



L'horloge de Christiaan Huygens : un instrument générique ?

Jérôme Lamy

► To cite this version:

Jérôme Lamy. L'horloge de Christiaan Huygens : un instrument générique ?. Artefact : techniques, histoire et sciences humaines, A paraître. hal-03814188

HAL Id: hal-03814188

<https://univ-tlse2.hal.science/hal-03814188>

Submitted on 13 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'horloge de Christiaan Huygens : un instrument générique ?

Jérôme Lamy, CESSP (UMR 8209), EHESS

Résumé

L'horloge à pendule inventée par Christiaan Huygens émerge comme un instrument générique au XVII^e siècle. En suivant les propositions sociologiques de Terry Shinn, il est possible de caractériser l'horloge de Huygens par sa généricité, sa modularité, les fondements théoriques sur lesquels repose son fonctionnement. De même, Huygens investit un espace socio-épistémique interstitiel pour produire son instrument : au croisement de l'artisanat et des pratiques savantes. La capacité de l'horloge à pendule à circuler dans le régime disciplinaire (notamment en astronomie et dans les sciences nautiques), le régime utilitaire (par sa valeur commerciale) et le régime régulateur (par le soutien politique que reçoit l'objet) caractérise bien un régime technico-instrumental susceptible d'intégrer un instrument générique à usages multiples.

Mots clés : Horloge, pendule, instrument générique, Huygens.

Abstract

The pendulum clock invented by Christiaan Huygens emerged as a generic instrument in the 17th century. Following Terry Shinn's sociological propositions, it is possible to characterise Huygens' clock by its genericity, its modularity, and the theoretical foundations on which its operation is based. Similarly, Huygens invested an interstitial socio-epistemic space to produce his instrument: at the crossroads of craft and academic practices. The ability of the pendulum clock to circulate in the disciplinary regime (notably in astronomy and nautical sciences), the utilitarian regime (through its commercial value) and the regulatory regime (through the political support that the object received) characterises a technico-instrumental regime capable of integrating a generic instrument with multiple uses.

Key words : Clock, pendulum, generic instrument, Huygens.

Les pratiques scientifiques à l'époque moderne s'équipent d'une instrumentation protéiforme. Des grands quarts de cercle de Tycho Brahé au microscope d'Antoni Van Leeuwenhoek en passant par la lunette qui a permis à Galilée de faire ses découvertes astronomiques, c'est un impressionnant arsenal technique qui émerge des ateliers, des laboratoires et des observatoires. Comment spécifier leur conception, leurs usages, leurs modifications ? Selon quels principes socio-épistémiques les instruments scientifiques sont-ils fabriqués et mis en circulation ? Cet article se propose d'envisager ces questions à partir du cas de l'horloge à pendule conçue par le physicien hollandais Christiaan Huygens. Les premières horloges mécaniques ont été fabriquées au XIV^e siècle¹. Elles constituent un objet de recherche intense notamment au XVII^e siècle. Huygens apporte non seulement des réponses pratiques à la question de la précision des horloges (notamment *via* le pendule) ; mais il fournit également un effort théorique sur les fondements mathématiques et mécaniques de leur fonctionnement (*via* ses recherches sur les cycloïdes²).

¹ De Solla Price, 1959 ; Landes, 1987, p. 532.

² A.J. Ziggelaar, 1968. Voir, pour une chronologie des développements successifs de l'instrument : F. Chareix, 2002.

Son travail sur l'horloge à pendule commence en 1656 et se poursuit jusqu'à la fin de sa vie. Savant hollandais, il participe aux débuts de l'Académie des sciences voulue par Colbert. Ses domaines d'investigation sont nombreux : optique, mathématiques, physique, mécanique et astronomie. L'horloge à pendule constitue, précisément, un instrument à la croisée de plusieurs domaines épistémiques. Elle est aussi un objet de convoitise politique et économique. Enfin, elle nécessite un travail théorique pour en comprendre le fonctionnement. Pour ressaisir l'ensemble de ces traits saillants, je propose de recourir aux régimes de savoirs conceptualisés par Terry Shinn. Le sociologue décrit ces régimes comme des « formes intellectuelles et institutionnelles »³. Ils correspondent à des configurations particulières du travail scientifique. Le régime disciplinaire renvoie aux grandes formations épistémiques, soutenues par des institutions (académies, universités, laboratoires, observatoires...) ; le régime utilitaire correspond aux productions savantes destinées à des marchés spécifiques et incluses dans des circuits commerciaux ; le régime transitaire décrit le passage de certains scientifiques d'un secteur à un autre (en particulier lors de l'émergence d'une nouvelle discipline) ; enfin le régime technico-instrumental désigne le processus de création d'un instrument scientifique générique, capable de servir dans plusieurs spécialités⁴. Un autre régime de science, le régime régulateur⁵, détaille le rôle des savoirs requis pour gouverner et circonscrit les rapports entre science et politique⁶. Ces différents régimes sont inscrits dans le temps long des développements de la science moderne : Shinn fait commencer le régime disciplinaire au XVIII^e siècle, le régime utilitaire au XIX^e siècle, le régime transitaire et le régime technico-instrumental correspondraient au XX^e siècle. Je soutiens, dans la présente étude, que ces régimes (et plus spécifiquement le régime technico-instrumental) ont une histoire plus ancienne encore et qu'il est possible de repérer des formes précoces de genericité instrumentale dans les pratiques savantes du début de l'époque moderne. Cette ère « polycentrique »⁷ de la recherche scientifique se caractérise par le bouillonnement des secteurs d'investissement savant et la labilité de leurs frontières. Les praticiens peuvent passer d'un secteur à l'autre sans que cela soulève de trop grandes difficultés. Pour autant, des linéaments de structures plus fermes dans l'organisation du travail scientifique émergent et orientent dès le début de l'époque moderne manières de faire. Les régimes de sciences décrits par Shinn n'ont pas la consistance institutionnelle et épistémique que nous leur connaissons aujourd'hui à l'époque de Huygens ; ils n'en restent pas moins discernables dans des formes plus souples et moins fermées.

L'horloge à pendule de Huygens constitue un exemple d'instrument générique, capable de servir des intentions savantes relativement variées. Car Shinn considère que le régime technico-instrumental se caractérise par une recherche centrée sur « la conception des instruments et aux modalités, régularités et lois qui sous-tendent l'instrumentation »⁸ ; il se fonde également sur une forte plasticité, « de façons que ce que [les instruments] puissent aisément être ouverts et désassemblés en fonction d'un besoin »⁹. Il s'agit de pouvoir adapter l'objet, ses fonctionnalités, ses modalités au plus grand nombre de demandes possibles. Les fabricants d'instruments génériques, soutient également Shinn, ont un « positionnement interstitiel », ce qui permet d'échapper aux captations disciplinaires et de « conserver une autonomie importante »¹⁰. L'instrument générique est également pris dans

³ T. Shinn, 2000, p. 449.

⁴ Sur l'ensemble des régimes, voir T. Shinn, P. Ragouet, 2005, p. 165-178.

⁵ J. Lamy, 2015, 2017a, 2017b..

⁶ O. Ihl, M. Kaluszynski, G. Pollet, 2003 ; M. Kaluszynski, R. Payre, 2013 ; O. Ihl, 2006.

⁷ A. Markovich, T. Shinn, 2000, p. 313-315.

