



L'HORLOGE MECANIQUE EN ASTRONOMIE DE POSITION JUSQU'A LA MOITIE DU XVIII° SIECLE

Edoardo Proverbio

Observatoire Astronomique, Via Ospedale 72, 09100 Cagliari, Italie

Résumé:

L'introduction de l'horloge mécanique a partir du début du XIV siècle a joué un rôle très important pour l'amélioration des observations astronomiques en astronomie de position. Dans une première phase, situé entre la dernière partie du XVI siècle jusqu'à la moitié du XVII siècle, il y a eu une importante innovation et évolution des premières horloges mécaniques, employés déjà à la fin du XV siècle par B. Walther. Une seconde, est signée par la découverte des lois de la mécanique et par l'application de la mécanique théorique à la technique horlogère. L'application du pendule aux horloges mécaniques et la réalisation des pendules compensatrices ont, après une période incertaine, entraîné une sensible amélioration des performances des instruments horaires utilisés en astronomie de position.

Abstract

The introduction of the mechanical clock at about the beginning of the XIV century has played a very important rôle for the improvement of the astronomical observation in positional astronomy. At the beginning two different periods can be singled out in the astronomical applications of the mechanical clock. The first period, put between the end of the XVI century and the half of the following century, is characterized by an evolution of the old mechanical clocks. The second on the contrary is distinguished by the application of the theoretic mechanic to the horology technique and leads to considerable improvement in the accuracy of astronomical time-keepers.

INTRODUCTION

En sens strict, les applications les plus importantes des dispositifs mécaniques qui servent à la mesure et à la conservation du temps sont celles qui sont destinées à l'usage civil et les applications techniques, pour la navigation et la géographie et pour les observations les plus délicates de l'astronomie de position. En général nous appelons horloges et montres tous ces dispositifs qui sont destinés à représenter le mouvement diurne du soleil ou des étoiles. Naturellement nous excluons de cette classification toutes les horloges astronomiques et planétaires dont le but est de représenter le mouvement annuel du soleil et les mouvements de la terre et des planètes (1). Pour des raisons différentes liées aussi aux remarquables intérêts économiques et commerciaux

en jeu, l'histoire de l'horlogerie et de la chronométrie a privilégié dans le passé les recherches historiques concernant d'une part les aspects les plus proprement techniques du développement de l'horloge mécanique, et de l'autre les questions qui présentaient une signification particulière pour les collectionneurs d'oeuvres d'art et d'antiquités. Nous disposons donc aujourd'hui de livres et d'oeuvres qui ont donné une contribution fondamentale à la connaissance de l'histoire des instruments destinés à la mesure du temps.

Il y a toutefois des aspects particuliers dans l'histoire de l'horloge mécanique, qui méritent, à notre avis, un plus grand approfondissement; en particulier en ce qui concerne l'utilisation des horloges mécaniques dans les applications qui demandent une haute précision et par consé

quent une haute technologie. Nous n'hésiterons pas à dire que le développement de l'horloge mécanique est strictement lié aux sollicitations que, de temps en temps, les milieux les plus exigeants ont exercé sur l'état de la technologie en horlogerie, donnant lieu, en moments cruciaux, à la naissance des différenciations et des spécialisations dans l'utilisation même de l'horloge mécanique.

#### L'UTILISATION DES PREMIERES HORLOGES MECANIQUES EN ASTRONOMIE DE POSITION

Si l'introduction de l'horloge mécanique à foliot, à partir de la fin du XIII<sup>e</sup> siècle et du début du XIV<sup>e</sup> a joué un rôle très important pour l'amélioration des observations astronomiques en astronomie de position, nous devons toutefois reconnaître que, à cause de la précision insuffisante des premières horloges, l'utilisation des horloges mécaniques en astronomie se présente avec un assez grand retard à l'égard de leur utilisation dans d'autres secteurs. C'est seulement lorsque la technique de construction a permis une miniaturisation des composants permettant la construction de mouvements d'une stabilité de quelques minutes sur les 24 heures, compatibles avec la précision des observations astronomiques, que les horloges mécaniques commencent à entrer dans la pratique des observations astronomiques. Vers la fin du XV siècle et aussi par la suite, la détermination astronomique du temps est effectuée sur la base des observations de la hauteur du soleil sur l'horizon et des étoiles connues avec une approximation de 10 - 15 minutes d'arc, et la conservation du temps entre une observation et l'autre était confiée généralement à des clepsydres ou à des sabliers.

