

À la recherche du temps précis: la découverte de l'oscillateur

Ilan Vardi, Simon Henein

EPFL, Instant-Lab, Neuchâtel, Suisse

Résumé

L'introduction d'un oscillateur comme base de temps a marqué une révolution dans la mesure précise du temps. Cet article décrit comment les chercheurs du 17^e siècle ont découvert les oscillateurs qui règlent nos horloges et montres mécaniques. Une lecture des textes d'origine révèle les difficultés auxquelles ils ont dû faire face.

Abstract

The introduction of an oscillator as time base launched a revolution in the precise measure of time. This article describes how 17th Century researchers discovered the oscillators that regulate our mechanical clocks and watches. A study of original sources reveals the difficulties they had to face.



© Musée International d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds

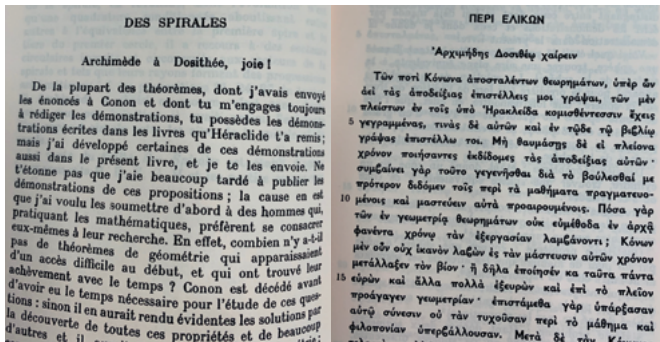
Figure 1: *La conquête du temps*, fresque de Hans Erni 1958 (Musée International d'Horlogerie, La Chaux-de-Fonds). Encadré: chercheurs du 17^e siècle.

Prémices: la spirale d'Archimède



Figure 2: Cicéron découvrant le tombeau d'Archimède; Pierre Henri de Valenciennes 1787 (Musée des Augustins, Toulouse).

Archimède (287 av. J.-C. – 212 av. J.-C.) a défini et étudié la spirale dont la forme jouera plus tard un rôle décisif en horlogerie. Mathématicien et ingénieur, il a vécu à Syracuse et était déjà un personnage mythique durant l'Antiquité : quand Cicéron (106 av. J.-C. – 43 av. J.-C.) était trésorier de la Sicile en 80 av. J.-C., il a dû convaincre les habitants de Syracuse de son existence en retrouvant son tombeau [5]. Presque toutes les œuvres d'Archimède sont disponibles en format bilingue [1].



Archimède a défini et étudié la spirale dans un article épistolaire, *Des Spirales*, destiné à un collègue d'Alexandrie¹. Le théorème d'Archimède [4] est illustré en figure 3. En notation moderne, l'équation de la spirale est $r = a\theta$ en coordonnées polaires et la preuve revient à démontrer que

$$\int_0^R r^2 dr = \frac{1}{3} R^3$$

voir [34]. Archimède connaissait déjà les bases du calcul intégral!

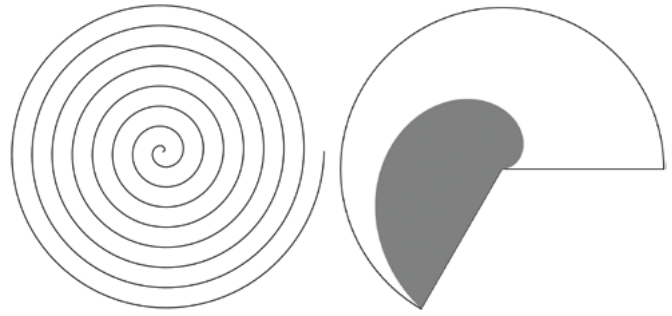


Figure 3: À gauche, la spirale d'Archimède. À droite, la superficie de la région spirale grisée correspond au tiers du secteur circulaire complet.

La mesure du temps jusqu'au 17^e siècle

La figure 1 illustre les grandes lignes de l'histoire de la mesure du temps. Elle a ses sources dans l'observation de phénomènes naturels, au moyen de cadrans solaires ou d'astrolabes dont les principes datent de l'Antiquité et du Moyen Âge musulman (par des chercheurs arabes, perses et juifs) [10].

Les garde-temps ont été conçus afin de constituer une référence indépendante de l'observation des astres. L'horloge à eau était utilisée durant l'Antiquité, et son utilisation a connu un point culminant avec celle de Su Song en Chine [11]. La grande avancée du Moyen Âge est l'horloge mécanique où la chute d'un poids moteur est freinée par un foliot par le biais d'un échappement et d'une transmission par engrenages [30].

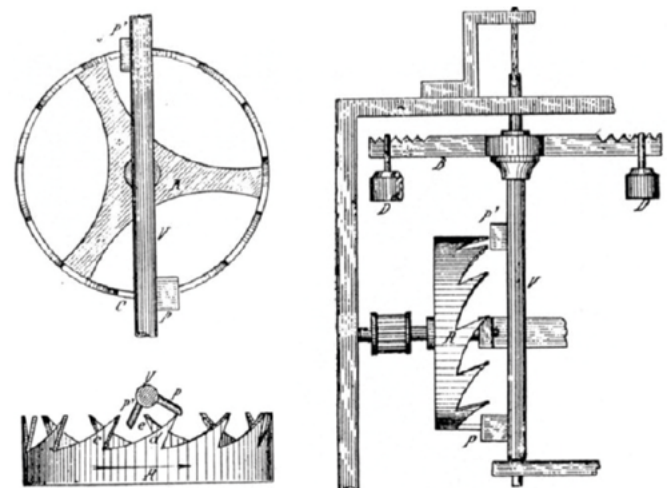


Figure 4: Mécanisme d'horloge à foliot avec échappement à verge² [30].