⁸ T. Shinn, 2000, p. 456.

⁹ Ibidem.

¹⁰ Ibidem, p. 457.

des contraintes métrologiques fortes qui sont la condition de son adaptation à des secteurs variées de recherche¹¹.

En retraçant la façon dont Huygens a conçu et diffuser son horloge à pendule, nous tenterons de repérer les traits saillants du régime technico-instrumentale (généricité, théorie de l'instrument, arène interstitielle, métrologie) et l'articulation de ce dernier aux autres régimes de sciences au XVII^e siècle. L'enjeu est notamment de comprendre comment, dans une période où les manières de faire science sont encore très labiles, certaines pratiques s'organisent selon des modalités spécifiques.

La première partie s'intéressera à la conception de l'horloge à pendule et à ses traits génériques. La deuxième partie détaillera la façon l'objet fabriqué par Huygens circule dans des arènes distinctes (les sciences de la navigation, l'astronomie, les sphères du pouvoir et les voies commerciales). Nous appuyons notre enquête sur la correspondance de Christiaan Huygens et les divers ouvrages qu'il a publiés à propos de l'horloge.

Théorie de l'instrument, plasticité et position interstitielle

La réflexion de Huygens à propos de l'horloge à pendule s'amorce à partir d'un échange avec Marin Mersenne¹². Le physicien précise ainsi dans son *Horologium oscillatorium* de 1673 :

« Le très savant Mersenne m'a jadis proposé, comme à beaucoup d'autres, lorsque j'étais encore presque enfant, la recherche des centres d'oscillation ou d'agitation. C'était alors un problème célèbre entre les géomètres de ce temps ainsi que je le conclus des lettres qu'il m'écrivait et aussi des écrits de Descartes publiés depuis peu, lesquels contiennent la réponse aux lettres de Mersenne sur ce sujet. Il demandait que je trouvasse ces centres dans les secteurs de cercle, suspendus tant de l'angle que du milieu de l'arc, et oscillant latéralement, ainsi que dans les segments de cercle et dans les triangles, suspendus tantôt du sommet, tantôt du milieu de la base. Ce problème revient à trouver un pendule simple – consistant en un poids attaché à un fil – de longueur telle qu'il exécute ses oscillations dans le même temps qu'une des figures suspendues dont nous avons parlé »¹³.

C'est donc d'abord un problème d'ordre géométrique qui anime la recherche de Huygens. L'enjeu devient alors de constituer une théorie de l'instrument, à partir des questions mathématiques du moment. L'instrument générique a, précisément, pour particularité de concentrer l'attention des « praticiens (...) sur les lois de l'instrumentation plutôt que sur celles qui régissent le monde naturel (...) »¹⁴. Il s'agit de produire une connaissance à propos de l'instrument, puisque c'est lui qui est au centre des investigations. Ses composantes, ses principes fondamentaux, son fonctionnement, déterminent l'enquête.

Huygens a donc développé une théorie de l'horloge à pendule qui pointe les fondements mathématiques de l'artefact. Il précise que c'est en cherchant à améliorer ses premières inventions, qu'il a découvert le « fondement (...) de tout ce mécanisme »¹⁵. L'une des difficultés inhérentes au « pendule simple » est qu'il « ne possédait pas de mesure du temps certaine et égale, puisqu'on observe que les plus larges mouvements sont plus tardifs que les

¹¹ Ibidem, p. 460-461.

¹² P.E. Ariotti, 1972, p. 381.

¹³ C. Huygens, « *Horologium oscillatorium* de 1673 », in *Œuvres complètes*, T. XVIII : *L'horloge à pendule ou à balancier de 1666 à 1695, Anecdota*, La Haye, Martinus Nijhoff, 1934, p. 242.

¹⁴ T. Shinn, P. Ragouet, 2005, p. 171.

¹⁵ C. Huygens, « *Horologium oscillatorium* de 1673 », art. cit., p. 86.

plus étroits »¹⁶. Huygens poursuit en précisant qu'il a « trouvé par le moyen de la géométrie une façon différente, inconnue jusqu'ici, de suspendre ce pendule » ; le physicien a en effet « découvert une ligne possédant une courbure telle qu'elle se prête d'une façon entièrement admirable à lui donner l'égalité désirée »¹⁷. Au point de départ du fonctionnement satisfaisant du pendule, il y a une recherche géométrique fondamentale sur les courbes. Huygens a ainsi déterminé que la ligne idéale pour le bon fonctionnement du pendule est celle « que décrit en l'air par sa circonvolution continue un clou attaché à une roue courante. Les géomètres de notre temps l'ont appelée cycloïde et l'ont examinée avec soin à cause de ses diverses propriétés »¹⁸. Dans l'*Horologium oscillatorium*, le physicien ne se contente pas de relever cette caractéristique géométrique ; il va jusqu'à proposer « une nouvelle théorie des lignes courbes, savoir la théorie des courbes qui par leur évolution en engendrent d'autres »¹⁹. La deuxième partie de l'ouvrage, intitulée « De la chute des Corps pesans et de leur Mouvement cycloïdal »²⁰ constitue un véritable traité de mathématiques appliquées. Il en va de même des troisième, quatrième et cinquième parties, qui enchaînent hypothèses, définitions et propositions à propos, respectivement « De l'Evolution et de la Dimension des Lignes courbes »²¹, « Du centre d'oscillation »²² et « des théorèmes sur la force centrifuge »²³.

Huygens propose donc la « construction d'une horloge de haute précision, basée sur les lois de la Mécanique »²⁴ ; il fait des principes mathématiques de l'instrument le fondement de sa recherche.

L'horloge à pendule ainsi que Huygens l'a imaginée et construite n'est pas un produit fini, une boîte noire close sur ses principes. Bien au contraire, le physicien se fait fort de concevoir un instrument d'une grande plasticité, prévoyant ainsi *a priori* les usages les plus divers. Dans son texte *L'Horloge* de 1658, Huygens indique ainsi, au terme de ses explications sur le mécanisme qu'il a mis au point :

« Ayant affirmé l'égalité et la confiance de notre automate (...), nous arrêterons notre description, laissant à l'industrie des artisans beaucoup de choses qui pourraient y être ajoutées : instruits du principe de notre invention, ils trouveront sans difficulté le moyen de l'appliquer aux horloges de divers types, même à celles qui ont été construites auparavant sous la forme ancienne »²⁵.

Cette plasticité de l'instrument est régulièrement mise à l'épreuve par les correspondants de Huygens qui souhaitent se procurer une de ses horloges, mais en la configurant de manière singulière, en demandant des ajouts ou des compléments.

L'astronome poitevin Ismaël Boulliau évoque ainsi, dans une missive du 31 janvier 1659, un « amy » qui avait d'abord songé à ce que Huygens lui en fasse « une sans sonnerie et de 30 heures », préfère finalement qu'elle soit « non sonnante », mais qu'elle dispose bien de

¹⁶ Ibidem.

¹⁷ Ibidem.

¹⁸ Ibidem, p. 86-88.

¹⁹ Ibidem, p. 88.

²⁰ Ibidem, p. 124.

²¹ Ibidem, p. 188.

²² Ibidem, p. 242.

²³ Ibidem, p. 360.

²⁴ D. Speiser, 1988, p. 487.

