Revue Pour la Science

Texte intégral

Imprimer cet article
Sous Macintosh -> "pomme+P"

Les pendules de Huygens

Laurette Tuckerman - est chercheur au Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur, à l'Université d'Orsay.

En 1665, Christiaan Huygens avait observé la synchronisation de deux horloges à pendules placées côte à côte et l'avait expliquée de façon intuitive.

À la fin de l'hiver 1665, Christiaan Huygens garda la chambre pendant quelques jours, car il était tombé malade. Sur un mur, il avait accroché côte à côte deux horloges à pendules et, pendant sa convalescence, il remarqua un fait étrange : le mouvement des pendules était synchrone, c'est-à-dire que l'un d'eux se balançait vers la gauche quand l'autre allait vers la droite. Quelles que soient leurs positions de départ, au bout d'une demi-heure, les pendules étaient à nouveau en opposition de phase. Huygens devina que cet effet, qu'il nomma sympathie, était dû à d'imperceptibles mouvements que les pendules transmettaient à leur support. Michael Schatz et ses collègues, de l'Institut de technologie de Géorgie, ont construit une réplique des deux horloges de Huygens et ont étudié le comportement de ce système. Ils concluent que le physicien hollandais a observé ce phénomène grâce au talent de l'horloger qui avait construit ses horloges et grâce aussi... au hasard.

Pourquoi Huygens avait-il accroché deux horloges dans sa chambre ? Très tôt, il s'était intéressé à la mise au point d'horloges fiables. À l'âge de 17 ans, il avait démontré que la distance parcourue par un corps en chute libre est proportionnelle au carré du temps écoulé, ignorant que Galilée avait déjà publié cette découverte en 1604. Toutefois, il n'avait pas déterminé la constante de proportionnalité (1/2 g, où g est la constante de gravitation) : pour cela, il aurait dû chronométrer le temps que met un objet à tomber d'une hauteur donnée, mais il ne disposait pas d'une horloge assez précise.

Si une telle horloge avait existé, elle aurait également permis de résoudre l'un des grands problèmes de l'époque : déterminer la longitude en mer. Une fois embarquée, l'horloge aurait donné, pendant le voyage, l'heure au port de départ. Les marins auraient alors calculé la longitude d'après le décalage horaire entre l'heure locale, déduite de la position du Soleil, et l'heure au port de départ. Des prix avaient été offerts par le roi d'Espagne en 1598 et celui d'Angleterre en 1714, à toute personne qui résoudrait cette question. Personne n'y était arrivé, car les horloges avançaient ou retardaient couramment d'un quart d'heure par jour, ce qui équivaut à quatre degrés de longitude environ, soit une erreur de 417 kilomètres, lorsque l'on est à l'équateur. À l'époque de Huygens, la mise au point d'horloges plus précises était donc un enjeu important.

En 1658, il publia la première version de son Horologium, décrivant une horloge régie par le battement régulier d'un pendule. En 1581, 77 ans plus tôt, Galilée avait cru remarquer que la période d'un pendule était indépendante de son amplitude d'oscillation et restait constante au cours du temps (le mouvement est dit isochrone), mais Huygens s'aperçut que ce n'était pas exact, sauf pour les petites oscillations. Or, le mécanisme qui devait fournir de l'énergie au pendule afin de compenser l'amortissement et d'entretenir le mouvement (une roue tournant sous l'effet d'un poids donnait des impulsions périodiques au pendule) ne pouvait fonctionner que pour une valeur minimale de l'angle du pendule avec la verticale égale à 25 degrés. Pour un tel angle, l'amplitude d'oscillation n'est pas constante.

Huygens trouva une astuce. Il démontra que si le pendule se déplaçait non pas sur un cercle (ce qui se produit automatiquement lorsqu'il est suspendu à un fil), mais sur une cycloïde, c'est-à-dire sur la courbe engendrée par un point d'un cercle roulant sans glisser sur une droite, ses oscillations seraient réellement isochrones. Comment contraindre un pendule à rester sur une cycloïde ? En installant deux plaques cycloïdales fixées au point où le pendule est suspendu. En contraignant les cordes soutenant le pendule, ces plaques cycloïdales réduisaient la longueur efficace du pendule à mesure que l'angle avec la verticale augmentait. Ce faisant, Huygens conçut, en 1657, une horloge dont le pendule se déplaçait sur une cycloïde. Elle n'avançait ou ne retardait que de 15 secondes par jour.

Comme tous les savants de son époque, Huygens voulait résoudre le problème de la longitude : son horloge devait pouvoir fonctionner sur un bateau. Il en confia des exemplaires à plusieurs capitaines, mais elles ne fonctionnèrent pas correctement et certaines tombèrent même en panne pendant les traversées. En 1665, il eut l'idée de doubler son horloge, afin qu'il en subsiste toujours un exemplaire en état de marche au cas où l'autre tomberait en panne. C'est ainsi qu'il commença par en placer deux dans sa chambre pour vérifier qu'elles donnaient la même heure. Ayant observé l'effet de sympathie, il supposa d'abord que les pendules communiquaient par l'intermédiaire de l'air, mais constata qu'ils redevenaient synchrones même s'il plaçait une planche entre les horloges. Il trouva alors la véritable explication : les pendules communiquaient par l'intermédiaire de leurs supports solides, en l'occurrence, le mur.

Récemment, M. Schatz et ses collègues ont reproduit les expériences de Huygens. Ils ont construit deux horloges actionnées par un ressort et les ont fixées sur un même support en bois. Ce support était placé sur roulettes et pouvait se déplacer le long d'un rail. Un système de laser permettait d'enregistrer les mouvements des pendules. Bien que beaucoup plus petites, ces répliques avaient les mêmes caractéristiques essentielles que les originaux. Dans leurs expériences, les physiciens ont fait varier la force de couplage entre les pendules en modifiant le rapport de la masse des pendules (les deux pendules ont la même masse) sur celle de l'ensemble du système. Lorsque ce rapport est petit, le couplage est important et les pendules reviennent en opposition de phase. Si les pendules étaient en phase, leurs effets conjugués entraîneraient le déplacement du support. Le mouvement de ce dernier étant très amorti, l'énergie du système s'épuiserait et les pendules s'arrêteraient. Au contraire, lorsque les pendules sont en opposition de phase, l'énergie du système reste stable. Il tend donc vers cet état. Lorsque le rapport des masses augmente et que le couplage diminue, aucune synchronisation ne se produit. Ainsi, Huygens avait observé la sympathie par chance, grâce aux poids qu'il avait placés dans les horloges, afin de les stabiliser en mer. De plus, la synchronisation ne se produit que lorsque les fréquences de résonance des deux horloges sont

très proches. L'horloger de Huygens avait donc fait du travail de précision, en construisant des mécanismes dont les fréquences étaient quasi identiques.
En horlogerie, un nouveau mécanisme fut inventé en 1680 qui autorisait des mouvements de pendule de plus faible amplitude, rendant inutile la correction cycloïdale de Huygens. Une horloge suffisamment précise et robuste pour déterminer les longitudes en mer fut mise au point un siècle après la mort de Huygens (en 1695), par l'horloger anglais John Harrison.