

3^e étage

La mesure du temps

Le pendule de Foucault

Fiche professeur

Le musée, dans sa tour, reproduit une expérience réalisée par le physicien et astronome français Léon Foucault (1819-1868). Son but : démontrer la rotation de la Terre de manière visible.

En 1851, le président Louis Napoléon Bonaparte convia les parisiens à « venir voir tourner la Terre » lors d'une démonstration publique au Panthéon. Foucault y avait fait installer un pendule géant de 67 mètres, qui, lors de ses lentes oscillations en apportait la preuve visible. La masse de 36 kg qui y était suspendue mettait 16.5 secondes pour effectuer un aller et retour, et laissait, grâce à un stylet fixée au bout de celle-ci, une trace dans un banc de sable. A la vue de tous, les traces évoluaient à chaque passage en se décalant un peu plus dans le sens des aiguilles d'une montre. Deux heures plus tard, le pendule avait déjà parcouru un angle de 22°. Nul ne doutait au milieu du XIX^e siècle que la Terre tournait, mais jamais auparavant la preuve en avait été fournie d'une manière aussi saisissante. Ce que Galilée avait supposé longtemps avant Foucault, était enfin prouvé scientifiquement.

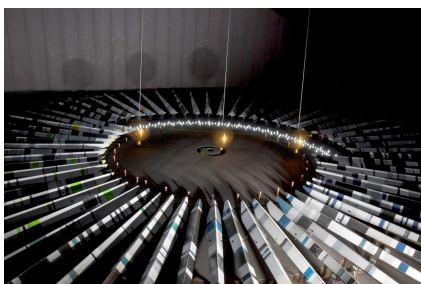
Pour comprendre, il faut savoir qu'une curieuse propriété du pendule est de garder toujours le même plan d'oscillation, même lorsque son support est en mouvement. Lors de l'expérience au Panthéon, ce n'est pas le pendule qui a changé sa direction d'oscillation, mais c'est bel et bien le mouvement de la Terre autour de son axe qui est rendu visible. On sait que la Terre tourne sur elle-même d'ouest en est. Or, personne sur Terre ne se rend compte de ce mouvement, qui dépasse pourtant les 1600 km/h à l'Equateur ! L'expérience de Foucault repose sur ce principe : Un observateur qui se trouve devant un pendule en oscillation tourne avec la Terre, ainsi qu'avec son environnement, les murs, le plafond et le sol sans s'en apercevoir. En revanche, le pendule, lui, oscille toujours dans la même direction. Ainsi, il devient un repère, un invariant, qui nous permet de percevoir ce mouvement de rotation. Nous avons la sensation de voir le pendule tourner, mais c'est en fait notre planète qui le fait.

A la différence de la première expérience de Foucault, ici, pas de sable, mais 64 aiguilles et environ 300 diodes pour vous indiquer la course apparente du pendule. Aussi, l'oscillation du pendule est entretenue par un électroaimant, situé au sol. Sans ce dispositif, le pendule finirait par s'arrêter. Il suffit d'avoir un peu de patience : Quand, toutes les 33 minutes environ, une des 64 aiguilles se retire et que s'allument les diodes qu'elle recouvrait, c'est que vous avez vu de vos propres yeux tourner la Terre !

Légende

1 Le pendule du Foucault, installé dans la tour du musée, © Noak / Le Bar Floréal.

2 Vu sur les toits de Besançon depuis la tour, © Noak / Le Bar Floréal.



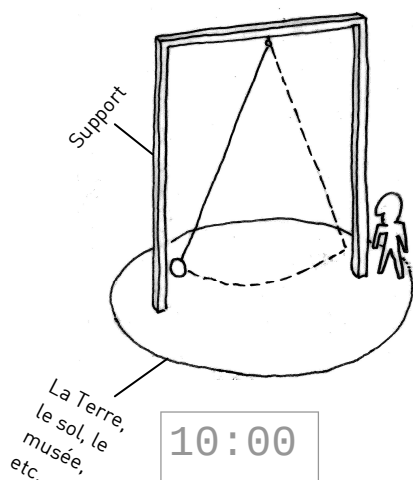
1



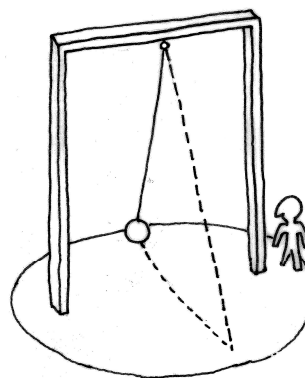
2

... On passe à la pratique !