²⁵ C. Huygens, « L'Horloge », in *Œuvres complètes*, T. XVII : *L'horloge à pendule de 1651 à 1666, Travaux divers de physique, de mécanique et de technique de 1650 à 1666, Traité des couronnes et des parhélies (1662 ou 1663)*, La Haye, Martinus Nijhoff, 1932, p. 70.

« toutes les minutes & secondes »²⁶. La demande du Duc de Luynes concerne la même modalité : il souhaite que l'horloge qu'il installera dans son cabinet de travail ait « une sonnerie pour les heures »²⁷. Certes ces commodités n'entrent pas dans un usage scientifique de l'horloge ; mais elles témoignent malgré tout de sa flexibilité instrumentale relative.

Il arrive que les ajustements demandés ou réalisés aient directement trait à la destination savante de l'horloge à pendule. Le physicien Pierre Petit s'est décidé à construire une horloge sur le modèle de celle de Huygens, en suivant ses instructions et en s'inspirant de ses réalisations. Il relate, dans une lettre du 16 juin 1659, qu'il avait tenté d'« appliquer un Pendule a une montre de mesme grandeur que celle que [Huygens] avez pris la peyne de [lui] faire (...) ». Il avait cependant « fallu tant de poids pour le faire marcher qu'[il] en avoi[t] esté desgoute ». Toutefois, lorsque Petit reçoit le dispositif de son correspondant, il parvient à construire son propre pendule. Il explique ainsi qu'il a inséré « 4 roues à [s]on Mouvement, au lieu que [celui de Hugins] nen a que 3 », mais ses « Palettes vont mesme train que les [siennes], il [lui] sembloit que [s]on pendule devoit aller aussi avec la mesme facilité sans estre retardé par le nombre de roues »²⁸. La plasticité mécanique de l'horloge de Huygens suppose la possibilité de changer le nombre de roues dentées, sans toucher au principe fonctionnel de l'instrument.

Huygens peut répondre aux exigences d'une flexibilité technique car il occupe une position singulière vis-à-vis des savants et des constructeurs d'instruments : avec les premiers, il partage le souci de produire un instrument plus précis et plus fiables afin de mener des expériences spécifiques ; avec les seconds, il a en commun la réflexion sur les modalités techniques d'une invention. Sa position est interstitielle dans la mesure où, au XVII^e siècle, il existe un secteur de création technique bien implanté dans l'artisanat. Stéphane Van Damme rappelle, très justement, « qu'à Paris dans les années 1630 et 1640 plusieurs dynasties se disputent le monopole de la fabrication des instruments, sur un marché assurément étroit : Antoine et Guillaume Ferrier, les Blondeau et Langlois. Certains sont horlogers comme les Ferrier ou les Bidaults, d'autres sont ingénieurs comme Jean-Baptiste Blondeau »²⁹. Les liens avec les milieux institutionnels (la cour, l'Académie) sont ténus, mais ils existent malgré tout³⁰. Si, comme l'a bien montré Aurélien Ruellet, il n'existe pas d'administration royale de la technique, capable d'impulser une politique instrumentale³¹, les essais de fabrication les plus divers peuvent croiser la reconnaissance académique. C'est ainsi que le chanoine de Dijon et cartésien convaincu Simon Foucher livre à l'Académie des Sciences, en 1686, un *Traité des hygromètres*³². La célèbre société savante est d'ailleurs un foyer important d'innovation instrumentale. Pour ne prendre qu'un exemple, Adrien Auzout, fait paraître en 1667, alors qu'il est encore membre de l'Académie, un petit texte sur le micromètre qu'il a inventé pour faciliter l'observation astronomique³³.

Il existe donc, en France, un espace socio-épistémique faiblement structuré, mais discernable malgré tout, dans lequel se croisent artisans, ingénieurs, inventeurs et savants académiciens³⁴.

²⁶ Lettre n° 575 d'I. Boulliau à C. Huygens, 31 janvier 1659, in *Œuvres complètes*, T. II : *Correspondance*, 1657-1659, La Haye, Martinus Nijshoff, 1889, p. 331.

²⁷ Lettre n° 639 de C. Bellair à C. Huygens, 16 juillet 1659, in *Ibidem*, p. 439.

²⁸ Lettre n° 627 de P. Petit à C. Huygens, in *Ibidem*, p. 419. Les citations précédentes sont tirées de la même lettre.

²⁹ S. Van Damme, 2005, p. 120.

³⁰ A. Millet, 2016 ; D. Parrochia, 2001.

³¹ A. Ruellet, 2016, p. 125-171.

³² S. Foucher, 1686, p. 5.

³³ A. Azout, 1693 [1667].

³⁴ J. Bennett, 2002.

Et Huygens s'inscrit totalement dans cette zone labile de la pratique scientifique. Il communique avec des fabricants d'instrument au sujet de son invention et diffuse ainsi son savoir-faire. C'est ainsi qu'il entretient une correspondance nourrie avec le chanoine Claude Estienne³⁵, qui, à Chartres, traite notamment de la question des horloges. Curieux du dispositif technique mis au point par Huygens, l'ecclésiastique lui écrit en juillet 1668 pour « sçavoir si dans [ses] horloges a Pendules qui frappent les secondes, le filet du Pendule doit tousjours estre de meme longueur depuis le centre de son mouvement jusques au centre de gravité du poids dont il est chargée, quelque changement qu'il puisse arriver tant dans l'atmosphère que dans le corps de l'horloge ». En effet, Estienne « doute fort que cet instrument ayant esté rectifié dans un air pur et serain puisse exactement marquer les mêmes secondes dans un air nuageux et condensé »³⁶. Estienne s'interroge également sur l'huilage nécessaire du mécanisme. Huygens, répond au fabricant d'instrument, soucieux de transmettre un savoir pratique précis. Il indique en particulier que « le changement d'air ne fait rien [au] mouvement », pas plus que « l'huile nouvellement mise aux pivots des roues »³⁷. Mais en ce point précis des explications, seule l'entrée par la pratique permet de dissiper les derniers motifs d'inquiétude. Et le chanoine d'indiquer, dans une missive de mars 1669 :

« L'on dit qu'en travaillant l'on devient ouvrier. En effet car quoy que j'eusse bien examiné le dessein de l'horloge que vous m'aviez envoyée, neantmoins je n'avois pas tout remarqué et il n'y a eu que la pratique et le travail qui m'ont encore fait connoistre que je ne pouvois pas l'executer comme je le croyois »³⁸.

Dans cet espace interstitiel, ouvert aux fabricants d'instruments comme aux savants cherchant à reproduire les dispositifs instrumentaux, c'est la commune expérience de la matière, de ses contraintes et de ses potentialités qui autorise une approche comparée et une compréhension relative.

Le revers de cette labilité des relations artisanales, savantes et techniciennes est une forte concurrence pour faire valoir ses droits de primautés d'une invention. L'espace interstitiel est peu balisé par les institutions et faiblement soumis à des règles de priorité. Chaque surgissement d'une invention technique est l'occasion d'une lutte pour imposer son originalité. L'horloge à pendule de Huygens ne fait pas exception et la correspondance du savant hollandais bruit des nombreux concurrents qui lui dénie une quelconque avance dans la fabrication de son instrument. Daniel S. Landes rappelle qu'à « l'annonce de la nouvelle horloge de Huygens », un « tollé d'indignation et d'amour-propre blessé » est né en Italie : « Huygens fut accusé de plagier Galilée »³⁹.

