

Auteurs : Travail collectif(plus d'infos)

Résumé : C'est à un voyage dans le temps et dans l'espace que cette présentation de la gravité vous invite. Le voyage commence vers 1590 à l'intérieur du Duomo de Pise et se termine mille ans plus tard, quand la mission conduite par le capitaine Map (2543-2590) pénètre – pour toujours – à l'intérieur du trou noir SgrA*, au centre de notre galaxie. Chapitre de Pierre Binetruy, issu de l'ouvrage "29 notions clefs pour savourer et faire savourer la science - primaire et collège", paru aux éditions Le Pommier en août 2009.

Copyright : Creative Commons France. Certains droits réservés.



La gravitation

C'est à un voyage dans le temps et dans l'espace que cette présentation de la gravité vous invite. Le voyage commence vers 1590 à l'intérieur du Duomo de Pise et se termine mille ans plus tard, quand la mission conduite par le capitaine Map (2543-2590) pénètre – pour toujours – à l'intérieur du trou noir SgrA*, au centre de notre galaxie.

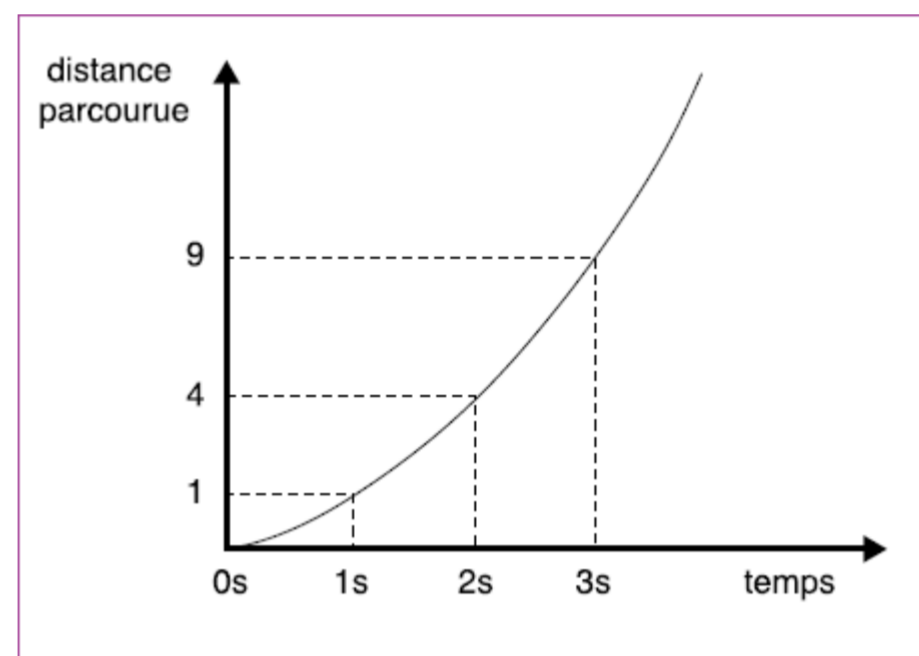
Galilée et la chute des corps

Nous sommes effectivement avec Galilée (1564-1642) à l'intérieur de la cathédrale de Pise. Son attention se porte sur les lustres suspendus dans la nef centrale ; ils oscillent doucement. La légende veut qu'un petit tremblement de terre se soit produit précisément à ce moment-là en Toscane. Ce qui provoque l'étonnement de Galilée, c'est que, si les cordes qui soutiennent les lustres sont toutes de même longueur, les lourds candélabres sont de poids et de formes très variés : pourtant, ils oscillent avec la même fréquence. Pourquoi cette fréquence d'oscillation serait-elle la même pour tous ?

L'attention de Galilée à cette oscillation procédait en fait d'une étude attentive du mouvement de chute des corps. Avant de décrire en détail l'approche de Galilée, il est nécessaire de préciser un peu l'état des connaissances à son époque. La physique reposait alors sur des considérations aristotéliennes vieilles de deux mille ans. Par exemple, selon Aristote, les objets tombent à des vitesses proportionnelles à leur poids : la plume tombe moins vite que la balle. L'observation immédiate montre que le mouvement dépend du milieu : une bille de plomb ne tombe pas de la même façon dans l'air, dans l'eau ou dans l'huile. Aristote en déduit que le milieu est nécessaire au mouvement et rejette ainsi l'idée de vide : dans le vide, le mouvement serait instantané, une absurdité. Bien sûr, la chute n'est pas le seul mouvement possible. Selon les aristotéliens, on distingue mouvement naturel (mouvement vers le haut ou vers le bas selon que l'élément constituant tient plus de l'air ou plus de la terre) et mouvement forcé, c'est-à-dire sous l'action d'une force. Le mouvement des étoiles, qui ne semblent ni tomber ni s'éloigner puisqu'elles reviennent toutes les nuits, relève d'une catégorie spéciale : le mouvement circulaire, parfait et éternel, celui des sphères célestes. Tout ceci peut sembler bien naïf, mais est-ce si éloigné de ce que notre perception immédiate nous indique ?