1. Voici un visiteur qui observe le pendule de Foucault au pôle Nord. Pouvez-vous commenter les trois croquis ?



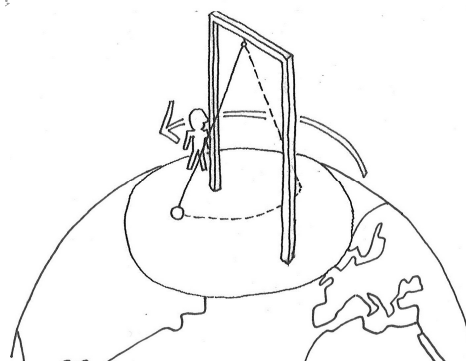
Il est 10h. Le visiteur observe un mouvement du pendule en sa direction.



Il est 16h. Le visiteur observe un mouvement du pendule de gauche à droite.

Quelque temps après :

En réalité, le pendule, lui, n'a pas bougé. C'est la Terre, qui a tourné en 6 heures d'un quart de tour.

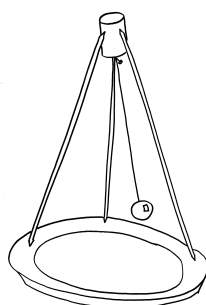


Ce qui s'est passé en réalité :

Pour information : Ici à Besançon, il faut environ 8 heures pour que le pendule « fait » un quart de tour comme sur ces dessins. Il fait un tour entier (360°) en 32 heures. Le mouvement du pendule dépend de la latitude.



L'expérience de Foucault repose sur une des propriétés physiques du pendule : il ne change pas la direction d'oscillation, même lorsque son support est en mouvement. Il est possible de réaliser un simple dispositif pour comprendre ce phénomène : Inspiré du schéma ci-contre, avec une assiette, des brochettes en bois, un bouchon, un poids et un fil, réalisez un petit pendule pour vous convaincre ! (Détails sur la fiche professeur.)



Léon Foucault

Léon Foucault (1819 - 1868) n'a jamais bien apprécié les études académiques : Elève médiocre, il est confié à un répétiteur, et réussira toutefois, sans beaucoup d'ardeur, son diplôme de baccalauréat. Il commencera des études en médecine, qu'il abandonnera rapidement pour se tourner vers la physique. Autodidacte, bricoleur de génie, il réussira à se faire un nom dans le milieu des savants. Déjà adolescent, il se mettait à construire des objets scientifiques. Hormis l'expérience du pendule, nous lui devons d'innombrables inventions : le premier gyroscope, l'amélioration du télescope et du daguerréotype (l'ancêtre de l'appareil photo), la détermination précise de la vitesse de la lumière pour n'en citer que quelques-unes. Il meurt jeune, à l'âge de 48 ans, ayant toujours été d'une constitution fragile.

Compléments scientifiques

Données techniques pour le pendule du musée du Temps

- Le câble en multibrins (type frein de vélo) mesure 13.11 m.
- La boule est en laiton, elle pèse 17.5 kg.
- La suspension : Elle est composée de quatre pièces métalliques reliées entre elles. De haut en bas, on trouve :
 1. le disque d'accrochage à la charpente,
 2. le disque de fixation du câble,
 3. un anneau de renfort, pour rigidifier l'ensemble.
 4. l'anneau de Charron (d'après Fernand Charron, en 1931). Ce dispositif réduit le risque d'osciller selon une ellipse.
- Le système de repères : 64 aiguilles et plus de 300 diodes donnent un repère visuel de l'angle parcouru par le pendule. Le mouvement apparent du pendule déclenche un automatisme par un électroaimant. Ainsi, la sphère, au passage, allume une lampe (toutes les 5 min) ou libère une aiguille (toutes les demi-heures). Angle parcourut en une demi-heure : env. 5.6° .
- L'entretien du pendule : Le pendule est entretenu par un électroaimant, installé au centre sous le sol. Léon Foucault, lors d'une démonstration pour l'Exposition universelle en 1855, utilisa déjà un appareil électromagnétique pour entretenir les oscillations du pendule. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, l'entretien n'influe en rien la direction d'oscillation du pendule.
- La durée d'un aller et retour : 7.3 secondes
- La durée d'une rotation complète : 32h 36 min.