Tous ces garde-temps présentent le défaut d'une précision fortement dépendante de l'intensité de la force motrice: le niveau d'eau de l'horloge à eau et les variations du couple du poids moteur de l'horloge mécanique (cf. [29] pour une analyse moderne du

1 Archimède écrit aussi qu'il soupçonnait que certains scientifiques d'Alexandrie ne comprenaient pas ses preuves, donc il leur a envoyé de faux résultats pour les démasquer.

2 Il est important de noter que le défaut de précision provient du foliot et non pas de l'échappement à verge (roue de rencontre). L'horloge précise de Huygens ainsi que le chronomètre de marine de Harrison avaient des échappements à verge.

foliot). La précision ne dépasse pas les 15 minutes par jour, à part pour quelques horloges réglées de manière artisanale, c'est-à-dire, sans une compréhension théorique des phénomènes sous-jacents.

L'isochronisme



Figure 5: Galilée observant un lustre, fresque de Luigi Sabatelli ca. 1838 (Musée Galilée, Florence).

La grande avancée du 17^e siècle consiste en l'application de la méthode scientifique à la mesure du temps. Galilée (1564-1642) lance cette révolution horlogère vers 1600 avec une observation fondamentale [13]:

Dans une église de Pise, debout dans son pourpoint de velours, son petit nez criblé de taches de son, levé vers la lampe qui pend de la voûte, Galilée semble distrait ; par moments les portes claquent et la lampe se balance au bout de sa chaîne, parfois un peu largement, parfois très faiblement. C'est curieux, il semble à Galilée que les oscillations durent toujours le même temps. Décidément, il n'écoute pas un mot du sermon. Une deux, une deux, il mesure le temps aux battements de son pouls...

Galilée a découvert le concept d'isochronisme: la période d'oscillation est indépendante de l'amplitude d'oscillation. Ce concept est la clé de la mesure précise du temps parce que la base de temps devient indépendante des fluctuations de l'énergie d'entretien.

Débat autour de l'isochronisme du pendule

Galilée, Marin Mersenne (1588-1648) et René Descartes (1596-1650) ont tous étudié le mouvement de différentes pendules à différentes amplitudes, ceci pour comprendre le problème de la chute de corps de masses différentes sous gravité: à l'époque, il n'était pas évident que sous vide, l'accélération soit indépendante de la masse. Ils ont observé un défaut d'isochronisme du pendule. Dans un commentaire de sa traduction des œuvres de Galilée de 1639, Mersenne écrit [12, Livre I, Article XVII]:

Si l'auteur eust été plus exact en ses essais, il eust remarqué que la corde est sensiblement plus long-temps à descendre depuis le haut de son quart de cercle jusques à la perpendiculaire, que lorsqu'on la tire seulement dix ou quinze degrez...

Descartes ne sait pas si ce phénomène est dû au frottement de l'air, comme c'est le cas pour la chute de corps de masses différentes. Dans une lettre à Mersenne du 8 octobre 1629 [8], Descartes écrit:

...vient de l'empeschement de l'air, auquel il faut considerer deux choses : sçavoir, combien il empesche au commencement du mouvement & combien apres : or il faut comparer l'un & l'autre à l'augmentation de la vitesse du mouvement qui se feroit en un espace vuide, ce qui est très difficile, & beaucoup pus en un mouvement circulaire que si vous fesiez descendre le poids en ligne droite.

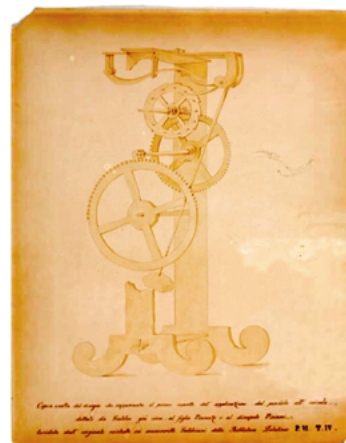


Figure 6: Dessin de l'horloge de Galilée par Viviani (Science Museum Group, UK).

On peut noter que les chercheurs du 17^e siècle étaient conscients des difficultés de mesure et que l'observation précise devait être la base de leurs conclusions scientifiques. Descartes est reconnu pour l'introduction de la méthode scientifique.

Néanmoins, Galilée reste convaincu de l'isochronisme du pendule sous vide. Son disciple et biographe Vincenzo Viviani (1622-1703) écrit en 1659 que Galilée lui a décrit une horloge à pendule en 1641, un an avant sa mort [9]. Galilée a développé un échappement pour son horloge, voir [7, Chapitre VI], mais ni Galilée, ni son fils Vincenzo n'ont réussi à la construire. Par la suite, de nombreux modèles ont été construits, y compris des horloges commercialisées [27].

Horologium Oscillatorium

Le personnage de référence de la révolution horlogère du 17^e siècle est Christiaan Huygens (1629-1695). Fils du poète et diplomate Constantijn Huygens (1596-1687), contemporain de Rembrandt, devenu seigneur de Zuylichem suite à son achat de ce manoir en 1630, Christiaan Huygens a rapidement démontré ses talents mathématiques – son père l'appelait « mon petit Archimède ». Christian Huygens est célèbre pour sa découverte des anneaux de Saturne et pour sa théorie de la lumière. Il a été invité à Paris pour ses recherches, et a finalement quitté la France pour retourner aux Pays-Bas à l'époque de la révocation de l'Édit de Nantes.



L'HORLOGE À PENDULE
OU
DÉMONSTRATIONS GÉOMÉTRIQUES
SUR LE
MOUVEMENT DES PENDULES ADAPTÉ AUX HORLOGES
PAR
CHRISTIAN HUYGENS DE ZUYLICHEM,
FILS DE CONSTANTYN.

