

Faire l'expérience du pendule : les travaux de Tito Livio Burattini (1617-1681)

Augustin Gomand

Résumé

*La plupart des études actuelles sur les premières horloges à pendule se concentrent sur les prototypes imaginés par Christian Huygens, décrits dans l'*Horologium* en 1658 et l'*Horologium Oscillatorium* en 1673, ainsi qu'aux modèles commerciaux réalisés par Salomon Coster et reproduits par divers horlogers en Europe. On sait toutefois que d'autres savants ont tenté d'appliquer le pendule aux horloges parallèlement aux travaux de Huygens, ou en s'en inspirant. Les horloges issues de ces travaux sont intéressantes à plus d'un titre car elles ont été conçues dans un but expérimental et scientifique, pour faire l'expérience de l'oscillateur pendulaire et en éprouver la régularité; elles présentent à ce titre des structures qui s'écartent des modèles proposés par Huygens. Plusieurs descriptions succinctes de telles horloges expérimentales conçues par l'ingénieur Tito Livio Burattini ont été récemment redécouvertes et sont l'occasion de s'attarder sur ses réalisations originales, et de comprendre comment elles s'intègrent dans le contexte scientifique de l'époque et sont liées à la personnalité de leur inventeur. Cet article fait partie du Projet Simon Le Noir¹.*

Introduction

Le sujet des premières horloges à pendule est l'objet de discussions régulières depuis maintenant plusieurs décennies. Bien que les grandes lignes de cette histoire soient connues depuis longtemps, il est intéressant de constater que de nombreux documents inédits ont été récemment redécouverts et viennent affiner notre perception du contexte historique et social dans lequel les "pendules" ont été inventées, puis commercialisées.

La majorité des articles publiés sur ce sujet concernent les régulateurs scientifiques imaginés par Christian Huygens, et les modèles domestiques fabriqués et commercialisés par Salomon Coster. On trouve en revanche assez peu d'études sur les autres horloges à pendule primitives qui ont dérivé de ces conceptions, conçues par des horlogers indépendants ou des savants qui, ayant eu vent de la nouveauté, et l'ayant aperçue de leurs propres yeux pour certains, s'étaient décidés à en fabriquer des variantes.

L'ingénieur italien-polonais² Tito Livio Burattini est l'un de ces savants qui, enthousiasmé par l'invention nouvelle de l'horloge à pendule, l'aura très tôt reproduite sous des formes diverses, en cherchant à en perfectionner le fonctionnement. Ces réalisations atypiques sont décrites dans plusieurs lettres inédites qui sont présentées dans cet article.

Burattini n'était pas seulement un ingénieur hors pair mais également un savant qui suivait de près les théories scientifiques de son époque, et échangeait régulièrement avec ses homologues dans toute l'Europe. Il en viendra ainsi à considérer le pendule, pas seulement d'un point de vue technique, mais comme le point de départ d'une échelle universelle des mesures qu'il proposera dès 1675, plus d'un siècle avant le système métrique instauré après la Révolution Française.

1. <https://agomand.github.io/asln/>

2. Burattini est né en Italie mais a été naturalisé polonais en 1658 par le roi de Pologne, Jean Casimir.

1 Tito Livio Burattini, un ingénieur et expérimentateur méconnu

Tito Livio Burattini est un personnage qui reste encore aujourd’hui largement méconnu du grand public, ce qui est assez surprenant quand on constate l’étendue et la diversité de ses travaux et des liens qu’il a entretenus avec de nombreux savants de toute l’Europe. La première étude qui lui a été dédiée est celle d’Antonio Favaro, publiée en 1896³, qui rassemble notamment la majorité de sa correspondance connue. Burattini est également mentionné dans quelques ouvrages historiques et scientifiques des XIXe et XXe siècles mais le plus souvent de manière évasive. Plus récemment, quelques auteurs, dont Karolina Targosz, se sont penchés sur ses travaux scientifiques et ses liens avec la cour de Pologne⁴. L’étude la plus récente sur Burattini est sans doute celle d’Ilario Tancon⁵. L’introduction à la correspondance de Johannes Hevelius avec Pierre des Noyers, récemment publiée, présente aussi quelques éléments de synthèse sur la vie de Burattini et son rôle dans la vie politique et scientifique de l’époque⁶; on trouve d’autres éléments synthétiques dans l’ouvrage de Jean-Arcady Meyer⁷. On va reprendre ici certains de ces éléments qui permettent de se faire une idée du personnage.

1.1 Éléments biographiques

Tito Livio Burattini (parfois orthographié Boratin, Buratin ou Boratyni) est né en Italie le 8 mars 1617. Il passe les premières années

de sa vie à Venise où il étudie les sciences sous l’enseignement d’un certain Michele Peroni. En 1637, il est envoyé en Égypte, où il mènera pendant quatre ans diverses études, notamment sur l’architecture des pyramides et des obélisques, en cherchant à préciser l’unité de longueur qui avait servi à spécifier les dimensions de la pyramide de Khéops⁸. Il s’intéressera également aux crues du Nil dont il donnera plus tard une démonstration⁹. De retour d’Égypte en 1641, il séjournera un temps en Allemagne, puis ira s’installer à Cracovie où il se liera d’amitié avec Stanislas Pudłowski, éminent savant polonais qui disposait d’un laboratoire de physique.

Il est impossible de décrire la vie de Burattini sans consacrer quelques lignes à Pudłowski, qui contribuera significativement à sa formation et à ses futures réalisations. Ce savant polonais, né en 1597, étudiera à Cracovie et à Rome; lors de ses trois voyages en Italie, il entrera en relation avec de nombreux grands savants de l’époque, dont Viviani et Galilée¹⁰. On sait qu’il avait été recommandé à Galilée en 1640 par Benedetto Castelli, un de ses disciples, qui avait connu Burattini à Rome et disait n’avoir "jamais rencontré quelqu’un d’aussi concerné par les idées de Galilée" (*non ho trovato mai nessuno che con maggiore affetto e sincerità habbia celebrata la dottrina e l’alto sapere di V.S.*). Pudłowski est peut-être un des derniers à avoir eu l’occasion de rencontrer Galilée personnellement, et certainement un de ceux qui ont le plus bénéficié de ses enseignements et ont invité d’autres savants à poursuivre son œuvre. Il a même été rapporté par Burattini qu’il possédait tous les ouvrages imprimés de Galilée mais

3. A. Favaro, *Intorno alla vitae ed ai lavori di Tito Livio Burattini fisico agordino del secolo XVII*, Memorie del Reale Istituto di Scienze, Lettere ed Arti, XXV-8, 1896

4. K. Targosz, *La Cour savante de Louise-Marie de Gonzague et ses liens scientifiques avec la France : 1646-1667* (Wrocław : Zakład Narodowy im. Ossolińskich, 1982)

5. I. Tancon, *La Scienzato Tito Livio Burattini (1617-1681), al servizio dei Re di Polonia* (Université de Trente, 2006)

6. C. Grell et D. Mallet, *Correspondance de Johannes Hevelius - Tome III - Correspondance avec Pierre des Noyers, secrétaire de la reine de Pologne*, pp.23-33

7. J.-A. Meyer, *Dei ex Machinis - vol.II* (Suresnes : les Éditions du Net, 2015), pp.93-112

8. Meyer, *Dei ex Machinis*, p.93

9. T. L. Burattini, *Nuova dimostrazione dell’inondatione del Nilo*, cité par A. Favaro, *Intorno alla vitae ed ai lavori di Tito Livio Burattini*, pp.93-97

10. A. Birkenmajer et S. Dickstein, *Histoire sommaire des sciences en Pologne* (Cracovie : Drukarnia Narodowa, 1933), p.13

11. K. Targosz, *Polski wątek w życiu i sprawie Galileusza „Galileo Galilei e il mondo polacco” Bronisława Bielińskiego (1969) z uzupełnieniami*, Zagadnienia Filozoficzne w Nauce, vol.XXXII, 2003, pp.34-35

également certains de ses manuscrits¹¹.

Burattini travaillera avec Pudłowski jusqu'à la mort de ce dernier en 1645. Il voyagera ensuite en Europe pendant deux ans avant de retourner en Pologne à Varsovie en 1647, sous le règne de Ladislas IV, un souverain qui s'intéressait beaucoup aux sciences et qui avait d'ailleurs commandé à Galilée une lunette astronomique. C'est à ce moment qu'il fait la connaissance de Pierre des Noyers, secrétaire de Louise-Marie de Gonzague, reine de Pologne, qui sera un de ses plus fidèles amis et collaborateur.

Jean Casimir succédera à son frère Ladislas IV à sa mort en 1648. Sous son règne, Burattini, très apprécié de la cour, se verra confier diverses missions scientifiques, diplomatiques, militaires... et apparaîtra comme un homme d'affaires très éclectique. C'est ainsi qu'il est nommé architecte de la cour royale en 1652 et devient l'adjudicataire des mines de plomb et d'argent d'Olkusz puis des mines de fer de Zawadow l'année suivante¹². Pendant ces années, il supervisera la construction du palais de Jean Casimir et s'adonnera également à quelques activités scientifiques créatives qu'on détaillera par la suite. Il reçoit également l'adjudication de la monnaie de Cracovie qu'il dirige un temps avec Paolo del Buono, un autre savant italien dont on parlera plus bas, puis avec Andreas Tympf.

Cette dernière activité causa malheureusement la perte de Burattini car, ayant fait battre des quantités considérables de pièces de cuivre (les "boratynki") pour faire face à la crise monétaire, il sera accusé par la noblesse de s'être enrichi frauduleusement et sera sommé de présenter des comptes devant la Commission du Trésor réunie à Léopol en 1662 et chargée de payer la solde des troupes, après le retour de la paix en Pologne. S'ensuivirent plusieurs années, jusqu'en 1667, où Burattini continuera à faire battre une monnaie de plus en plus dévaluée

qui mènera le règne de Jean Casimir à un désastre financier et dont il sera considéré comme un des responsables¹³. La mort de la reine et l'abdication de Jean Casimir en 1667 le privent de ses plus fervents soutiens¹⁴. Il finit sa vie misérablement et meurt le 17 novembre 1681 à Cracovie.

1.2 Les principales réalisations techniques de Burattini

Même si Burattini a fait preuve de nombreux talents tout au long de sa vie, il est aujourd'hui principalement reconnu pour ses réalisations scientifiques très diversifiées. Il disposait d'un laboratoire et d'un observatoire, installés dans l'Hôtel de la Monnaie du palais d'Ujazdow, où il s'adonnait à la construction d'instruments scientifiques et aux observations astronomiques. Ses nombreuses missions diplomatiques en Europe lui ont aussi permis de se lier avec de nombreux savants français, dont Ismaël Boulliau, et avec le prince italien Léopold de Médicis et son frère, Ferdinand II de Médicis, Grand Duc de la Toscane, auxquels il enverra - et desquels il recevra - divers appareils et livres scientifiques (Burattini revient notamment de Florence en août 1657, d'où il rapporte "quelques gentillesse de mécanique" offertes par le Grand Duc¹⁵). Les réalisations les plus marquantes de Burattini ont été assez bien documentées, même si aucune ne nous est matériellement parvenue. On va ici décrire celles qui n'ont pas de lien direct avec l'horlogerie.

La première réalisation de Burattini qu'on connaisse est une balance hydrostatique inspirée de celle de Galilée. On ne sait pas de quand date exactement cette invention, sinon quelle est antérieure à la mort de Pudłowski puisque Burattini explique lui avoir présentée¹⁶. Cette balance est construite sur le principe de celle de Galilée, qu'il aurait imaginée en 1586 et décrite dans un manuscrit dont il aurait donné

12. Meyer, *Dei ex Machinis*, p.94

13. Grell et Mallet, *Correspondance de Johannes Hevelius*, p.26

14. Meyer, *Dei ex Machinis*, p.95

15. P. des Noyers, *Lettres de Pierre Des Noyers, secrétaire de la reine de Pologne, Marie-Louise de Gonzague, pour servir à l'histoire de Pologne et de Suède de 1655 à 1659* (Berlin : E. Bock, 1859), ci-après LPDN, lettre CXXIII du 19 août 1657, p.342

16. T. L. Burattini, *Misura Universale [...] (Vilna : chez Padri Francescani, 1675), Proemio*

un exemplaire à Pudłowski. Burattini en a construit une version simplifiée et d'un usage plus pratique, qu'il décrira dans un premier traité. Ce manuscrit lui sera dérobé lorsqu'il traversera la Hongrie peu après 1645 ; après son installation en Pologne, il en écrira alors une deuxième version, aujourd'hui conservée à la Bibliothèque Nationale de France¹⁷, mais qui ne sera jamais publiée. Ce traité est mentionné plusieurs fois par des Noyers dans sa correspondance avec Mersenne : "Il [Burattini] fait une balance qu'il croit (personne ne l'ayant expliqué) que c'est celle d'Archimède. Il avoue que le dessein en est pris d'une assez imparfaite de Galilée..."¹⁸. Il semble que des Noyers ait transmis le manuscrit de Burattini à Roberval, ce qui explique qu'il soit aujourd'hui conservé à Paris¹⁹.

La deuxième réalisation notable de Burattini est aussi celle qui l'a occupé le plus longtemps et pour laquelle on dispose de plusieurs manuscrits de Burattini lui-même. Il s'agit d'une machine volante, dénommée "dragon volant", dont il a travaillé à la construction de 1647 à 1649. Comme un certain nombre de savants avant lui, dont Léonard de Vinci, Burattini a lui aussi souhaité construire une machine capable de s'élever dans les airs par la simple force motrice de l'homme. Une représentation de cette machine est visible en figure 1, extraite du traité rédigé par Burattini qu'il présentera fin 1647 au roi Ladislas IV. On en conserve aujourd'hui un exemplaire que des Noyers avait envoyé à Roberval, joint à une lettre datée du 4 décembre 1647²⁰.