Les horloges mécaniques font l'objet de recherches intenses au XVII^e siècle. Leur conception, les principes mécaniques qui les sous-tendent et les développements mathématiques qu'elles exigent sont au centre des travaux de nombreux savants. Les propositions de Galilée (qui « avait (...) indiqué la possibilité d'utiliser un pendule pour mesurer le temps »⁴⁰), les « recommandations de Riccioli » ainsi que « l'étude des vibrations des cordes musicales par Mersenne »⁴¹ ont ouvert la voie à de nouvelles interrogations sur l'amélioration des horloges. L'invention de Huygens prend donc place dans un secteur très concurrentiel et l'espace interstitiel qui permet la production d'horloges mécaniques fondées sur des principes innovants est saturé de propositions.

³⁵ L. Reverchon, 1916, p. 109.

³⁶ Lettre n° 1649 de C. Estienne à C. Huygens, in *Œuvres complètes*, T. VI : *Correspondance, 1666-1669*, La Haye, Martinus Nijhof, 1895, p. 232.

³⁷ Lettre n° 1661 de C. Huygens à C. Estienne, 21 septembre 1668, in *Ibidem*, p. 259.

³⁸ Lettre n° 1712 de C. Estienne à C. Huygens, 13 mars 1669, in *Ibidem*, p. 380.

³⁹ D.S. Landes, 2000, p. 128.

⁴⁰ H.J.M. Bos, 1982, p. 6.

⁴¹ L. Diehl Patterson, 1952, p. 280.

Le poète Jean Chapelain s'alarme en mai 1658 :

« (...) Monsieur de Roberval ayant vu dans vostre lettre la promesse de vostre horloge dit qu'il en avoit donne un Modelle il y avoit plus de quinze ans fondé sur les pendules et qu'il seroit fascheux que vostre Construction se reconstrat la mesme que la sienne (...) »⁴².

Huygens répond prudemment en rappelant que sur d'autres domaines lui et Roberval se sont « quelquesfois rencontrez dans la mesme recherche » ; il attend de « scavoir s'il y aura la mesme ressemblance entre [leurs] deux constructions qu'il y avoit entre [leurs] theoremes »⁴³. De même, Huygens suit avec attention les travaux anglais sur les cycloïdes. Il remercie ainsi Boulliau en janvier 1659, de lui avoir fait parvenir « les imprimez sur le subject de la Cycloïde, ou [il a] trouvé une admirable invention d'un certain Wren (...) »⁴⁴. L'astronome poitevin répond, quelques jours plus tard que « L'invention de Monsieur Wren anglois est certainement belle & la considération de toutes les parties de la cycloïde & de ses proprietiez descouvrira plusieurs belles choses »⁴⁵. C'est que sur le front théorique, la concurrence est également acharnée. À Oxford, la « théorie des vibrations »⁴⁶ est particulièrement étudiée au moment où Huygens annonce ces premiers résultats. En particulier, Christopher « Wren était considéré par la Royal Society comme l'auteur original de la loi de la conservation de la quantité de mouvement (...), il était aussi le principal instigateur des recherches anglaises sur le mouvement des pendules et des travaux sur la théorie des lois du mouvement »⁴⁷.

L'espace interstitiel dans lequel Huygens opère est peu régulé – les académies n'y font pas (encore) formellement autorité. Et nous verrons que, sur le terrain commercial, ce relâchement relatif des règles de priorité ne va pas sans quelques difficultés.

Lorsque Huygens propose son horloge à pendule comme instrument générique, il engage une conception générique de l'artefact, qu'il fonde sur un travail théorique. Dans le même temps, l'espace socio-épistémique interstitiel qu'il investit pour faire connaître et discuter ses travaux est très encombré. Cette forte concurrence est aussi la conséquence d'une implantation dans un secteur à forte labilité, entre artisanat et pratiques savantes.

Toutefois, la plasticité de l'horloge à pendule permet sa circulation dans des espaces socio-épistémiques plus structurés et susceptibles de tirer parti de ses qualités génériques.

L'horloge à pendule, au carrefour des pratiques

La possibilité de circuler dans des aires de pratiques très diverses constitue la qualité la plus remarquable d'un instrument générique. Doté d'une grande plasticité (dans ses modularités, sa composition, ses points d'application), il peut servir des enjeux scientifiques variés. L'horloge à pendule de Huygens a souvent été limitée à ses usages marins, pour la mesure des longitudes. Si ce domaine d'investigation, particulièrement travaillé au XVII^e siècle, est effectivement un espace épistémique susceptible d'accueillir l'œuvre de Huygens, il nous faut considérer l'ensemble des régimes de sciences dans lesquelles l'horloge à pendule est mobilisée : le régime disciplinaire (dans deux disciplines), le régime utilitaire et même le régime régulateur.

⁴² Lettre n° 484, J. Chapelain à C. Huygens, in *Œuvres complètes*, T. II, *op. cit.*, p. 175-176.

⁴³ Lettre n° 488, C. Huygens à J. Chapelain, 6 juin 1658, in *Ibidem*, p. 181.

⁴⁴ Lettre n° 565, C. Huygens à I. Boulliau, 16 janvier 1659, in *Ibidem*, p. 314.

⁴⁵ Lettre n° 575, I. Boulliau à C. Huygens, 31 janvier 1659, in *Ibidem*, p. 331.

⁴⁶ L. Diehl Patterson, 1952, p. 316.

⁴⁷ *Ibidem*, p. 319.

Le savant hollandais a, dans les écrits qui accompagnent son invention, précisé les publics qu'il souhaitait atteindre.

Dans son *Horologium* de 1658, Huygens se veut très généraliste. Il évoque, pour son horloge, un « nouveau moyen de mesurer le temps »⁴⁸, sans préciser immédiatement des applications concrètes. Plus loin, il précise la généalogie technique dans laquelle s'inscrit son travail :

« Quiconque sait que depuis déjà plusieurs années, les astronomes ont commencé à utiliser les pendules, s'imaginera facilement que ces pendules d'astronomes ont fourni l'occasion de notre intervention. En effet, devant l'impuissance des clepsydras et des divers instruments automatiques, jusqu'alors employés dans leurs observations, ils finirent par adopter la méthode – dont Galileo Galilei, cet homme de génie, fut l'initiateur – qui consiste à mettre en mouvement à la main un poids suspendu à une chaîne légère, dont les oscillations comptées correspondent à un même nombre d'intervalles de temps égaux. À l'aide de cette méthode ils firent des observations d'éclipses avec plus d'exactitude qu'auparavant et mesurèrent aussi avec succès le diamètre du soleil et quelques distances d'étoiles. Mais, outre que le mouvement venait nécessairement à manquer aux pendules s'il n'était pas entretenu par un assistant, c'était une occupation fastidieuse que de compter toutes les allées et les venues, travail auquel quelques-uns se consacrèrent avec une admirable patience durant des nuits entières, comme ils le disent dans leurs ouvrages. Pour nous, voyant la très grande égalité de ce genre de mouvement, et le considérant comme uniquement apte, parmi les mouvements que la nature nous présente, à passer dans la construction mécanique, nous cherchâmes le moyen de réaliser cette construction le plus commodément possible, et de remédier de cette façon au double inconvénient signalé ci-dessus. Après avoir examiné beaucoup de projets, nous nous sommes arrêtés à celui que nous allons décrire, comme le simple et le plus facile »⁴⁹.

