LE SECRET DES LONGITUDES ET LE PENDULE CYCLOIDAL DE HUYGENS

Evelyne BARBIN
IREM du Mans

> "Quant à l'utilité de mon invention, il n'est pasnécessaire, PuissantRoi, queje me serve de beaucoup de paroles pour la faire voir (...). Tu n'ignorespas les usages plus spéciaux auxquels je la destinais dès le commencement. Je veux parler des services qu'elle peut rendre tant dans les observations célestes que dans la mesure des longitudes des différents lieux pour les navigateurs (...) nous voyons que ce qui te plait le mieux c'est ce qui a le plus d'utilité publique".
>
> Dédicace de Huygens à Louis XIV Le Grand(1)

En 1656, le savant hollandais Christian Huygens cherche comment adapter un pendule pour réguler la marche des horloges, et il constate que pour obtenir l'isochronisme du pendule, il suffit de le faire balancer entre deux lames recourbées de métal. Trois ans plus tard, il découvre qu'en fait, ces lames doivent avoir exactement la forme de deux demi-cycloïdes. Cette invention va le rendre célèbre dans toute l'Europe car elle lui permet de prétendre à la résolution du fameux problème des longitudes, tant espérée par les marins, les marchands et les pouvoirs. Un contemporain s'extasie devant le "merveilleux talent" de Huygens "pour les mathématiques en ce qu'elles sont utiles à la société"(2). Nous voici devant l'un de ces miracles où l'on voit les mathématiques se développer dans un cadre strictement théorique et s'appliquer soudain, comme par magie, à un domaine éloigné en révélant toute leur bénéfique utilité ! Le but de cette étude est de remédier à cette vision naïve de l'histoire des sciences(3), en cherchant à comprendre dans quelles circonstances et selon quelle démarche Huygens a inventé le pendule cycloïdal et construit la théorie des développées.

I) LES VOYAGES EN MER : LE PROBLEME DES LONGITUDES

Dans son étude sur la naissance du capitalisme, l'historien Fernand Braudel montre que l'on assiste, indéniablement, au XVIIème siècle, à une mobilisation de capitaux et d'activités dans le secteur des grands voyages maritimes. Il voit dans le commerce lointain une condition nécessaire au développement du processus capitaliste. "Les conditions préalables à tout capitalisme dépendent de la circulation, on pourrait presque dire, à première vue, d'elle seule. Et plus cette circulation franchit d'espace, plus elle est fructueuse". Le faim d'or, ou faim du monde ou faim des épices, comme l'appellent les historiens, va s'accompagenr dans le domaine technique "d'une recherche constante de nouveautés et d'applications utilitaires"(4).

1) Le développement des voyages et les problèmes de navigation

L'expansion du commerce maritime au XVIIème siècle va de pair avec la fondation et l'organisation des premiers empires coloniaux et la création de comptoirs commerciaux. Cette expansion fait la richesse d'un tout petit pays, les Provinces Unies. Le véritable outil de la fortune hollandaise est sa flotte qui équivaut à celle de l'ensemble des autres flottes européennes. Le port d'Amsterdam, qu'occupent deux à huit mille vaisseaux est toujours plein à craquer. Au XVIème siècle, déjà, les navires hollandais assurent, de manière majoritaire, les trafics entre le Nord et les ports d'Espagne et du Portugal. Il se saisissent ensuite du trafic entre la péninsule ibérique et l'Atlantique Nord, puis on les trouve dans le reste de l'Europe, en Méditerranée, en Inde, au Japon(5). En 1602, est créée la Compagnie des Indes orientales -Siam, Chine, Japon-, puis en 1621 ce sera le tour de la Compagnie des Indes occidentales.

Le succès hollandais constitue un cauchemar pour Richelieu, puis pour Colbert. "Bien que cette nation ne retire de son pays que du beurre et du fromage, elle fournit presque à tout le reste de l'Europe la plus grande partie de ce qui est nécessaire. La navigation l'a rendue si célèbre, si puissante par toutes les parties du monde, qu'après s'être rendue maîtresse du commerce aux Indes orientales au préjudice des Portugais (...) elle ne donne pas peu d'affaires aux Espagnols dans les Indes occidentales, où elle occupe la plus grande partie du Brésil" écrit Richelieu dans son Testament politique. Les Français créeront des Compagnies de Commerce -les Compagnies des Indes-et les comptoirs de Pondichéry et de Chandernagor. L'entrepôt de Québec est créé en

Vue d'une rade hollandaise(6)

1608 et, en 1635, les Français s'installent aux Antilles vers lesquelles cinglent deux cent bateaux par an.

Les voyages vers les Indes occidentales supposent que les marins osent "s'engoulfer" contrairement à l'habitude, tenace au XVIIème siècle, de s'éloigner le moins possible des côtes. C'est que la navigation en haute mer demande que l'on sache convenablement faire le point, trouver longitude et latitude du bateau. La détermination de la latitude du bateau s'obtient en calculant, à l'aide d'un astrolabe par exemple, la hauteur du soleil au dessus de l'horizon. "La méthode ordinaire dont se servent les pilotes pour trouver leurs latitudes, consiste en deux choses, savoir est, dans la hauteur méridienne du soleil ou des étoiles qu'ils observent avec des instruments construits pour cet effet, puis ensuite ajoutant ou soustrayant de cette hauteur méridienne qu'ils ont trouvée la déclinaison du soleil ou des étoiles, qui est ce qu'elles sont éloignées de la ligne"(7). Cependant les mouvements du bâtiment ne permettent guère une bonne visée et une lecture correcte, ce qui entraîne des erreurs allant jusqu'à plusieurs centaines de milles. Quant à la longitude, il n'existe aucun moyen simple de l'évaluer. Aussi le navigateur n'a guère d'autre recours que de tenir compte de la route suivie -à l'aide d'une boussole- et de la distance parcourue à l'aide d'un loc(8). Ces deux indications lui permettent, à l'aide de la métrique du triangle rectangle, de calculer longitude et latitude. Le trésor de la navigation, proposé en 1673 par le Sieur Blondel St Aubin, enseigne "l'Art de naviguer par la supputation et démonstration des triangles rectilignes et sphériques, tant par les sinus que par les logarithmes". Il y montre, par exemple, comment "le rumb, ou ai de vent, et le chemin étant donnés, trouver la différence en latitude, et la différence en longitude"(9). Cette méthode fruste donnait de bien mauvais résultats, au désespoir des navigateurs : "Si la nature nous avait donné des moyens de trouver la longitude aussi assurés, que nous avons pour trouver la latitude, l'Art de Naviguer serait dans toute sa perfection, et jamais sinon par des tempêtes furieuses, il ne se perdrait de navires[10]. Celui qui percerait le secret des longitudes mériterait forte récompense, car que de cargaisons perdues et de fortunes gaspillées.

Les pouvoirs ont pris conscience de la puissance que confère la navigation et sont les premiers à promettre cette récompense. Le Stathouder de Hollande promet un prix de 25 000 florins à celui qui indiquerait une méthode susceptible de servir à la navigation. Ce prix encouragea Galilée à déterminer, par les observations célestes, les éléments des orbites des satellites[11]. La correspondance de Huygens nous apprend que "le Cardinal de Richelieu ayant

promis une notable récompense à quiconque trouverait le secret des longitudes, fit donner à l'ignorant Morin qui se vantait d'en être venu à bout, une pension de deux mille francs sur l'abbaye de Chailli"[12]. L'enjeu est tel que toutes les nations et tous les beaux esprits se mettent sur les rangs. "Ce qui fait que ce n'est pas de merveille si dans la conséquence qu'est la Navigation pour le bien public, toutes les nations ont proposé des récompenses très considérables pour celui qui aura tant de bonheur, non seulement à en donner les connaissances (de la longitude), mais encore de les réduire en pratique (...). Quantité de beaux esprits se sont étudiés à chercher des moyens de la trouver, attirés, soit par la vue de la récompense proposée, ou par l'honneur et l'utilité que le public en recevrait"[13]. Le lieu du premier méridien est objet de décision royale : "Louis XIII, d'heureuse mémoire, par un arrêt de 1638, pour ôter de la confusion de la diversité des longitudes dans les cartes de premiers méridiens, enjoint à tous ceux de sa domination qui en bâtissent, de poser leur premier méridien à l'île de Fer, la plus ouest des îles Canaries". Mais cette décision n'est pas suivie, loin de là, par tous : "La plupart des cartes hollandaises le posent au pic des Canaries par une fort haute montagne que l'on découvre de 30 à 40 lieues sur l'île de Ténériffe"[14]. D'autres le placent aux Açores. En 1675, Charles II d'Angleterre décide la fondation de l'Observation de Greenwich "en vue de la détermination des longitudes dans l'intérêt de la navigation et de l'astronomie", et nomme Flamsteed "Astronome royal", avec un traitement de 100 livres par an, dans le but de faire toutes "observations utiles à la navigation et à l'astronomie"[15]. Toutes ces résolutions et ces gratifications attisent l'imagination et l'ardeur des savants. "L'importance de cette recherche, et les récompenses qui ont été proposées pour ceux qui découvriraient une méthode sûre de pouvoir trouver, à quelques lieux près, la longitude d'un navire, au moins de temps en temps, ont fait imaginer divers moyens"[16]