Quinze années se sont écoulées³) depuis celle où nous avons fait connaître par la publication d'une brochure⁴) la construction des horloges que nous avons récemment inventée à cette époque. Attendu que depuis ce temps nous avons trouvé plusieurs choses qui regardent la perfection de ce ouvrage, nous nous sommes résolus à les expliquer en particulier dans ce livre-ci.

Ces choses sont si notamment liées à la perfection de cette invention qu'il les faut voir être considérées comme la principale partie et pour ainsi dire le fondement, qui y manquait auparavant, de tout ce mécanisme. En effet, le pendule simple ne possédait pas de mesure du temps certaine et égale, puisque l'on observe que les plus larges mouvements sont plus tardifs que les plus étroits; or, nous avons trouvé par le moyen de la géométrie une façon différente, inconnue jusqu'ici, de suspendre ce pendule nous avons découvert une ligne particulière une courbe telle qu'elle se prête d'une façon entièrement admissible à lui donner l'égalité désirée. Depuis notre application de cette ligne aux horloges leur mouvement est devenu si constant et si certain qu'en suite de plusieurs expériences faites par terre et par mer il est maintenant manifeste que ces horloges sont très utiles et à l'astronomie et à l'art de naviguer. C'est cette ligne que

CHRISTIANI HUYGENII
ZVLIICHEMII, CONST. F.
H O R O L O G I U M
O S C I L L A T O R I U M,
S I V E
D E M O T V P E N D U L O R V M
A D H O R O L O G I A A P T A T O
D E M O N S T R A T I O N E S G E O M E T R I C E.

ANNUS agitur sextus decimus *) ex quo fabricatus horologiorum, tunc recens à nobis inventorum, editio libello publicum factum *) ab his verbis tempore cum multa inventio ad perfectionem operis spectantia, vixim et in fingulo hoc libro exponere. Quae quidem adeo ad perfectionem ejus inventi pertinent, ut poestima ejus pars censeri possit, ac velut fundamentum totius mechanicae hujus, quo prius delectata sunt. Manifestum enim temporis certum aequale, pendulo simpliciter moventi non invenit, cum latius exactius investigatis variis ob- servatis, sed geometria doctè derivata ab eis, ignorataque antea penduli suspensionem conciliandam mirabili plane ratione comperita est. Quam postquam horologis utilitatem plurimum praestare vidit, ut post crebras experientias terra

Huygens s'est rendu compte que le pendule a un défaut d'isochronisme intrinsèque, même sous vide, c'est-à-dire en l'absence de frottements avec l'air, ce qui n'était pas du tout satisfaisant pour ce mathématicien. Il a trouvé une solution exacte sur le plan théorique en inventant le pendule isochrone le 25 décembre 1656 [18, Volume V, lettre à Boulliau, 26 décembre 1657]. Ses résultats ont été rédigés en 1673 dans son *Horologium Oscillatorium* [18, Volume XVIII], *l'horlogerie oscillatoire*, qui a introduit l'oscillateur comme base de temps dans la mesure du temps. Bien sûr, à l'époque, il fallait remercier son bienfaiteur :



A LOUIS XIV LE GRAND
ROI DE FRANCE ET DE NAVARRE.

C'est principalement à la France, Grand Roi, que nous devons la renaissance et le rétablissement en ce siècle de la Géométrie: ici naquirent ceux qui les premiers renouvelèrent et rappelèrent à la vie, en y confiant une grande, et la meilleure, partie de leurs forces, cette science oubliée et pour ainsi dire ensevelie. Suivant leurs traces des hommes fort ingénieux, partout en Europe, la développèrent ensuite avec un tel succès que peu de choses, femble-t-il, ont été laissées à découvrir aux générations futures, tandis que les résultats obtenus deinde, per totam Europam, excoluere viri subtilissimi, par les anciens ont été dépassés de beaucoup. Dans cette ut pauca jam posterorum industria ab his relicta videantur, me fuis propositi furtivo, toutes les fois que je m'y adon- In hac scientia, quam semper admiratus sum & amavi nai, la considération de problèmes dont la solution serait plurimum, quandocunque ad eam animum applicui, illa utile fuit pour la commodité de la vie fuit pour la con-mihî pre ceteris propositi investiganda, que vel ad vitae natiſſance de la nature. Mais c'est lorsque je tombais sur comoda, vel ad Nature cognitionem, reperta prodesse des sujets où l'utilité était unie à une difficulté de les posséder. Tunc verò optimè operam me collocasse existitire au clair qui exigeait des raisonnements subtils que mavi, cum in ea incidissem, in quibus utilitas cum inve-

LVDOVICO XIV,
FRANCIE ET NAVARRÆ
REGI INCLYTO.