C'est bien par le régime disciplinaire – celui de l'astronomie – que Huygens investit en priorité. Son instrument s'inscrit très directement dans la lignée des dispositifs destinés à accompagner et rendre plus précise l'observation du ciel. De fait, lors l'observation de l'éclipse solaire du 2 juillet 1666, menée dans « la maison de Monsieur Colbert » par Huygens, Pierre de Carcavi, Gilles Personne de Roberval, Adrien Auzout, Bernard Frénicle de Bessy et Jacques Buot, on compte, dans l'arsenal instrumental mobilisé, outre « des lunettes de 7 et 13 pieds », un « sextans de six pieds de rayon », et « une pendule de Monsieur Hugens qui marque très juste les Secondes, et qui a esté éprouvée depuis longtemps »⁵⁰. Rapidement adoptée, l'horloge à pendule est intégrée dans le processus d'observation. Philippe La Hire, astronome et académicien, ne tarit pas d'éloges sur l'instrument de Huygens :

« (...) je suis tres persuadé que lon a en ce point toute la perfection ou lon pourra jamais atteindre, et si j'ay esté assez heureux pour faire plus en astronomie que ceux qui m'ont precedé sur le mouvement et sur la position des astres, c'est à vous Monsieur a qui j'en suis redevable ; car sans la mesure exacte du temps le secours de nos pinules a lunettes qui sont a la verité dune tres grande importance nauroit pas pu me mener aussi loin que j'ay esté »⁵¹.

⁴⁸ C. Huygens, « *Horologium de 1658* », in *Œuvres complètes*, T. XVII : *L'horloge à pendule 1656-1666*, La Haye, Martinus Nijhoff, 1932, p. 53.

⁴⁹ Ibidem, p. 54.

⁵⁰ « Observation de l'Eclipse du Soleil du 2 juillet 1666 », in *Œuvres complètes*, T. VI : *Correspondance, 1666-1669*, La Haye, Martinus Nijhof, 1895, p. 58.

⁵¹ Lettre n° 2589, Ph. de la Hire à C. Huygens, 11 mai 1690, in *Œuvres complètes*, T. IX : *Correspondance, 1685-1690*, La Haye, Martinus Nijhoff, 1901 p. 420.

Mais la capacité plastique de l'horloge à pendule lui permet d'être éligible dans un autre secteur disciplinaire, propre à l'époque moderne, celui des sciences nautiques⁵². Ces dernières rassemblent toute une gamme de savoirs impliqués dans la navigation, de la construction des navires à leur conduite, de la mesure de la vitesse aux manières de trouver sa position en mer. Discipline orientée vers la pratique, les sciences nautiques s'ancrent, dès le XVII^e siècle, dans des institutions : ainsi les chaires d'hydrographie des Jésuites à Caen, Nantes, Brest, La Rochelle, Perpignan, Montpellier, Marseille, Toulouse et Cahors⁵³ forment des pilotes aux techniques de navigation⁵⁴. Des ouvrages, nombreux, viennent nourrir la connaissance pratique des déplacements en mer : de Michel Coignet, qui publie dès la fin du XVI^e siècle, une *Instruction nouvelle des poincts plus excellents et nécessaires touchant l'art de naviguer*⁵⁵, jusqu'à la roborative *Hydrographie* de Georges Fournier⁵⁶, en passant par le *Traité complet de navigation* de Pierre Bouguer, paru en 1698, les savoirs nautiques s'organisent dans une diversité d'approches.

Le problème central des sciences de la mer, depuis le XV^e siècle, concerne la détermination des longitudes. De nombreuses techniques sont mises en œuvre pour trouver, de la façon la plus précise possible, la longitude du lieu pour conduire le navire⁵⁷ : éclipses des satellites de Jupiter, distances lunaires, occultation d'étoile... Toutes ces solutions sont imprécises et insuffisantes. Les longitudes continuent de constituer, tout au long des XVII^e et XVIII^e siècles, un problème pratique suscitant des tentatives nombreuses de résolution. Elles sont le principal objet de discussion au sein des sciences nautiques à l'époque moderne. La possibilité, pour Huygens, de faire circuler un instrument capable de répondre aux attentes de cette discipline témoigne de la généricité intrinsèque de son horloge.

Dès 1658, dans son *Horologium*, destiné à présenter au plus grand nombre⁵⁸ les caractéristiques de son invention, le physicien hollandais donne, en 1665, une « Brève instruction au sujet de l'emploi de horloges pour trouver les Longitudes Orientales et Occidentales »⁵⁹, dans laquelle il dresse des recommandations pour utiliser son instrument en mer. Il suggère par exemple de prendre « au moins deux des nouvelles horloges à pendule » au cas où « l'une d'elles vienne à s'arrêter par accident ou par suite d'une négligence (...) »⁶⁰. Le physicien détaille ensuite la méthode à employer pour « trouver la longitude sur mer à l'aide d'observations du lever et du coucher du Soleil et de l'heure des horloges »⁶¹. Huygens, lorsqu'il se rend à Amsterdam en mars 1665, essaie de convaincre des « gens de mer » pour les convaincre de « l'utilité »⁶² de son invention.

Les premières tentatives sur l'eau sont ont lieu en 1664, sur « un vaisseau anglais » qu'un « gentilhomme d'Écosse de [s]es amis (...) avait fait fabriquer à l'exemple des [siennes] »⁶³.

⁵² Pour le XVIII^e siècle, voir Fauque, 2010.

⁵³ F. Russo, 1986 ; F. de Dainville, 1986.

⁵⁴ J. Lamy, 2003, 2006.

⁵⁵ M. Coignet, 1581.

⁵⁶ G. Fournier, 1643.

⁵⁷ G. Boistel, 2001.

⁵⁸ N. Howard, 2008. Voir également J.G. Yoder, 2005.

⁵⁹ C. Huygens, « Brève instruction au sujet de l'emploi des horloges pour trouver les Longitudes Orientales et Occidentales », in *Œuvres complètes*, T. XVII : *L'horloge à pendule de 1651 à 1666, Travaux divers de physique de mécanique et de technique de 1650 à 1666, Traité des couronnes et des parhélies (1662 ou 1663)*, La Haye, Martinus Nijhoff, 1932, p. 209.

⁶⁰ Ibidem, p. 202.

⁶¹ Ibidem, p. 218.

⁶² Lettre n° C. Huygens à Constantyn Huygens, père, 26 mars 1665, in *Œuvres complètes*, T. V : *Correspondance 1664-1665*, La Haye, Martinus Nijhoff, 1893, p. 277.

⁶³ C. Huygens, *Œuvres complètes*, T. XVIII : *L'horloge à pendule ou à balancier de 1666 à 1695, Anecdota*, La Haye, Martinus Nijhoff, 1934, p. 114.

Puis « les expériences ont été répétées, quelquefois par les Hollandais, d'autres fois par les Français (...) avec un succès variable (...) »⁶⁴.