2) La détermination des longitudes

Le premier principe qui se présente à l'esprit pour déterminer la longitude, est celui de comparer l'heure locale, à bord du bateau, à celle du méridien d'origine ou à celle du port d'attache. Pour cela il y a deux procédés : soit transporter cette heure sur le bateau avec une horloge, soit observer les mouvements célestes de sorte à obtenir un indicateur du temps. Dans ses Principes de Navigation, Dulague rappelle les motifs de cette alternative[17] :

"On peut réduire l'invention des longitudes sur mer à cette question, connaissant l'heure qu'il est sur le navire, trouver quelle heure on doit compter au même instant en un lieu dont la longitude est bien connue. Puisque les 24 heures du jour répondent aux 360 degrés de longitude, et que le lieu où l'on compte une heure de moins que dans une autre, est plus occidental que cet autre de 15 degrés, etc, on pourrait donc déterminer immédiatement les longitudes :

1°) Si l'on avait une horloge qui marchât si uniformément, qu'elle ne se dérangeât pas sensiblement dans la durée entière d'une traversée ; car ayant réglé cette horloge dans le port, et l'ayant mise à l'heure vraie au temps du départ, elle servirait à faire connaître à tout instant l'heure vraie qu'il serait dans le port, et autant de fois 4 minutes que l'on trouverait qu'elle retarderait ou avancerait à l'égard de l'heure qu'on aurait observé sur le navire (...) on compterait que le Navire aurait fait autant de degrés en longitude vers l'Est et vers l'Ouest, puisque l'on compterait moins ou plus de temps au lieu de départ, qu'au lieu où serait le navire.

2°) On pourrait encore trouver la longitude d'un navire, si l'on avait des Tables astronomiques, qui servissent à calculer pour un certain lieu déterminé, dont la longitude fut bien connue, toutes les circonstances des mouvements célestes, avec à peu près la même précision avec laquelle un astronome placé dans ce lieu les observerait, et si sur un navire on pouvait marquer le temps précis, auquel quelque phénomène céleste paraîtrait subitement ; car en comparant le temps auquel l'observation en aurait été faite sur le navire, avec le temps que le calcul des Tables donnerait pour le lieu que nous avons dit, la différence de ces temps donnerait la différence des longitudes, et par conséquent on aurait la longitude du Navire"(18).

Parmi les phénomènes célestes que le navigateur peut observer, il y a les éclipses de Soleil et de Lune -mais elles arrivent trop rarement- et les éclipses des étoiles et des planètes par la Lune -mais elles réclament de puissantes lunettes. Les éclipses des satellites de Jupiter fournissent une méthode commode pour observer les longitudes, en tous cas sur terre. Elles ont permis, à

l'époque, de déterminer la plupart des positions des lieux en longitude, et elles ont l'avantage d'être fréquentes, puisqu'hormis deux mois dans l'année on peut en observer presque toutes les nuits. Faute d'autres phénomènes célestes fréquents, le navigateur se trouve obligé d'avoir recours aux mouvements de la Lune, en observant la hauteur de la Lune ou sa distance aux étoiles voisines. Cette méthode est connue depuis longtemps puisqu'en 1499, lors de son premier voyage, Americo Vespucci fit le point par la mesure de la distance de Mars à la Lune, peu après une de leurs conjonctions(19). Le cosmolabe est un instrument construit par Besson en 1567 pour déterminer les longitudes par l'observation des distances de la Lune aux étoiles, le problème du mouvement de la mer est résolu en fabriquant une chaise marine -machine suspendue comportant une table pour l'instrument et une chaise pour l'observateur(20). En 1658 paraissent les tables du Comte de Pagan qui permettent de "trouver facilement les longitudes" à partir de la hauteur de la Lune et de la distance d'une étoile à la Lune. Au XVIIIème ciècle, de tous les moyens astronomiques propres à déterminer la longitude en mer, la mesure des distances de la Lune au Soleil ou aux étoiles reste le plus fréquemment utilisé(21).

La résolution du problème des longitudes par le moyen des observations célestes nécessite à la fois de bonnes tables astronomiques, des instruments d'observation précis et le moyen de faire commodément de telles observations sur le pont d'un navire. Aussi les navigateurs ont-ils depuis longtemps fondé de grandes espérances dans l'horlogerie. Dès 1530, Gemma Frisius propose de résoudre le problème des longitudes par la mesure du temps ou les horloges. Dans L'art de naviguer dans sa plus haute perfection publié en 1673 par Denys, l'auteur appelle de tous ses voeux l'horloger capable de fabriquer des pendules précises transportables sur mer :

> "Si le ciel jusques à présent ne nous a pu donner ce rare présent (le secret des longitudes), les horlogers faisant des horloges justes, y réussiraient bien plus heureusement, et rendraient la chose bien plus facile, puisque sans supputation qui est toujours embarrassante, l'on trouverait en un moment ce que l'on cherche. J'avoue que l'on voit par expérience que les horlogers participant à la qualité du temps, ne nous le peuvent donner précisément, à raison de leur retardement ou de leur avance, suivant que le temps sera humide ou sec, mais si les pendules dont l'on vante tant la justesse, se pouvaient ajuster sur mer, ce que l'on ne croit pas impossible, je ne désespérais pas que l'on n'en pût venir à bout (...). D'où je conclus que si Dieu donne bénédiction aux pendules, particulièrement sur mer, comme l'on éprouve sur la terre, il y a sujet d'espérer d'en tirer un grand fruit pour la Navigation du fait de la longitude"(22).

L'année de la parution du traité de Denys, Huygens publie son Horologium Oscillatorium dans lequel il prétend répondre aux attentes des navigateurs.

II) LA DEMARCHE DE HUYGENS

Le chemin qui conduit Christian Huygens de l'intérêt pour le mouvement du pendule en 1646 à l'édification de la théorie des développées quelque vingt ans plus tard est particulièrement intéressant à suivre. Nous y découvrons peut être le savant type de cette fin du XVIIème siècle : curiosité pour les grands problèmes de son époque, soif d'inventer, ingéniosité technique, intérêt pour l'étude des mouvements, savoir-faire d'un géomètre astucieux et souci de la gloire et de la fortune.

1) L'adaptation du pendule à l'horloge.

Dans son Histoire de la Mesure du Temps par les Horloges publiée en 1802, Ferdinand Berthoud estime fort ancien l'usage du pendule pour la mesure du temps : "Plusieurs astronomes se sont servis du pendule, pour leurs observations, longtemps avant qu'il fût appliqué à l'horlogerie, d'où l'on peut conclure que, dans l'application du pendule à l'horloge, l'auteur de cette application célèbre n'a rien inventé (...). Les arabes mesuraient les plus petites parties du temps par des clepsydres, par de grands cadrans solaires, ou par des pendules"(23). Le suisse Juste Birge, né en 1552, aurait appliqué le pendule aux horloges sans faire connaître cette trouvaille à ses contemporains. D'après son élève Viviani, Galilée aurait remarqué l'isochronisme

des vibrations du pendule dès 1583 dans le dôme de Pise, l'aurait employé dans ses observations célestes et il aurait également eut l'idée, en 1641, d'appliquer cette propriété à la correction des horloges(24). Il semble que ce fut le fils de Galilée, Vincentio Galilée, qui ait mis en pratique la découverte de son père, en 1649, en appliquant un pendule au mouvement de l'horloge(25). L'isochronisme du pendule fut connu, par l'intermédiaire de Mersenne, de plusieurs savants dès 1631. Dans les Discours concernant deux sciences nouvelles de 1637, Galilée semble admettre qu'un pendule "accomplit vraiment et avec exactitude toutes les oscillations grandes, moyennes et petites en des temps parfaitement égaux". Cependant les contemporains s'aperçurent rapidement que l'isochronisme du pendule pour des vibrations de différentes amplitudes n'est qu'approximatif.

A partir de 1646, Huygens s'intéresse à la théorie du pendule, mais il ne semble s'être occupé d'horloges que dix ans plus tard. La marche des horloges est irrégulière à cause de l'influence des saisons, du manque d'égalité des dents des roues et de la variation du poids moteur pendant la marche. Huygens peut espérer corriger ces trois défauts par l'adaptation d'un pendule, à condition de rendre la période des vibrations complètement indépendante de leurs amplitudes. Pour obtenir cet isochronisme parfait, il a l'idée de munir le pendule de deux arcs -deux platines courbes- entre lesquels ont lieu les vibrations. Il raconte dans une lettre à P. Petit comment il est arrivé à concevoir cette trouvaille technique : "Mais je puis vous assurer, que tant s'en faut que l'addition du poids se fasse hâter le pendule, que au contraire elle le rend tant soit peu plus lent, lui donnant un mouvement plus large, tout ainsi que du simple pendule les corps qui s'éloignent le plus de la perpendiculaire sont plus lents que les autres, et même pour remédier à ce défaut contraire à celui que vous craigniez je suspendais au commencement le pendule entre deux platines courbes AB, CD (fig. 1) que l'expérience m'apprit de quelle manière et combien je devais plier, pour égaler entre eux les corps les plus larges jusqu'aux plus menus. Et je me souviens d'avoir si

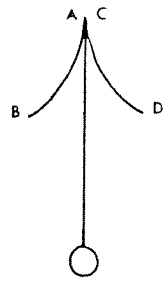


fig.1

bien ajusté deux horloges de cette façon qu'en trois jours il n'y eut jamais entre elles la différence de secondes quoique cependant j'en changeasse souvent les poids les rendant plus ou moins pesants"(26). Huygens présente sa première horloge à pendule aux Etats de Hollande le 16 Juin 1657. L'originalité de cette horloge à roues dentées est que le pendule, librement suspendu, règle le mouvement du mécanisme par l'intermédiaire de la fourchette.