Bernard Walther, le véritable innovateur de l'astronomie de la Renaissance, semble être le premier à avoir fait usage à partir de 1484, des horloges mécaniques pour mesurer le temps dans les observatoires astronomiques. La précision des premières horloges de Walther n'était pas assez bonne parce que le cadran marquait seulement les heures, et c'est seulement à partir de 1487-88, qu'il indique dans ses observations, les heures et les minutes (2).

La précision de l'horloge mécanique ne devait pas s'améliorer sensiblement pendant un siècle

encore Tycho Brahe en 1577 indique encore le temps avec une approximation d'une minute, tandis qu'en 1581 il fait usage d'horloge à la seconde (3).

Toutefois la précision intrinsèque de ces horloges était encore bien inférieure à la seconde et selon Tycho elle n'arrivait jamais à dépasser 4 secondes. Tycho fait allusion au manque d'uniformité du fonctionnement des horloges mécaniques quand il dit d'une telle uniformité "se vérifie très difficilement pendant plusieurs jours de suite, avec une précision telle de ne pas laisser en dehors de l'exacte durée de la révolution, une ou deux minutes" (4). Cette précision était encore de l'ordre de celle des sabliers, si Tycho fit usage, lui-même, sans succès particulier, de clepsydres à mercure et de sabliers remplis de plomb calciné réduit en poudre très fine (5). Avec Guillaume IV de Hesse on assiste à un véritable pas en avant dans l'amélioration des horloges mécaniques employées dans l'astronomie de position. La cause principale de cette amélioration consiste dans le fait que Guillaume de Hesse se sert pour la première fois d'un grand technicien-horloger comme Jost Burgi (1552-1632). Celui-ci fournit à Guillaume de Hesse, en 1585, "une petite horloge à seconde", qui, comme Guillaume de Hesse le dit lui-même à Tycho Brahe (6), d'un midi à l'autre ne s'écartait pas même d'une minute. Il s'agissait évidemment de l'horloge mécanique à balancier croisé employé par Rothman, assistant de Guillaume de Hesse et dont le même Rothman affirme que "le balancier n'est pas actionné de la façon habituelle, mais d'une façon spéciale et complètement nouvelle" (7).

Maestlin, lui-aussi, fait usage d'une horloge mécanique en 1577 au cours de sa mesure du diamètre du soleil, mesure dotée d'une précision toutefois assez insuffisante (8).

#### LA FONDATION DE LA MECANIQUE THEORIQUE

La période de temps qui va de la fin du XVI<sup>e</sup> siècle jusqu'à la moitié à peu près du siècle suivant est caractérisée par deux faits significatifs.

Le premier est lié à la découverte, avec Galileo, de la loi d'isochronisme de la pendule, autour de 1583, et de la loi de la période du même pendule en 1632. A la suite des découvertes de Ga-