ENATAM, Rex maxime, refitutum- que hoc faculo Geometriam, Gallie præcipue debemus. Hinc enim orti, qui magna meliorique sui parte deper- ditam, ac veluti sepultam, instauro- runt primi, & in lucem reduxerunt. Quorum vettigis insidentes, ita eam excoluere viri subtilissimi, per totam Europam, excoluere viri subtilissimi, par les anciens ont été dépassés de beaucoup. Dans cette ut pauca jam posterorum industria ab his relicta videantur, me fuis propositi furtivo, toutes les fois que je m'y adon- In hac scientia, quam semper admiratus sum & amavi nai, la considération de problèmes dont la solution serait plurimum, quandocunque ad eam animum applicui, illa utile fuit pour la commodité de la vie fuit pour la con-mihî pre ceteris propositi investiganda, que vel ad vitae natiſſance de la nature. Mais c'est lorsque je tombais sur comoda, vel ad Nature cognitionem, reperta prodesse des sujets où l'utilité était unie à une difficulté de les posséder. Tunc verò optimè operam me collocasse existitire au clair qui exigeait des raisonnements subtils que mavi, cum in ea incidissem, in quibus utilitas cum inve-

Le prologue du livre commence par une églogue³ du poète néerlandais H. van der Waal, ici traduite du latin :

*Nymphes de Scheveningue habitant l'onde pure,
Vous qui de ces pays protégez la structure,
Délices de tous ceux qui fréquentent vos plages,
Bien aimées de Phébus, esprits gracieux et sages,
Veillez me secourir et inspirer mes chants,
Qu'en revanche ni Pan ni ses Faunes hideux
Ne se puissent jamais approcher de ces lieux
Et souiller la blancheur de vos flots écumants.*

3 Églogue: poème pastoral écrit dans un style simple et naïf où, à travers les dialogues des bergers, l'auteur relate les événements généralement heureux de la vie champêtre, chante la nature, les occupations et les amours rustiques [6].

*Toi que la gloire élève au-dessus du ciel même,
Daigne prêter l'oreille, Huygens, à ce poème
Ecrit en ton honneur, en l'honneur de ton père,
De tes frères aussi et de ta race entière
Dont tu es le fleuron. Tes sublimes pensées
Dans un cadre mythique ici seront placées.
Puisse ainsi des anciens la riche fantaisie
Orner de ses splendeurs la noble astronomie.*

Le pendule isochrone de Huygens

La solution de Huygens procède en trois étapes :

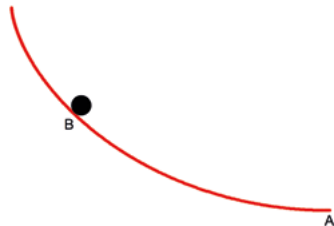


Figure 7 : Une bille descendant sous l'effet de la gravité le long d'une cycloïde.

I. *Le tautochrone.* Huygens cherche la courbe pour laquelle une bille descendant sans frottement atteint le point bas (noté B dans la figure 6) dans la même durée, quelle que soit la hauteur du point d'où elle est lâchée. Il démontre que cette courbe est une cycloïde.⁴

Figure 8 : La cycloïde est la courbe tracée par un point situé sur la jante d'une roue roulant sans glisser sur une ligne droite.

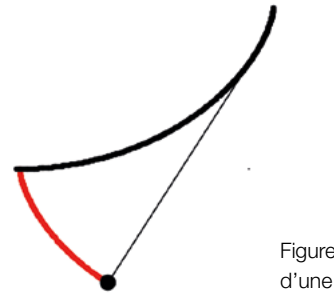
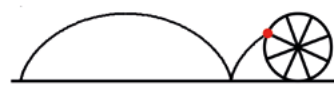


Figure 9 : La développante (en rouge) d'une courbe (en noir).

II. *La théorie des développantes.* Huygens invente la théorie des courbes développantes, où l'on imagine la trajectoire d'un point situé à l'extrémité d'un fil tendu se déroulant d'une courbe de base.

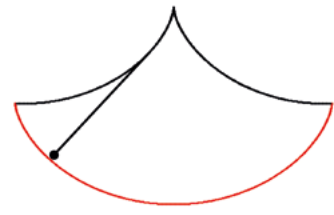


Figure 10 : Pendule cycloïdal.

4 En 1696, Johann Bernoulli pose le défi de trouver la courbe de descente la plus rapide, le brachistochrone, et démontre que c'est aussi une cycloïde [2].

III. Huygens démontre que *la développante d'une cycloïde est une cycloïde*.



Figure 11: Cahier de Huygens [18, Volume VII, note à la lettre de Huygens à H. Oldenburg, 24 juin 1673].

Il s'ensuit qu'un poids oscillant suspendu par un fil s'appuyant sur des *flancs cycloïdaux* suit un parcours cycloïdal. En vertu de la propriété I de la cycloïde démontrée par Huygens, ces oscillations sont isochrones: c'est l'invention du *pendule cycloïdal*. Huygens n'a pas tardé à réaliser son concept en faisant appel à l'horloger Salomon Coster en 1657. Le résultat a été une précision chronométrique d'environ 15 secondes par jour, c'est-à-dire une centaine de fois meilleure que ce qui se faisait auparavant.

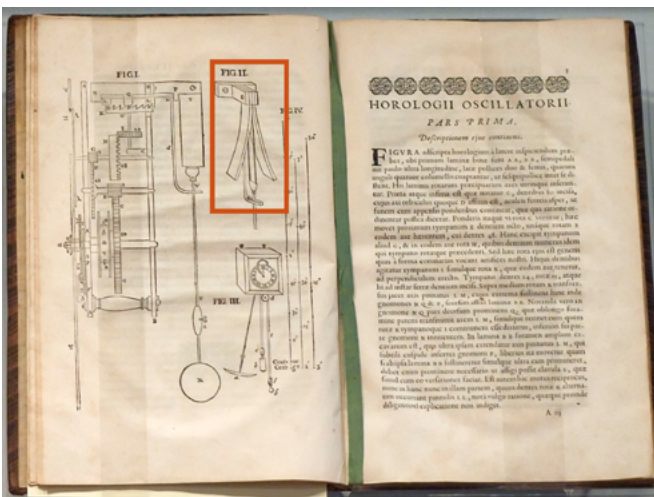


Figure 12: Dessin de Huygens de son horloge (Musée Boerhaave, Leiden). En encadré, les flancs cycloïdaux.