Le dragon de Burattini était une forme "d'ornithoptère", dont les ailes se rétrécissaient et s'élevaient, et s'élargissaient en s'abaissant. La légende associe à la figure 1 la décrit en ces termes :

A - aisle maîtresse à laquelle de l'autre côté du dragon est opposée, elles servent toutes deux pour le pousser en avant et aussi le soutenir

B, B, B - quatre aisles qui se meuvent du haut en bas et ne font autre chose que soustenir

C, C - deux petites aisles qui ne font que pousser en avant avec les deux maîtresses

D - la queue laquelle fait tourner la machine du costé, qu'on veut en haut et bas

E - couverture mobile laquelle quand on veut s'espargne circulairement sur la machine et la soutient asses pour l'empescher de précipiter.

Un seul mouvement reigle toutes les choses encore qu'elles se meuvent en divers temps. [...]²¹

Cette machine, bien qu'elle puisse paraître aujourd'hui assez improbable, a eu en son temps un succès assez franc auprès de la cour de Pologne, mais également auprès des savants français ; on sait en particulier que Mersenne, correspondant de des Noyers, s'intéressait beaucoup à ces travaux. Des Noyers lui décrira un modèle réduit du dragon fabriqué par Burattini : il mesurait quatre ou cinq pieds de long, et sa structure était fabriquée en os de baleines²². Burattini souhaitait d'ailleurs venir en France pour connaître l'opinion des savants français sur sa machine ; il avait entrepris d'en construire une en pièces détachées pour leur apporter et recueillir les conseils de Pascal et Roberval, entre autres²³. On sait par ailleurs que Burattini a fait envoyer à Pascal un plan coté de sa machine, aujourd'hui conservé aux Archives

17. T. L. Burattini, *La bilancia sincera [...]*, BNF, ms ital. 448, suppl. fr. 496

18. Lettre de Pierre des Noyers au père Marin Mersenne, reproduite dans Favaro, *Intorno*, p.73

19. "Je croy qu'il [Roberval] vous aura faict voir voir le petit traitté de la Balance de Mons." Burattini" - lettre de Pierre des Noyers au père Marin Mersenne, reproduite dans Favaro, *Intorno*, p.74

20. T.-L. Burattini, *Il volare non è impossibile come fin hora universalmente è stato creduto*, BNF, mss 11 195 des Fonds Latins, f.55-61

21. Cette légende a été retranscrite par K. Targosz, "Le dragon volant" de Tito Livio Burattini, Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze, II, 1977, p.78.

22. Lettre de Pierre des Noyers au père Marin Mersenne datée du 29 février 1648, reproduite dans Favaro, *Intorno*, p.73.

23. Targosz, "Le dragon volant" de Tito Livio Burattini, pp.80-81

de l'Académie des Sciences²⁴. Ce document a été transmis en France par l'intermédiaire de des Noyers²⁵, qui a permis à Burattini d'entrer en contact avec plusieurs des savants français avec lesquels il correspondait régulièrement.

Il semble que Burattini ait abandonné son projet avant de venir en France en 1650, comme le suggère des Noyers dans une lettre adressée à Roberval et datée du 5 mai 1649 : "Si le dragon de Mons" Buratin eust été fait nous vous fussions aller voire mais c'est pour une autre fois"²⁶. L'analyse technique de Jules Duhem montre toutefois que, même si l'entreprise de Burattini était vouée à l'échec, il aura mené à la perfection ce type de machine volante en séparant les fonctions de propulsion et d'élévation, et, grâce à ça, aura été le premier à obtenir des premiers résultats concrets, même si partiellement concluants²⁷.

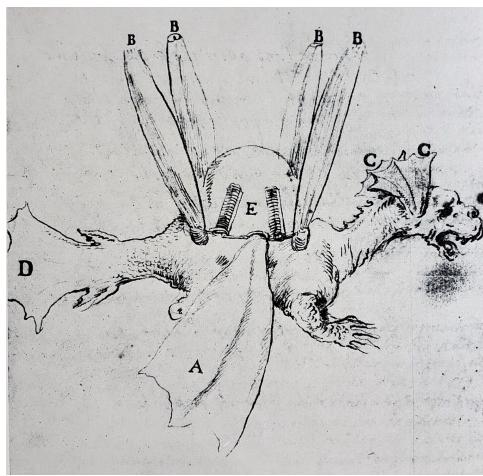


Fig. 1: Dragon volant de Burattini

24. R. Taton, *Nouveau document sur le "dragon volant" de Burattini*, Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze, VII-2, 1982, pp.161-168

25. On a pu comparer les légendes de ce schéma avec les lettres de des Noyers et confirmer qu'il s'agit bien de son écriture.

26. Meyer, *Dei ex Machinis*

27. J. Duhem, *Histoire des idées aéronautiques avant Montgolfier* (Paris : chez Fernand Sorlot, 1943), pp.161-163

28. Targosz, *La Cour savante de Louise-Marie de Gonzague*, p.164

29. Lettre de Gilles Personne de Roberval à Pierre des Noyers du 28 juin 1647, citée par C. Grell, *Pierre des Noyers : science et diplomatie à la cour de Pologne*, in R. Maber (éd.), *La France et l'Europe du Nord au XVIIe siècle : de l'Irlande à la Russie - XIIe colloque du Centre International de Rencontres sur le XVIIe siècle* (Tübingen : Narr Francke Attempto, 2017), p.73

30. Le terme de "poche" n'est pas à prendre au sens actuel mais renvoie plutôt à un sac, voir par exemple la définition du dictionnaire de l'Académie Française de 1694 : *POCHE. s. f. Sac de cuir, de toile, d'estoffe, de soye, &c. attaché par dedans à un haut de chausse, à un justaucorps, à une juppe, &c.* (source : <https://dvlf.uchicago.edu/mot/poche>).

31. S. Hénin, *Early Italian Computing Machines and Their Inventors*, in A. Tatnall, *Reflections on the History of Computing : Preserving Memories and Sharing Stories* (Berlin : Springer, 2012), p.211

Burattini a aussi travaillé à la fabrication d'une machine à calculer inspirée de l'additionneuse de Pascal. Plusieurs exemplaires de cette machine avaient été importés très tôt en Pologne, l'un apporté par la reine elle-même, deux autres commandés par des Noyers dès son arrivée à Varsovie et qui arrivèrent au début de l'année 1647²⁸. D'autres machines semblent avoir été commandées par la suite comme le montre une lettre de Roberval adressée à des Noyers : "Je fais en sorte que vous puissiez avoir au plus vite le Paschal"²⁹. Burattini aura ainsi eu l'opportunité d'observer très tôt ces machines dès son arrivée en Pologne. Il en fabriquera en 1658 une version qui "se porte dans la poche"³⁰ (*dixit* des Noyers) et qu'il offrira à Ferdinand de Médicis, comme l'attestent deux lettres du mathématicien Giovanni Alfonso Borelli où il est question d'un "instrument ou petite boîte pour les nombres" (*strumento o casettina numeraria*). Cette machine sera mentionnée par la suite dans les inventaires des biens des Médicis, notamment celui de 1660, où elle est décrite en ces termes :

N. 585 en 1659 un instrument en laiton pour le calcul avec 8 roues, 3/4 de longueur 1/5 de largeur offert à S. A. sérénissime par Tito Livio Burattini le 22 juin

(*N.585 in data 1659 uno strumento di ottone per fare abaco che ha otto ruote, lungo 3/4 largo 1/5 a S.A : serenissima donato da Tito Livio Burattini il 22 giugno*)³¹

Cette machine avait approximativement les

mêmes dimensions qu'une pascaline mais devait être beaucoup plus légère, donc vraisemblablement très fine ; il a ainsi été suggéré que son mécanisme devait se rapprocher des additionneurs de Morland.

Le musée Galileo de Florence conserve aujourd’hui une machine à calculer qui a été considérée un temps comme celle de Burattini, mais qui ne correspond pas à la description des inventaires des Médicis³².

On doit également à Burattini la fabrication de lentilles en verre de grande taille pour les lunettes astronomiques. Il avait commencé à s’intéresser à ce sujet dès 1648 mais ce n'est qu'en 1665 qu'il enverra à Paris le dessin d'une lunette astronomique et d'une machine à tailler les verres de sa conception. Ses verres furent reconnus de très bonne qualité ; il en enverra plus tard à Florence, notamment au prince Léopold de Médicis³³. Hevelius lui commandera également des verres de manière insistante³⁴. On note par ailleurs que Burattini a été le premier à observer les tâches de la planète Vénus et a ainsi contribué non seulement au développement des techniques pour l’astronomie mais également aux connaissances dans ce domaine.

On connaît de Burattini d’autres réalisations pour lesquelles on ne dispose pas d’une documentation exhaustive. Il semble qu'il ait ainsi travaillé à la conception d'un microscope et ait fabriqué une "petite voiture à une roue" tirée par un ou deux chevaux³⁵.

1.3 L'idée du pendule comme fil conducteur

En plus de son appétence pour la technique, Burattini s'intéressait de près aux diverses théories scientifiques de son époque et jouait d'ailleurs le rôle d'informateur indirect auprès des savants français par l’intermédiaire

de des Noyers et Boulliau³⁶. Ainsi, comme d’autres savants à la même époque, il essaya de définir une mesure dite *universelle* dans le sens où elle pourrait être commune à de nombreux peuples. Selon ce qu'il en dit, cette idée lui aurait été inspirée par Pudłowski auquel il venait de présenter sa balance hydrostatique, en lui expliquant qu'il avait trouvé par son moyen la proportion entre la sphère et le cube ; Pudłowski lui aurait dit, dans des termes assez formels : "Vous êtes tout près de trouver quelque chose que le monde entier a cherché, c'est-à-dire le poids, la mesure universelle" (*Voi fiete arrivato molto vicino a trouvar una cosa tanto ricercata da tutto'l Mondo cioè il peso la misura universale*³⁷). C'est aussi Pudłowski qui lui aurait suggéré d'utiliser le pendule de Galilée comme étalon de sa mesure universelle.

Cette idée occupera Burattini pendant plusieurs décennies. Après ses premières réflexions auprès de Pudłowski, il poursuivra ses recherches en Pologne comme en témoigne des Noyers dans une lettre adressée à Mersenne où il est question du traité de la balance :

Il [Burattini] travaille maintenant à la seconde partie [du traité de la balance], pour reduire sur icelle tant les antiens poids que mesures de l'antiquité, et le moyen de les conserver a perpetuité, avec une manière facile pour ceux qui ne savent ny lire ni escrire, et par consequent qui sont ignorant de l'arithmétique³⁸.

Malheureusement, ses diverses charges très prenantes l’empêchèrent de mener sereinement ses travaux avant les années 1670. Ce n'est qu'en 1672 qu'il écrit à Boulliau qu'il a "quasiment terminé [son] Traité de la Mesure et du poids universel, dont [il] espère qu'il sera bien reçu parce que sa facilité et sa commodité le rendront agréable à tous" (*Ho quasi finito il mio Trattato della Misura e peso universale, che*

32. *ibid*, pp.211-212

33. Targosz, *La cour savante de Louise-Marie de Gonzague*, p.152

34. C. Grell et D. Mallet, *Correspondance de Johannes Hevelius - tome III*, p.34

35. Meyer, *Dei ex Machinis*, p.96

36. Grell et Mallet, *Correspondance de Johannes Hevelius - tome III*, p.34

37. T. L. Burattini, *Misura universale, Proemio*

38. Lettre de Pierre des Noyers au père Marin Mersenne du 21 mai 1648, citée par Favaro, *Intorno*, p.74

*spero sarà ben veduto, perché la sua facilità e la sua comodità lo renderà grato a tutti*³⁹). Ce traité paraîtra finalement en 1675⁴⁰. Il nommera son étalon de mesure le *Metro*, ou *Metro Cattolico*, anticipant de plus d'un siècle l'utilisation du mot "mètre" de l'unité éponyme instituée après la Révolution Française.

Burattini choisit en pratique de baser sa mesure sur la longueur d'un pendule battant la seconde, soit environ 994mm, de laquelle il pouvait déduire une masse étalon, calculée comme la masse d'un cube d'eau dont le côté mesure un seizième de la longueur étalon.

On peut penser que le traité de Burattini n'a pas eu un réel succès du fait de sa publication assez tardive. En effet, bien que l'idée d'une mesure universelle lui soit venue très tôt, Burattini est loin d'avoir été le seul à penser utiliser le pendule à secondes comme échelle de mesure. L'astronome français Jean Picard, Mersenne, le britannique Christopher Wren, Huygens et quelques autres l'ont imaginé dans le même temps⁴¹. Par ailleurs, Jean Richer observera en 1672-1673 que la période d'un pendule dépend de la gravitation et donc de la latitude, ce qui vient fortement réduire le potentiel du pendule comme "mesure universelle"⁴².

Les travaux de Burattini figurent malgré tout parmi les tentatives très précoces de définition d'un système de mesure universel, et on verra plus tard que ces travaux auront une influence directe sur au moins une, sinon plusieurs de ses constructions horlogères qu'on va maintenant présenter.

39. Meyer, *Dei ex Machinis*, p.97

40. Burattini, *Misura universale*

41. Favaro, *Intorno*, pp.36-44

42. Meyer, *Dei ex Machinis*, p.97

43. LPDN, lettre CXXXIV du 26 août 1657, pp.342-43

44. "On appelle aussi, *Languette*, Cette petite piece de fer d'une balance qui sert à marquer l'équilibre, quand elle est à plomb. *La languette d'une balance*" (source : <https://dvlf.uchicago.edu/mot/languette>). La quatrième édition de 1762 rajoute : "...& que d'autres appellent *Aiguille*".