lileo, le pendule, et plus généralement les phénomènes d'oscillation, font l'objet de recherches théoriques et d'expériences fondamentales. L'application du pendule pour la mesure des intervalles est recommandée par Riccioli dans son "Almagestum Novum" (9), tandis qu'en 1641 Galileo propose, pour la première fois, l'application du pendule à l'horloge mécanique (10). Les années qui vont de 1650 à 1660 sont particulièrement denses de résultats et de découvertes. Selon ce qui a été rapporté par Hooke, Christopher Wren et autres, on fit usage d'une invention du Dr. Wrens pour compter les oscillations d'un pendule bien avant la réalisation de la première horloge mécanique à pendule de Huygens réalisé par Coster en 1657 (11). Ce qui est certain, c'est que vers 1665 on manifesta un grand intérêt pour la réalisation d'une horloge à pendule non seulement dans les Pays Bas mais aussi en Angleterre, en France et en Italie (12). Toutefois, la précision des premières horloges mécaniques à pendule réalisées dans les différents pays d'Europe reste au-dessous des attentes. A partir de 1659, année au cours de laquelle Huygens démontre le tautochronisme de la cycloïde, jusqu'en 1687, année dans laquelle au contraire sont publiés les "Principes" de Newton et expliquée la condition d'isochronisme dans le cas du pendule vertical, les résultats théoriques prévalent sur les résultats pratiques et sur l'application dans le domaine de l'horlogerie. L'unique nouveauté est l'application, vers 1680, de l'échappement à ancre à recul dû à William Clément, qui semble avoir été découvert par Hooke environ 15 ans avant. Mais personne à l'époque, pas même Huygens, n'a su évaluer complètement l'importance de cette innovation. En face de cette situation, qui témoigne de l'existence d'une période potentiellement capable de grandes possibilités de développement mais encore incertaine dans ses choix futurs, nous devons prendre en considération un autre fait qui a certainement eu une influence positive sur les perfectionnements successifs de l'horloge à pendule de précision: l'extinction des vieux Observatoires Astronomiques de la Renaissance et la naissance de nouveaux Observatoires dotés d'instruments d'observation plus modernes et plus précis

(13). Johannis Hevelius et son observatoire de Dantzig, construit en 1641, est le dernier grand représentant de la tradition de la Renaissance. Hevelius fit usage d'horloges mécaniques ensemble à des sabliers. Dans le Chapitre XVII de l'oeuvre "Machina coelestis" dédiée aux horloges, on trouve d'importantes notices sur les horloges utilisées par Tycho Brahe et sur celles, en grand nombre, auxquelles il recourt pendant ses observations.

A propos de ces horloges il affirme que: "Depuis le début de mes observations, c'est à dire au cours des années 1630 et 1640, je me servis pour l'étude des phénomènes célestes d'horloges (mécaniques) de type varié: suspendues, fixes, et portables de différente structure, grandeur et forme et capables d'indiquer aussi bien les heures entières, que les minutes et les secondes", mais aucune de ces horloges ne l'a satisfait complètement (14).

Hevelius fit usage, depuis 1640, après avoir eu connaissance de la proposition du "mesureur de temps" de Galilée, de compteurs libres à pendule, et à partir de 1650, de vrais "mesureurs", dans lesquels "les oscillations étaient enregistrées par l'indice d'un petit disque externe, appliqué à l'instrument"(15).

Il pensa aussi de doter ces "mesureurs" d'un moteur, probablement à poids et avec l'aide d'un habile mécanicien il réussit selon sa propre affirmation, à réaliser deux de ces horloges justement pendant la même période où Huygens réalisa la première horloge à pendule. Hevelius jugea tout de suite positivement l'utilisation des nouvelles horloges à pendule de Huygens dans les observations astronomiques par rapport aux vieilles horloges mécaniques, mais malgré tout il observa que même ces horloges, construites sans doute sur le type des premières horloges de Huygens de 1657-58 (16), "passée une période de 24 heures coïncident rarement, dans les minutes et les secondes avec le mouvement céleste (17).

#### LE DEVELOPPEMENT DE LA TECHNOLOGIE EN HORLOGERIE, VERS LA FIN DU XVII<sup>e</sup> SIECLE

Comme on l'a dit aucun progrès sensible n'a été fait dans la précision de la mesure du temps depuis Maestlin jusqu'à 1665-70, en face, au contraire, d'un grand développement des connaissances

ces théoriques sur les mouvements oscillatoires. Ce progrès dans la théorie ne tardera pas à donner ses fruits même si les premiers résultats tarderont encore pendant quelque dizaine d'années.

Une contribution importante au perfectionnement des premières horloges à pendule, dont la précision résultait encore d'environ une minute par jour, au cours des années 1670, est due au développement de la technologie et à l'apparition de nouvelles figures professionnelles hautement spécialisées dans le domaine de l'horlogerie, dans différents pays européens.