La solution de Huygens, bien que théoriquement complète et élégante (caractéristiques propres aux grands mathématiciens), ne s'est avérée que peu utile en pratique: le pendule cycloïdal donne des résultats décevants, cf. [15, p. 28] [28, p. 60-62] et il a été abandonné en faveur du pendule à tige rigide et amplitude faible. Huygens restait quant à lui surtout intéressé par un pendule à amplitude grande et variable car il voulait résoudre le problème de la mesure de la longitude en mer avec une horloge de marine [14] [31]. Ses horloges testées en mer ont donné des résultats décevants [22].

Remarque. La preuve des énoncés mathématiques de Huygens est un exercice relativement facile avec les connaissances actuelles, mais il est important de relever que Huygens y est arrivé 30 ans avant le développement des lois de la physique et le calcul différentiel d'Isaac Newton en 1687. Les méthodes géométriques de Huygens sont décrites par Leopold Defossez [7].

La loi de Hooke

Suite aux excellentes performances chronométriques des horloges obtenues grâce au pendule, l'intérêt s'est orienté vers la conception d'oscillateurs dédiés aux montres. Outre la réduction de taille, la différence fondamentale réside dans l'orientation variable de la direction de la gravité par rapport à l'oscillateur.

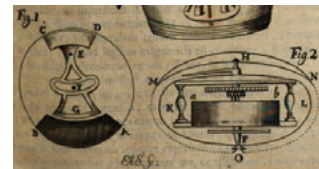


Figure 13: Balancier magnétique de Kochanski [21].

Une première tentative de solution fut d'imiter le pendule en remplaçant la gravité comme force de rappel par la force magnétique. Ainsi, en 1659 Kochanski (1631-1700) et, à la même époque, Robert Hooke font des montres à balancier magnétique [32, p. 247] [33]. Les résultats sont médiocres parce que le magnétisme donne une force de rappel qui ne suit pas la loi de Hooke.

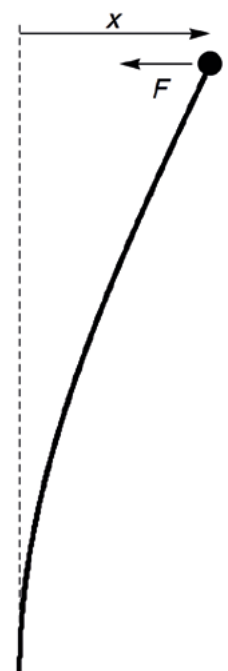


Figure 14: Loi de Hooke d'une lame ressort: $F = -kx$.

Robert Hooke (1635-1703), scientifique et inventeur anglais [7, Chapitre XIII] [19], énonce en 1676 sa loi du ressort par:

ceiinossttuv

anagramme de *ut tensio, sic vis*, qui se traduit par *la force de rappel est proportionnelle au déplacement*. En notation moderne, on écrit cette loi:

$$(H) \quad F(x) = -kx,$$

où $F(x)$ est la force de rappel, x est le déplacement et k est une constante, la *rigidité*. Cette loi s'applique à l'élasticité de la matière, mais pas à la force magnétique qui suit une loi inversement proportionnelle au carré de la distance.

L'oscillateur harmonique est isochrone

Dans son œuvre magistrale de 1687, *Principia Mathematica*, Isaac Newton (1643-1727) énonce les lois du mouvement ainsi que les bases des calculs intégral et différentiel [23]. Avec ces principes, la loi de Hooke peut s'écrire :

$$(O) \quad m\ddot{x}(t) = -kx,$$

où m est la masse, $\ddot{x}(t)$ est la deuxième dérivée de x par rapport au temps t , c'est-à-dire, l'accélération.

L'équation (O) définit l'*oscillateur harmonique*⁵. On résout cette équation par les méthodes standards du calcul différentiel :

$$x(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi)$$

où A est l'amplitude, φ est la phase initiale et f la fréquence donnée par :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

La fréquence ne dépend que de la masse et de la rigidité et non de l'amplitude A . Sur le plan théorique, l'isochronisme tant recherché est donc possible !

Le balancier-spiral

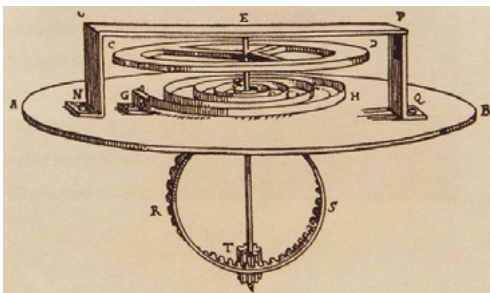


Figure 15: Dessin de Huygens de son balancier-spiral [18, Volume VII, lettre à J. Gallois, février 1675].

En 1675, Huygens invente le balancier-spiral. Le ressort spiral reprend la forme de la spirale d'Archimède et suit la loi de Hooke angulaire, où la force de rappel est proportionnelle à l'angle, sur de grands déviements angulaires. La montre a donc finalement un oscillateur harmonique théoriquement isochrone. Ceci donne la possibilité à la montre d'être précise, ainsi que le décrit Huygens dans sa lettre à Gallois en février 1675 :

Ayant trouvé une invention long-temps souhaitée, par laquelle les horloges sont rendus très justes ensemble & portatives; je crois que ce sera faire chose agreable au public de luy en faire part. C'est pourquoy je vous envoie la description & la gure du modèle, qui contient ce qu'il y a de particulier dans cette invention; a n que pamy d'autres

nouveautez en matiere de sciences, vous puissiez, s'il vous plaist, les inserer dans vostre Journal.

