

1^{er} étage

La mesure du temps

Galilée et le pendule

Fiche professeur

Le XVII^e siècle voit l'apparition d'une nouvelle pratique de la science, fondée sur de véritables expériences, libérée de la domination de l'Eglise. Des chercheurs comme Galilée, Kepler, Descartes ou Newton proposent une nouvelle approche du monde, fondée sur l'observation exacte de la nature. Avoir à sa disposition des instruments précis pour faire des mesures exactes devenait alors indispensable. La mesure du temps est évidemment au centre des préoccupations de cette époque. Les instruments de mesure, jusqu'alors, indiquaient le temps de manière très imprécise et n'affichaient que les heures. Il fallut trouver des dispositifs plus adaptés. C'est le pendule qui allait bientôt jouer un rôle primordial dans cette quête.

Galilée (1564-1642) aurait découvert les propriétés du pendule en observant le lustre de la cathédrale de Pise osciller. Il aurait ainsi remarqué que les balancements du lustre conservaient la même durée, bien que leur oscillation diminuât.

Il faut dire que le pendule, par son mouvement régulier, intrigue les observateurs : Forçons-le à battre plus rapidement, il va toujours revenir à son mouvement propre ! Galilée devina déjà des possibilités de son application à la mesure du temps. A la fin de sa vie, il eut l'idée de réaliser une horloge utilisant un pendule comme régulateur. Mais ce sera à **Christiaan Huygens** (1629-1695), savant et mathématicien hollandais, que reviendra le privilège de construire en 1657 la première horloge viable, réglée par un pendule.

Quel changement ! L'introduction de ce régulateur fut une amélioration considérable pour la mesure du temps et permit de réaliser à peu de frais un très grand perfectionnement. De nombreuses horloges furent équipées de ce nouveau dispositif. Voilà pour quoi on parle encore aujourd'hui d'une « pendule » pour dire horloge !

Où ? Cabinet de curiosités, 1^{er} étage

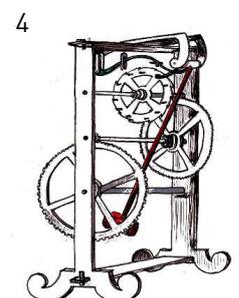


Légende

- 1 Le cabinet de curiosités, 1^{er} étage du musée.
- 2 Horloge d'édifice, XIX^e siècle, MdT.
- 3 Horloge, fin du XVII^e siècle (cabinet de curiosités) : Le pendule oscille entre deux limiteurs en forme de joue - invention de Huygens, MdT.
- 4 Dessin (d'après les croquis de Viviani) de l'horloge de Galilée 1657 © Service médiation MdT.

Les lois du pendule de Galilée

Galilée, suite à ces découvertes, a énoncé plusieurs lois concernant le mouvement du pendule. Certaines de ces lois sont tout à fait accessibles grâce aux manipulations de cette salle.



... On passe à la pratique !

Corrigé



Rendez-vous devant les manipulations traitant du pendule

1. Quelle différence y a-t-il entre ces manipulations ? Quel détail change ?

Nous avons d'un côté des pendules de mêmes longueurs, mais de masses différentes. De l'autre côté des pendules de longueurs différentes, mais de masses différentes.

Pour aller plus loin :

C'est une mise en pratique classique de la démarche expérimentale. Elle s'appuie sur le fait que l'expérimentateur ne doit changer qu'un seul paramètre à la fois pour bien saisir son influence sur le phénomène étudié. On veillera à ce que l'élève saisisse bien cet aspect.

Quels paramètres influencent le mouvement de ce pendule ? :

- Sa masse
- Sa longueur
- L'angle de départ
- S'il est lancé avec une vitesse initiale ou non
- Le rôle de l'air
- Le rôle des frottements au niveau du support

Lors d'une expérience, n'aura-t-on effectivement isolé qu'un seul paramètre ? Cela fait partie du protocole d'une expérience que de s'en assurer !

Exemple : Les pendules devront être lâchés depuis la barre latérale d'appui pour respecter autant que possible le paramètre « position de départ » (encore qualifiée d'amplitude initiale)

2. Avant de mettre en mouvement les pendules, donnez votre avis : quel pendule battra le plus vite ?

(Réponse de l'élève)

Pour aller plus loin :

La période d'un pendule considérée comme dépendant de l'amplitude ou de sa masse est une conception fréquente et bien identifiée pour de nombreux élèves en cours d'apprentissage voire même pour des adultes ! Le mécanisme fin de l'élaboration de cette représentation courante semble s'appuyer sur une confusion entre d'une part les conditions qui jouent un rôle sur la durée totale des oscillations (par exemple une forte friction ou la résistance de l'air) et donc qui participent de l'amortissement et d'autre part celles qui concernent l'objet de ces manipulations à savoir la masse et la longueur. On pourrait résumer en disant : « Le pendule s'amortit, donc sa période va augmenter, il va ralentir ». Ce qui est évidemment incorrect !

On ne peut nier par ailleurs le rôle que doit jouer l'idée toute aussi fréquente qui veut qu'un objet lourd tombe plus vite qu'un objet plus léger, même si leurs formes sont identiques. (On notera que ce dernier aspect est pris en compte dans la réalisation technique des manipulations). En conséquence on peut s'attendre à ce que le pronostic d'une influence effective de la masse par exemple soit émis, invalidé par l'expérience et donc la conception initiale mise en défaut, ce qui constitue une première étape indispensable à sa remise en cause définitive.