45. Voir la définition du dictionnaire de l'Académie Française de 1694 : "Il se prend souvent dans la conversation pour un petit espace de temps qui n'est pas précisément déterminé. *Il n'y a qu'une minute qu'il est parti. je reviens à vous dans une minute* (source : <https://dvlf.uchicago.edu/mot/minute>). Voir aussi la lettre de Robert Moray adressée à Huygens le 23 décembre 1661 : "...un pendule de la longueur qu'il faut, pour mesurer une minute seconde exactement, par chaque vibration...", cf. C. Huygens, *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens* (La Haye : chez Martinus Nijhoff, 1888-1950), ci-après OC, vol.III, lettre 442, p.427.

2 L'horloge à eau du Grand Duc

La première mention d'une horloge dont Burattini aurait contribué à la fabrication est due à Pierre des Noyers. Cette horloge est techniquement intéressante car elle semble avoir été équipée d'un pendule à une date très précoce, et historiquement significative car elle a été fabriquée sous l'égide du Grand Duc, Ferdinand de Médicis.

2.1 La description de Pierre des Noyers

Dans une lettre adressée à Ismaël Boulliau où il explique que Burattini vient de revenir de Florence, des Noyers écrit :

Le grand-duc [Ferdinand de Médicis] fait travailler à une horloge qui se remontera soi-même par le moyen de l'eau, et qui n'est composée que d'un fort grand poids, dont les vibrations égales feront mouvoir une petite languette à toutes les minutes, et elle sera si juste, qu'en une année elle ne variera pas d'une minute, à ce qu'ils prétendent. Le dit sieur Boratin a trouvé le moyen pour faire que cette machine se remonte soi-même par le moyen de l'eau, et on prétend que cette horloge ira cent ans sans qu'il faille rien y corriger, c'est-à-dire toujours si rien ne s'y gâte.⁴³

La description donnée par des Noyers est assez obscure. Le terme "languette" fait certainement référence à une aiguille, comme le suggère

la première édition du dictionnaire de l'Académie Française de 1694⁴⁴. Cette aiguille avance "à toutes les minutes", le mot "minute" devant ici être compris au sens d'un bref intervalle de temps⁴⁵ et non comme une "minute première", soixantième partie d'une heure. Il paraît de fait assez probable que l'aiguille en question indiquait les secondes, ce qui serait en accord avec la précision revendiquée de l'horloge et aurait ainsi permis d'en contrôler la bonne marche.

Par ailleurs, il semble à peu près certain que cette horloge à eau était équipée d'un pendule. Des Noyers parle en effet de "fort grand poids" et de "vibrations égales", donc un oscillateur de grande taille et isochrone qui correspond parfaitement à la description d'un pendule. Des Noyers n'a probablement pas employé ce terme car il n'avait pas encore été informé à l'époque de l'application du pendule aux horloges ; on note qu'il ne l'utilise pas non plus dans sa *nativité d'Amarille*, lorsqu'il utilise une "boule de plom [pendue] a un fil de laiton" pour déterminer l'heure de la naissance de la fille de Louise-Marie, reine de Pologne⁴⁶. Le terme "pendule" est par ailleurs absent de certains ouvrages de l'époque qui en décrivent l'utilisation, notamment celui attribué à Galilée⁴⁷. En revanche, après avoir été informé par Boulliau de l'application par Huygens du pendule aux horloges, des Noyers utilisera les termes "pendulum" ou "pendule" dans plusieurs de ses lettres⁴⁸.

Boulliau informera Huygens de la construction de l'horloge du Grand Duc en décembre 1657, dans des termes qui laissent suggérer qu'elle était équipée d'un pendule :

Je vous prie de dire a Monsieur Christian Hugens, que Monsieur le grand Duc, faict travailler a une horologe, qui doibt faire le mesme effect que la sienne et mesurer tou-

jours le temps également. Et que sans la remonter a la main, elle se remontera d'elle mesme par le moyen de l'eau.⁴⁹

Huygens, curieux d'en savoir davantage, répondra à Boulliau le 26 décembre :

Monsieur Jannot me monstra dernierement ce que vous luy aviez escrit touchant l'horologe à la quelle Monsieur le grand Duc faisoit travailler, qui devoit, quant à l'effect, ressembler à la mienne. Si depuis l'on vous a mandé d'autres particularitez, vous m'obligerez fort de me les apprendre, afin que je puisse scavoir s'ils se servent aussi du pendulum.⁵⁰

C'est dans cette même lettre que Huygens explique avoir réalisé il y a juste un an le premier modèle de son horloge à pendule.

Boulliau lui répondra qu'il fera son possible pour savoir si l'horloge du Grand Duc est équipée d'un pendule⁵¹, mais il semble en réalité n'avoir jamais adressé cette requête à Pierre des Noyers, comme elle n'apparaît nulle part dans leur correspondance.

2.2 Antériorité et postérité du remontage hydraulique

Des horloges actionnées par le moyen de l'eau ont existé très tôt, bien avant le modèle construit pour le Grand Duc. Dans un article publié récemment, Hwang, Yan et Lin décrivent les premiers développements réalisés en Chine et dans le reste du monde sur ce type d'horloge mécanique à énergie hydraulique, en couvrant une large période de l'Antiquité jusqu'au XVe siècle⁵². Les mécanismes qui animent ces horloges sont généralement assez simples et régulés par l'écoulement de l'eau, d'une manière

46. P. des Noyers, *Nativité d'Amarille*, Archives du Musée Condé à Chantilly, ms 424, pp.254-55, numérotées par erreur 154 et 155

47. G. Galilei, *L'usage du quadran ou de l'horloge physique universel* (Paris : chez Pierre Rocolet, 1639)

48. Voir par exemple sa lettre à Boulliau du 1^{er} décembre 1657 : "Nous avons déjà écrit en Hollande pour avoir l'horloge ou pendulum de Christian" (*LPDN*, lettre CXXXI, p.360).

49. Huygens, *Oeuvres complètes*, vol.II, lettre 442, p.108

50. *ibid*, lettre 443, p.109

51. *ibid*, lettre 448, p.117

52. Z.-H. Hwang, H.-S. Yan et T.-Y. Lin, *Historical development of water-powered mechanical clocks*, Mechanical Sciences, 12, 2021, pp.203-219

ou d'une autre (notamment par l'utilisation de roue à aubes ou à godets). L'eau y joue alors un double rôle d'énergie motrice et de régulateur physique.

Après l'application du pendule aux horloges, quelques inventeurs tenteront d'utiliser l'eau pour entretenir les oscillations de ce nouvel oscillateur, comme l'a proposé Perrault à Huygens en 1669⁵³. D'autres horloges où l'eau joue seulement le rôle d'énergie motrice ont été réalisées par la suite, avec plus ou moins de succès⁵⁴.

Tous ces montages diffèrent sensiblement de l'horloge du Grand Duc où l'eau reste extérieure au mécanisme principal, qu'elle ne sert qu'à remonter et n'y joue donc qu'un rôle *indirect*. Pour autant, il est fort probable que d'autres ingénieurs de l'époque ait conçu des horloges à remontage hydraulique ; Jean de Hautefeuille proposera même en 1678 un modèle capable de se remonter par la dilatation de planches de sapin avec les variations journalières de température, qui peut être considérée dans une certaine mesure comme l'ancêtre de la pendule Atmos⁵⁵.

Il est possible que Burattini ait eu l'idée du système hydraulique utilisé pour remonter l'horloge du Grand Duc après avoir vu une machine qui lui avait été présentée un an plus tôt, comme le rapporte des Noyers à Boulliau le 30 mars 1656 :

Un certain sieur *Paulo del Buono*, matematico del granduca, est à Vienne auprès de l'empereur, qui lui afferme toutes les minières de l'empire. Il a composé une machine que M. Buratini a vue, avec laquelle il peut éléver l'eau à deux ou trois milles d'Italie, et cinq ou six hommes, sans beaucoup de fatigues, en peuvent épuiser environ soixante

mille muids en un jour.⁵⁶

Paolo del Buono était un ingénieur, membre de l'*Accademia del Cimento*, présenté comme un disciple de Galilée⁵⁷, qui peut être vu comme l'*alter ego* de Burattini⁵⁸ ; il s'associera d'ailleurs avec lui et s'occupera de la gestion minière et des ateliers monétaires en Pologne jusqu'à sa mort en 1659.

Plus tard, Burattini fera construire une autre machine hydraulique pour alimenter en eau les jardins du palais d'Andrzej Morsztyn, comme il l'expose lui-même à Boulliau dans une lettre du 7 octobre 1672 (traduite en français par Guillaume Libri) :

Le grand-trésorier du royaume, M. Morstin, fait bâtir maintenant, ici à Varsovie, un palais magnifique, avec un jardin orné de plantes fort rares, mais qui manque d'eau. Je me suis amusé à faire un petit modèle d'une machine hydraulique pour éléver l'eau à une hauteur de vingt-cinq à trente brasses à l'aide du vent. Son Excellence ayant vu ce modèle m'a prié de le faire exécuter en grand. C'est une machine couverte, enfermée dans une tour, et qui tourne toujours du même côté, quelle que soit la direction du vent : car la girouette est le régulateur de la machine. Il n'y a pas de pompes du tout : l'eau est élevée par des seaux, car les pompes se dérangent facilement, et les seaux durent plusieurs années ; et s'il y en a parfois qui se dérangent, les autres ne laissent pas de produire leur action. Il suffit d'un vent très modéré pour éléver, au sommet de la tour, quatre ou cinq mille tonneaux d'eau en 24 heures : l'eau qu'il y a de trop tombe

53. C. Aked, *Perrault's hydraulic clock*, Antiquarian Horology, 20-2, juin 1992, pp.161-168

54. A. Mills, *Water-driven clocks*, Antiquarian Horology, 22-2, juin 1995, pp.136-145

55. J. de Hautefeuille, *Pendule perpétuelle avec un nouveau balancier ; et la manière d'élèver l'eau par le moyen de la poudre à canon, et autres inventions, contenus dans une lettre de monsieur de Hautefeuille, écrite à un de ses amis*, 1678

56. LPDN, lettre XLI, p.125

57. G. Targioni-Tozzetti, *Notizie degli grandi aggrandimenti delle scienze fisiche accudati in Toscana nel corso degli anni LX del Secolo XVII* (Florence : 1780), I, pp.182-183

58. C. Grell et D. Mallet, *Correspondance de Johannes Hevelius - Tome III*, p.29

dans le puits. Cette machine ne demande l'assistance de personne, car elle fait elle-même toutes les opérations nécessaires ; ce qui la fait estimer beaucoup.⁵⁹

(*Il Sig^r. Grand Thesoriere del regno Morstin fa fabricare qui in Varsavia un bellissimo palazzo, et appresso a questo ha un giardino con piante molto rare, ma non ha acqua. Io per mio passatempo ho fatto un modeletto d'una machina hydraulitica per solevarre l'acqua a forza di vento, vinti cinque in trenta braccia, et havendola veduta S. E. mi ha pregato, che gli la facci fare in grande come ho fatto. Questa machine sta chiusa in una torre et è coperta, et si volta sempre per un verso sia il vento o da settentrione, o da mezzo giorno, o da levante overo da ponente, perchè la girandola o sia banderolla è quella che regola tutta la machina. L'acqua non viene condotta alla sommità della torre con le Pompe ma con secchielli, perchè quelle facilmente si guastano, e questi durano molti anni, e se qualche d'uno si guasta, li altri no mancano di fare l'officio loro. Con questa machina con pochissimo vento si conduce di sopra nel recetacolo nel tempo di 24 hore quattro in cinque milla botte d'acqua, e la superflua cade nel pozzo. Non occorre che niuno vi assisti, perchè da se fa tutte l'operationi necessarie e farsi, la qual cosa sopra tutte l'alltre viene stimata.*)⁶⁰

59. G. Libri, *Histoire des sciences mathématiques en Italie* (Paris : chez Jules Renouard et C^{ie}, 1838), pp.227-228
 60. Correspondance et papiers politiques et astronomiques d'Ismaël BOULLIAU (1605-1694), BNF, ms 13044, feuillett 252

61. Pour un extrait de cet inventaire et sa traduction, voir B. Hordijk et R. Memel, *Salomon Coster, the clockmaker of Christian Huygens. The production and development of the first pendulum clocks in the period 1657 - September 1658*, Antiquarian Horology, vol.42-3, pp.331-333. Une traduction légèrement différente est proposée par Silvio Bedini dans son ouvrage *The pulse of time : Galileo Galilei, the determination of longitude, and the pendulum clock* (Biblioteca di Nuncius, 1991), p.97.

3 La pendule de poche

Bien qu'il ne soit pas certain que Burattini lui-même soit à l'origine de l'application du pendule à l'horloge de Ferdinand de Médicis, dans la mesure où son nom n'est associé qu'au système de remontage, on en déduit en revanche qu'il était déjà informé, dès le mois d'août 1657, de l'application du pendule aux horloges, sous une forme ou sous une autre. Sa formation auprès de Pudloswki lui aura certainement fait prendre conscience très tôt de l'importance de cette invention, qu'il tentera par la suite d'appliquer sous diverses formes à au moins trois autres horloges expérimentales : une "pendule de poche" et un régulateur à secondes, toutes deux décrites par Pierre des Noyers, et une horloge à poids marchant quinze jours.

Entretemps, Burattini fera envoyer à Ferdinand de Médicis une horloge de Coster, le 27 septembre 1657, soit un mois à peine après la lettre de des Noyers citée précédemment. Cette horloge est décrite dans un inventaire des biens de la famille des Médicis rédigé en 1690⁶¹. On peut donc penser que Burattini était déjà informé de l'application du pendule aux horloges avant de participer à la construction de l'horloge à eau du Grand Duc, et qu'il en est peut-être même l'instigateur.