Les Horloges de cette façon estant construites en petit seront des montres de poche très-justes, & en plus grande forme pourront servir utilement par tout ailleurs, & particulièrement à trouver les longitudes tant sur mer que sur terre, puisque leur mouvement est réglé par un principe d'égalité, de même qu'est celui des pendules corrigé par la Cycloïde, & que nulle sorte de voiture ne les peut faire arrester.

Le secret de l'invention consiste en un ressort tourné en spirale, attaché par son extremité interieure à l'arbre d'un balancier equilibre, mais plus grand & plus pesant qu'à l'ordinaire, qui tourne sur ses pivots; & par son autre extremité à une piece qui tient à la platine de l'horloge. Lequel ressort, lors qu'on met une fois le balancier en bransle, serre et desserre alternativement ses spires, & conserve avec le peu d'aide qui luy vient par les rouës de l'horloge, le mouvement du balancier, en sorte que quoy qu'il fasse plus ou moins de tour, les temps de ses reciprocatons sont toujours égaux les uns aux autres.

Il a fallu un siècle pour que l'ambition de Huygens se réalise avec le premier véritable chronomètre de marine de John Harrison qui fait ses preuves en 1764 [14] [22] [31] [35]. Le balancier-spiral devient par la suite la base de temps des montres mécaniques.

La recherche n'est pas un long fleuve tranquille

Les ouvrages de théâtre, Monsieur, sont comme les enfants des femmes: conçus avec volupté, menés à terme avec fatigue, enfantés avec douleur et vivant rarement assez pour payer les parents de leurs soins... [3].

Beaumarchais (1732-1799)

Au 17^e siècle, la propriété intellectuelle n'est pas encore assurée, la loi française instaurant les brevets d'invention n'est votée par l'Assemblée nationale qu'en 1791 [20]. Pour protéger leurs découvertes Huygens, Hooke et Newton⁶, communiquent leurs résultats par des anagrammes et Huygens a affronté de nombreuses difficultés pour assurer la priorité de ses inventions. Huygens annonce son invention du balancier-spiral le 30 janvier 1675 dans une lettre à Henry Oldenburg (1619-1677) secrétaire de la Royal Society [18, Volume VII] :

J'ay trouvé depuis peu une nouvelle invention d'Horloges a laquelle je fais travailler... J'en mets icy le secret, en anagramme; comme vous savez que j'ay fait autre fois en cas de nouvelles decouvertes et par la même raison

4 1 3 5 3 7 3 1 2 3 4 3 2 4 2
a b c e f i l m n o r s t u x

Ce qui se déchiffre par :

*Axis Circuli mobilis affixus in Centro Volute ferrea
L'axe du cercle mobile fixé au centre d'une spirale en fer*

⁵ Cette équation se généralise aux oscillateurs à plusieurs degrés de liberté [17].

⁶ Dans une lettre du 24 octobre 1676, Newton annonce le théorème fondamental de l'analyse par l'anagramme latin : 6accdae13eff7i3l9n4o4qrr4s8t12ux [24].

Aussitôt, de nombreuses personnes prétendent avoir déjà inventé le balancier-spiral dont Philippe de la Hire (1640-1718) et Jean de Hautefeuille (1647-1724) qui proposent des bases de temps similaires.

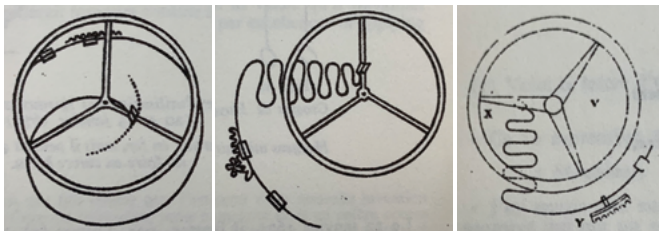


Figure 16 : Balancier-ressorts par de la Hire et Hautefeuille [7] [33].

En Angleterre, Oldenburg, destinataire de la lettre cryptée de Huygens, reçoit l'offre des droits de son invention par Huygens [18, Volume VII, 20 février 1675], mais le brevet sera refusé par le roi Charles II suite à une audience avec l'horloger Thomas Tompion (1639-1713) [19]. Quand Oldenburg présente l'invention de Huygens à la Royal Society en février 1675 [26, Volume IX, March 25, 1675, p. 272-273], Robert Hooke prétend qu'il l'avait déjà inventé plusieurs années auparavant et qu'il avait une vingtaine de manières de faire des ressorts réglants, bien qu'il ne soit pas évident que le spiral en fasse partie. Hooke considère que la démarche du brevet d'Oldenburg est une trahison et l'accuse publiquement d'être un « trafiquer in intelligence ». Ceci n'amuse pas Oldenburg qui écrit à Huygens le 21 octobre 1675 [18, Volume VII] :

Depuis ma dernière il est arrive? icy vne chose qui m'oblige de vous escrire celle-cy. C'est que M. Hook, ayant sceu que vous m'auiez donné la permission de me servir de l'avantage que vous pourriez pretendre d'un privilege pour vostre montre en ce pais icy, a esté si temeraire et impudent, que de dire publiquement, que vous m'avez donné cete permission en recompense de vous avoir decouvert son invention, y adjoustant avec la plus grande effronterie du monde, que ie suis icy vostre espion pour vous communiquer tout ce qui se descouvre icy de considerable, et que ie l'ay voulu defrauder du pro t de son invention. Comme ce sont des accusations aussi atroces que fausses, et que ma reputation, qui m'est plus chere que la vie, y souffre extremement, vous ne ferez point aucun scrupule, Monsieur, scachant mon innocence, que d'escrire a? nostre President...