En Italie, les frères Giuseppe et Matteo Campani, Johann Treffler, mécanicien du Grand-Duc de Toscane Ferdinando II, et le célèbre Camerini furent d'habiles horlogers (18) et construisirent de nombreuses horloges à pendule. Il semble certain que Giuseppe Campani ait construit une des deux horloges, qui existent encore dans les musées du Vatican, utilisées par les astronomes du Collège Romain, dans leurs observations astronomiques (19). En Hollande, Salomon Coster, le premier horloger de Huygens et, après sa mort vers la fin de 1659, Severijn Oosterwisk, construisirent des horloges à pendule, parmi lesquels quelques-uns ont été employés par Huygens pendant son séjour à l'Observatoire de Paris.

En France les horlogers Isaac Thuret, Nicolas Hanet, Gilles Martinot et Pierre Saudé construisirent des horloges à pendule sur brevet de Huygens. Un ultérieur progrès dans la construction des horloges en France a eu lieu à partir de 1680, par mérite de Balthazar Martinot, Jean et Pierre La Maire, Etienne et Robert Hubert et de beaucoup d'autres. Ces horlogers habiles furent nombreux à émigrer en Hollande, à la suite de l'Edit de Nantes de 1685 (20).

En Angleterre enfin, à la suite du contrat stipulé entre Salomon Coster et John Fromanteel, ce dernier fut en mesure de construire à partir de 1658, les premières horloges à pendule. Le père de John, Ahasuerus Fromanteel réalisa les deux horloges à pendule de Huygens actionnées par un ressort avec les modifications apportées par Alexandre Bruce.

D'autres constructeurs habiles de mouvements d'horlogerie furent Humphrey Adamson et le célèbre Thomas Tompion (1638-1713). Toutefois, à

ce qu'il paraît, en Angleterre aussi, il semble que les horloges mécaniques étaient connues et utilisés aussi avant 1658 (21).

Une grande partie de la production de ces Maîtres de l'horlogerie, dans le dernier quart du XVII<sup>e</sup> siècle, était destinée à des horloges à pendule et à ressort de grand prix et dévolue à des personnages de la Cour et de la Haute Aristocratie, riches merchants, banquiers et amateurs d'Art; il n'y a toutefois aucun doute que, surtout en Angleterre et en partie en France, un secteur du marché des mouvements d'horlogerie à pendule ait été constitué et aussi stimulé par les nouvelles organisations scientifiques et en particulier par l'activité scientifique qui se développait dans le domaine des Observatoires Astronomiques. L'amélioration de la précision des pendules astronomiques a constitué un des éléments qui a favorisé le grand développement de l'astronomie de position vers la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, à la suite de l'introduction du micromètre filaire et de l'application du télescope aux mesures angulaires de précision (22).

#### LES HORLOGES A PENDULE ET LE DEVELOPPEMENT DE L'ASTRONOMIE DE POSITION DANS LA PREMIERE MOITIE DU XVIII<sup>e</sup> SIECLE

Le développement de l'horloge à pendule de précision à partir de 1690 est certainement lié à ses applications en mer et au problème de la détermination des longitudes. Toutefois, déjà à l'occasion de l'expédition à Cayenne, organisée par l'Académie de Paris en 1772 à laquelle a participé l'astronome Jean Richer, semble qu'il ait utilisé, dans les mesures Astrogéodésiques effectuées à terre, une pendule qui battait la seconde. Il s'agit sans doute de la même pendule qui a été décrite par Huygens dans son Horologium Oscillatorum (23), dont Huygens fixe la longueur "en trois pieds non pas de ceux qui sont en usage dans l'une ou l'autre des nations européennes mais à l'égard d'une mesure du pied déterminée précisément par la longueur de ce pendule", que le même Huygens appelle ped horaire et auquel il attribue une longueur de 3 pieds et 8,5 lignes de Paris (24).