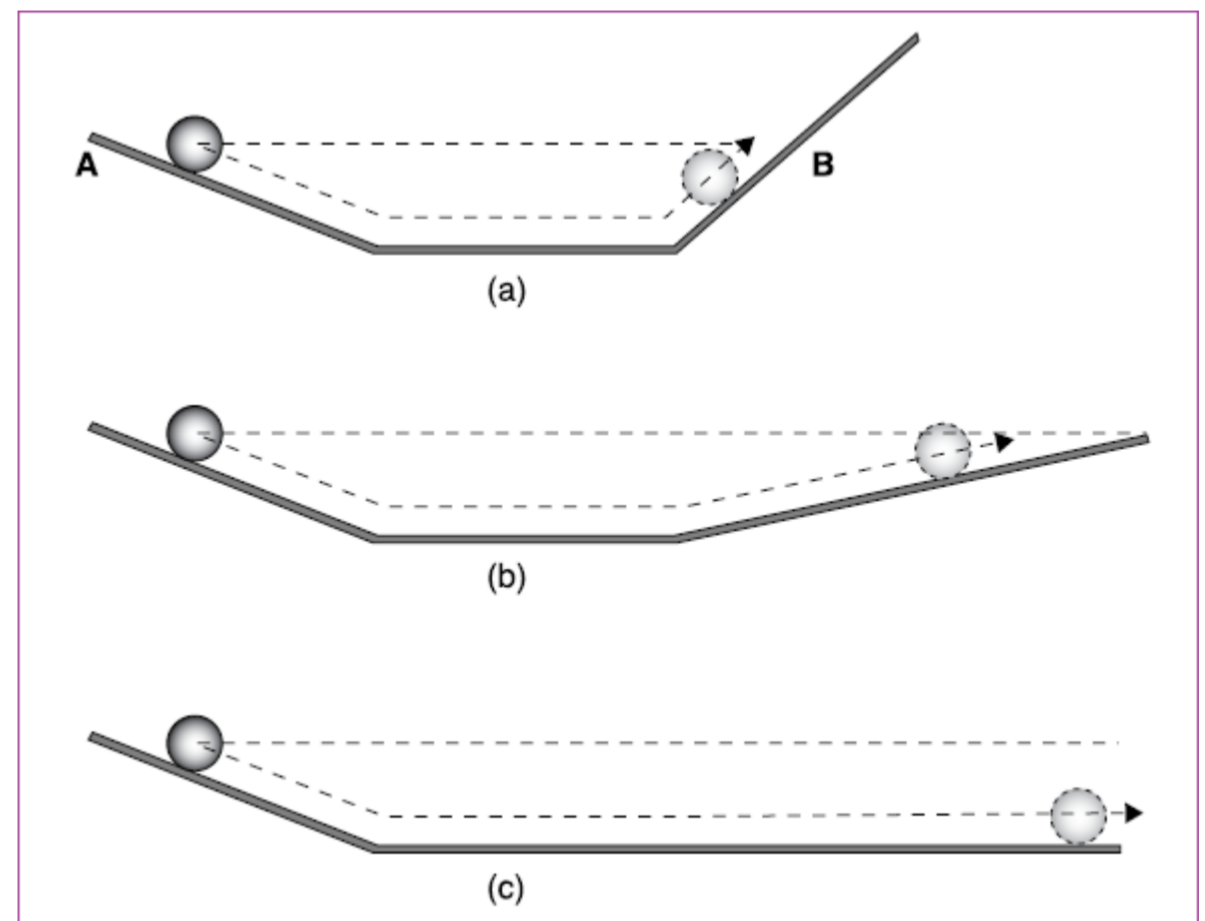
Si nous lâchons une boule d'acier et une boule de liège à hauteur de bras, le mouvement est trop rapide pour qu'il soit possible de l'étudier directement en détail, surtout avec les moyens qui étaient à la disposition de Galilée pour mesurer le temps (la légende veut qu'il ait parfois utilisé son pouls, en se souvenant probablement de ses études de médecine). Pour ralentir le mouvement, et pouvoir ainsi l'étudier, il eut l'idée d'utiliser des plans inclinés.

L'intérêt des expériences sur plan incliné est qu'on peut faire varier l'influence du milieu (par exemple en ayant une surface plus ou moins rugueuse, ou plus ou moins cirée). On voit ainsi comment la présence d'un frottement plus ou moins important influe sur le mouvement. On peut alors se convaincre que, dans l'expérience précédente, dans la limite où les frottements auraient été nuls, les distances auraient varié comme les carrés des temps, c'est-à-dire dans un rapport 1/4/9 quand on prend les repères à 1/2/3 secondes (ci-contre).



C'est ce que l'on appelle « mouvement uniformément accéléré » : l'accélération, c'est-à-dire le taux d'accroissement de la vitesse, est ici constante. En d'autres termes, quand les frottements sont négligeables – nous dirons : dans le vide –, le mouvement de chute se fait de façon identique pour tous les corps. Galilée réintroduit donc d'une certaine façon la notion de vide.