Huygens répond le 1er novembre 1675 :

J'ay esté fort surpris de ce que vous m'avez fait scavoir de l'insolite accusation que M. Hooke a controuvé contre vous et moy. J'avois bien remarqué depuis quelque temps qu'il estoit vain et extravagant, mais je ne scavois pas qu'il estoit malicieux et impudent au point que je le vois maintenant.

Oldenburg publie une explication disant que Hooke n'a jamais publié ou réalisé de montre similaire à celle de Huygens⁷,

⁷ De plus, Gottfried Leibniz (1646-1716), co-inventeur du calcul intégral et différentiel, a aussi présenté une nouvelle montre à la Royal Society [7, Chapitre XVII] [26, Volume IX, April 26, 1675, p. 285-288] que Hooke prétend aussi avoir inventé.

et rappelant que celui-ci est aussi membre de la Royal Society. Le compte-rendu contient aussi les excuses de Hooke qui admet qu'il n'a communiqué ses pensées de 1660 à personne [26, Volume X, October 25, 1675, p. 440-442]. Il s'ensuit une compétition entre Huygens et Hooke qui font des montres pour le roi Charles dans le but de démontrer leur inventivité. Pour démontrer sa priorité, Hooke offre au roi une montre à balancier-spiral faite en 1675 par Tompion qui porte une inscription indiquant qu'il a inventé le principe en 1658. Huygens se désiste en décembre 1675 pour des raisons de santé.

Mais ce qui touche Huygens personnellement est qu'Isaac Thuret (1630-1706), l'horloger qui lui a fabriqué son premier balancier-spiral, prétend en être l'inventeur ! Ceci provoque une réaction de Huygens qui, le 9 août 1675, écrit à son frère [18, Volume VII] :

Ce qu'on vous a dit de mon plagiaire [Thuret] est ray, qui n'osant paroistre lui mesme a s'opposer a l'Enregistrement de mon privilege, a suscité un petit fol d'Abbè [Hautefeuille] sous le nom duquel il agit. Et quoy que la pretension de cet Abbè soit chimerique et sans fondement, car elle consiste... d'appliquer un ressort droit... la chicane n'a pas laissé de me traverser jusqu'icy, et je n'aurois jamais vu la fin de cette affaire au Parlement par les brigues et menees de ce fripon d'horloger, mais je l'ay evoquée au Conseil du Roy, ou Monsieur Colbert m'a promis de me faire despescher un arrest par lequel j'auray autant, que si le privilege estoit enregistré... je suis resolu ou d'avoir raison de ce coquin et la satisfaction que je desire, ou de quitter tout en ce pais icy.

Finalement, Thuret admet dans une lettre du 10 septembre 1675 que c'est Huygens l'inventeur [18, Volume VII] :

Jay appris que sur le bruit que quelq'uns ont fait courir que j'estois l'auteur de la nouvelle inuention des montres qui ont vn ressort spiral attaché, a l'axe du balancier, vous avez tesmoigné estre en colere contre moy. Je suis très faché que vous ayez eü ce deplaisir, ce qui peut auoir donné lieu a ce bruit est peut-estre que jay fait il ny a pas longtemps plusieurs pendules auxquelles je me suis seruy d'un bout de ressort droit au lieu de fil qui soutient le pendule, ce qui fait vn tres bon effet, mais je suis tout prest de desabuser ceux qui auroient encore la pensee que je fusse l'auteur des nouvelles montres, cest vous Monsieur qui m'en auoit communiqué l'inuention et le premier modele que j'en ay fait je lay fait sur ce que vous m'en auez dit, cest pourquoy je ne pretends rien a la gloire de cette inuention laquelle vous appartient entierement.

Huygens, souvent malade, rentre aux Pays-Bas et ne revient plus en France.

Passe, présent, futur

Le présent article décrit la manière dont les recherches du 17^e siècle ont mené à l'oscillateur mécanique comme base de temps. Une ressource essentielle est le livre *Les savants du XVII^e siècle et la mesure du temps* de Leopold Defossez, président de la SSC de 1927 à 1930 [7]. La révolution déclenchée par les oscillateurs du 17^e siècle a continué avec les nouveaux échappements du 18^e siècle, l'industrialisation du 19^e siècle, les nouveaux matériaux du 20^e siècle et continue au 21^e siècle avec les nouveautés mécaniques actuelles. Tout au long de cette évo-

lution, l'oscillateur reste la clef de voûte de toute mesure précise du temps ; ce fait est célébré par l'appellation des grandes avancées du 20^e siècle : l'horloge *atomique* et la montre à *quartz* portent en effet le nom de leur base de temps.

La lecture des textes d'origine, comme la correspondance entre chercheurs et les comptes rendus contemporains, révèle également les difficultés et conflits auxquels les grands acteurs de l'époque ont dû faire face. De nos jours, le droit international des brevets, ainsi que les processus codifiés de publication scientifique facilitent et accélèrent grandement l'échange des idées et la traçabilité des inventions. Néanmoins, les scientifiques et inventeurs d'aujourd'hui le savent bien, les mêmes questions de fond surgissent encore bien souvent lorsqu'il s'agit de prouver la paternité d'idées qui, de par leur essence même, sont un produit collectif⁸ ; les plus grandes continueront de naître, justement, de la collaboration, de l'interaction et parfois de l'affrontement, entre chercheurs.

