la classe
 - Le champ de pesanteur existe du fait de la masse M de la Terre (qu'un objet y soit présent ou non)

2. Mesure du champ de pesanteur local par Huygens

Etude du document :

1. Deux possibilités :
 - a. L'élève considère que le pendule bat la seconde lorsqu'il effectue une demi-oscillation, dans ce cas $l = 1$ m
 - b. L'élève considère que le pendule bat la seconde lorsque celui-ci effectue une oscillation complète, dans ce cas $l = 0,25$ m.
2. La période du pendule est la plus grande au niveau de l'équateur.
3. « *Les corps pesants descendent plus lentement en ce pays là qu'en France.* » : par le terme « corps pesant », Huygens évoque le poids. Celui-ci dépend de la masse et de l'intensité de la pesanteur. Puisque la masse n'intervient pas, c'est l'intensité de pesanteur qui est désignée. Huygens montre donc que l'intensité de pesanteur n'est pas identique en tout point du globe.

Travail expérimental :

3.
 - a. Le vecteur champ de pesanteur est vertical, vers le bas.
 - b. Tous les pendules de la classe ont la même position d'équilibre. On a montré précédemment que la valeur de l'intensité de pesanteur est la même partout dans la classe. On peut donc considérer que le champ de pesanteur est uniforme.

Remarques

Prolongement possible de la partie II

Il est possible de compléter la partie II en faisant réfléchir les élèves sur l'influence de la masse de la chute des corps le long d'un rail.

<http://www.curiosphere.tv/video-documentaire/36-culture-scientifique/103605-reportage-galilee-lexperience-des-plans-inclines>