À de nombreuses reprises dans sa correspondance, Huygens considère le passage sur l'océan comme une épreuve décisive, un moyen de valider son invention, une expérience cruciale. Le 9 juin 1662, il écrit ainsi au savant anglais Robert Moray :

« Je fais encore tous les jours des essais avec une horloge a petit pendule, et je trouue que son cours est assez juste estant en repos pour pouuoir servir aux Longitudes, et aussi qu'elle souffre sans s'arrester le mouuement que je luy donne en ma chambre ou elle est suspendue par des cordes de 5 pieds de long, mais je n'ay pas encore fait l'espreuve sur l'eau, pour la quelle il faudroit estre dans un vaisseau de raisonnable grandeur et dans la mer mesme qui fut agitée, a quoy je ne scay pas quand je pourray parvenir »⁶⁵.

Six mois plus tard Huygens précise, encore à Moray, qu'il est prêt « a faire reussir sur mer, s'il est possible, les horloges a pendules »⁶⁶. On mesure donc l'obstination du physicien hollandais à vouloir convaincre de la pertinence de son instrument générique pour les sciences nautiques. Et ses amis ne s'y trompent pas, qui voient en lui celui qui parviendra à résoudre l'épineux problème de la mesure des longitudes en mer. Le poète Jacques Chapelain, après avoir vu les plans de l'invention, lui fait part de son enthousiasme : « (...) vous pouvés penser que la proposition seule de trouver les longitudes par cette voye, est une chose à resueiller l'attention de toute l'Europe (...) »⁶⁷.

Mais les difficultés s'accumulent sans cesse et les résultats positifs se font attendre. Il s'agit notamment de contrer le roulis et le tangage du navire. Huygens pense, dans un premier temps, que les horloges à pendule qu'il a réalisées peuvent contenir « des mouvements brusques et irréguliers » comme « ceux d'un navire agité »⁶⁸. Les essais menés en mer par le savant écossais Alexander Bruce ne sont guère concluants : « la mer les a mis en déroute »⁶⁹ constate piteusement Huygens en février 1663. Robert Moray, qui suit de près les expériences, redoute « les mouvements subites du vaisseau de haut en bas, et le contraire, qui tantost arrestent le pendule de l'horloge plus long temps en l'air, tantost l'accelere : tantost le rend plus pesent, tantost plus leger, et cela avec des inegalitez, qui me semble ne pouvoir manquer a causer des desreiglemens au mouvement des rouës de l'horloge ». Moray songe alors à réviser « l'architecture des vaisseaux qui semblent ne pouvoir estre reduites a aucune reigle »⁷⁰.

Huygens ne cessera de vouloir améliorer son invention pour réussir à en faire un instrument performant dans la quête des longitudes en mer. Il déclare, en 1662, qu'il a trouvé « quelque chose de nouveau » pour ses « horloges qui fera qui fera qu'elles seront encore beaucoup plus exactes qu'auparavant et c'est ce qui me donne entiere confiance de venir a bout de cette invention des Longitudes (...) »⁷¹.

⁶⁴ Ibidem, p. 114.

⁶⁵ Lettre n° 1022, C. Huygens à R. Moray, 9 juin 1662, in *Œuvres complètes*, T. IV : *Correspondance*, 1662-1663, La Haye, Martinus Nijhoff, 1891, p. 148.

⁶⁶ Lettre n° 1080, C. Huygens à R. Moray, 1^{er} décembre 1662, *Ibidem*, p. 274.

⁶⁷ Lettre n° 543, J. Chapelain à C. Huygens, 30 octobre 1658, in *Œuvres complètes*, T. II, *op. cit.*, p. 266.

⁶⁸ Lettre n° 1080, C. à R. Moray, 1^{er} décembre 1662, in *Œuvres complètes*, T. IV, *op. cit.*, p. 274.

⁶⁹ Lettre n° 1097, C. Huygens à R. Moray, 2 février 1662, *Ibidem*, p. 304.

⁷⁰ Lettre n° 1102, R. Moray à C. Huygens, *Ibidem*, p. 318

⁷¹ Lettre n° 1178, C. Huygens à R. Moray, 9 décembre 1663, *Ibidem*, p. 458.

Ce n'est qu'au XVIII^e siècle que John Harrison parviendra à construire des horloges précises et capables de supporter le transport maritime⁷². Mais la voie ouverte par Huygens permet de saisir les tentatives de faire circuler l'horloge à pendule au cœur des sciences nautiques. L'enjeu est de résoudre un problème ancien de navigation et de proposer un équipement adaptable, capable de servir en mer.

Si l'astronomie et les sciences nautiques sont des disciplines proches, à une époque où les frontières épistémiques sont encore très labiles (et nombre d'astronomes œuvrent dans les deux disciplines), il n'empêche que les deux espaces de recherche ne se superposent pas strictement. L'horloge de Huygens est adoptée dans les cercles de l'astronomie académique, mais son manque de fiabilité en mer ne permet pas d'en valider l'usage pour la navigation.

Le régime disciplinaire n'est pas le seul investi par l'instrument de Huygens. Comme nous l'avons vu, pour construire et faire reconnaître son équipement générique, le savant hollandais occupe un espace interstitiel dans lequel l'artisanat le dispute à la pratique scientifique. Précisément, les horloges à pendule sont aussi des objets commerciaux qui font l'objet d'une évaluation marchande et d'une régulation des ventes.

Robert Moray, en 1662, propose un plan d'accréditation commerciale à large échelle pour l'horloge à pendule de Huygens. Il lui écrit qu'il est nécessaire de savoir « en quels lieux [ils] auron[t] à prendre des privileges et en quels y proceder d'une autre methode, cest a dire en demandant des recompenses »⁷³. C'est toute la disparité des modalités européennes de protection des inventions qui apparaissent alors : la récompense pourrait venir des États de Hollande, « la patente portant privilege » qu'il partagerait avec Alexander Bruce, « Comte de Kincardin » lui permettrait de délivrer des autorisations d'usage de l'horloge... Moray ajoute qu'il est possible de faire « de mesme en France » ou de négocier « avec le Roy une recompense sans demander patentes (...) ». Le physicien anglais précise que « pour la Grande Bretagne, il ne sera pas difficile d'en avoir le privilege », mais il ne faut guère compter sur une récompense ». Moray promet de « taster le poulx à ces Marchands qui ont fait de si belles offres au Portugais (...) ». Il ajoute : « Au reste pour l'Espagne, le Dennemark, la Suede, les villes Anseatiques &c. Je crois qu'il ne sera pas difficile d'obtenir des patentes pourveu quewr le ieu vaille la chandelle. il est vray que J'ay ouij dire, que le Roy d'Espagne a proposé quelque recompence pour le secret des longitudes et sil en est ainsi, il vaudra pour le moins la peine de la demander »⁷⁴.

Huygens informe Moray, en janvier 1665, qu'il a effectivement « obtenu le Privilege de Messieurs [des] Estats avec lettres d'attache de la Province d'Hollande. Il deffend a tous l'usage des horloges a pendule sur mer, et en particulier de contrefaire pour quelque usage que ce soit ceux de ma derniere invention »⁷⁵.

Auprès de l'administration royale française, Huygens sollicite un placet⁷⁶, qui, là encore, doit protéger son invention contre les reproductions indues.

La Compagnie Hollandaises des Indes Orientales – notamment via Johannes Hudde – envisagera même dans les années 1680, une relation commerciale avec le savant hollandais pour supporter son travail sur les horloges en mer, et en, *in fine*, en tirer profit commercialement⁷⁷.