Il est certain que Huygens a adapté le pendule aux horloges à roues dentées en premier lieu dans l'intérêt de l'astronomie et de la navigation. En juin 1658, il écrit qu'il est possible de déterminer les longitudes en mer au moyen d'horloges(27). Les horloges étant ballottées avec les mouvements du navire, il importait d'avoir un pendule dont les oscillations puissent être grandes et inégales sans que l'isochronisme soit altéré. Huygens poursuit donc avec ardeur ses investigations et découvre, en 1659, que les platines courbes doivent avoir exactement la forme de deux demi-cycloïdes. Il montre que la cycloïde possède deux propriétés qui font "qu'entre beaucoup d'autres belles propriétés elle a encore celle de réduire le mouvement des pendules à l'égalité en sorte que les grandes et petites vibrations d'un même pendule deviennent d'égale durée". Il s'en explique dans une lettre à Estienne de 1668 :

"J'ai premièrement découvert et démontré cette propriété, que si dans un creux ou un canal qui ait cette forme de roulette ADB, dont les bouts A, B soient mis à égale hauteur, l'on laisse rouler une petite boule depuis le point G pris en quelque part que l'on voudra, elle arrivera toujours en même temps au point D, le plus bas et l'ayant passé, et retournant, continuera à faire des allées et venues toutes isochrones (fig. 2).

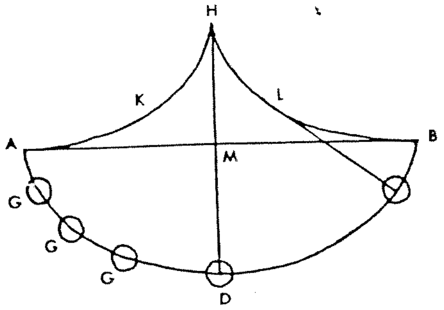


fig.2

L'autre propriété que j'ai trouvé est que joignant ensemble deux platines HKA, HLB qui aurait chacune la figure des demi-cycloïdes AGD, BD, en sorte que toute la hauteur HD devenue double de la hauteur de la cycloïde DM, la boule attachée au fil HD, en se pliant contre les platines HKA, HLB, parcourra avec son centre de gravité la roulette ADB, d'où il est aisé de voir que les vibrations d'un tel pendule doivent être isochrones aussi bien que les rouleaux de la boule GG desquels cela est démontré"(28).

Dans cette lettre, Huygens ne néglige pas de donner à son correspondant tous les détails techniques de son invention -la longueur précise du pendule, la composition du fil, la grandeur des roues dentées, les poids des plombs et de la verge- et il accompagne ses explications d'un croquis précis (fig. 3). Son invention est, en effet, le résultat à la fois d'une excellente maîtrise technique et d'une connaissance approfondie de la théorie du pendule et de la géométrie de la cycloïde. Comment Huygens en est-il arrivé à recourir à cette courbe pour résoudre son problème?

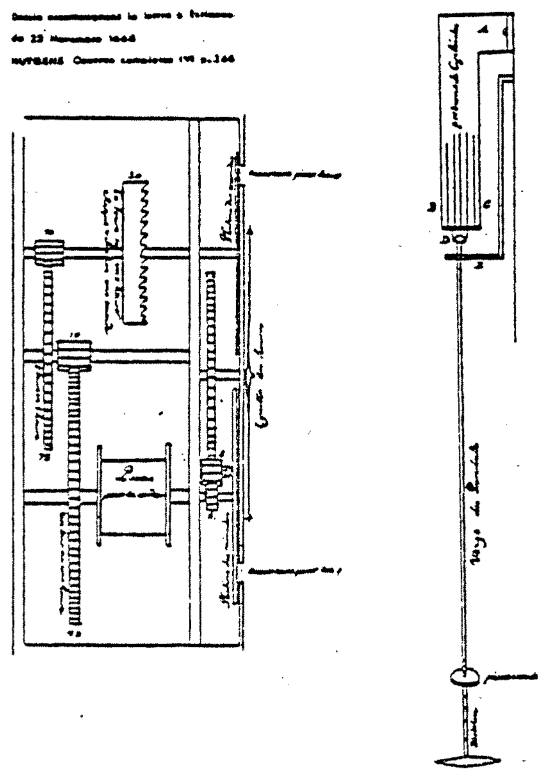


fig.3

Cette découverte intervient l'année suivant celle du fameux concours de Monsieur Dettonville, qui a remis à l'honneur chez tous les géomètres de l'Europe cette célèbre courbe, objet de nombreuses recherches depuis plus de vingt ans.

2) <u>Les travaux sur la cycloïde</u>

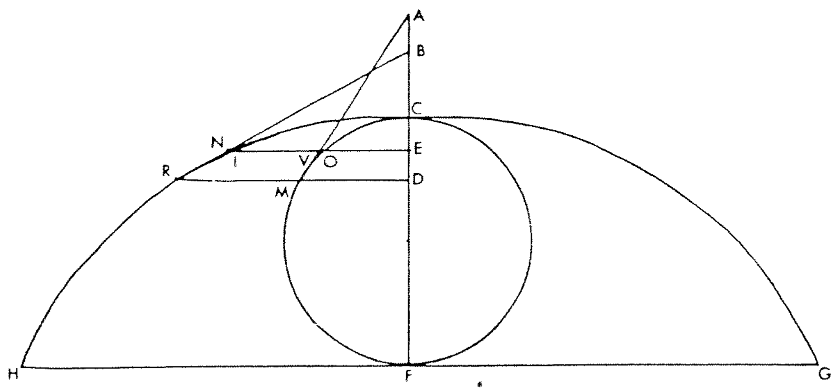
La cycloïde, ou trochoïde ou roulette, est une de ces "nouvelles" courbes qui incitent les mathématiciens du XVIIème siècle, mis au défi, à construire de "nouvelles" méthodes et leur servent aussi à tester et à comparer ces méthodes(29). Les "découvertes" concernant la cycloïde furent presque toutes l'objet de rivalités et de disputes de paternité, ce qui la fit appeler l'"Hélène des géomètres"(30).Les premiers travaux datent des années 1630-1640, quadrature et tangente, puis la courbe réapparaît en 1658 sous l'instigation de

Pascal qui écrit cette année là, pour calmer les passions, la première histoire de cette courbe intitulée "Histoire de la Roulette appelée autrement trochoïde ou cycloïde où l'on rapporte par quels degrés on est arrivé à la connaissance de la nature de cette ligne"[31].

Beaucoup se partagent déjà l'honneur d'avoir inventé cette courbe. Galilée écrit à Torricelli, en 1639, qu'il la considérait depuis une quarantaine d'années et l'avait même conseillée comme profil pour les arches d'un pont sur l'Arno[32]. Wallis affirme que Nicolas de Cusa fut le premier, au XVème siècle, à avoir travaillé sur la cycloïde. Pascal dans son Histoire de la Roulette assure que le Père Mersenne fut le premier, en l'an 1615, à l'avoir remarquée en considérant le roulement des roues et qu'il la propose "à tous ceux de l'Europe qu'il en crut capables, et entre autres à Galilée". L'observation du roulement des roues a pu se faire à propos de la question du "paradoxe d'Aristote", beaucoup étudiée au XVIème siècle, qui est la suivante : deux cercles de diamètres différents, s'ils ont même centre et sont solidaires parcourent, en roulant -sans glisser- un même espace tandis que, s'ils sont séparés, ils parcourent des espaces proportionnels à leur diamètre. Cette question est analysée, en particulier, par Galilée dans la Première journée des Discours concernant deux sciences nouvelles[33].

Quoi qu'il en soit, Mersenne pose le problème de la quadrature de la cycloïde à Roberval en 1628. Quelques années plus tard, celui ci donne une solution en montrant, par la méthode des indivisibles[34], que l'aire sous la cycloïde est égale à trois fois celle du cercle générateur. En 1637, Mersenne fait connaître à ses correspondants, selon son habitude, le résultat de Roberval sans les raisons. Descartes et Fermat donnent, à leur tour, en Juillet 1638, deux nouvelles démonstrations. La recherche d'une méthode universelle -c'est-à-dire appliquable à toutes les courbes- pour trouver les tangentes est encore l'occasion, pour les géomètres, de s'intéresser à la cycloïde. Nous retrouvons sur les rangs les mêmes protagonistes. Roberval emploie la règle de la composition des mouvements élaborée en 1637, Descartes donne la solution à Mersenne en Août 1638 en assimilant le cercle à un polygône d'une infinité de côtés, Fermat utilise la méthode du maximum et du minimum. Pour appliquer cette méthode à la cycloïde, Fermat considère la "propriété spécifique" de cette courbe, à savoir que si R est un point de la cycloïde alors le segment RM est égal à l'arc de cercle MC (fig. 4).