Le mouvement du pendule – une question de latitude

Le pendule, à Besançon fait un tour en un peu plus de 32h dans le sens des aiguilles d'une montre. Pourquoi 32 heures et non pas 24 heures ? Cela dépend en effet de la latitude du lieu, dans lequel a lieu l'expérience. Au pôle, un pendule mettrait 24 heures pour faire un tour complet. Or, au fur et à mesure que l'on descend vers l'Equateur, le pendule met plus de temps. A l'Equateur, le pendule n'indique aucune variation d'orientation de son plan d'oscillation.

Explications: Au pôle nord, la verticale du point de suspension du pendule coïncide avec l'axe de rotation de la Terre (fig.1a+b). Un observateur se trouvant donc au pôle nord, ferait, en 24 heures, un tour complet par rapport au plan d'oscillation du pendule.

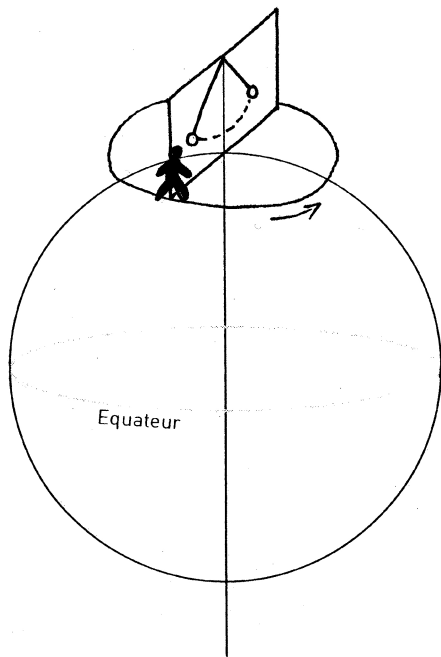


Fig. 1 a

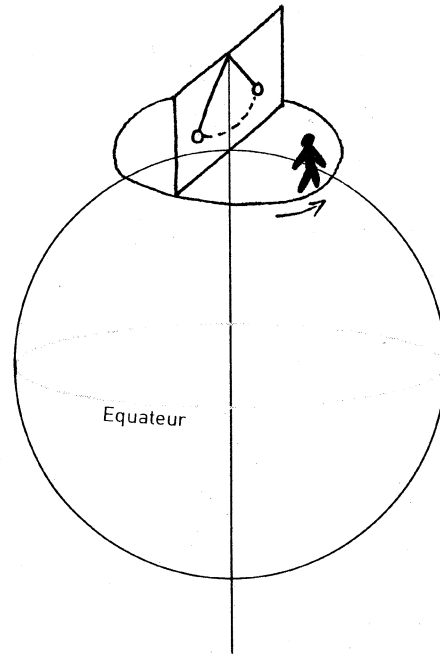


Fig. 1 b

Si, au contraire, l'observateur se trouve à l'Equateur (fig. 2), la verticale du point de suspension est perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre. Le pendule conserve la même direction, puisqu'il reste toujours perpendiculaire à l'axe de rotation. Si, comme dans l'expérience de Foucault, on voudrait rendre visible ce phénomène avec du sable posé au sol, le pendule repasserait toujours dans le même sillon tracé par la première oscillation.

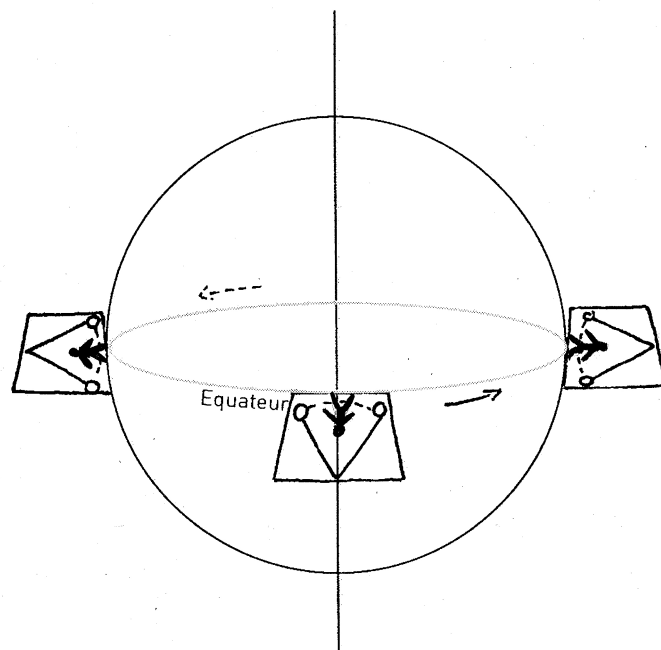


Fig. 2

... et pourquoi 32h pour la latitude de Besançon ?