L'utilisation des pendules à la seconde en astronomie de position fonde le succès d'une

méthode nouvelle pour déterminer les ascensions droites des astres, elle est basée sur la mesure de la distance des astres par le temps. Bien que le Landgrave de Hesse ait déjà essayé cette méthode, en dehors du méridien, son application exigea l'emploi d'horloges à pendule très précises.

D'autre part, comme on l'a déjà dit, l'application de la cycloïde au pendule effectuée par Huygens, n'a pas eu le succès que Huygens lui-même en attendait, soit à cause de la grande ampleur de l'oscillation du pendule, soit à cause du fait que les oscillations elles-mêmes étaient troublées par l'échappement et par des frottements considérables (25). Jean Picard (1620-1682), au cours de ses observations astronomiques fit quelques remarques importantes sur le fonctionnement des horloges à pendule et il s'aperçut qu'elles subissaient des variations importantes suivant les saisons (26).

L'amélioration des horloges à pendule demanda donc une modification substantielle dans la construction des horloges elles-mêmes, comme l'a dit le grand, mais malheureux, horloger Anglais Henry Sully (1680-1728) qui, en plusieurs occasions, s'est exprimé contre l'usage de la cycloïde. Il était donc naturel de chercher quelques expédients pour arriver à se passer de la cycloïde et de ne faire décrire au pendule que des arcs de 7 ou 8 degrés (27).

Comme on le sait, l'introduction de l'échappement à ancre à recul, faite en 1680 et attribuée à William Clément (1638-1704) contribua à diminuer l'ampleur des oscillations et à améliorer les prestations des horloges à pendule de précision, même si cet échappement à ancre à recul eut beaucoup de mal à trouver une juste appréciation et fut utilisé en France seulement à partir de 1695 (28).

Une innovation successive, qui fut attribuée par William Derham au même Clément, fut la substitution de la vieille suspension à fil par une autre, constituée par une lame de ressort flexible, qui s'était rendu nécessaire à cause du fait que l'échappement à ancre exigeait l'emploi d'un pendule bien massif.

Un pas en avant décisif pour améliorer les prestations des horloges à pendule fut enfin effectué quand, en 1715, George Graham réussit à

corriger les variations thermiques dans le fonctionnement des horloges à pendule, en proposant d'employer pour la correction des effets de la chaleur un système à mercure, et, successivement, deux métaux dont les dilatations diffèrent le plus possible entre elles, comme l'acier et le cuivre.

Graham construisit des horloges à pendule compensées qui sont appelées en Angleterre "le pendule à grill". On doit encore à Graham la composition de l'échappement à ancre à repos, généralement employé dans les horloges astronomiques (1719-20).

Tous ces événements sont assez connus, mais on connaît moins les données provenant de la documentation originale, qui existe probablement auprès les Observatoires Astronomiques, concernant l'usage des horloges à pendule dans les applications astronomiques et sur les prestations effectives de ces horloges. Il serait souhaitable, à ce propos, d'effectuer des recherches plus approfondies dans les archives et de publier des manuscrits significatifs pour l'étude de l'histoire des pendules astronomiques, de façon à permettre une évaluation plus exacte de l'état de la mesure du temps, au moins jusqu'à la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle (30).

Le peu d'information que nous possédons sont en effet insuffisantes et pas toujours dignes de foi. L'affirmation de Picard qu'en 1672, à l'occasion de son voyage à Uraniburg, il possédait déjà une pendule qui "durant plus de deux mois elle demeura dans un même état à l'égard du moyen mouvement sans varier d'une seconde", comme Lalande l'avait déjà relevé, c'est une chose peu croyable (31). Le fait aussi que, dans les manuscrits qui nous sont parvenus au sujet des observations des instants des éclipses des satellites de Jupiter, effectués par Roemer à l'observatoire de Paris à partir de 1668 (32), dont il détermine la valeur de la vitesse de la lumière, les secondes sont aussi indiquées, ne nous autorise pas à penser que la précision effective des pendules utilisés par lui, sans doute du type à cycloïde, ait été d'une seconde par jour.