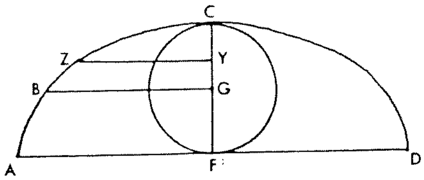
fig.4



Si RB est la tangente au point R, Fermat montre que les droites RB et MC sont parallèles. En Octobre 1646, l'inévitable Mersenne est en correspondance avec Huygens, il l'informe des récentes découvertes de Torricelli concernant les proportions qu'ont les solides de la cycloïde, engendrés par la rotation de cette courbe autour de la base ou de l'axe, avec les cylindres de même hauteur[35]. Au début de l'année suivante, il l'entretient d'autres résultats dûs au même Torricelli[36]. Grâce à Mersenne, Huygens est donc très au fait des travaux concernant la cycloïde.

Au début de l'année 1658, Pascal réfléchit sur la roulette et parvient à quelques démonstrations surprenantes, concernant les centres de gravité, qui le décident à lancer un concours. Au mois de Juin, Amos Dettonville -pseudonyme derrière lequel se cache Pascal- envoie une circulaire aux géomètres de toute l'Europe, à laquelle il doit être répondu avant le 1er Octobre 1658, à l'adresse de Monsieur de Carcavi, pour prétendre gagner les 40 pistoles du premier prix ou les 20 pistoles du second. Il s'agit de trouver l'aire CZY et son centre de gravité, les volumes et les centres de gravité des solides engendrés par la rotation de CZY autour de ZY et CY, et les centres de gravité des solides obtenus en coupant les précédents par un plan suivant CF (fig. 5). Dès le 28 Juin, Boulliau envoye la circulaire à Huygens : "Je vous envoie avec la présente

fig.5



une promesse faite par un inconnu à celui qui résoudra les problèmes qu'il propose, s'il vous plaît d'y travailler il y a des pistoles à gagner"(37). Huygens va donc pouvoir exercer ses talents de géomètre et s'évertuer à trouver de nouvelles propriétés de la cycloïde. Dans son Histoire de la roulette publiée en Octobre 1658, Dettonville-Pascal, soucieux de rendre à César ce qui lui appartient, mentionne parmi les belles choses qu'il a reçues celle de "M. Huygens, Hollandais, qui a le premier produit que la portion de la roulette retranchée par l'ordonnée de l'axe, menée du premier quart de l'axe du côté du sommet, est égale à un espace rectiligne donné"(38). En Novembre 1658, le Récit de l'examen et des jugements apprend que les prix n'ont point été gagnés parce que personne n'a donné la véritable solution des problèmes, et en Décembre 1658, dans la lettre de M. Dettonville à M. de Carcavi, Pascal peut enfin donner ses magistrales démonstrations. Huygens est tenu au courant des différentes péripéties de l'affaire grâce à son ami Boulliau.

Parmi les réponses, en quelque sorte hors sujet, qu'à reçues Pascal, il en est une qui frappe l'attention des mathématiciens, et en particulier Huygens. Pascal lui réserve ses louanges dans l'Histoire de la Roulette : "Mais entre tous les écrits qu'on a reçus de cette sorte, il n'y a rien de plus beau que ce qui a été envoyé par M. Wren, car outre la belle manière qu'il donne de mesurer le plan de la Roulette, il a donné la comparaison de la ligne courbe même et de ses parties avec la ligne droite. Sa proposition est que la ligne de la Roulette est quadruple de son axe, dont il a envoyé l'énonciation sans démonstration. Et comme il est le premier qui l'a produite, c'est sans doute à lui que l'honneur de la première invention en appartient". La rectification -c'est-à-dire la construction d'une ligne droite de même longueur- de la cycloïde n'était pas au concours, heureusement car elle est venue d'Angleterre en Août 1658, alors que Pascal ne la possédait pas(39). Il semble que la rectification d'une courbe ait déjà été donnée par un autre anglais, Guillaume Neil, mais que cette découverte n'ait pas traversé la Manche(40). Huygens, dans une lettre à M. de Carcavi datée du 16 Janvier 1659, nous apprend qu'il a travaillé sur cette question, puis a abandonné, mais il écrit : "Maintenant j'y suis retourné à cause de l'invention de Wren, qui rendra la courbe illustre, excellente, parce qu'elle est la première courbe et peut-être la seule qui puisse être rectifiée(41). Pourquoi cette surprise ? Tout indique que les géomètres de cette première moitié du siècle ont un préjugé selon lequel "c'est une loi et un ordre de la nature", pour utiliser l'expression de Fermat (42), que l'on ne puisse rectifier les courbes. Dans La géométrie, Descartes a rejeté l'idée de comparer courbes et droites : "la proportion qui est entre les droites et les courbes n'étant pas connue, et même je crois ne le pouvant être par les hommes"(43). Pascal, remis de ses émotions, éprouve sa méthode et va plus loin que Wren en donnant les rectifications de toutes les cycloïdes, allongées ou raccourcies. A la demande de Huygens, il envoie au Hollandais en Février 1659 "la dimension de toutes les cycloïdes"(44).

En Janvier 1659, Huygens annonce à Monsieur de Carcavi que la découverte de Wren l'incite à se remettre au problème de la cycloïde, et à la fin de l'année, il tient les deux propriétés de la cycloïde qui lui permettent de connaître entièrement la forme des lames recourbées de son horloge. La deuxième propriété est que la courbe décrite par le poids d'un pendule se balançant entre deux demi-cycloïdes est une cycloïde. Or cette propriété, comme le souligne Huygens dans l'Horologium oscillatorium, permet d'obtenir immédiatement en corollaire le résultat de Wren.

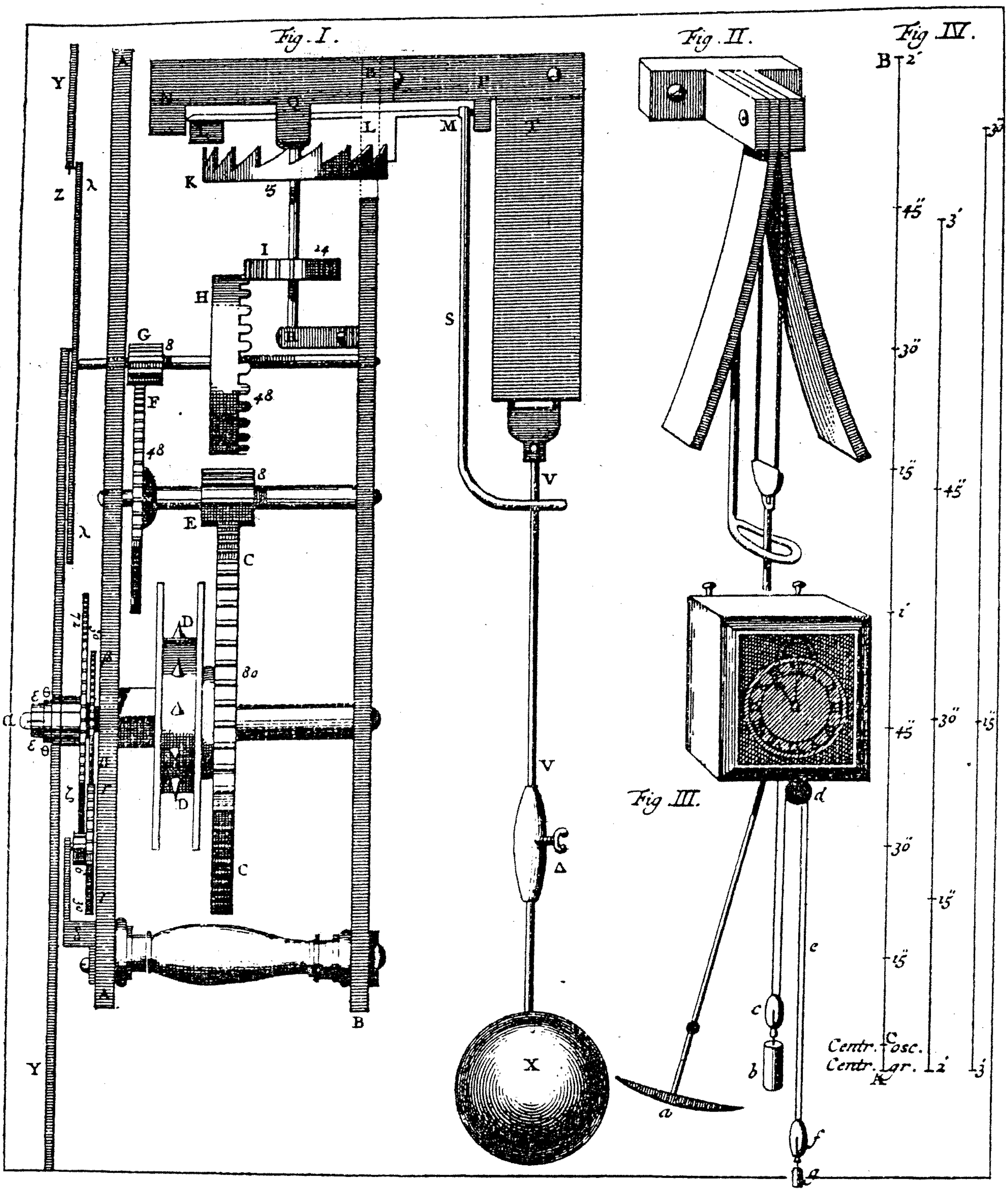
III) HOROLOGIUM OSCILLATORIUM

l'Horologium oscillatorium, publié en 1673, comporte cinq parties : I) Description de l'horloge, II) De la chute et des mouvements des graves sur une cycloïde, III) De l'évolution et de la dimension des lignes courbes, IV) Du centre d'oscillation ou d'agitation, V) De la construction d'une autre horloge à pendule circulaire et théorèmes sur la force centrifuge(45). Cet ouvrage représente, en quelque sorte, l'apogée des méthodes pratiquées au XVIIème siècle, et qui seront oubliées à la fin de ce siècle avec l'introduction du calcul infinitésimal par Leibniz et Newton(46). Huygens utilise des réductions par l'absurde à la manière d'Archimède aussi bien que la méthode des indivisibles à la Cavalieri, mais il se montre plus habile géomètre qu'algébriste à tout crin. Dans l'étude des mouvements des graves, il se révèle l'héritier de Galilée.