Une autre façon d'appréhender le vide avec des plans inclinés est de considérer le montage page suivante. Dans la limite où il n'y aurait pas de frottement, la boule lâchée sur le plan A remonterait à la même hauteur sur le plan B (a). On peut s'en convaincre en faisant varier la rugosité des plans inclinés : moins il y a de frottements, plus la boule se rapproche de la hauteur initiale. Le vide correspond donc à un cas idéal, à un milieu limite dans lequel la loi de la chute des corps prend une forme simple et universelle. Abaissons maintenant le plan B : moins il est incliné (b), plus la boule part loin vers la droite. Dans la limite où B serait horizontal (c), la boule partirait indéfiniment vers la droite (dans la limite idéale du vide, c'est-à-dire en l'absence de frottement) avec une vitesse constante, la vitesse acquise au bas du plan A. Ce mouvement à vitesse constante va nous permettre d'illustrer la notion très importante d'inertie.



Selon le principe d'inertie, si aucune force ne s'exerce sur un corps, il se déplace d'un mouvement linéaire uniforme avec une vitesse constante égale à sa vitesse initiale (ou reste immobile s'il l'était déjà). Le corps continue sur sa trajectoire parce qu'il a de l'inertie. Si l'on veut le faire changer de trajectoire, on doit exercer une force, mais plus le corps est massif, plus il a d'inertie. En fait, la masse d'un corps est une mesure de son inertie, c'est-à-dire de sa résistance aux changements de mouvement.

On a souvent tendance à confondre poids et masse, parce qu'ils sont proportionnels dès qu'on est dans le champ de pesanteur terrestre, mais ils se réfèrent à deux propriétés physiques distinctes. Le poids d'un corps est la force qui s'exerce sur ce corps dans le champ de pesanteur. La masse mesure l'inertie. Précisons la notion d'inertie par quelques exemples.

Vous travaillez dans la mine. Si vous ne vous nommez pas Stakhanov, vous préférez certainement mettre en branle un chariot vide plutôt qu'un chariot plein de minerai. Le chariot plein a plus de masse, donc plus d'inertie, et résiste donc plus aux changements de mouvement. Mais peut-être pensez-vous que c'est plutôt parce qu'étant plus pesant, il appuie plus sur les rails et que vous devez vaincre des frottements plus importants ? Alors, une question : préférez-vous arrêter un chariot vide ou un chariot plein ? Malgré tout, le chariot vide. Vous devez de nouveau modifier le mouvement du chariot (le faire passer de la vitesse qu'il a acquise à une vitesse nulle) : l'inertie du chariot est ici aussi sa résistance au changement de mouvement. Nous venons de le voir, le chariot plein a plus d'inertie et résistera davantage au changement de mouvement, c'est-à-dire au passage d'un mouvement de vitesse non nulle à un arrêt complet.

Revenons un instant sur les expériences de Galilée sur les plans inclinés. Pour éliminer les frottements de la façon la plus efficace possible, il faudrait pouvoir s'affranchir du plan incliné : ce serait le meilleur moyen de « faire le vide ». Pour cela, on peut attacher la boule (voir la figure page 57) : elle va se mettre à osciller comme un pendule. C'est pour cette raison qu'en cette matinée de 1590 où commence notre histoire, Galilée s'intéresse aux candélabres du Duomo. Ils sont en « chute », disons contrôlée, dans le champ de pesanteur et le fait qu'ils oscillent tous de la même façon est une indication précieuse que tous les corps tombent de la même façon.

En observant vos pendules bouger, vous devriez avoir tout le temps de réfléchir à la beauté de cette expérience et de ce qu'elle permet de découvrir : puisque ces corps si différents battent avec la même période, c'est le signe qu'il y a derrière ce mouvement une loi fondamentale qui s'applique à tous les corps. Nous sommes au cœur de ce qu'est le raisonnement physique, mélange subtil de raisonnement empirique (fondé sur l'expérience réelle et sur l'expérience par la pensée) et de formalisation mathématique. Un dernier mot : les boules des pendules n'arrêtent pas de « tomber » dans le champ de pesanteur (ou plus exactement d'être en chute « contrôlée »). Pourquoi sont-elles moins sensibles au frottement de l'air que si elles étaient en chute libre ? Parce que ces frottements sont proportionnels à la vitesse : l'astuce du pendule est que l'on n'atteint jamais de grandes vitesses (il suffit de comparer la vitesse d'oscillation des candélabres du Duomo à celle qu'ils acquerraient si la corde qui les retient cédait), ni donc de grands frottements.

Les pendules du Duomo

Matériel : les trois boules de l'expérience des plans inclinés ; trois ficelles d'environ 2,50 m de long ; trois bras assez stables.

Attachez les trois boules aux extrémités des ficelles, et réalisez ainsi trois pendules de même longueur ; lâchez-les simultanément et avec la même amplitude ; observez combien de temps ils restent synchrones (en mesure).