Le problème est complexe : Comme la Terre est elle-même en mouvement, elle vient perturber le mouvement d'oscillation du pendule. Le pendule n'est pas totalement libre d'osciller dans l'espace. Excepté aux pôles, le point d'attache du pendule décrit un cercle, et la direction de la force de gravitation change lorsque la Terre tourne. Autre complication : tous les points à la surface de la Terre ne vont pas à la même vitesse. Ils mettent tous environ 24h pour faire le tour complet, mais la forme sphérique de la Terre veut qu'un point A à l'Equateur tourne beaucoup plus vite qu'un point B au pôle ou un point C dans une latitude intermédiaire.

En effet, le mouvement du pendule subit une force d'inertie, ladite force de Coriolis (d'après les travaux de Gaspard Coriolis, 1792-1843). Elle intervient à chaque fois, lorsque l'on étudie un objet en mouvement sur la planète (un véhicule en mouvement, une balle de tennis, mais aussi des masses d'air dans l'atmosphère). Comme la force de Coriolis est proportionnelle à la vitesse de l'objet, à sa masse et aussi à la vitesse à laquelle tourne la Terre, sa valeur change selon la latitude.

On a recours à la fonction sinus pour calculer l'angle parcouru par le pendule en 24 heures : $360^\circ \times \sin(\text{latitude du lieu})$. Exemple : A Besançon, la latitude est de $47^\circ 14' 35''$. $360^\circ \times \sin(47^\circ) = 263^\circ$. Le pendule, à Besançon, parcourt en 24 heures un angle de 263° .

Où voir des pendules de Foucault en France ?

Paris, Musée des arts et métiers

Paris, Panthéon

Paris, Palais de la Découverte

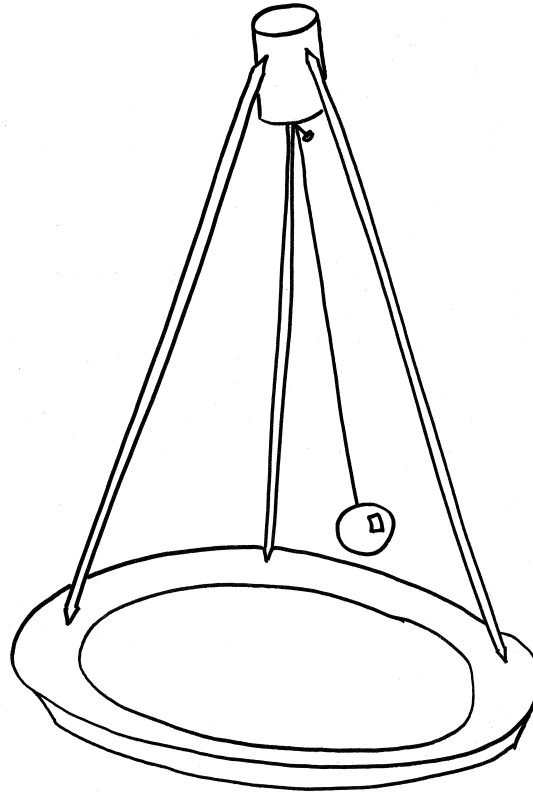
Montbéliard, Pavillon des Sciences

Autres missions pour les élèves

- Se fabriquer un mini-pendule

Matériel : une assiette (= la terre), 3 brochettes en bois, un bouchon en liège (le support du pendule), une épingle (pour fixer le fil dans le bouchon), du fil, un petit poids (une perle en bois, un écrou ...).

Selon ce croquis, assembler les matériaux. Une fois terminé, lancer le pendule dans une direction donnée. Ensuite, faire tourner lentement l'assiette (mouvement de la terre : dans le sens inverse des aiguilles d'une montre). On peut alors constater que le pendule ne tourne pas avec l'assiette, mais garde sa direction d'oscillation.



- Calculer la longueur du câble du pendule de Foucault du musée du Temps

Galilée, qui avait déjà étudié le pendule (voir aussi fiche « Galilée et le pendule ») avait découvert que la période d'oscillation dépendait de la longueur du fil du pendule et non de sa masse.

Avec sa formule, il est possible, en mesurant la période d'oscillation (un aller et retour du pendule) de déterminer la longueur du câble.

1. Les élèves mesurent d'abord la période d'oscillation du pendule à l'aide d'un chronomètre.

$T = 7.3$ secondes.

2. Avec la formule $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ il est possible de déterminer l , la longueur du câble.

On prendra $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$

Solution :

$$l = g \frac{T^2}{4\pi^2}$$

Environ 13.2 m de longueur.