Il nous reste le fait que dans le dernier quart du XVII<sup>e</sup> siècle et dans les premières décades du siècle suivant, les plus grands Observatoires

Astronomiques étaient dotés de pendules astronomiques à la seconde, pour la plupart construits par des horloges français. Comme les fameuses horloges réalisées par Jacques Thuret, horloger ordinaire du Roy, ou de toute façon, selon le modèle cycloïdal du pendule de Huygens de 1772. Les horloges à pendule de Thuret, utilisées naturellement à l'Observatoire de Paris, furent en outre utilisées au début du XVIII<sup>e</sup> siècle à l'Observatoire de Leiden (33) et à l'observatoire du Palais Marsigli à Bologne (34).

Roemer aussi, après son retour de Copenhague en 1690, fit usage des horloges à pendule de Huygens; mais nous ne savons pas si ces horloges avaient été construites par Thuret. De ce qu'il résulte de peu de témoignages arrivés jusqu'à nous, on peut estimer que la précision des meilleures pendules non compensées rejoint environ l'ordre de la seconde par jour. Vers 1709 fut peut-être réalisée en Angleterre, par Thomas Tompion et Edward Banger, la première horloge à pendule sidérale (35). Des horloges sidérales furent réalisées à partir de 1725 par George Graham (36). Cela permit une détermination du temps plus précise au moyen de l'observation des étoiles en méridien.

L'emploi des horloges à pendule non compensé continua bien après 1715, année où Graham proposa pour corriger les variations thermiques, dans la marche des pendules, de placer du mercure dans un tube attaché au bas de la verge de fer du pendule. En 1726, John Harrison (1693-1776) et aussi Graham proposèrent l'utilisation des pendules composées, qui utilisaient, au-dessus de la lentille, au lieu de mercure, un système de verges compensatrices en cuivre et en fer (37).

Comme on l'a dit, après l'Edit de Nantes, à partir de 1685, la suprématie française dans le domaine de l'horlogerie de précision est bien réduite, tandis que l'école technologique et les horlogers anglais émergent toujours davantage. En Angleterre de grands constructeurs d'instruments astronomiques, comme Thomas Tompion (1639-1713) et George Graham (1673-1751) qui épousa la nièce de Tompion, travaillèrent en collaboration avec les astronomes de l'Observatoire de Greenwich, et furent aussi, comme on le sait, de célèbres horlogers qui fournirent à l'obser

vatoire de précises horloges à pendule (38). Des horloges astronomiques furent aussi réalisées par William Clement (1638-1704), Daniel Quare (1648-1724), Edward Banger et par d'autres braves horlogers anglais.

Les nouvelles techniques de compensation des variations thermiques et le perfectionnement de l'échappement et du système de transmission de la force motrice contribuèrent à améliorer d'un ordre de grandeur, la précision du pendule astronomique dans la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Comme l'atteste Lalande, les astronomes Anglais, vers 1750, étaient en mesure d'utiliser des horloges à pendule qui ne variaient pas plus de 5 secondes par an (39) et que l'habileté des horlogers de Paris n'étaient pas encore en mesure d'égaliser. Le réveil de l'Ecole d'horlogerie française et une nouvelle impulsion vers l'amélioration des prestations des pendules astronomiques sont liés aux noms de Julien (1686-1759) et Pierre Le Roy (1717-1785). Mais cela ouvre un nouveau chapitre inédit dans l'histoire de la pendule astronomique.

#### NOTES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) En suivant Emmanuelle Poulle nous distinguons les mouvements l'horloge mécanique si le mécanisme n'indique que le mouvement diurne du soleil ou les étoiles, en horloge astronomique si le programme inclut également les manifestations du mouvement du Soleil, de la Lune, et, à l'occasion, du Dragon et enfin en horloge planétaire si le mouvement représente aussi les mouvements complexes de toutes les planètes (voir: E. Poulle, Equatoires et horlogerie planétaire du XIII<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle, Genève & Paris, 1980).
- (2) Zinner, E., Astronomische Instrumente, München, 1979, p. 21.
- (3) Tycho Brahe, Opera Omnia, X, p. 109.
- (4) Tycho Brahe, Astronomicae Instauratae progymnasmata, Uraniburge, 1602, p. 149.
- (5) *ibid*, p. 428.
- (6) Tycho Brahe, Opera Omnia, VI, p. 51.
- (7) Zinner, E., *op. cit.*, 271.
- (8) Proverbio, E., "Galileo Galilei ed il problema della misura del Tempo", Supplem. agli Annali dell'Ist. e Museo di St. della Scienza, 2, 1983, p. 63-73.