1) Mouvement d'un grave sur une cycloïde

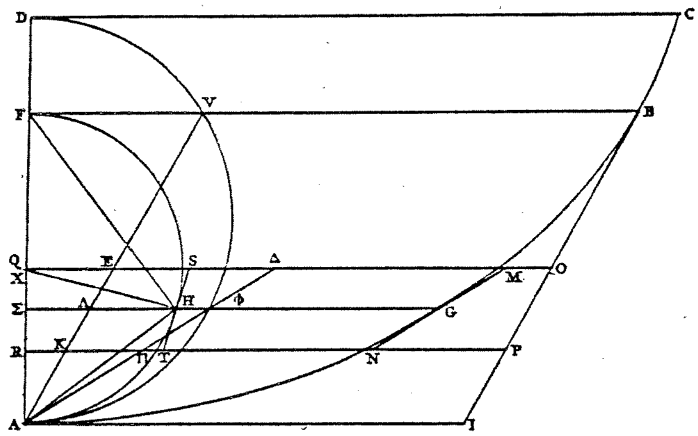
Dans la deuxième partie de son ouvrage, Huygens démontre la première propriété de la cycloïde : "il a été nécessaire de corroborer et d'amplifier la doctrine du grand Galilée touchant la chute des graves, dont le fruit le plus souhaité et, pour ainsi dire le plus élevé est précisément la propriété de la cycloïde que nous avons découverte". Par conséquent, il redémontre les lois de Galilée sur la chute rectiligne des graves et donne une démonstration du postulat de la Troisième journée des Discours concernant deux sciences nouvelles, à savoir que "les vitesses acquises par un grave en descendant sur des plans diversement inclinés sont égales quand les hauteurs des plans le sont"(47). Dans les propositions IX et X, les résultats sont étendus à une surface composée de surfaces planes contigües, puis à une surface quelconque : "Lorsqu'un mobile tombe perpendiculairement ou suivant une surface quelconque et qu'il est de nouveau porté en haut par la vitesse acquise suivant une autre surface quelconque, il aura toujours en montant et en descendant la même vitesse en des points situés à la même hauteur"(48). Cette extension s'obtient immédiatement en considérant, comme le font aussi Galilée ou Descartes, qu'une courbe est un polygône d'une infinité de côtés : "la démonstration est exactement la même quel que soit le nombre des plans suivant lesquels le mobile doit monter. Pourtant lors même que le nombre des plans est infini, c'est-à-dire lorsqu'on a affaire à une courbe, le mobile s'élèvera par celle-ci aussi jusqu'à la hauteur dont il est descendu". Dans la proposition XXI, Huygens montre que le temps de descente le long de surfaces plans contigus diminue quand l'inclinaison de ces plans augmente. Ce résultat est aussitôt étendu aux courbes : "Or il est manifeste par là, si l'on considère les lignes courbes comme composées d'une infinité de lignes droites, que lorsqu'on a affaire à deux surfaces inclinées suivant des lignes courbées de la même hauteur et dont l'inclinaison de l'une surpasse toujours celle de l'autre en des points quelconques de même hauteur, le corps descendra aussi en un temps plus court le long de la surface plus inclinée que le long de la moins inclinée"(49). L'inclinaison d'une courbe en un point est celle de la tangente à la courbe en ce point. L'application de ces résultats à la cycloïde va donc s'appuyer largement sur la propriété de la tangente à la cycloïde(50).

Horologium oscillatorium de 1673
Description de l'horloge



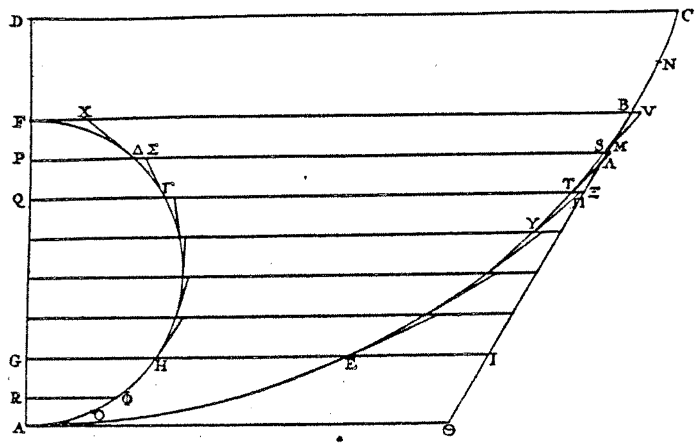
Dans la proposition XXIII(51), Huygens démontre que "le temps dans lequel un corps parcourra la droite MN avec une vitesse constante telle qu'il peut l'acquérir en descendant par l'arc BG de la cycloïde, sera au temps dans lequel la droite OP sera parcourue avec une vitesse constante égale à la moitié de celle qui est acquise par la descente le long de la tangente BI, comme la tangente ST est à la partie QR de l'axe" (fig. 6). Ceci lui permet de démontrer, dans la

fig.6



proposition XXIV(52), que le temps de la descente suivant l'arc de cycloïde $\widehat{BE}$ est à celui suivant la tangente BI, avec la moitié de la vitesse acquise par une chute suivant B˙, comme l'arc $\widehat{FH}$ est à la droite FG (fig. 7). Ce résultat s'obtient par une longue démonstration à la manière archimédienne, c'est-à-dire par une double réduction par l'absurde. Dans le cas où

fig.7



le rapport des temps de descente considérés est tel que, en notations modernes,

$$\frac{t_{BE}}{t_{BI}} > \frac{\widehat{FH}}{FG}$$

Huygens considère le temps Z, $Z < t_{BE}$, vérifiant

$$\frac{Z}{t_{BI}} = \frac{\overset{\frown}{FH}}{FG}$$

et il introduit un point N "si près de B" que le temps t'_{BE} mis pour parcourir BE après avoir parcouru NB soit supérieur à Z. Puisque :

$$\frac{t_{BE}}{t_{BI}} > \frac{\overset{\frown}{FH}}{FG}$$

on peut considérer le point O tel que

$$\frac{t_{BE}}{t_{BI}} = \frac{FO}{FG}$$

Il divise alors FG en parties égales FB, PQ, etc, telle que chacune corresponde à une hauteur inférieure à NB et à HO. Il parvient ainsi à démontrer que la somme des temps nécessaires pour parcourir chacun des morceaux de tangente à la cycloïde est à la fois supérieure et inférieure à t'_{BE}, ce qui est absurde.

Huygens obtient, comme conséquence, en proposition XXV[53] que "Dans une cycloïde à axe vertical et dont le sommet se trouve en bas, les temps de descente dans lesquels un mobile, partant du repos d'un point quelconque de la courbe, atteint le plus bas, sont égaux entre eux, et ont au temps de la chute verticale le long de l'axe entier de la cycloïde une raison égale à celle de la demi-circonférence d'un cercle à son diamètre". En effet, d'après la proposition XXIV nous avons, en notations modernes, que

$$\frac{t_{BA}}{t_{BG}} = \frac{FA}{FA}$$

Or $t_{BG} = t_{EA}$ d'après la propriété de la tangente à la cycloïde (fig 8), et $t_{EA} = t_{AD}$ comme l'avait déjà démontré Galilée. Par conséquent :

$$\frac{t_{BA}}{t_{AD}} = \frac{\pi}{2}$$

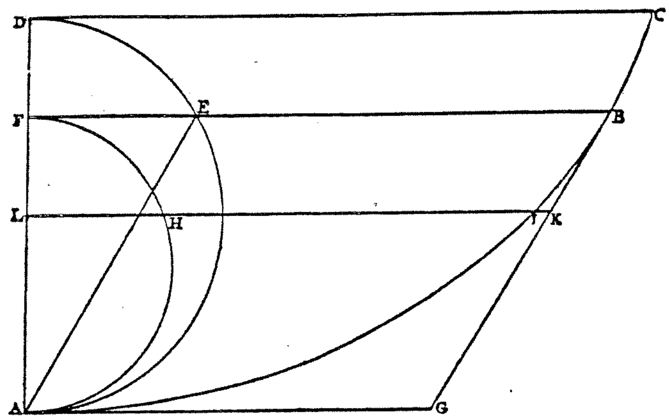


fig.8

Huygens tient ainsi la première propriété de la cycloïde. La seconde est démontrée, dans le cadre des propriétés des courbes, à la partie suivante.