3.1 La description de Pierre des Noyers

La première des trois autres horloges conçues par Burattini est mentionnée pour la première fois par des Noyers dans une lettre adressée à Boulliau et datée du 3 janvier 1660 (figure 12) :

M. Buratin mescrit qu'il a ajouté à l'horloge d'Hugens et qu'il en fait faire une qui se portera dans la pochette sans s'arrêter, il est assez inventif. Nous verrons ce qu'il fera,

il a reformé l'instrument de Mons^r Paschal et en a fait une qui en produit tous les mêmes effets, et avec plus de facilité et de sûreté et se porte dans la poche.⁶²

Le terme "ajouté" doit probablement être compris comme une addition, un perfectionnement : Burattini aurait ajouté [des fonctionnalités, des améliorations] à l'horloge de Huygens.

On retrouve ici une mention de la machine à calculer conçue par Burattini, mention toutefois assez tardive quand on sait que cette machine avait été fabriquée au moins deux ans auparavant.

Des Noyers mentionne une deuxième fois la "pendule de poche" de Burattini le 12 septembre 1660, une fois sa fabrication terminée (figure 13) :

M. Buratin a envoyé au grand duc une horloge d'Hugens, qu'il a reformée, elle se porte dans la pochette et n'est pas plus grosse qu'un oeuf, et ne s'arrête point elle est dans une boîte de verre et demeure toujours droite comme les lampes de cardan,...⁶³

3.2 Autres gardes-temps à pendule portatifs

La pendule de poche de Burattini, bien qu'elle paraîsse assez atypique, n'est pas un cas isolé. On connaît plusieurs montres et horloges portatives équipées d'un pendule, construite à la même époque, entre 1660 et la fin du XVII^e siècle. Il semble que les horlogers et savants, auteurs de ces réalisations, aient été tellement enthousiasmés par le gain de précision apporté par l'oscillateur pendulaire qu'ils aient décidé de l'appliquer à des mécanismes destinés à être

transportés. Les premiers essais de Huygens furent à ce titre peu concluants dans la mesure où il remarqua que la suspension du pendule devait être parfaitement centrée au milieu des pales cycloïdales qui l'entouraient⁶⁴. La suppression des cycloïdes et l'ajout du fameux rouage "OP" dans son modèle présenté dans l'*Horologium* aura amélioré la portabilité du mécanisme. Huygens dira aussi à Chapelain en juin 1658 que s'il pouvait faire naviguer des horloges aux pendules plus longs, il n'aurait aucun doute sur leur capacité à servir au calcul des longitudes :

si l'on en pouvoit porter par mer des grandes aussi bien que des petites, c'est à dire celles qui ont un pendulum de 3 pieds aussi bien que celles qui l'ont de 6 pouces, il est certain, que l'on en viendroit à bout⁶⁵

Ce raisonnement était partagé par d'autres savants de cette époque, ce qui peut expliquer que le pendule ait été si longtemps le régulateur privilégié des horloges marines. On sait aujourd'hui que cette démarche était vaine dans la mesure où la précision du pendule repose justement sur la régularité de ses oscillations, qui sont facilement perturbées par de petits mouvements transversaux, et qu'il n'est malheureusement pas possible de contrer significativement ces perturbations, même en utilisant une suspension ou un joint de cardan (qui peuvent d'ailleurs dans certains cas les amplifier, pour peu que le garde-temps entre en résonance avec sa fréquence d'excitation).

Ces gardes-temps rentrent en pratique dans deux catégories : les horloges destinées aux voyages en mer, pour le calcul des longitudes, et des montres qui relèvent davantage d'objets de curiosité.

62. P. des Noyers, *Lettres de Des Noyers, secrétaire de la reine de Pologne à Ismaël Boulliau (t. I) - 1660-1665*, Archives diplomatiques du Ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères, 102CP/014, ci-après LDNB, lettre du 3 janvier 1660. On tient à signaler que la retranscription de l'écriture manuscrite de Pierre des Noyers a présenté quelques difficultés. Ces documents, visibles uniquement sur microfilms, présentaient certains manques qu'on a remplacés par les lettres entre parenthèses, qui nous semblent les plus plausibles. Le faible contraste et la transparence de l'encre à certains endroits, consécutives à la qualité du scan, n'a pas non plus facilité le déchiffrage. On a toutefois fait relire cette transcription, ainsi que celles qui vont suivre, par deux autres personnes habituées à déchiffrer les écritures anciennes et qui confirment les versions proposées ici.

63. P. des Noyers, LDNB, lettre du 12 septembre 1660

64. "la moindre inclination alerois la longueur du pendule", OC, vol.II, p.271

65. OC, vol.II, p.181

Pour commencer par les premières, les plus anciennes horloge à pendule "à suspendre", fabriquées après celle de Burattini, sont probablement celles utilisées par Alexandre Bruce pour des essais en mer. Huygens a lui aussi imaginé et fait fabriquer plusieurs horloges marines à pendule, dont un exemplaire est aujourd'hui conservé au musée Boerhaave de Leyde⁶⁶. Une synthèse de ses travaux sur ce sujet, en lien avec ceux de Bruce, et une analyse des deux horloges à longitudes connues utilisées par Bruce sont présentées par Keith Piggott dans l'annexe 5 de son étude sur l'horloge royale de Severijn Oosterwijck⁶⁷. On retrouve également des éléments synthétiques dans les *Oeuvres Complètes*⁶⁸. On ne s'attardera pas plus sur ces horloges qui ont déjà été largement étudiées par le passé.

Adam Kochański, un mathématicien polonais jésuite qui a travaillé pour le roi de Pologne Jean III Sobieski et dont on parlera plus bas, a lui aussi travaillé à la construction d'une horloge à pendule pour la mesure des longitudes. Elle était équipée de deux pendules battant le quart de seconde, suspendus à des ressorts en acier⁶⁹. On peut supposer que les deux pendules étaient couplés, peut-être à la manière des échappements à double foliot de Bürgi, en anticipation du système utilisé plus tard par John Harrison, et qui avait déjà été mis en pratique par d'autres horlogers, notamment Robert Hooke et Huygens⁷⁰. Comme Huygens, Kochański pensait qu'un pendule plus long devrait améliorer la précision des gardes-temps marins : "certainement même avec des pendules plus longs suspendus à des ressorts adaptés, on obtiendrait sans aucun doute un résultat concluant" (*verum & in longioribus pendulis e convenienti elatere pendentibus, de felici suc-*

66. K. Piggot, *A Royal 'Haagse klok'* - Appendix 5 : *Alexander Bruce'S English and Dutch longitude sea-clocks rediscovered*, p.6

67. *ibid*

68. *OC*, vol.XVII, pp.155-189

69. A. Kochański, *Mensurae universales magnitudinum ac temporum*, Acta Eruditorum, 1687, pp.259-266. Ce texte a été récemment traduit en anglais par H. Fukś, *Mensurae Universales Magnitudinum ac Temporum by Adam Adamandy Kochański – Latin text with annotated English translation*, 2021.

70. B. Roobaert, *Résonance et sympathie IV - Deux régulateurs : pas nécessairement une résonance* (2022), pp.3-4

71. Fukś, *Mensurae Universalis*, p.9

72. *Clocks and Watches including Scientific Instruments and Barometers, catalogue of auction at Phillips*, septembre 1997

73. H. M. Vehmeyer, *Antieke uurwerken : een familieverzameling* (Utrecht : Hes, 1994), pp.374-375

*cessu dubitare non licet*⁷¹). Bien que Kochański ne donne pas une description très détaillée de son horloge, un garde-temps vendu par la maison d'enchères Philipps en septembre 1997, aujourd'hui dans une collection privée, semble répondre à toutes les caractéristiques techniques de l'horloge marine de Kochański. Cette horloge, visible en figure 2 sur les photos du catalogue d'enchères⁷², possède deux pendules couplés qui battent le quart de seconde et a été apparemment conçue pour naviguer en mer : elle possède en effet un cadran de 4 minutes, probablement pour la mesure des longitudes (1 minute vaut 1 degré de longitude). Elle est dotée de 3 trains de rouage avec une sonnerie des quarts, et intègre des cadrans "classiques" sur une face et des ouvertures circulaires avec des disques sur l'autre face, du côté du cadran de 4 minutes. D'autres caractéristiques particulières (les restes d'une probable suspension à la cardan, les décorations...) suggèrent l'attribution de cette horloge à Kochański. Le propriétaire de l'horloge en a fourni d'autres photographies et prévoit de la restaurer, ce qui sera potentiellement l'occasion d'un autre article dédiée à cette très curieuse horloge.

Pour en revenir aux horloges portatives, le principe du joint de cardan, sous sa version "annulaire" ou rotulée, a continué à être appliqué par la suite à des gardes-temps utilisés en mer, mais cette fois équipés de mécanismes à balanciers annulaires. On rencontre quelques pièces curieuses de la fin du XVIIe siècle dont deux exemplaires sont visibles dans la collection Vehmeyer⁷³.

En parallèle des horloges marines à pendule, des *montres* à pendule ont également été produites par plusieurs horlogers allemands

et français au dernier quart du XVIIe siècle. Ces fabrications sont assez tardives quand on se rappelle que le ressort spiral sera appliqué aux montres dès 1675 par Huygens ; utiliser un pendule miniature à cette époque, en lieu et place du balancier spiral récemment inventé, peut alors sembler curieusement anachronique. Il semble toutefois que ces réalisations n'aient pas été conçues dans un but scientifique mais plus comme des *curiosités* au sens propre du terme, *i.e.* des objets technologiques atypiques conçus pour susciter l'étonnement et l'admiration devant l'ingéniosité dont ont fait preuve leurs concepteurs.

On a trouvé cinq montres à pendule, dont 3 similaires à celle de Burattini, *i.e.* équipées d'un pendule *et* d'un système d'articulations "à la cardan", et les 2 autres également munies d'un pendule mais sans système pour les maintenir dans une position privilégiée.

La première de ces montres, visible en figure 3, est due à l'horloger Mattheus Hallaÿcher et a été vendue récemment par la maison Sotheby's. Précédemment, elle avait été mentionnée dans l'ouvrage de Guye et Michel⁷⁴ et vendue par la maison Antiquorum en 1999. La date de 1680, proposée par Guye et Michel et reprise par Sotheby's, nous paraît légèrement tardive. Une montre bassine du même horloger, très similaire dans son style et ses proportions, a été vendue en 2021 et datait d'avant 1675 car elle ne disposait pas encore d'un spiral. Du reste, on sait que Hallaÿcher a acquis son statut de maître horloger en 1672⁷⁵, ce qui contraint donc assez fortement la datation de sa montre à pendule, qu'on situe plutôt autour de 1675.

Cette pièce se compose d'un mécanisme assez classique qui comporte quatre particularités notables :

1. Un pendule est utilisé au lieu du balancier annulaire classique. Il oscille dans

un plan perpendiculaire à celui du cadran, ce qui a permis d'éviter l'utilisation d'une roue de champ pour changer de plan de rotation.

2. Le mouvement est lesté par une masse rajoutée à l'opposé du cadran, au dos du mécanisme.
3. L'ensemble est monté sur un système de deux anneaux articulés qui permettent de compenser les mouvements aléatoires de la boîte de la montre. De cette manière, le cadran peut rester parallèle au sol, quelle que soit l'orientation de la boîte.
4. La montre est enfermée dans une boîte sphérique qui s'accorde donc des ballottements internes du mécanisme.

La précision de ce garde-temps était certainement médiocre : malgré le système de cardan, la légèreté du pendule devait le rendre particulièrement sensible aux perturbations extérieures, en plus d'être difficile à régler du fait de sa petite taille.

La montre visible en figure 4, extraite de l'ouvrage de Bassermann-Jordan⁷⁶ et conservée au Musée national de Hesse à Cassel, est très similaire à celle de Hallaÿcher aussi bien dans son style que dans sa structure. Elle date probablement de la même époque.

Une troisième montre, cette fois française et signée Madelainy, construite sur le même principe, est visible en figure 5⁷⁷. Elle comporte les mêmes quatre particularités précédemment énoncées mais est plus tardive, vers 1685, et intègre un pendule légèrement plus long (un méplat a été taillé dans la masselotte pour permettre son passage). Elle était auparavant dans les collections du Time Museum de Rockford⁷⁸ et est aujourd'hui conservée au musée Patek Philippe à Genève.

On connaît deux autres montres équipées d'un pendule, visibles en figures 6⁷⁹ et 7⁸⁰,

74. S. Guye et H. Michel, *Mesure du temps et de l'espace* (Paris : Bibliothèque des Arts, 1970), p.83

75. J. Abeler, *Meister der Uhrmacherkunst* (Wuppertal : 1977), p.251

76. E. von Bassermann-Jordan et H. von Bertele, *Montres, horloges et pendules* (Paris : presses universitaires de France, 1964), p.271

77. A. Chapiro, *La montre française du XVIe siècle jusqu'à 1900* (Éditions de l'Amateur, 1991), pp.98-99

78. *Masterpieces from the Time Museum*, catalogue de vente Sotheby's, décembre 1999

79. A. Chapiro, *La montre française*, p.97

80. von Bassermann-Jordan et von Bertele, *Montres, horloges et pendules*, p.270

sans joint de cardan pour les maintenir droites. Ces montres sont signées du même horloger allemand Martin Gerdts. Le pendule y est plus long que dans les pièces précédentes et oscille entre deux lames-ressorts qui tendent à le ramener à sa position d'équilibre (sur la pièce en figure 7, la lame de gauche est cassée ; cette dernière pièce semble plus récente que la première car un système de réglage à vis des lames-ressort y a été ajouté). Il est probable, assez ironiquement, que ces montres aient fonctionné bien mieux que les précédentes : si le pendule était assez léger, il devait être peu influencé par la gravité en comparaison des forces de rappel des ressorts, et devait alors se comporter comme un foliot classique équipé d'un ressort droit, comme l'ont été certaines pièces primitives dont un exemplaire signé Thomas Penn présenté dans l'ouvrage de Chapiro⁸¹.