Le fait remarquable qui va apparaître ici est que ni la masse, ni la matière qui constitue le pendule, ni l'angle de départ ne vont intervenir sur la durée d'un aller et retour, donc ce qui est défini comme la période. Certes, les pendules lancés simultanément n'auront pas le même comportement et certains s'arrêteront plus vite, plus ils sont légers plus il s'arrêtent facilement, mais la période restera identique. Rien n'est immédiat dans ce type de démarche et en toute rigueur le comportement relatif de ces divers pendules apparaîtra à l'expérimentateur à minima comme radicalement différent de ses prévisions ! Tout expérimentateur déstabilisé se trouve déjà sur la voie de la connaissance scientifique.

3. Avec vos deux mains, mettez en mouvement simultanément deux des trois pendules en les ramenant à la barre métallique. Que constatez-vous ?

Manipulation 1 (pendules de longueurs identiques et de masses différentes) : **Les deux pendules battent au même rythme.**

Manipulation 2 (pendules de masses identiques et de longueurs différentes) : **Les deux pendules ont un rythme différent. Le pendule plus court se met à osciller de manière plus rapide.**

Pour aller plus loin :

Manipulation 1 : Au cours du temps, la belle régularité du début se modifie, la différence de masse va intervenir sur l'amplitude, l'inertie joue un rôle, car l'effet dû aux frottements de l'air est plus gênant sur le pendule le plus léger. Cependant on remarquera que les pendules continuent de passer à leur position verticale d'équilibre simultanément.

Manipulation 2 : Plus la longueur est importante, plus le mouvement est lent, plus la période est grande. En se retournant vers le voile qui simule un cabinet de curiosités, on observe un pendule beaucoup plus long, beaucoup plus lent. On vérifiera de nouveau qualitativement cette relation entre longueur et période lors de l'observation du pendule de Foucault au 3^{ème} étage.

4. Pouvez-vous maintenant rédiger votre propre loi (vos propres lois) du pendule comme l'a fait Galilée ?

Les battements du pendule ne dépendent pas de la masse qui oscille au bout du fil.

Les battements du pendule dépendent de la longueur du fil.

Galilée a aussi énoncé une loi concernant l'isochronisme : *Les oscillations du pendule sont isochrones ; leur durée est indépendante de l'amplitude.* Avec des autres mots on peut dire que le balancement conserve la même durée d'un point à l'autre bien que l'ampleur du balancement diminue.

Pour aller plus loin :

Une fiche entière est consacrée à l'isochronisme.

Compléments scientifiques

Qu'appelle-t-on pendule ?

Tout objet matériel oscillant librement autour d'un axe horizontal sous la seule action de la pesanteur est qualifié de pendule pesant. Donc des pendules tels que ceux présents dans le cabinet de curiosités du musée du Temps ou le balancier d'une horloge comtoise répondent à cette définition.

Ecartés de leur position d'équilibre, ils vont effectuer des mouvements de va et vient réguliers et la durée d'un cycle complet se nomme alors période, notée T en physique (fig.1).

Qu'appelle-t-on alors un pendule simple ? Il s'agit d'un objet purement théorique. Cela revient à faire des suppositions aux limites sur la nature d'un pendule réel : "le fil qui le supporte n'a pas de masse", il est de plus supposé "inextensible", la masse qui oscille est supposée "ponctuelle". Un fil léger par rapport à une masse lourde oscillante est une réponse expérimentale souvent suffisante pour rentrer dans ce modèle de pendule simple.

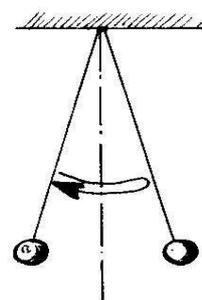


Fig. 1

Dans quelle logique Galilée a-t-il travaillé ?

La délicate question de la chute des corps ne date pas de la Renaissance, Aristote y avait répondu avec une maîtrise lourde de bon sens, « la place des graves » est la Terre et ils ne peuvent que tomber, le plus lourd tombant plus vite que le plus léger !

Répondre à cette argumentation va contraindre Galilée à détourner le problème de diverses façons. Tout d'abord ce mouvement est trop rapide, il va le ralentir en lâchant des billes non à la verticale mais sur des plans inclinés, puis justement en regardant ce que donne un pendule, c'est-à-dire une bille suspendue, moyen idéal pour reproduire la chute plusieurs fois au cours du temps. Etudier ces mouvements c'est mesurer des durées de chute avec une bonne précision, on comprend alors l'approche qui a été celle de Galileo Galilei. A la fin de sa vie, il eut l'idée de réaliser une horloge utilisant un pendule comme régulateur (fig.2).

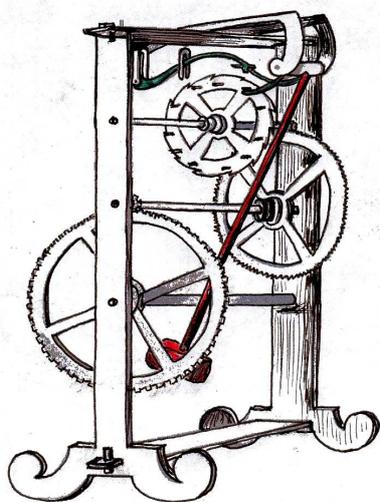


Fig. 2

En rouge : le pendule

En vert : l'échappement