2) <u>La théorie des développées</u>

Huygens a compris que la seconde propriété de la cycloïde peut prendre place à l'intérieur d'une théorie générale, qu'il appelle celle "de l'évolution et de la dimension des lignes courbes". Par conséquent, il aborde la troisième partie de son traité, <u>Horologium oscillatorium</u>, en donnant des définitions concernant toutes les courbes, celles de développante et de développée. "Si l'on considère un fil, ou une ligne flexible, enroulé sur une ligne courbée vers un seul côté, et que, une extrémité du fil demeurant attachée à la courbe, l'autre en est écartée de telle manière que la partie libre du fil reste toujours tendue, il est manifeste qu'une certaine autre courbe est décrite par cette extrémité du fil. Donnons lui le nom de Développante. Et que celle sur laquelle le fil est enroulé porte le nom de Développée. Dans la figure (fig. 9) ABC est la développée et ADE la développante

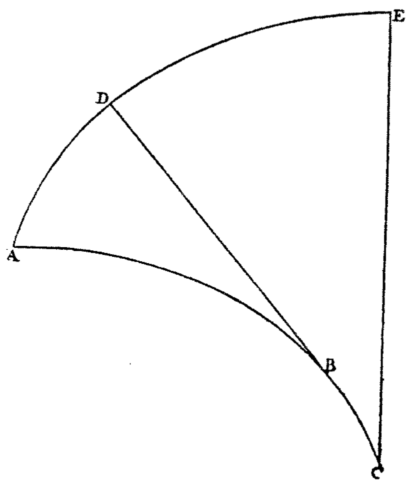


fig.9

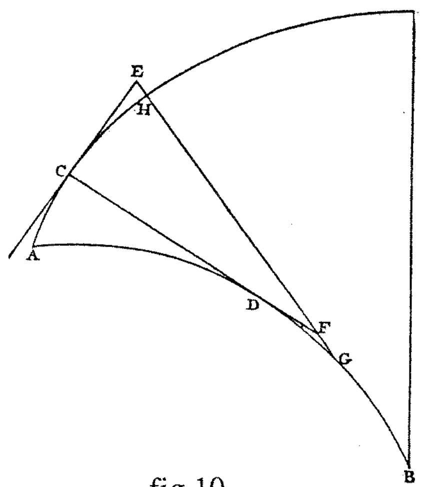


fig.10

correspondante de sorte que, lorsque l'extrémité du fil passe de A en D, la partie tendue du fil est la droite DB, le reste BC étant encore roulé sur la courbe ABC(54). Huygens énonce, dans les propositions I et IV, deux propriétés qui expriment les relations réciproques entre développée et développante. La proposition I affirme que toute tangente à la développée rencontre la développante à angles droits. Il s'agit de montrer que la perpendiculaire menée de C à la tangente CD de la développée est tangente à la développante, c'est-à-dire qu'elle ne rencontre la développante qu'au point C (fig. 10). Huygens procède, à la manière ancienne, en montrant qu'aucun point H de la développante, autre que C, n'appartient à cette droite. Dans le cas où le point H "est plus éloigné de l'origine de la développante que le point C", la tangente HG à la développée rencontre CD en un point F et sa perpendiculaire en un point E. Nous avons DF + FG > DG et CD + DG = HG, donc CF > HF. Par ailleurs, EF > CF car l'angle FCE est droit. Par conséquent, EF > HF et les deux points H et E sont distincts. L'autre cas se résout de la même façon, et Huygens relève que les deux courbes sont concaves du même côté. Dans la proposition III, Huygens montre que "deux lignes courbées l'une et l'autre vers un seul côté et concaves vers le même côté ne peuvent émaner d'un seul point dans une telle position l'une par rapport à l'autre que toute droite normale à l'une soit aussi normale à l'autre" (fig. 11). Ceci permet à Huygens de démontrer la proposition IV, qui est la réciproque de la proposition I, à savoir que "si d'un même point partent deux lignes courbées l'une et l'autre vers un seul côté et concaves vers le même côté, et ainsi situées l'une par rapport à l'autre que toutes les tangentes à l'une d'elles coupent l'autre à angles droits, cette deuxième sera la développante de la première à partir du point commun"(55). Ce résultat se démontre par l'absurde : si les lignes ABC et ADE remplissent les conditions de l'hypothèse et si la développante AFG de ABC est distincte de ADE, alors toute normale à AFG est normale à ADE, ce qui est impossible d'après la proposition III (fig.12).

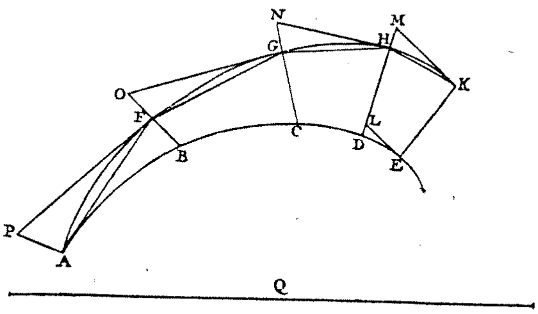


fig.11

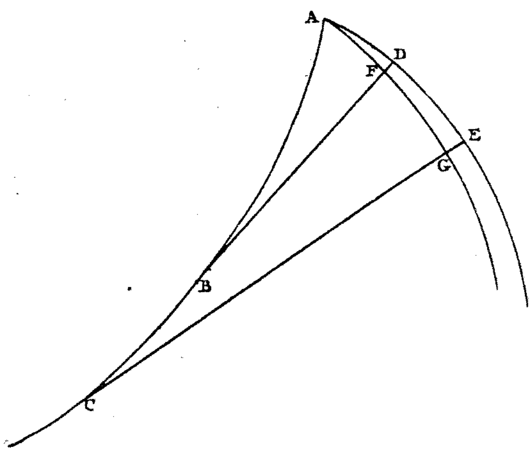


fig.12

La propriété remarquable de la cycloïde fait l'objet de la proposition V : "Lorsqu'une droite touche une cycloïde en son sommet et qu'on construit sur cette droite prise pour base une autre cycloïde, semblable et égale à la première, à partir du point coïncidant avec le sommet nommé, une tangente quelconque à la cycloïde inférieure sera normale à l'arc cycloïdal supérieure"(56). Il s'agit de démontrer que la tangente BK à la cycloïde ABC rencontre la cycloïde AFN à angles droits (fig. 13). D'après la propriété de la tangente à la cycloïde, BK est parallèle à AH, et donc AK = BH = AH. Soit E le point d'intersection de BK avec le cercle générateur passant par K, puisque les angles EKA et KAH sont égaux, nous avons EK = AH. Par conséquent, EK = AK, c'est-à-dire que le point E appartient à la cycloïde supérieure AFN et que EK est normale à la cycloïde AFN, d'après la propriété de la normale à la cycloïde. Des propositions IV et V, Huygens conclut, en proposition IV, que "par l'évolution, à partir du sommet, d'une demi-cycloïde, une autre demi-cycloïde est décrite, égale et semblable à la première, dont la base coïncide avec la droite qui t ouche la cycloïde en son sommet". En

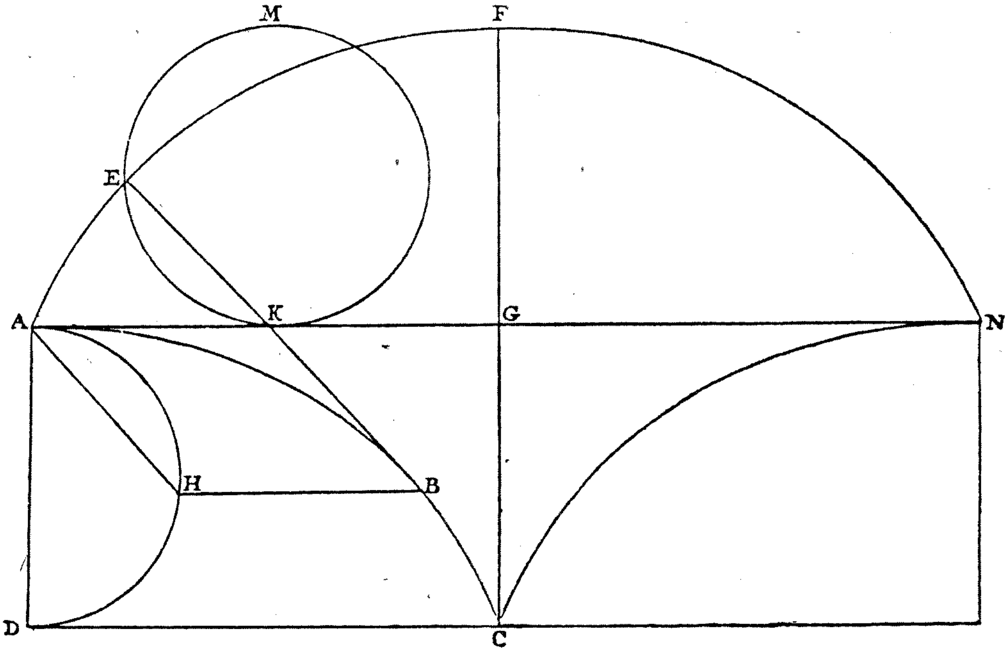


fig.13

rapprochant ce résultat de celui de la proposition XXV de la partie II de l'Horologium oscillatorium, consacrée à la chute des graves sur une cycloïde, Huygens aboutit à la validation de son horloge : "la vérité de ce que nous avons dit plus haut dans la Construction de l'Horloge sur le mouvement uniforme du pendule est présentement manifeste". En effet, "il est clair que le pendule, suspendu et mis en mouvement entre une paire de lames courbées en forme de demi-cycloïdes, décrit par son mouvement un arc de cycloïde et que par conséquent ses oscillations, quelle que soit leur amplitude, sont exécutées dans des temps égaux"(57).