Enfin, il nous paraît intéressant de mentionner une dernière montre à pendule très curieuse, assez différente des précédentes sur son principe de fonctionnement, dont le mécanisme est schématisé en figure 8. Cette montre a été imaginée par Adam Kochański et est décrite dans un *Acta Eruditorum* publié en 1685⁸², d'où est extrait la figure 8. Elle a fait l'objet d'un court paragraphe dans l'ouvrage posthume de Bedini consacré à Giuseppe Campani⁸³. Son inventeur explique l'avoir imaginée en 1659. Son principe de fonctionnement est particulièrement ingénieux et a acquis une certaine forme de postérité car il se retrouve dans un certain nombre d'horloges électriques modernes⁸⁴. Le mécanisme est celui d'une montre classique avec un oscillateur "pendulaire" en fer qui pivote autour du point E. L'extrémité basse de cet oscillateur est placée proche d'un aimant AB ; l'entrefer formé par l'interstice entre l'oscillateur et l'aimant crée une force de rappel qui se substitue à la gravité. On notera que le mécanisme est monté entre deux pivots F et H, de manière à

maintenir l'aimant AB toujours vers le bas. Kochański précise avoir montré un exemplaire de cette montre à Ferdinand de Médicis en 1667.

La montre de Kochański, comme celle de Burattini (qui "demeure tousiours droite"), a son cadran vertical. C'est en fait la seule similitude apparente qu'on puisse trouver entre ces deux montres et qui ne se retrouve pas sur les modèles avec suspension de cardan qu'on a décris plus haut. Pour autant, il nous semble peu probable que Burattini ait pu s'inspirer du concept de Kochański pour construire son propre modèle, qu'il offrira également au Grand Duc. Bien que son nom n'apparaisse nulle part dans la correspondance de Burattini, on sait qu'ils ont été amis comme le rapporte Kochański lui-même ("T. Livius Burattini, amicus quondam meum"⁸⁵). Toutefois, Kochański ne sera introduit auprès du roi de Pologne qu'en 1678 et n'arrivera à sa cour qu'en 1680, soit un an à peine avant la mort de Burattini, et il semble qu'ils ne se soient bien connus que pendant cette courte période, à partir de laquelle Kochański commencera à publier ses recherches dans les *Acta Eruditorum*.

3.3 Une curiosité ou un instrument pour les longitudes ?

On a vu que les gardes-temps à pendule portatifs se classent en deux catégories : d'une part, les horloges marines, et d'autre part, des objets de curiosité. Même s'il est assez clair que la montre offerte par Burattini au Grand Duc se classe logiquement dans cette dernière catégorie, on peut légitimement se demander si Burattini n'avait pas envisagé d'appliquer ce concept à un régulateur pour le calcul des longitudes. En effet, au regard des relations qu'il entretenait avec le monde scientifique de l'époque, il semble à peu près certain qu'il était familier du "problème des longitudes" ; ceci, couplé à

81. A. Chapiro, *La montre française*, p.36

82. A. Kochański, *Adami Adamandi e Soc. Jesu Kochański Sereniss. Polon. Regis Mathematici, Novum genus perpendiculi pro horologiis rotatis portabilibus. Vulgarium elatere vibrante instructorum nova disponitio & ex hac suprema perfectio*, *Acta Eruditorum*, 1685, pp.428-433

83. S. Bedini, *Giuseppe Campani, "Inventor Romae"*, *an Uncommon Genius* (Cristiano Zanetti, 2021), pp.106-107

84. L'auteur prépare actuellement un article sur ce mécanisme ainsi que sur d'autres tentatives précoces d'application du magnétisme à l'horlogerie.

85. Kochański, *Mensurae universales magnitudinum ac temporum*

sa quête perpétuelle de la précision, aurait pu l'inciter à faire construire une "montre marine à pendule". Si une telle pièce a effectivement pu exister, il semble n'en subsister aujourd'hui aucune trace ; peut-être que Burattini a bien tenté de fabriquer une horloge marine, qu'il aurait pu

tester lors d'un de ses nombreux voyages, mais que les performances médiocres d'un tel dispositif lui auraient fait abandonner ce projet. Il ne s'agit bien sûr que d'une hypothèse qu'il nous est impossible de confirmer ou d'infirmer avec les éléments dont nous disposons à ce jour.

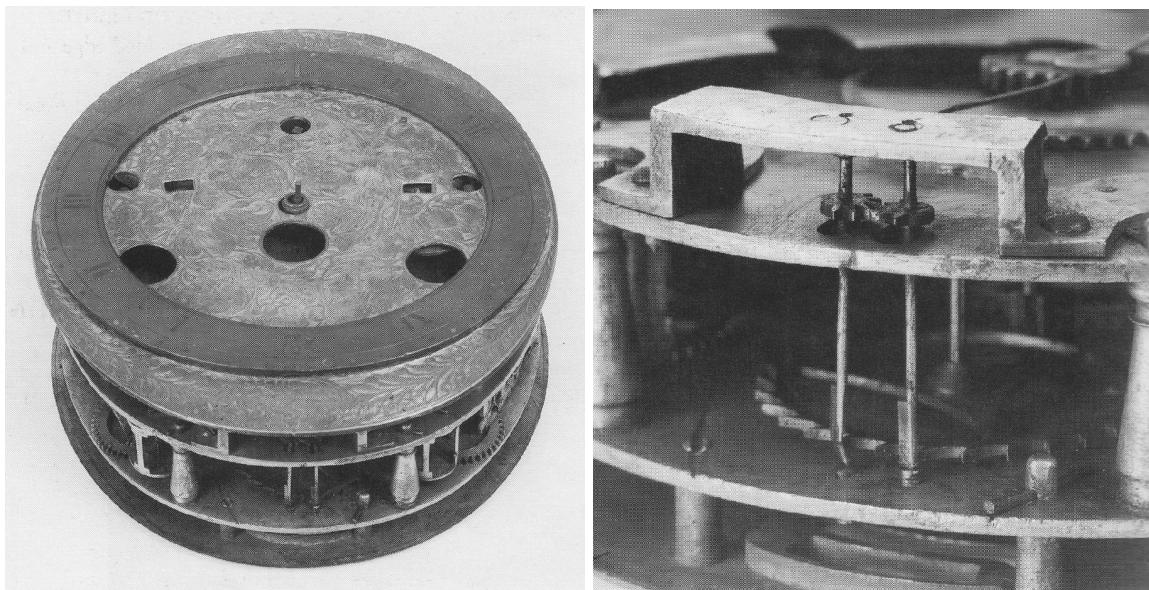


Fig. 2: Horloge marine dotée de 2 pendules au quart de seconde couplés, attribuée à Kochański. Catalogue d'enchères de Phillips, *Clocks and Watches including Scientific Instruments*, 23 septembre 1997, lot 354, ©Phillips London

4 Le régulateur à secondes

Une troisième horloge de Burattini est mentionnée par des Noyers à Boulliau et s'apparente à un régulateur de précision, sans doute construit dans un but scientifique, qui présente d'étonnantes similarités avec l'une des horloges conçues par Johannes Hevelius.

4.1 La description de Pierre des Noyers

Dans la même lettre du 12 septembre 1660 évoquée précédemment, juste après avoir mentionné la pendule de poche de Burattini, des Noyers poursuit :

...il en a depuis fait faire une autre [horloge], avec les minutes et secondes, qui n'a que deux rouë,

et qui par cette raison doit être dans la dernière justesse, celle cy est grande pour être atta[chée] dans une chambre et ha le perpendicule ou balancier fort long, et va avec des poids, on a esprouvé qu'ils sont plus justes que les resorts, cest M. Hevelius qui en a fait la preuve.⁸⁶

4.2 Lien possible avec les travaux de Johannes Hevelius

Il semble que pour concevoir cette horloge, Burattini se soit inspiré des travaux d'un de ses correspondants et ami, l'astronome Johannes Hevelius. Ce savant revendique en effet d'avoir imaginé, parallèlement à Huygens, d'appliquer le pendule aux horloges. Selon ce qu'il en dit dans son ouvrage *Machina Coelestis*, il aurait

^{86.} LDNB, lettre du 12 septembre 1660



Fig. 3: Montre à pendule avec articulations de cardan signée Mattheus Hallaÿcher, vers 1675-80,
©Sotheby's

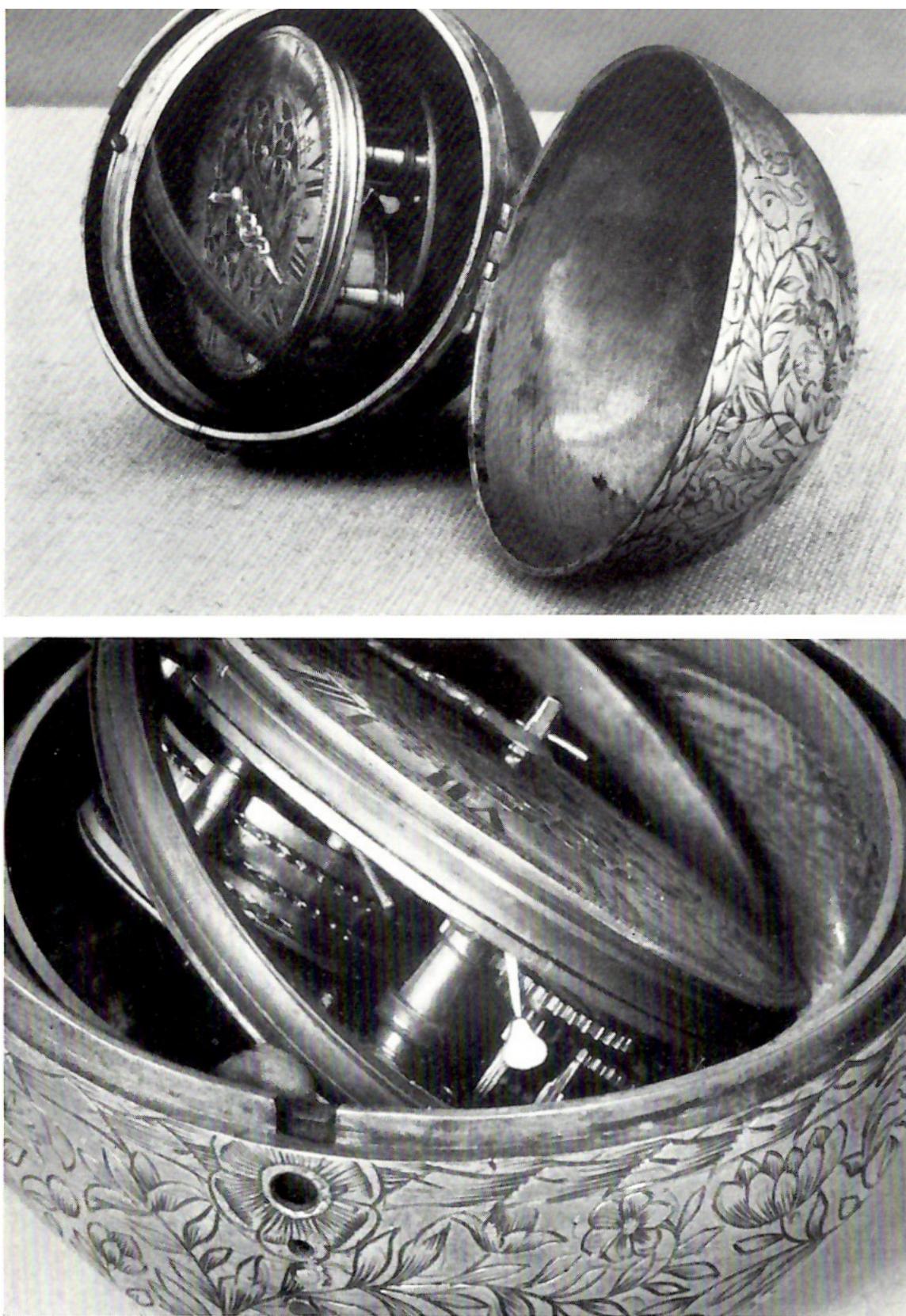


Fig. 4: Autre montre à pendule avec articulations de cardan non signée (allemande), vers 1680



Fig. 5: Autre montre à pendule avec articulations de cardan signée Madelainy, vers 1685



Fig. 6: Montre à pendule sans cardan signée Martin Gerdts, vers 1680



Fig. 7: Autre montre à pendule sans cardan de Martin Gerdts, vers 1680

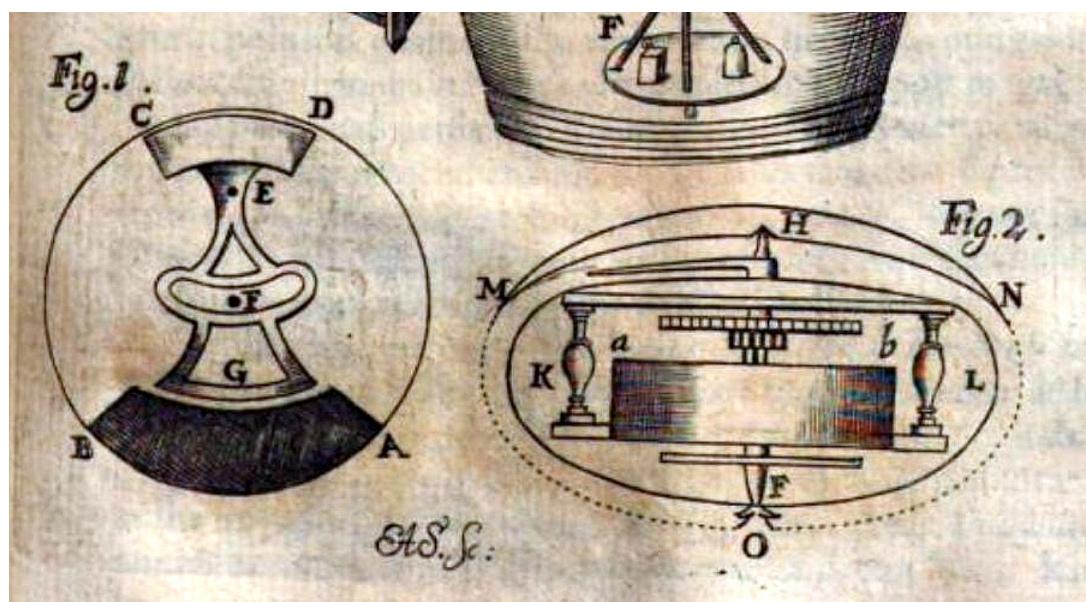


Fig. 8: Montre à pendule magnétique d'Adam Kochanski, 1685

commencé par adjoindre un système de compteur à l'extrémité d'une corde, de manière à compter automatiquement les oscillations du pendule et à les visualiser, sans toutefois entretenir son mouvement⁸⁷. Dans un deuxième temps, avec la collaboration d'un artisan suédois, Hevelius aurait fait fabriquer deux horloges à pendules expérimentales, "sans foliot, sans ressort, sans fusée accompagnée de sa corde ou chaîne en spirale, mais seulement avec un pendule, un poids et quelques roues dentées" (*absque tamen irrequieto, elatere, pyramide æquatoreà, chordà huic circumvolutâ vel catenulâ, solo videlicet pendulo, uno pondere, paucisque tantùm rotulis dentatis*) ; il présentera la plus petite de ces deux horloges au roi de Pologne Jean Casimir, en visite à son observatoire le 29 décembre 1659⁸⁸.