- (9) Riccioli, G.B., Almagestum Novum, Bononiae, 1651.
- (10) Bedini, S.A., "Galileo Galilei and Time Measurement", Physis, 1963, 2, p. 145.
- (11) Drummond Robertson, The evolution of Clockwork, London 1931, p. 168.
- (12) Morpurgo, E., L'orologio e il pendolo, Roma, 1957.
- (13) Proverbio, E., op. cit., p. 63-73.
- (14) Hevelius, Joh., Machina Coelestis, Gedani, 1673, I, p. 363.
- (15) ibid, p. 365.
- (16) Huygens, Chr., Oeuvres Completes, La Haye, 1932, XVII, p. 3-84.
- (17) Hevelius, Joh., op. cit., p. 368.
- (18) Morpurgo, E., op. cit., cap. III, IV, VI.
- (19) Morpurgo, E., "Gli orologi dei Campani in Vaticano", La Clessidra, 10, 1956, p. 19-21.
- (20) Plomb, R., "Dutch influences in French clockmaking and viceversa in the latter half of the seventeenth century", Antiquarian Horology, 1974, IX, p. 28-45.
- (21) Edwardes, E.L., "The suspended foliot and new light an early pendulum clocks", Antiquarian Horology, 1981, XII, p. 614-26.
- (22) Proverbio, E., "Le applicazioni del telescopio all'astronomia di posizione nel XVII e XVIII secolo", Physis, sous presse.
- (23) Drummond Robertson, J., op. cit. p. 161.
- (24) Huygens, Chr., op. cit., XVIII, p. 96.
- (25) Suivant la testimoniance de Fernand Berthoud existait encore au debut du XIX siècle a l'Observatoire de l'Hotel de Clugue, à Paris, une horloge ancienne à pendule selon la construction de Huygens dont la marche, conservée sur les registres de l'epoque, etait extrêmement irrégulière (F. Berthoud, Histoire de la mesure du temps par les horloges, Paris, 1802, p. 198, note b)
- (26) Berthoud, F., op. cit., p. 200.
- (27) ibid, p. 203.
- (28) ibid, p. 204.
- (29) ibid, p. 205.
- (30) Une valuation pas suffisamment documentée sur la precision des horloges mecaniques utilisée par les astronomes du XVI siècle à été donnée par J.L.E. Drayer (Hystory of the planetary sistem from Thales & Kepler, Cambridge, 1906, p. 57) et récemment repris par di autres auteurs (E.C. King, The Hystoiri of the Telescope, New York, 1979, p. 20).
- (31) Huygens, Chr., op. cit., XVIII, p. 18.
- (32) Cohen, I.B., "Roemer and the first determination of the velocity of light (1676)", ISIS, 31, 1940, p. 379.
- (33) Huygens, Chr., op. cit., XVIII, p. 19.
- (34) Baiada, E., Braccesi, A., Lo sviluppo della strumentazione astronomica dell'Osservatorio Marsiliano e della Specola dell'Istituto delle Scienze di Bologna dal 1702 al 1815, Istituto di Astronomia dell'Univ. di Bologna, Bologna, 1983.
- (35) Neilson, M., "Important Sideral month going long case regulator by Thomas Tompion and Edward Banger No. 483, c. 1709", Antiquarian Horology, 1977, X, 214-16.
- (36) Ibid., p. 216: C.King, op. cit., p. 110.
- (37) Lalande, Astronomie, Paris, 1764, II, p. 919; Berthoud, F., op. cit., p. 206.
- (38) King, E. C., op. cit. p. 107-110.