Huygens obtient, en corollaire de la proposition VI, la longueur d'un arc de cycloïde. En effet, la longueur de la demi-cycloïde ABC est égale à FC, et la longueur de l'arc de cycloïde est égale à BE, c'est-à-dire à 2BK (fig. 13). Huygens salue les mérites de Wren qui a découvert ce résultat, et rend hommage à Mersenne, Roberval, Pascal et Wallis pour leurs travaux sur la cycloïde. Il conclut son chapitre par l'éloge de sa propre contribution : "Pour nous, nous avons rapporté ce qui précède puisqu'il nous semblait que nous ne devions pas passer sous silence des inventions si belles par lesquelles il est arrivé que de toutes les lignes aucune n'est maintenant connue mieux et plus à fond que la cycloïde"(58).

La démarche suivie par Huygens, dans cette troisième partie de l'Horologium oscillatorium, est suffisamment originale, en cette seconde moitié du XVIIème siècle, pour qu'on la souligne. En effet, Huygens part de considérations générales sur les courbes -les rapports entre développée et développante- et montre le comportement remarquable de la cycloïde à cet égard. Ceci le conduit à mettre en évidence une propriété des courbes -l'égalité de la développée et de la développante- et à se demander quelles sont les courbes qui vérifient cette propriété. Il écrit qu'"il ignore si cette propriété remarquable est donnée à aucune autre ligne, savoir celle de se décrire soi-même par son évolution"(59). Nous savons que la mise en évidence des propriétés des courbes sera une tâche systématique des mathématiciens du début du XIXème siècle. En 1678, de Vausmele découvre que la cardioïde se développe en une cardioïde triple de la première, et Huygens montre que l'évolution d'une épicycloïde donne une épicycloïde. L'épicycloïde est la courbe décrite par un point d'un cercle de rayon r roulant à l'extérieur d'un cercle de rayon R, la cardioïde s'obtient pour r = R. En 1692, Jacques Bernouilli montre la même propriété pour la spirale logarithmique -cette spirale a la propriété de couper tous ses rayons vecteurs à angles droits. Quelques années plus tard, Herman et Craft montrent que la cycloïde et la spirale logarithmique, à angle constant de 45°, sont les seules courbes se développant en courbes égales(60). Huygens peut se féliciter de la portée mathématique de son invention, mais il en attend d'autres retombées.

3) Le profit et la gloire

Dès le début des années 1660, Huygens se préoccupe beaucoup d'essayer de tirer un maximum de profit de son invention, ainsi que l'indique sa correspondance avec des connaissances utiles, en particulier avec R. Moray et J. Chapelain -ce dernier était chargé de distribuer les pensions que servait Louis XIV aux artistes et savants. Huygens sait que les arcs cycloïdaux n'assurent pas, même sur terre ferme, un isochronisme parfait. Comme il l'écrit à Moray(61), ceci est dû au "médium de l'air, qui n'est pas considéré dans la théorie" et au "défaut du fil du pendule qui s'étend plus au moment que le plomb est au plus bas de l'arc qu'ailleurs". Il est vrai que, comme son maître Galilée, Huygens néglige la résistance de l'air dans l'étude de la chute des graves. Cependant, il prétend remédier à ces défauts par un procédé technique : "J'ai trouvé depuis quelques temps le moyen d'ajuster fort précisément à son heure mon horloge par un petit plomb mobile que j'applique à la verge de mon pendule". Huygens pense que les imperfections de son horloge ne sont nullement rédhibitoires en ce qui concerne la détermination des longitudes. Son ami, le Capitaine Holmes, s'embarque avec deux horloges qui "serviront à diriger les vaisseaux depuis leur départ jusqu'à l'île Saint Thomas, et à fixer la longitude à l'arrivée à l'île de Fuego"(62). Huygens espère ainsi voir confirmées ses espérances, mais il ne veut pas attendre le retour du Capitaine pour demander privilèges ou récompenses. Le 11 Novembre 1663, il écrit à Moray : "Ne manquez pas je vous en prie à m'en envoyer au plus tôt la relation du Capitaine tant pour m'éclairer entièrement en ce qui regarde cette importante expérience qu'afin que je m'en puisse servir où il sera besoin. Car je suis d'avis ainsi que vous, et ceux de la Société Royale, qu'il faut commencer à agir tout de bon dans cette affaire, et qu'il y a assez de fondements pour demander sans hésiter les privilèges. Monsieur l'Abbé de Beaufort avec quelques autres de mes amis, à qui j'en parlai hier par occasion d'une promenade que nous fîmes ensemble hors de la ville me conseillèrent tous de demander plutôt une récompense ici au Roi qu'un Privilège, et proposèrent même les moyens dont il faudrait se servir pour l'obtenir. Pour moi je crois que ce ne serait pas mal, mais je désire d'en savoir votre avis, et j'en consulterai cependant avec d'autres personnes le privilège, et l'affaire réussissant bien, le prix qu'on y a destiné ne pourra pas nous manquer. Pour l'Espagne, le Danemark et la Suède, je sais des gens que j'y pourrai employer"(63). Il lui écrit encore la semaine suivante : "Il vaut bien la peine cependant de demander les privilèges, et qu'on y travaille au plus tôt. Votre pays et le nôtre sont ceux où il y aurait le plus de profit à faire"(64).

Dans une lettre du 21 Juillet 1664, Moray établit pour Huygens le catalogue des lieux où prendre des privilèges et ceux en lesquels il vaut mieux demander des récompenses. "Pour ce qui est de la récompense que Messieurs les Etats ou autres ont promis à ceux qui trouveront une invention pour savoir les longitudes sur mer, sachez premièrement ce qui en est, et puis voyez s'il est encore temps d'y prétendre (...). Et si vous trouvez bon qu'on en fasse de même en France ou bien qu'on traite avec le Roi pour une récompense sans demander patentes vous n'avez qu'à me dire votre sentiment et je crois que je trouverais le moyen de faire ou l'un ou l'autre. Et pour la Grande Bretagne, il ne sera pas difficile d'en avoir le privilège mais je ne vois pas qu'on y puisse attendre récompense. Toutefois j'ai envie de tâter le pouls à ces Marchands qui ont fait de si belles offres au Portugais, pour voir s'ils veulent autant faire pour une chose réelle, comme ils ont fait pour une Chimère. Au reste pour l'Espagne, le Danemark, la Suède, les villes Antartiques etc., je crois qu'il ne sera pas difficile d'obtenir des patentes pourvu que le jeu vaille la chandelle, il est vrai que j'ai ouï dire, que le Roy d'Espagne a proposé quelque récompense pour le secret des longitudes et s'il en est ainsi, il faudra pour moins la peine de la demander". Cependant, Moray doit juger Juygens trop impatient et il ajoute : "Mais tout ce que je viens de dire présuppose que les Horloges vont sur mer avec exactitude ; et jusqu'à ce que nous soyons assurés de cela, la seule question est, savoir s'il est temps de demander les privilèges dans les lieux surnommés, ou bien s'il faut attendre encore jusqu'à ce que nous soyons hors de doute"(65). Le 23 Janvier 1665, Moray apprend à Huygens qu'"enfin le Capitaine Holmes est arrivé et la relation qu'il nous a faite de l'expérience des Pendules nous met hors de doute qu'elles ne réussissent"(66).

En attendant d'obtenir patentes, privilèges ou récompenses, Huygens se méfie beaucoup des espions ou des contrefacteurs qui pourraient lui ravir les fruits de son invention. Lors d'une visite chez un inventeur d'horloges d'Harlem, il devina, en entendant les coups dans l'horloge, qu'il y avait dedans un pendule, et fit remarquer à ce "petit mécaniste" qu'on pouvait lui défendre de se servir des pendules dont l'invention était privilégiée. Lorsque ces horloges sont embarquées, il demande qu'elles "soient tellement fermées qu'on ne peut voir que les indices"(67). Il se méfie également de ceux qui pourraient, par la suite, apporter des perfections à son horloge -qu'il reconnaît par ailleurs nécessaires-. Il écrit à Moray qu'il faut prendre, à cet égard, toutes les précautions possibles dans les termes de la demande de privilège : "Je crois qu'on ferait mieux de demander généralement le Privilège pour l'application des horloges à pendule à la Navigation, sans spécifier si fort toutes les parties de la machine, parce qu'autrement il viendra des horlogers ou autre gens, qui en diversifiant la construction de quelque chose prétendront d'apporter des inventions qui ne sont pas comprises dans le privilège(68).