Il est regrettable qu'Hevelius ne donne qu'une description lacunaire de ses horloges à pendules si l'on considère qu'elles ont bien été fabriquées parallèlement à celles de Huygens, et qu'elles constituent à ce titre l'une des expérimentations les plus précoces du pendule couplé à un mécanisme d'horloge. On dispose toutefois d'une autre description de la plus petite des deux horloges (celle présentée au roi de Pologne), que l'on doit à Pierre des Noyers. En effet, dans la même lettre du 3 janvier 1660 qu'on a citée plus haut, des Noyers raconte à Boulliau la récente visite de Jean Casimir à l'observatoire d'Hevelius le 29 décembre 1659. Hevelius, souhaitant impressionner le roi de Pologne, lui montrera ses différents instruments, parmi lesquels figurait (figure 14)...

...un horloge augmen[té] de ce-
luy de Christian Hugens, celuy cy
va avec des poids, et le pendule
en est beaucoup plus long, bien
que l'horloge soit assez petit. Mais
comme il a voulu que les Minutes
[et] seconde y fussent marquées,

87. J. Hevelius, *Machina Coelestis* (Dantzig : chez Simon Reiniger, 1673), pp.364-65

88. *ibid*, p.366

89. *LDNB*, lettre du 3 janvier 1660

90. *LPDN*, lettre CLIV du 23 mai 1658, p.411

91. Cette nomenclature a été introduite dans R. Plomp, *The earliest Dutch and French Pendulum clocks, 1657–1662* (décembre 2005, antique-horology.org). Elle est toujours en usage aujourd'hui bien que la chronologie initiale proposée par Plomp doive probablement être revue comme le suggère Keith Piggott dans ses nombreuses études des horloges de Coster.

l'all[ée] du pendulum en marque, et le retour unautre, de sorte que 60. tant allees que venuë font une minute première, et cela estait nécessaire a la perfection.⁸⁹

La description de l'horloge donnée par des Noyers est cohérente avec celle d'Hevelius : l'horloge est bien de petite taille et marque les secondes.

La signification du terme "augmen[té]" est assez obscure. Il semble que cet adjectif fasse référence à une notion de perfectionnement : une "horloge augmentée" pourrait signifier une horloge *perfectionnée, améliorée* ; on pourrait alors réécrire le début de la phrase par : "...une horloge perfectionnée du type de celles de Christian Huygens..." .

Il peut paraître surprenant que des Noyers mentionne, comparativement aux horloges de Huygens, l'utilisation de poids et la longueur du pendule du modèle d'Hevelius, quand on sait que le prototype présenté par Huygens dans son *Horologium* présentait l'une de ces deux caractéristiques, et que des horloges à long pendule avaient déjà été expérimentées par Huygens dès 1657. Il semble en fait que des Noyers n'avait pas connaissance de ces horloges en ce début d'année 1660, et n'avait vu auparavant qu'une seule horloge à pendule, celle fabriquée par Coster et envoyée en Pologne en mai 1658 :

*M^{me} l'électrice [de Brandebourg] a envoyé à la reine l'horloge de Christian Huygens ; elle a réveil et sonnerie dans un cadre d'ébène ; nous verrons comment elle ira.*⁹⁰

Comparativement à cette horloge, qui était certainement un modèle "classique" de Coster, similaire aux exemplaires D5 et D8⁹¹, à ressort et équipée d'un pendule court, le commentaire de des Noyers se justifie pleinement.

Hevelius précise que ses deux horloges comportaient quatre roues pour la plus petite, et

seulement deux roues pour la plus grande, comme celle de Burattini. Faut-il y voir une coïncidence ? Probablement pas, car Burattini correspondait avec Hevelius et lui a rendu visite à plusieurs reprises ; il pourrait donc avoir observé les horloges d'Hevelius assez tôt et s'en être inspiré pour concevoir son propre régulateur.

4.3 Justification technique et historique de ces horloges

Des mécanismes d'horloge à faible nombre de roues (seulement une ou deux) ont existé bien avant les réalisations d'Hevelius et de Burattini. Silvio Bedini a présenté plusieurs descriptions d'une horloge de ce type datant du XVI^e siècle, peut-être inspirée d'une construction bien plus ancienne qui remonterait au XIV^e siècle⁹². Hevelius, quant à lui, s'est certainement inspiré des réalisations de Jost Bürgi, dont il mentionne l'échappement à double foliot ("duplici libramento") dans son *Machina Coelestis*⁹³. Bürgi a été l'un des premiers à fabriquer des roues de très grande taille : l'une d'elles, fabriquée pour Tycho Brahé, comportait 1200 dents⁹⁴. Parmi les horloges de Bürgi qui nous sont parvenues, un de ses régulateurs comporte uniquement deux roues⁹⁵ (figure 10). Cette disposition a été reprise par plusieurs autres horlogers qui ont utilisé l'échappement de Bürgi ; on la retrouve notamment dans une horloge danoise datée de 1642⁹⁶ et dans un modèle attribué à Johannes Buschmann, conservé au British Museum⁹⁷, qui ne comporte qu'une seule roue d'échappement de 300 dents.

Un autre point commun entre les régulateurs de Burattini et d'Hevelius est l'indication des secondes, et la présence d'un pendule à se-

condes. Cette disposition découle naturellement de l'utilisation de ces horloges pour des observations astronomiques auxquelles s'adonnaient ces deux savants ; c'est pour cette même raison que Tycho Brahé utilisait des horloges à secondes, et que Huygens en fera également réaliser.

4.4 Reconstructions possibles

Il nous paraît intéressant de proposer une reconstruction des régulateurs à deux roues de Burattini et d'Hevelius pour mettre en regard les aspects techniques qui devaient les différencier. En effet, si on admet qu'Hevelius a fait fabriquer ses horloges sans connaître les modèles de Huygens comme il l'expose dans son ouvrage *Machina Coelestis*, il n'aura pas pu y intégrer certaines solutions techniques imaginées par Huygens (la fourchette, le remontage sans fin...) que Burattini aura découvertes *via* l'horloge de Coster qu'il enverra en Italie, et probablement en consultant l'*Horologium* dont Hevelius a reçu un exemplaire dès sa publication en septembre 1658⁹⁸ et dont un autre exemplaire a été envoyé à Florence par Boulliau en octobre de la même année⁹⁹.

La figure 11 présente plusieurs vues des régulateurs, dessinées selon les descriptions de des Noyers et d'Hevelius, qu'on va justifier dans les prochains paragraphes.

La première étape de la reconstruction a consisté à imaginé la disposition probable des trains de rouage. Pour cela, on sait que les horloges ne comportaient que deux roues, qu'elles indiquaient les heures, minutes et secondes, et qu'elles étaient équipées d'un pendule battant la seconde : on en déduit que l'aiguille des secondes était logiquement montée sur la roue

92. S. Bedini, *One-wheeled clocks and the clocks with two or three wheels*, La Suisse horlogère et Revue internationale de l'horlogerie, n°4, décembre 1962, pp.23-34. Cet article a été traduit en français et publié dans la revue *Horlogerie Ancienne*, n°40, 1996, pp.25-36.

93. Hevelius, *Machina Coelestis*, p.367

94. T. Brahé, *Astronomiae Instauratae Mechanica* (Wandesburgi, 1598), p.29

95. Voir, par exemple, H. A. Lloyd, *Some outstanding clocks over seven hundred years - 1250-1950* (Glasgow : The University Press, 1958), pp.61-69, et H. von Bertele, *Precision timekeeping in the pre-Huygens era*, Horological Journal, n°12, décembre 1953, pp.811-812

96. H. von Bertele, *Early Clocks in Denmark*, Horological Journal, n°3, mars 1955, pp.172-176

97. https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_1973-0202-1

98. OC, vol.II, p.209

99. *ibid*, lettre 536, p.253

d'échappement, et celle des minutes sur la roue motrice principale. Les heures étaient probablement indiquées par une aiguille concentrique à celle des minutes, entraînée par une minuterie assez classique. Il semble également logique que la roue d'échappement ait été située au-dessus de la roue motrice, comme il était d'usage à l'époque. La disposition d'affichage devait donc être semblable à celle de l'horloge de Huygens représentée dans l'*Horologium Oscillatorium*¹⁰⁰, avec un cadran des secondes positionné au-dessus ou à l'intérieur du cadran principal. On note par ailleurs que l'horloge à pendule représentée à droite sur la planche D des *Machina Coelstis* (reproduite en figure 9) comporte un petit cadran des secondes à 12 heures, et 2 aiguilles concentriques sur un grand cadran central¹⁰¹; en effet, le cadran central est composé de 3 anneaux concentriques dont les deux premiers (les plus proches du centre) semblent comporter 12 graduations, et l'anneau extérieur en comporte 60, ce qui peut correspondre à une indication des heures et des minutes par 2 aiguilles concentriques. On a choisi de reproduire ce cadran le plus fidèlement possible sur la reconstruction du haut de la figure 11, bien que rien ne prouve que cette horloge soit effectivement l'une de celles fabriquées pour Hevelius, mentionnées dans son ouvrage.

On notera enfin qu'une disposition d'affichage similaire, quoique différente, se retrouve également sur la représentation de 1587 des horloges de Tycho Brahe¹⁰² et sur l'horloge de Treffler, qui serait une "copie" de l'horloge de Coster envoyée par Burattini à Ferdinand de Médicis¹⁰³.

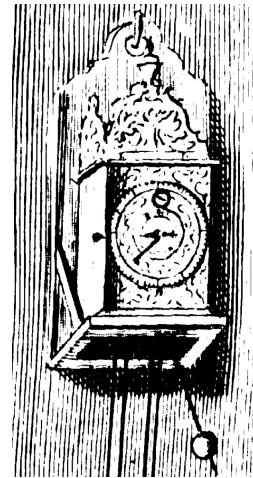


Fig. 9: Horloge à pendule des *Machina Coelstis*, planche D

Concernant les nombres de dents, les roues d'échappement comportaient nécessairement 30 dents pour être compatibles d'un pendule à secondes. Avec un rapport 1 :60 entre cette roue et la roue motrice, on peut supposer que cette dernière comportait 300 ou 360 dents pour engrenier avec un pignon de la roue d'échappement de respectivement 5 ou 6 dents, qui était classique à l'époque. On rencontre d'ailleurs des roues de 300 dents sur le régulateur n°3 de Bürgi¹⁰⁴, sur l'horloge attribuée à Buschmann du British Museum et sur le régulateur "BX3i" attribué à Bürgi¹⁰⁵; une roue de 360 dents équipe quant à elle l'horloge danoise décrite par von Bertele¹⁰⁶.

Sur les deux horloges, un poids fournissait la force motrice. Il est probable que le système de remontage sans fin ait été adapté sur le modèle de Burattini (qui l'aurait découvert dans l'*Horologium*), car des Noyers dit que l'horloge fonctionnait "avec des poids". Il utilise toute-

100. C. Huygens, *Horologium Oscillatorium* (Paris : chez F. Muguet, 1673), p.4

101. J. Hevelius, *Machina Coelstis*, planche D, pp.114-115

102. von Bertele, *Precision timekeeping in the pre-Huygens era*, p.794 & p.796

103. K. Piggott, *A Royal 'Haagseklok'*, Appendix Three, Open-Research, Memo-Treffler : Johann Philipp Treffler's 1657/8 Pendulum Timepiece (DØcopy)

104. Lloyd, *Some outstanding clocks over seven hundred years*, planche 72. On compte 50 dents sur un sixième de la roue d'échappement, soit un total de 300 dents. Lloyd mentionne le chiffre de 360 dents mais semble être en erreur (p.64 : "the assumption is that the escape wheel has 360 teeth, although from the photograph it has not been possible actually to confirm this").

105. K. Piggott, *Ahasuerus Fromanteel's 1649 Cromwellian and Royal Astronomical Sun-Clock*, p.32. Il semble que cette horloge soit aujourd'hui conservée au Patek Philippe Museum, voir P. Friess, *Treasures from the Patek Philippe Museum - The Emergence of the Watch* (teNeues Media GmbH & Co. KG, 2022), p.31.

106. H. von Bertele, *Early Clocks in Denmark*, p.175

fois cette même formulation pour qualifier l'horloge d'Hevelius, qui, dans sa *Machina Coelestis*, parlait d'*un seul* poids ("uno pondere"). Dès lors, on peut formuler deux hypothèses :

- soit des Noyers utilise le pluriel au sens général, sans que cette formulation se rattache effectivement au nombre de poids qui équipaient les horloges ;
- soit Hevelius a rajouté un système de remontage sans fin de Huygens à son horloge, qui n'en comportait pas initialement.