Références

- [1] ARCHIMÈDE, *Œuvres*, 4 vol., texte établi et traduit par C. Mugler, Les Belles Lettres, Paris, 1970-71.
- [2] JOHANN BERNOULLI, *Acta Eruditorum*, juin 1696, p. 269.
- [3] PIERRE-AUGUSTIN CARON BEAUMARCHAIS, *Lettre modérée sur la chute et la critique du Barbier de Séville*, Œuvres complètes, texte établi par Édouard Fournier, Laplace 1876, p. 67-74.
- [4] *Le thé au harem d'Archimède*, film de Mehdi Charef, 1985.
- [5] CICÉRON, *Tusculanes, livre V, De la vertu: Qu'elle suffit pour vivre heureux*. Œuvres complètes de Cicéron avec la traduction en français publiée sous la direction de M. Nisard de l'Académie française, Imprimerie de l'Institut de France 1869.
- [6] Centre National de Ressources Textuelles Lexicales, www.cnrtl.fr
- [7] LEOPOLD DEFOSSÉZ, *Les savants du XVII^e siècle et la mesure du temps*, Éditions du Journal Suisse d'Horlogerie, Lausanne 1946.
- [8] RENÉ DESCARTES, *Œuvres Complètes, Vol. I, Correspondance 1602-1638*, Ministère de l'Instruction Publique, Leopold Cerf, Paris 1897.
- [9] STILLMAN DRAKE, *Galileo at Work: His Scientific Biography*, Dover 1985.
- [10] PHILIPPE DUTARTE, *Les Instruments de l'Astronomie Ancienne*, Vuibert, Paris 2006.
- [11] FU YU, «Mille ans de recherches horlogères chinoises», *Actes du Congrès International de Chronométrie* de la SSC, Montreux, 2019.
- [12] GALILÉE, *Nouvelles pensées de Galilée, mathématicien et ingénieur du Duc de Florence*, traduction et commentaires de Marin Mersenne, Paris 1639.
- [13] *Galilée, un savant résolument moderne*, ICEM, Pédagogie Freinet 91, 2006, www.icem-pedagogie-freinet.org/sites/default/files/N91_Galilee.pdf, consulté le 22 mai 2019.
- [14] RUPERT T. GOULD, *The Marine Chronometer, Second Edition*, The Antique Collector's Club, 2013.
- [15] EDMUND BECKETT, BARON GRIMPTHORPE, *A rudimentary Treatise on Clocks, Watches & Bells, 8th Edition*, Crosby Lockwood and Son, D. Van Nostrand Company, London 1903.
- [16] A. R. HALL, *Hooke and Horology*, Notes and Records of the Royal Society of London 8 (1951), p. 167-177.
- [17] S. HENEIN, I. VARDI, L. RUBBERT, R. BITTERLI, N. FERRIER, S. FIFANSKI, D. LENGACHER, «IsoSpring: vers la montre sans échappement», *Actes de la Journée d'Étude* de la SSC Lausanne, 2014, p. 49-58.
- [18] CHRISTIAAN HUYGENS, *Œuvres Complètes*, publiées par la Société Hollandaise des Sciences, Martinus Nijhoff, La Haye, 1893-1934, en ligne www.dbnl.org.
- [19] S. INWOOD, *The Man Who Knew Too Much: The Inventive Life of Robert Hooke*, MacMillan, 2012.
- [20] JACQUES ISORÉ, «De l'existence des brevets d'invention en droit français avant 1791», *Revue historique de droit français et étranger* 16, 1937, p. 94-130.
- [21] ADAM ADAMANDY KOCHANSKI, *Acta Eruditorum*, septembre 1685, p. 428-433.
- [22] J. H. LEOPOLD, «The Longitude Timekeepers of Christiaan Huygens», in *The Quest for Longitude*, edited by William H. Andrewes, Proceedings of the Longitude Symposium, Harvard University 1993, Second Edition, Harvard University 1998, p. 101-114.
- [23] ISAAC NEWTON, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, traduction et commentaires d'Emilie du Châtelet, Desaint & Saillant, Paris, 1756.
- [24] TAMÁS GÖRBE, *Fundamental Anagram of Calculus*, www.tamasgorbe.wordpress.com/2015/11/25/fundamental-anagram-of-calculus, consulté le 22 mai, 2019.
- [25] ISAAC NEWTON, letter to Robert Hooke, 1675, Historical Society of Pennsylvania. Simon Gratz Collection. No. 9792. <https://digitallibrary.hsp.org/index.php/Detail/objects/9792#>, consulté le 7 juin, 2019.
- [26] H. OLDENBURG, Philosophical Transactions (Comptes rendus de la Royal Society).
- [27] Pendulum Clock, www.panerai.com/fr/collections/clocks-and-instruments/pendulum-clocks/pam00500-pendulum-clock.html, consulté le 27 mai 2019.
- [28] A. L. RAWLINGS, *The Science of Clocks and Watches, Third Edition*, British Horological Institute, Upton UK, 1993.
- [29] DIETER RÖSS, «Wie genau gingen die großen Foliot-Turmuhren (Spindel mit Waag) des Mittelalters?», *Chronométrophilia* 81, 2017, p. 38-49.
- [30] DIETER RÖSS, *Theory of the Verge & Balance Clock of the Early Middle Age*, prépublication 2017.
- [31] DAVA SOBEL, *Longitude*, Walker & Company, 2007.
- [32] THOMAS SPRAT, *The History of the Royal Society of London, for the Improving of Natural Knowledge*, London 1667.
- [33] TARDY (pseudonyme d'Henri-Gustave Lengelle), *La Montre, les échappements à recul, le spiral, la compensation*, Paris, Chez l'auteur, 1968.
- [34] I. VARDI, «What is ancient mathematics?», *Mathematical Intelligencer* 21 no. 3, 1999, p. 38-47.
- [35] I. VARDI, «Harrison méritait-il le "Longitude Prize" ?», *Watch Around* 011, Spring-Summer 2011, p. 38-40.

⁸ *If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants.* (Si j'ai vu plus loin, c'est en montant sur les épaules de géants.) Lettre de Isaac Newton à Robert Hooke, 5 février 1675 [25].