⁷² J. Lamy, 2019.

⁷³ Lettre n° 1247, R. Moray à C. Huygens, 31 juillet 1664, in *Œuvres complètes*, T. V, *op. cit.*, p. 94

⁷⁴ Lettre n° 1247, R. Moray à C. Huygens, 31 juillet 1663, *Ibidem*, p. 94. Les citations précédentes sont tirées de la même lettre.

⁷⁵ Lettre n° 1301, C. Huygens à R. Moray, 2 janvier 1665, *Ibidem*, p. 186.

⁷⁶ Lettre n° 1335, C. Huygens à Constantyn Huygens, père, 26 février 1665, *Ibidem*, p. 243. Voir A. Ruellet, 2016, chapitre. V.

⁷⁷ A. Van der Kraan, 2001.

Voici donc l'horloge à pendule inscrite dans le registre des objets marchands, tout en étant protégée comme une invention originale. Le marché des instruments scientifiques est naissant au XVII^e siècle, mais il est suffisamment dynamique pour alimenter les expérimentateurs (académiciens ou non)⁷⁸. Huygens prend une part très active dans la commercialisation de son invention. Même s'il est aidé (notamment par Moray) pour maîtriser les différentes règles européennes de protection des inventions, il positionne son instrument dans l'aire marchande et se plie aux spécificités administratives de chaque État. La circulation d'un instrument générique dans un espace commercial s'appuie moins sur ses qualités plastiques ou sa multipositionnalité disciplinaire que sur la capacité à trouver un public (marins, marchands) susceptible d'utiliser pour leurs activités un dispositif précis de mesure du temps.

Enfin, l'horloge à pendule de Huygens est également importante au sein du régime régulateur, qui englobe l'ensemble des sciences mises à contribution pour gouverner. À l'époque moderne, ce sont principalement les savoirs relatifs à la maîtrise des territoires (pour les conquêtes, la levée de l'impôt, la solidification territoriale) qui sont privilégiés. La cartographie par exemple est un enjeu important et n'échappe pas à l'orbite du pouvoir. L'invention de Huygens se trouve au croisement de préoccupations politiques intenses au XVII^e siècle. Dans la préface qui ouvre son *Horologium Oscillatorium* de 1672, Huygens rend hommage au soutien de Louis XIV aux entreprises savantes. Et il associe son invention au programme d'une science au service du gouvernement :

« Quant à l'utilité de mon invention, il n'est pas nécessaire, Puissant Roi, que je me serve de beaucoup de paroles pour la faire voir. En effet, non seulement Tu as pu constater par une expérience journalière, depuis que mes pendules ont mérité d'être reçues dans les appartements intimes de Ton palais²), de combien elles surpassent les autres horloges, mais de plus Tu n'ignores pas les usages plus spéciaux auxquels je les destinai dès le commencement. Je veux parler des services qu'elles peuvent rendre tant dans les observations célestes que dans la mesure des longitudes des différents lieux par les navigateurs. En effet, suivant Tes ordres nos Horloges ont été envoyées par mer plus d'une fois; d'autre part on en peut voir un assez grand nombre destinées à l'usage des astronomes et placées sous Tes auspices dans ce merveilleux Observatoire que Tu as récemment fait construire avec une libéralité insigne et surpassant celle de tout autre roi. Toutes les fois que je réfléchis à ces choses, je me félicite hautement du bonheur qui m'est échu de faire cette invention dans le temps de Ton règne »⁷⁹.

Si les longitudes servent la science de la navigation, elles sont aussi un instrument de domination politique sur les mers. L'implication du roi de France dans les essais signale un intérêt du pouvoir pour une invention susceptible de donner un avantage décisif dans la géopolitique heurtée de la fin du XVII^e siècle.

L'horloge à pendule de Huygens investit donc trois régimes de science. Elle trouve place, au sein de la discipline astronomique dans l'arsenal ordinaire des observateurs ; elle est activement éprouvée pour une avancée déterminante concernant les longitudes dans les sciences de la navigation. Prenant place dans l'économie naissante des instruments savants, l'invention du savant hollandais est inscrite dans les circuits commerciaux européens de l'époque. Enfin, elle est captée par le pouvoir royal afin d'affermir, potentiellement, sa

⁷⁸ M. Dumas, 1953 ; A.J. Turner, 1987 ; Bennett, 1987 ; G. L'Estrange Turner, 2000 ; I. Rhys Morus, 2016.

⁷⁹ C. Huygens, « *Horologium Oscillatorium* de 1673 », in *Œuvres complètes*, T. XVIII : *L'horloge à pendule ou à balancier de 1666 à 1695*, Anecdota, La Haye, Martinus Nijhoff, 1934, p. 77-78.

domination maritime. Régime disciplinaire, régime utilitaire et régime régulateur : l'horloge à pendule traverse des espaces socio-épistémiques en voie de stabilisation au XVII^e siècle. Si le régime disciplinaire éprouve sa plasticité et sa modularité, ce sont ces propriétés marchandes et politiques qui permettent sa mobilisation utilitaire et régulateur.

L'horloge de Huygens apparaît donc comme un instrument générique pris dans les rets mouvants des débuts de la science moderne. Conçue en suivant une théorie mathématique discutée à l'époque (celle des cycloïdes), elle est fondée sur une modularité mise à l'épreuve par les correspondants de Huygens. L'enjeu est, rapidement, de tester sa plasticité (par le changement de telle ou telle pièce, par une ergonomie différente...) et de multiplier ses champs d'usage. Pour parvenir à maintenir une forme d'équilibre entre ces exigences mécaniques et les attributs théoriques de l'objet, Huygens se place dans un espace interstitiel où l'on trouve des artisans spécialistes d'instrumentation comme des savants reconnus cherchant à mener leurs propres observations.

Cette combinaison de propriétés socio-épistémiques distinctives explique, au moins en partie, pourquoi l'horloge, en tant qu'instrument générique, peut circuler dans les espaces disciplinaires comme l'astronomie ou la science nautique, au cœur des marchés de l'instrumentation ou dans les arènes du pouvoir. Huygens, s'il a beaucoup travaillé sur l'adéquation de son instrument aux attentes concernant les longitudes, n'a pas négligé toutes les autres possibilités d'adaptation de son horloge à pendule. Il a rendu possible ses usages multiples, tout en veillant à les réguler (notamment par la maîtrise commerciale de sa reproduction). Pour qu'un instrument générique trouve les voies multiples de sa reconnaissance, il importe de diffuser largement ses potentialités (ce que fait Huygens en publiant des textes d'accompagnement), de travailler à convaincre les utilisateurs, de le mettre à l'épreuve, de maintenir un certain équilibre entre les différents publics visés. C'est à ce prix que la circulation interstitielle du régime technico-instrumental reste optimale.