La deuxième hypothèse nous paraît la plus probable dans la mesure où l'horloge à pendule de la planche D des *Machina Coelestis* est équipée de deux poids, un lourd et un léger, avec deux poulies, qui vient suggérer l'utilisation d'un remontage sans fin de Huygens ; *a contrario*, l'horloge située à sa droite, qui ne dispose pas d'un pendule, comporte quatre poids pour deux trains de rouages mais sans poulies, soit la disposition classique utilisée sur les horloges lanternes à la même époque.

La partie du mécanisme la plus difficile à extrapoler est certainement l'échappement. On sait qu'il ne pouvait pas s'agir d'un échappement traditionnel à roue de rencontre car, pour indiquer les secondes, la roue d'échappement devait être dans un plan vertical, parallèle à celui de la roue motrice. On entrevoit dès lors deux possibilités :

1. La roue d'échappement était une roue de rencontre classique qui engrenait avec une verge, et un renvoi était intercalé entre la verge et le pendule pour permettre le changement de plan de rotation.
2. La roue d'échappement était à denture radiale, comme sur les régulateurs de Bürgi, et un échappement similaire à celui de Bürgi était utilisé.

La première disposition peut correspondre à

107. Pour une photographie de cet échappement, voir Hordijk et Memel, *Salomon Coster, the clockmaker of Christian Huygens*, p.336. Une autre vue est également présentée dans A. J. Servaas van Rooijen, *Het Slingeruurwerk van Christian Huygens*, Eigen Haard, 1899, p.107.

108. E. L. Edwardes, *Old Dutch clocks*, Antiquarian Horology, 8-3, juin 1973, pp.254-275

109. J. Hevelius, *Machina Coelestis*, p.363. La traduction est celle de G. Baillie, *Most important item of a horological bibliography*, Watch and Clock Maker, n°95, février 1936, p.433.

110. K. Piggott, *A Royal 'Haagse klok' - Appendix 7 : the pendulum - aequations and tides*, p.8 & p.14

111. D. Cousin, *The 'Chevalier de Béthune' escapement*, Antiquarian Horology, 42-3, septembre 2021, pp.349-364

celle rencontrée dans l'*Horologium*, où un échappement à pirouette est utilisé pour convertir la rotation verticale de la verge en une rotation horizontale du pendule (le système *OP*). Burattini, qui avait certainement connaissance de cette disposition, a pu la mettre en pratique dans son propre régulateur. Une autre possibilité consistait à employer un renvoi similaire à celui qui a équipé l'horloge de clocher de Scheveningen, convertie en 1658 à un oscillateur pendulaire, qui utilise une sorte de fourchette pour lier cinématiquement la verge au pendule¹⁰⁷, une disposition qui sera appliquée par la suite aux horloges hollandaises "Zaandam"¹⁰⁸.

La deuxième disposition, similaire à l'échappement de Bürgi, est, selon nous, celle qui a pu être utilisée par Hevelius. On sait en effet qu'il était informé de la grande précision des horloges de Bürgi ("je n'ai jamais trouvé une seule horloge, même une avec un double foliot, qui évitait complètement les irrégularités"¹⁰⁹), et qu'il en avait probablement eu un modèle similaire en sa possession. On sait également qu'Ahasuerus Fromanteel a appliqué un échappement de type "cross-beat" à un pendule vers 1663 ou 1664, suivi de quelques années par Joseph Knibb¹¹⁰. Ces échappements préfiguraient les variantes dites du "Chevalier de Béthune" qu'on rencontre à partir du XVIII^e siècle¹¹¹.

On a choisi d'illustrer ces deux dispositions d'échappement en les représentant sur la figure 11, la première sur l'horloge de Burattini, la deuxième sur le modèle d'Hevelius. Sur cette dernière, on a dessiné le pendule fixé rigidement à un arbre oscillant entre deux pivots, conformément à ce que décrit Hevelius, une disposition qu'il a certainement abandonnée par la suite pour une suspension à fil, qui devait figurer sur le régulateur de Burattini.

Enfin, on a introduit une dernière différence entre les deux mécanismes en adjoignant

un système de remontage sans fin sur le modèle de Burattini, comme discuté plus haut.

Au-travers des reconstructions présentées ici, on constate finalement que les horloges de Burattini et d'Hevelius devaient être assez similaires, contraintes dans leur construction par l'utilisation d'un train de rouage ré-

duit qui bat la seconde, lequel vient imposer une certaine disposition d'affichage et de dentures. Les différences entre ces deux constructions résidaient probablement dans des détails techniques - l'échappement, la suspension du pendule, le remontage - qui avaient toutefois leur importance sur la régularité de la marche et l'usage pratique du garde-temps.

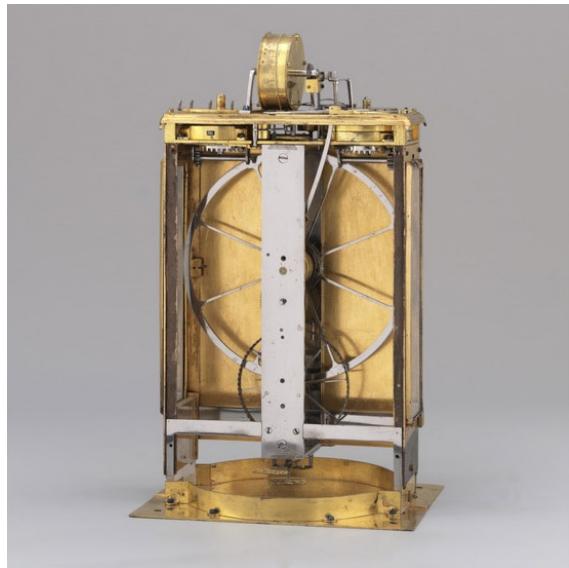


Fig. 10: Régulateur attribué à Jost Bürgi, vers 1590, ©Hessen Kassel Heritage

5 Une dernière horloge plus tardive

La correspondance très incomplète de Burattini et les quelques éléments rapportés par des Noyers à son sujet nous permettent d'avoir un bref aperçu de ses travaux, certainement très lacunaire. Il nous semble fort probable que Burattini ait imaginé et fait concevoir d'autres mécanismes d'horloges, sans qu'elles aient atteint la postérité.

On dispose de deux lettres envoyées par Burattini en 1667 et 1668 où il est question d'une dernière horloge à pendule envoyée au prince Léopold de Médicis. Ce sont, à notre connaissance, les dernières mentions de sa part d'une horloge, qu'il décrit en ces termes dans une première lettre datée du 9 février 1667 :

Il y a quelques semaines, j'ai en-

voyé à Venise une horloge à pendule fabriquée dans ma maison, qui fonctionne pendant quinze jours sans être remontée plus d'une fois, et dans ce laps de temps, le poids ne descend pas de plus de deux *braccia*. Je l'ai destinée au Très Sérénissime Grand Prince en gage de mon humble obéissance.

(Alcune settimane sono mandai a Venezia un orologio col pendolo fatto fare qui in casa mia il quale cammina due settimane senza esser montano che una sol volta, et in questo tempo il contrapeso non scende che doi soli bracci. L'o destinato per il Ser.mo gran Principe in tributo del mio humillissimo obse-

112. Copie d'une lettre de Burattini du 9 février 1667, *Archivio di Stato di Firenze*, fond Mediceo del Principato, 4489, feuillets 1301 v. - 1302 r.

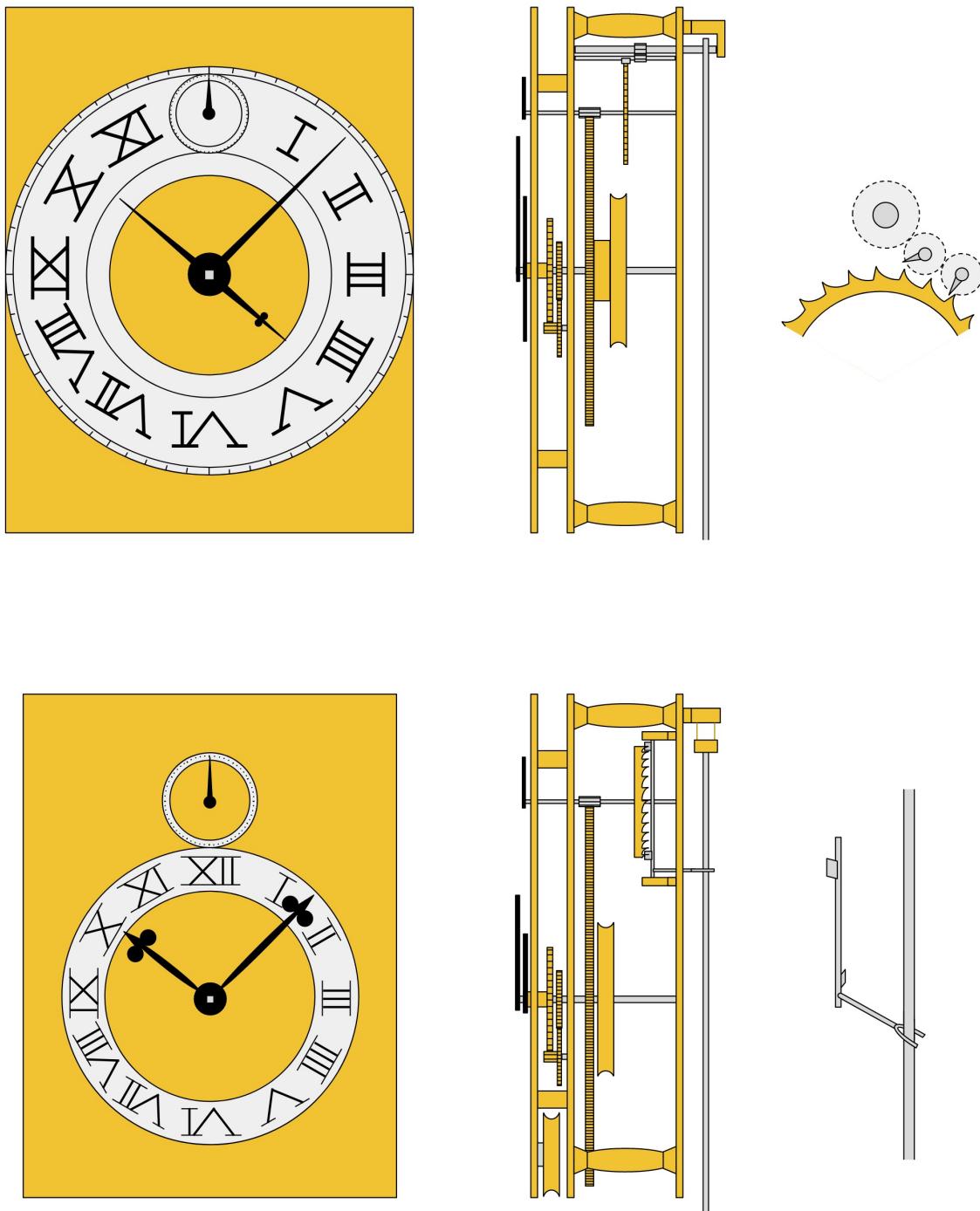


Fig. 11: Reconstructions possibles des régulateurs d'Hevelius (haut) et de Burattini (bas)

quio.)¹¹²

Dans une deuxième lettre datée du 23 mai 1668, Burattini écrit :

L'horloge que Votre Excellence a reçue, je l'ai envoyée au Très Sérenissime Grand Prince l'année dernière ; elle marche pendant deux semaines et ne mesure que 2 3/4 *braccia* à partir du sol, mais le contrepoids doit être trois fois plus lourd que tout le corps de l'horloge incluant la clé. Au lieu d'une corde et d'une chaîne, j'ai utilisé un fil de laiton ou d'argent cuit, c'est-à-dire mis au feu jusqu'à ce qu'il prenne une couleur pourpre, et un tel fil dure quatre à cinq ans sans se rompre. Je sais que ce n'est pas la plus belle chose du monde, mais comme elle est remontée une fois tous les quinze jours, elle fonctionne très bien, mais j'ose la présenter à Son Altesse Sérenissime, comme je prie Votre Altesse Sérenissime de le faire en mon nom, quand Son Altesse retournera à Florence, lui qui était attendu ici en Pologne par beaucoup, mais qui a pris un autre chemin.

(L'orologgio, che V. S. Ill.^{ma} ha ricevuto, io lo mandai al Ser.^{mo} Gran Principe sino l'anno passato ; camina doi settimane posto alto da terra solo doi braccia e tre quarti, ma il contrapeso deve esser tre volte più pesante di tutto il corpo del orologgio compresa la chiave. In vece di corda e di catena mi servo d'un filo d'ottone o d'argento cotto, cioè messo nel fuoco sin che prendi il colore di porpora, ed un tal filo dura quattro o cinqu'anni senza rompersi. So bene che non è la più bella cosa del mondo, ma perchè si tira su ogni doi settimane una volta, va

giustissimamente, però ho ardito di presentarlo a S. A. Ser.^{ma} come prego V. S. Ill.^{ma} di far ciò in nome mio, quando S. A. sarà ritornato a Fiorenza, il quale era atteso qui in Polonia da molti, ma ha preso altro camino.)¹¹³

C'est en effet en 1668 que Jean Casimir renoncera à la couronne de Pologne et se retirera en France comme abbé commendataire de l'abbaye de Saint-Germain-des-Prés, où il contribuera à l'essor des arts mécaniques en ce haut lieu de l'horlogerie parisienne¹¹⁴.

En utilisant la correspondance avec la *braccia* utilisée à Florence, la distance séparant le sol du haut de l'horloge suspendue devait mesurer environ 1.5 mètres, et l'horloge en elle-même devait mesurer environ 40 centimètres au maximum, probablement moins. Compte-tenu de ces dimensions, il est possible qu'elle ait été équipée d'un pendule battant la seconde. On peut supposer qu'elle était semblable au régulateur à deux roues de 1660, mais en l'absence d'informations supplémentaires, il est impossible d'en savoir plus.