Le Roi Louis XIV accorde le privilège en 1665, et Chapelain conseille à Huygens, comme marque de "gratitude à sa majesté, cela s'entend autant qu'il se pourra sans nuire à vos intérêts à l'égard des horloges", de dédier le traité des pendules au Monarque(69). Celui-ci suivra cette suggestion en dédicaçant l'Horologium Oscillatorium à Louis XIV Le Grand, dédicace dans laquelle il insiste sur l'utilité de son invention. Colbert est sensible à l'orientation utilitaire des travaux d' Huygens et il invite le Hollandais à faire partie de l'Académie Royale des Sciences à sa création en 1666. Plusieurs étrangers furent, en effet, invités à venir travailler en France et furent gratifiés par Louis XIV. Huygens écrit dans sa dédicace : "Tu protèges les sciences et ceux qui y excellent ; libéralité que les très grands frais des guerres, bien qu'ils surpassent énormément les dépenses ordinaires, ne diminuent en rien et que les confins de la France, Ton royaume, ne limitent point"(70). Le Hollandais accepta de devenir académicien et fut celui qui touchait le plus gros traitement. En tant que membre de l'Académie, il eut à défendre son horloge contre les "perfectionneurs" qu'il redoutait par avance. Il écrit à Colbert au sujet de Mercator qui "prétend perfectionner l'usage des pendules" alors "qu'on a remédié il y a longtemps à tous les inconvénients qu'il rapporte"(71). L'Académie s'était déjà réunie deux fois, en présence de Colbert, pour examiner de nouvelles propositions pour déterminer la longitude en mer, et elles avaient été jugées sans valeur.

Huygens proposa, lui même, en 1675 un nouveau dispositif : le régulateur est un ressort spiral solidaire d'une masse oscillante en forme d'anneau circulaire, le balancier. Ce dispositif fut adapté à la construction des montres de marine grâce aux efforts de Leroy et de Berthoud en France, et de Harrisson en Angleterre. Le problème des horloges marines ne fut donc véritablement résolu qu'en 1757 avec l'invention du chronomètre de marine par Harrisson, auquel le Parlement anglais attribua un prix de 20 000 livres(72). Tout ceci ne diminua point, aux yeux de la postérité, les mérites de Huygens. "C'est un vrai don que le génie de Huygens a fait à l'humanité et l'une des plus ingénieuses inventions dont elle puisse s'applaudir" écrit Bailly dans son Histoire de l'astronomie moderne(73).

NOTES

(1) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome XVIII, p. 76.
(2) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome V, lettre n° 1254 de J. Chapelain à C. Huygens du 5 Septembre 1664
(3) Voir l'article de R. BKOUCHE in La rigueur et le calcul
(4) BRAUDEL, Civilisation matérielle, économie et capitalisme, XVème-XVIIIème siècle, vol 2, Les jeux de l'échange.
(5) BRAUDEL, op. cit., vol 3, Le temps du monde.
(6) Tableau d'Abram Willaerts (1557-1664).
(7)01 DENYS, L'art de naviguer dans la plus haute perfection, p. 21.
(8) BERTHOUD, Histoire de la Mesure du temps par les Horloges, p. 258.
(9) BLONDEL ST AUBIN, Le trésor de la navigation, p. 41.
(10) DENYS, op. cit., p. 21.
(11) TATON, Histoire générale des sciences, tome II, La science moderne.
(12) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome V, lettre n° 1334 de J. Chapelain à C. Huygens du 25 Février 1665.
(13) DENYS, op. cit., p. 23
(14) ibid, p. 26
(15) TATON, Histoire générale des sciences, tome II, La science moderne.
(16) DULAGUE, Principes de Navigation, p. 106.
(17) Il signale également l'usage de la boussole utilisée après les observations d'Halley.
(18) ibid, p. 107
(19) TATON, op. cit.
(20) BESSON, Le cosmolabe.
(21) DULAGUE, op. cit, p. 225.
(22) DENYS, op. cit., p. 30.
(23) BERTHOUD, op. cit., p. 95.
(24) Cette révélation, faite en 1659, intervient dans la mauvaise querelle que Viviani fit à Huygen sur la priorité de Galilée.
(25) BERTHOUD, op. cit. p. 98.
(26) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome II, p. 271, lettre de C. Huygens à P. Petit du 1er Novembre 1658.
(27) ibid, p. 181.
(28) HUYGENS, Oeuvres complètes., tome VI, p. 292, lettre de C. Huygens à Estienne du 23 Novembre 1668.
(29) Pour une analyse détaillée des travaux sur la cycloïde lire CLERO, LE REST La naissance du calcul infinitésimal au XVIIème siècle.
(30) MONTUCLA, Histoire des mathématiques, tome II.
(31) PASCAL, Oeuvres complète, p. 117.
(32) MONTUCLA, op. cit.
(33) GALILEE, Discours concernant deux sciences nouvelles, p. 22.
(34) Sur la méthode des indivisibles lire BARBIN, Heuristique et démonstration en mathématiques, la méthode des indivisibles au XVIIème siècle.
(35) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome I, lettre n° 13a du 13 Octobre 1646, p. 559.
(36) idem, lettre du 8 Janvier 1647.
(37) HUYGENS, Oeuvres complète, tome II, lettre n° 493, p. 186.
(38) PASCAL, op. cit., p. 120.

(39) COSTABEL, Essai sur les secrets des Traités de la Roulette, p. 3284
(40) MONTUCLA, op. cit.
(41) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome II, lettre n° 566, p. 315.
(42) FERMAT, Oeuvres, tome III, p. 181.
(43) DESCARTES, La géométrie, p. 61.
(44) PASCAL Oeuvres complètes, p. 182.
(45) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome XVIII.
(46) CLERO et LEREST, op. cit.
(47) GALILEE, op. cit., p. 138.
(48) op. cit., p. 148.
(49) op. cit., p. 166.
(50) voir, plus haut, le résultat de Fermat.
(51) op. cit., p. 170.
(52) HUYGENS, op. cit., p. 172.

(53) HUYGENS, op. cit., p. 184.
(54) HUYGENS, op. cit. p. 188.
(55) HUYGENS, op. cit., p. 196.
(56) HUYGENS, op. cit., p. 198.
(57) HUYGENS, op. cit., p. 202.
(58) HUYGENS, op. cit., p. 204.
(59) HUYGENS, op. cit., p. 104.
(60) HUYGENS, op. cit., Avertissement p. 40.
(61) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome III, lettre à Moray du 30 Décembre 1661, p. 438.
(62) BERTHOUD, op. cit., p. 273.
(63) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome IV, p. 427.
(64) HUYGENS, op. cit., lettre n° 1167 du 18 Novembre 1663.
(65) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome V, lettre n° 1247.
(66) HUYGENS, op. cit., lettre n° 1315.
(67) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome IV, lettre du 4 Janvier 1663, p. 287.
(68) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome V, lettre n° 1274 du 21 Novembre 1664.
(69) HUYGENS, op. cit., lettre n° 1349 du 10 Mars 1665.
(70) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome XVIII, p. 76.
(71) HUYGENS, Oeuvres complètes, tome VI, lettre du 13 Mars 1669.
(72) TATON, Histoire générale des sciences, tome II...
(73) Cité par BERTHOUD, Histoire de la Mesure du Temps par les Horloges, p. 113.

BIBLIOGRAPHIE

BARBIN — Heuristique et démonstration en mathématiques. La méthode des indivisibles au XVIIème siècle in Fragments d'histoire des mathématiques, n° 2, A.P.M.E.P., Nov 1987.

BERTHOUD — Histoire de la mesure du temps par les horloges, Imprimerie de la République, Paris, 1802.

BESSON — Le cosmolabe, de Rouillé, Paris, 1567.

BLONDEL ST AUBIN — Le trésor de la navigation, Gruchet, St Aignan, 1673.

BOS — L'élaboration du calcul infinitésimal, Huygens entre Pascal et Leibniz in Huygens et la France, Table Ronde du C.N.R.S., Vrin, 1982.

BOUGHER — Nouveau traité de Navigation, Guérin, St Thomas d'Aquin, 1753.

BRAUDEL — Civilisation matérielle, Economie et Capitalisme, XV-XVIIIème siècle, Colin, Paris, 1979.

CLERO & LE REST — La naissance du calcul infinitésimal, Cahiers d'histoire et de philosophie des Sciences n° 16, C.N.R.S. Centre Documentation Sciences Humaines, Paris, 1980.

COSTABEL — Essai sur les secrets des Traités de la Roulette, Revue d'histoire des Sciences, t. XV, 1962, p. 321-350.

DENYS — L'art de naviguer dans sa plus haute perfection, Dubuc, Paris, 1673.

DESCARTES — La géométrie, 1637, édition David, Paris 1705.

DULAGUE — Principes de navigation, Racine, Rouen, 1787.

FERMAT — Oeuvres, Publication Tannery et Henry, Gauthiers Villars, Paris, 1896.

GALILEE — Discours concernant deux sciences nouvelles, 1632, Traduction Clavelin, Colin, Paris, 1970.

GROUPE INTER IREM — La rigueur et le calcul, Cédic, Paris, 1982.

HUYGENS — Oeuvres complètes, Publication Société Hollandaise Sciences, Nijkoff, La Haye, 1888-1950.

MANDROU — Histoire de la pensée européenne, Des humanistes aux hommes de science, Le Seuil, Paris, 1973.

MONTUCLA — Histoire des mathématiques, 1799, édition Blanchard, Paris, 1968.

PAGAN (Comte de) — Les tables astronomiques, Henault, Paris, 1658.

PASCAL — Oeuvres complètes, Le Seuil, Paris, 1963.

TATON — Histoire générale des sciences, P.U.F., Paris, 1958.