Références :

- ARIOTTI Piero E., « Aspects of the Conception and Development of the Pendulum in the 17th Century », *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 8, n°5, 1972, p. 329-410.
- AUZOUT Adrien, « Du micromètre » dans *Divers ouvrages de mathématiques et de physique par Messieurs de l'Académie Royale des Sciences*, Paris, Imprimerie Royale, 1693, p. 413-422.
- BENNETT James A. « Shopping for Instruments in Paris and London », dans Pamela H. Smith, Paula Findlen (dir.), *Merchants & Marvels. Commerce, Science, and Art in Early Moderne Europe*, New York, Routledge, 2002, p. 370-395.
- BENNETT James A., *The Divided Circle. A History of Instruments for Astronomy, Navigation, and Surveying*, Oxford, Phaidon Christie's, 1987.
- BOISTEL Guy, *L'astronomie nautique au XVIII^e siècle en France. Tables de la lune et longitudes en mer*, Thèse d'histoire des sciences, Université de Nantes, 2001.
- BOS H. J. M., « Œuvre et personnalité de Huygens », in *Huyens et la France*, Paris, Vrin, 1982, p. 3-16.
- Chareix, F., « Vaincre la houle : les horloges marines de Christiaan Huygens », in Vincent Jullien (ed.), *Le calcul des longitudes. Un enjeu pour les mathématiques, l'astronomie, la mesure du temps et la navigation*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2002, p. 169-202.
- COIGNET Michel, *Instruction Nouvelle des poincts plus excellents & nécessaires, touchant l'art de naviguer*, Anvers, Chez Henry Hendrix, 1581
- DAUMAS Maurice, *Les instruments scientifiques aux XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, Presses Universitaires de France, 1953.

DE DAINVILLE François « L'enseignement scientifique dans les collèges des Jésuites », dans TATON René (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 1986, p. 28-30.

DE Solla Price Derek, *On the Origin of Clockwork, perpetual motion devices and the compass*, Washington D.C., Smithsonian Institution, 1959.

DIEHL PATTERSON Louise, « Pendulum of Wren and Hooke », *Osiris*, vol. 10, 1952, p. 277-321.

FAUQUE Danielle, « De l'art de naviguer à la science nautique au Siècle des Lumières », *Revue d'histoire des sciences*, T. 63, n°1, 2010, p. 189-219.

FOUCHER Simon, *Traité des hygromètres ou machines pour mesurer la sécheresse et l'humidité de l'air*, Paris, Chez Estienne Michallet, 1686.

FOURNIER Georges, *Hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la navigation*, Paris, Chez Michel Soly, 1643.

HOWARD Nicole, « Marketing Longitude : Clocks, Kings, Courtiers, and Christiaan Huygens », *Book History*, vol. 11, 2008, p. 59-88.

IHL Olivier (dir.), *Les « sciences » de l'action publique*, Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble, 2006.

IHL Olivier, KALUSZYNSKI Martine, POLLET Gilles (dir.), *Les sciences de gouvernement*, Paris, Economica, 2003.

KALUSZYNSKI Martine, PAYRE RENAUD (dir.), *Savoirs de gouvernement. Circulation(s), traduction(s), réception(s)*, Paris, Economica, 2003.

L'ESTRANGE TURNER, Gerard, *Elizabethan Instrument Makers. The Origin of the London Trade in Precision Instrument Making*, Oxford, Oxford University Press, 2000.

LAMY Jérôme, « Des sciences par et pour le gouvernement. Sur le régime réglementaire des sciences contemporaines », *Sociologie et sociétés*, vol. 47, n°2, 2015, p. 287-309.

LAMY Jérôme, « L'astronomie dans les traités d'hydrographie des Jésuites (XVII^e-XVIII^e s.) », *Chroniques d'histoire maritime*, n° 52, 2003, p. 60-68.

LAMY Jérôme, « L'État et la science. Histoire du régime réglementaire (France, XVI^e-XX^e siècles) », *Cahiers d'histoire. Revue d'histoire critique*, n° 134, 2017a, p. 87-111.

LAMY Jérôme, « La science à la cour de Versailles : mise en scène du savoir et démonstration du pouvoir (XVII^e-XVIII^e siècles), *Cahiers d'histoire. Revue d'histoire critique*, n° 136, 2017b, p. 71-99.

LAMY Jérôme, « Le problème des longitudes en mer dans les traités d'hydrographie des Jésuites aux XVII^e et XVIII^e siècles. Choix méthodologiques et pratiques instrumentales », *Histoire & Mesure*, vol. XXI, 2006, p. 95-120.

LANDES David S. « Techniques et révolutions scientifiques. L'exemple de la mesure du temps », *History and Technology*, vol. 4, n° 1-4, 1987, p. 531-541.

LANDES David S., *Revolution in Time. Clocks and the Making of the Modern World*, Cambridge (Mass.), The Belknap Press of Harvard University Press, 2000.

MARCOVICH Anne, SHINN Terry, « Science research regime as architectures of knowledge in context: A 'longue durée' comparative historical sociology of structures and dynamics in science », *Social Science Information*, vol. 59, n°2, 2020, p. 310-328.

MILLET Audrey, « Tracer le monde : outils et instruments de la Renaissance aux Lumières », *Artefact. Technique, histoire et sciences humaines*, n°4, 2016, p. 215-231.

PARROCHIA Daniel, « Les progrès des instruments scientifiques aux XVII^e et XVIII^e siècles », *Littératures classiques*, n° 43, 2001, p. 181-191.

REVERCHON Léopold, « Huygens horloger », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 27^e année, n°4, 29 février 1916, p. 105-112.

RHYS MORUS Iwan, « Invisible Technicians, Instrument-makers and Artisans », dans LIGHTMAN Bernard (dir.), *A Companion to the History of Science*, Malden, John Wiley & Sons Ltd, 2016, p.

RUELLET, Aurélien, *La Maison de Salomon. Histoire du patronage scientifique et technique en France et en Angleterre au XVII^e siècle*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2016, p. 125-171.

RUSSO François « L'hydrographie en France aux XVII^e et XVIII^e siècles. Écoles et ouvrages d'enseignement », dans TATON René (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 1986, p. 419-440.

SHINN Terry, « Formes de division du travail scientifique et convergence intellectuelle. La recherche technico-instrumentale », *Revue française de sociologie*, T. 41, n°3, 2000, p. 447-473.

SHINN Terry, RAGOUET Pascal, *Controverses sur la science. Pour une sociologie transversaliste de l'activité scientifique*, Paris, Raisons d'Agir, 2005.

SPEISER David, « Le "Horologium Oscillatorium" de Huygens et les "Principia" », *Revue Philosophique de Louvain*, 4^e série, T. 86, n°72, 1988, p. 485-504.

TURNER Anthony J. *Early Scientific Instruments, Europe 1400-1800*, Londres, Sotheby's, 1987.

VAN DAMME, Stéphane, *Paris, capital philosophique. De la Fronde à la Révolution*, Paris, Odile Jacob, 2005.

VAN DER KRAAN Alfons, « The Dutch East India Company, Christiaan Huygens and the Marine Clock, 1682-95 », *Prometheus. Critical Studies in Innovation*, 2001, vol. 19, n°4, p. 278-298.

YODER Joella G., « Christiaan Huygens, book on the pendulum clock (1673) » dans GRATTAN-GUINNESS I. (dir.), *Landmark Writings in Western Mathematics 1640-1940*, Amsterdam, Elsevier, 2005, p. 33-45.

ZIGGELAAR August J., « Les Premières Démonstrations du Tautochronisme de la Cycloïde, et une conséquence pour la théorie de la vibration harmonique. Études sur Ignace Gaston Pardies II », *Centaurus*, vol. 12, n°1, 1968, p. 21-37.