Conclusion

On a décrit dans cet article quatre gardes-temps que l'ingénieur polonais Tito Livio Burattini a imaginés et commandités, ou fabriqués par lui-même. Ces réalisations figurent parmi les rares témoignages documentés d'expérimentations primitives de l'application du pendule aux horloges, inspirées des travaux de Huygens. Plus encore, elles nous renseignent également sur la démarche scientifique de Burattini et la logique qu'il aura suivie en tant qu'ingénieur pour concevoir ces pièces novatrices.

Il est en effet intéressant de noter plusieurs similarités entre les différentes réalisations horlogères de Burattini, et entre ces mécanismes et ses autres travaux.

On remarque tout d'abord que Burattini "aimait à perfectionner les découvertes déjà

113. Favaro, *Intorno*, p.120. La lettre originale était conservée à la Bibliothèque Nationale de Florence, mss. Galileiani. Div. V. Cimento. **Tomo 19, car. 176-179.**

114. J.-D. Augarde, *Les ouvriers du temps* (Genève : Antiquorum éditions, 1996)

115. Targosz, *La Cour savante de Louise-Marie de Gonzague*, p.164

faites" comme l'a signalé Karolina Targosz¹¹⁵. Il apparaît en effet que ses différentes réalisations, qu'ils s'agissent des horloges à pendule, de la machine hydraulique, de la balance hydrostatique, de la machine à calculer ou du "dragon volant", ne sont pas des inventions à proprement parler mais uniquement des perfectionnements de machines déjà existantes, quoique récemment inventées. La démarche de Burattini a consisté alors avant tout à penser ces machines comme des concepts qu'il s'agissait de mener à la perfection et à un niveau de précision ultime, un état d'esprit qu'il partageait également avec Pierre des Noyers, lui aussi très exigeant sur la qualité et la précision des instruments qu'il utilisait¹¹⁶. Cette quête permanente de l'excellence était en réalité l'apanage de nombreux savants de cette époque, liée au contexte social et au développement significatif de la rigueur scientifique, ainsi qu'à la naissance de l'astronomie de précision au XVIIe siècle¹¹⁷.

La recherche de la perfection s'accompagne chez Burattini d'une injonction à la simplicité et à l'épuration : l'horloge à eau du Grand Duc "n'est composée que d'un fort grand poids", et le régulateur de Burattini ne comporte que deux roues. En cela, il s'inspire sans doute de ses contemporains, dont Hevelius, et des inventeurs qui l'ont précédé, comme Jost Bürgi, qui avaient remarqué que toute pièce en mouvement induit nécessairement un frottement et par conséquent une perturbation, et qui ont ainsi cherché à simplifier les mécanismes à l'extrême pour n'en conserver que les organes indispensables, bien avant les horlogers "modernes" comme Bréguet qui croyait en une esthétique de la simplicité.

116. D. Mallet, *Pierre des Noyers, a Scholar and Scientific Intermediary at the Court of Louise-Marie Gonzaga*, Rocznik Filozoficzny Ignatianum, vol.27-2, 2021, pp.179-198

117. Voir, par exemple : *Jean Picard et les débuts de l'astronomie de précision au XVIIe siècle - actes du colloque du tricentenaire* (Paris : Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1987).

118. T. L. Burattini, *Misura Universale, Proemio*

119. Pour n'en citer que quelques exemples : (1) l'échappement à ressort vertical de Jean de Hautefeuille de 1674 (J. de Hautefeuille, *Factum touchant les pendules de poche*, 1676) pour lequel il accusera Huygens de plagiat, mais qui ne pouvait pas fonctionner convenablement ; (2) le pendule magnétique de Hautefeuille (J. de Hautefeuille, *Pendule perpétuelle avec un nouveau balancier*, 1678) qui ne pouvait pas fonctionner car son mouvement repose sur une loi contraire à la physique ; (3) la plupart des échappements insolites de Kochański présentés dans les *Technica Curiosia* de G. Schott ; (4) le mécanisme à double-balancier de Leibniz qui n'était qu'une expérience de pensée, voir <https://gallica.bnf.fr/> ; (5) toutes les tentatives de fabriquer des horloges à mouvement perpétuel antérieures et postérieures à Burattini, qui étaient seulement des expériences de pensée sans réalité pratique.

120. R. Descartes, *Les Principes de la Philosophie, Ecrits en Latin, Par René Descartes. Et traduits en François par un de ses Amis* (Paris : chez Pierre Des-Hayes, 1647), pp.39-41 & pp.68-75

Un corollaire à la simplicité recherchée par Burattini est l'aspect pratique de ses réalisations : sa balance hydrostatique permet de "réaliser cent opérations là où une seule est réalisée avec celle de Galilée" (*faccio più presto cente operazioni, di quello se ne puo far una con quella del signor Galileo*¹¹⁸), et sa machine à calculer s'utilise avec "plus de facilité et de sûreté" que celle de Pascal (*dixit* des Noyers). En cela, Burattini conçoit ses instruments non seulement comme un savant mais surtout comme un *ingénieur*, sensibilisé à leur utilisation pratique quotidienne ; cette qualité d'esprit le distingue d'un certain nombre de savants de l'époque qui sont aujourd'hui connus pour avoir imaginé de nombreux appareils techniquement aboutis sur le papier mais qui se révéleront inutilisables d'un point de vue pratique¹¹⁹.

On peut penser que c'est cette quête de la sobriété et de praticité qui a conduit Burattini à imaginer son échelle des mesures universelle, une forme de théorie ultime où toutes les grandeurs physiques sont réduites à une seule, invariante dans le temps, donc *éternelle*. Bien que cette idée puisse avoir des racines religieuses, comme il est dit que "Dieu a créé toutes choses selon le Nombre, le Poids et la Mesure" (Livre de la Sagesse, XI, 21), il est plus probable que Burattini ait été influencé par les théories scientifiques de son époque, dont les "vérités éternnelles" de Descartes ; il est facile de voir en effet un rapprochement entre la notion de "mesure universelle" et les *universaux* décrits par Descartes, parmi lesquels figurent le nombre, la grandeur ou le temps, des notions abstraites au-dessus de l'existant, toutes liées à la notion

de mesure¹²⁰. C'est aussi Descartes qui renouvelera le concept de *mathesis universalis*, en approfondissant l'idée de l'universalité appliquée à toute connaissance physique. Ironiquement, c'est ce principe de mesure universelle qui a été utilisé pour refonder en 2019 les unités du Système International en s'appuyant sur les constantes fondamentales de la physique.

L'universalité s'accompagne chez Burattini de la transversalité. On voit qu'il a appliqué aux horloges certaines solutions techniques issues d'autres de ses travaux, comme le remontage hydraulique ou le fil de laiton ou d'argent cuit, qui étaient tous deux utilisés à d'autres fins. Ses connaissances étendues en astronomie, mécanique, optique... lui auront certainement permis de faire profiter une discipline des avancées réalisées dans une autre, à une époque où de nombreux savants appréhendaient les arts intellectuels dans leur globalité.

On comprend ainsi que les travaux de Burattini s'ancrent dans le contexte social et la mentalité scientifique du XVIIe siècle.

Il est regrettable qu'aucun des gardes-temps fabriqués par Burattini ne nous soit apparemment parvenu. Il est possible qu'il en existe des descriptions plus détaillées dans l'inventaire des Médicis dressé en 1690, où figure l'horloge de Coster envoyée au Grand Duc par Burattini¹²¹, en particulier de la "montre à pendule". Il est aussi probable que Burattini ait offert plusieurs

autres horloges au roi de Pologne Jean Casimir ; l'inventaire de ses biens dressé à sa mort en 1672 montre qu'il possédait des pièces d'horlogerie exceptionnelles, dont deux horloges indiquant les secondes, l'une d'elles équipée d'un double foliot¹²². Toutes ces pièces ont été vendues en 1673 et nul ne sait ce qu'elles sont devenues ; deux d'entre elles sont peut-être conservées au National Maritime Museum¹²³ et au British Museum¹²⁴.

De nouvelles découvertes nous apporteront peut-être à l'avenir davantage d'informations sur les créations originales de Burattini et sa contribution, discrète mais techniquement passionnante, au développement des premières horloges à pendule.

Remerciements

Je souhaite remercier Keith Piggott pour les échanges très instructifs que nous avons eu autour de l'histoire de l'horloge à pendule et les relecteurs anonymes pour les commentaires inspirants. Je remercie également Sotheby's et le *Museum of Hessian History* pour leur autorisation à reproduire les photographies de la montre de Hallaÿcher et du régulateur de Bürgi, ainsi que le propriétaire de l'horloge attribuée à Kočański pour les vues détaillées et les explications techniques qu'il m'a gracieusement fournies.

121. *Guardaroba Medicea*, n°959, Archives de l'État de Florence

122. P. G. Poole, *The Casimir Inventories*, Horological Journal, vol.107-2/3/4, août-septembre-octobre 1964, pp.14-15 / pp.20-21 / pp.24-26

123. V. P. Alvarez, *The universe on the table. The Buschman Renaissance clock of the National Maritime Museum*, Antiquarian Horology, 39-3, septembre 2018, pp.342-360

124. https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_1867-0716-4

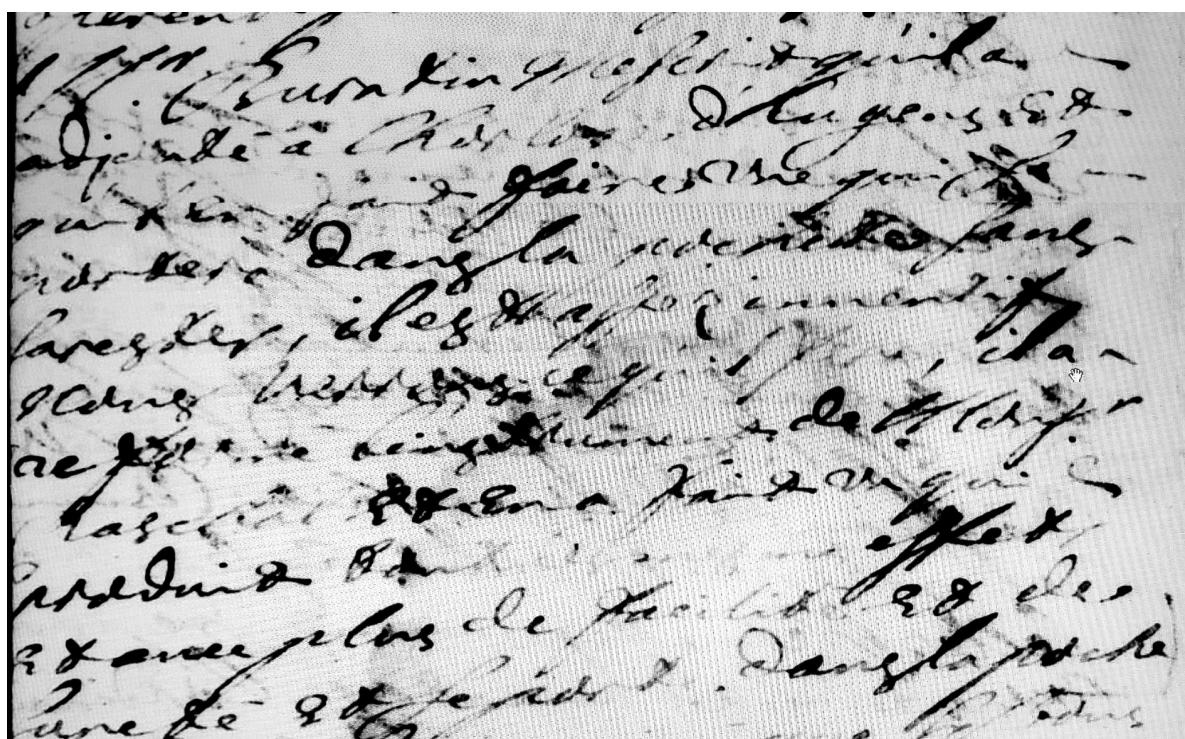


Fig. 12: Lettre de Pierre des Noyers à Ismaël Boulliau datée du 3 janvier 1660

En y plus ce que fait en ce.
 De la, M. Buratin a
 Envoyé un grand horloge
 d'Augens, qui a refusé,
 Je parle dans la chaudière et
 n'est pas plus grosse qu'un
 dent, et ne fonctionne plus.
 est dans une bâche de ferre
 et demeure toujours brûlée.
 Ces lampes de l'andon, il n'a
 depuis fait faire une autre
 avec les mêmes et siennes
 qui va que deux révoltes, et
 qui par cette raison doit être
 dans la dernière fougasse, ce
 qui est grande peine extrême
 Dans une chambre où ha le
 pendule ou balancier so
 long, et un an des pieds,
 a appris qu'il faut plus
 faire que les report, ces
 horloges qui en font la prem
 Vois midi dans trois

Fig. 13: Lettre de Pierre des Noyers à Ismaël Boulliau datée du 12 septembre 1660

D'après le disengraffe aurore d'auant
 jadis ay vire les instruments de
 l'ordre de Tinti, des drappes des
 Maures, pris au temps du ruy
 d'auoyre, & de la horloge auquale
 de Celui de Christian Augens, celles
 q[uo]d auue des pieds, & le pendule
 en eau de reauence plus long, bien q[uo]d
 la horloge p[er]t affer p[er]d[re] ou au
 commencement de la mort que les Membres
 iedre de ce p[er]fond matrone, l'auant
 du pendule au monastere & le
 abord de l'autre, de l'ordre que
 le Sr. Paul ille... a... tenu l'ordre
 au moins de la premiere, & ce
 ordre & le p[er]fond au la perfection
 avec l'autre des deux Catoliques

Fig. 14: Lettre de Pierre des Noyers à Ismaël Boulliau datée du 3 janvier 1660 (suite)