

Isochronisme et Mesure du Temps:

Huygens et le Pendule cycloïdal

Christiane VILAIN

L'Académie des Sciences est fondée en 1666 par Colbert avec comme "mathématiciens": Auzout, Buot, Carcavy, Huygens, Frenicle, Roberval et Picard. Les "physiciens" qui leurs sont adjoints sont en fait des médecins, et l'Académie comprend aussi des chimistes et des botanistes¹. Le problème qui nous intéresse ici, celui de la mesure du temps, appartient d'ailleurs totalement au domaine des mathématiques, comme l'astronomie et les machines. Ce qui est nouveau est que la science théorique du mouvement qui formait le coeur de la "Philosophie naturelle" sera maintenant traitée par des mathématiciens.

Le souci de Colbert lorsqu'il fonde cette Académie n'est certainement pas une redistribution des compétences théoriques, ni l'étude du mouvement, mais la résolution de divers problèmes pratiques d'utilité publique. Au problème de la mesure du temps est en effet associé celui de la détermination des longitudes en mer dont l'intérêt est d'accroître la précision de la navigation. L'observation de la configuration des étoiles permet aisément de déterminer la latitude du lieu d'observation, par la hauteur de l'étoile polaire par exemple. Elle permet également, par la position des constellations autour de la polaire, de déterminer l'heure en un lieu donné, plus exactement sur un méridien donné (à condition de consulter des tables assez faciles à faire et à transporter, et de connaître la date, bien sûr).

Mais le problème en mer est justement de savoir sur quel méridien on se trouve, et la même observation de la configuration des constellations dans leur rotation autour de la polaire peut indiquer, réciproquement, la longitude si on connaît l'heure. Le problème, ainsi exposé schématiquement, est très simple: meilleure est la détermination du temps, meilleure est celle de la longitude. La solution la plus évidente est de fabriquer une bonne horloge transportable en mer. L'autre est d'utiliser un phénomène céleste périodique dont l'observation ne dépende pas de la position en longitude. On avait donc pensé, grâce à Galilée, à l'observation des satellites de Jupiter. Mais leur observation à la lunette sur un navire pose encore plus de problèmes pratiques que le transport d'une horloge. On

¹ Histoire de L'ACADEMIE Royale des Sciences, Vol. I, de 1666 à 1686, par Fontenelle, éditée en 1733 par G. Martin, J-B. Goignard fils, H-L. Guérin.

pense alors utiliser la Lune, ou plus exactement sa distance à une étoile donnée. Mais c'est alors la précision théorique sur la trajectoire de la Lune qui fait défaut. Elle sera l'objet des études théoriques les plus ardues au 18^{ème} siècle, par d'Alembert, Laplace et Lagrange.

L'obtention d'une horloge précise est également nécessaire aux observations astronomiques elles-mêmes, effectuées à l'Observatoire de Paris dont la fondation suit de peu celle de l'Académie, si l'on veut avoir de bonnes tables mais aussi vérifier des prédictions théoriques.

Lorsque Christiaan Huygens, alors âgé de trente ans, décrit et fait fabriquer en 1658 les premiers exemplaires de son "horloge à pendule", cela intéresse déjà vivement les membres de l'assemblée dirigée par M. de Montmor, qui succède à celle de Mersenne et prélude à celle, plus officielle, de Colbert. Huygens a déjà fait un voyage à Paris en 1654 et reviendra en 1660. Il maintient dans l'intervalle des contacts amicaux tout autant que scientifiques. Sa description de l'horloge, dédiée aux Etats de Hollande, est publiée en 1658. Mais Huygens fait l'année suivante une découverte plus extraordinaire en essayant de démontrer l'isochronisme approché du pendule circulaire: le pendule parfaitement isochrone est cycloïdal. Il en fait immédiatement la démonstration, qui ne sera publiée que dans son *Horologium oscillatorium* de 1673².

C'est ce mélange entre problèmes pratiques et théoriques que nous voulons décrire ici, en montrant que les liens entre eux ne sont pas aussi simples ni nécessaires qu'on aimerait le penser.

1°) Le paysage des années 1657-59.

Cette description du paysage scientifique sera limitée puisque centrée sur ce qui apparaît dans les correspondances de Huygens³. Mais comme il est certain que ce dernier participe à ce qu'il y a de plus important à l'époque, c'est un point de vue assez significatif.

Il est beaucoup question de Saturne, nouvelle vedette du ciel après Jupiter, de son anneau dont Huygens explique l'apparence, de Titan qui est le principal satellite de Saturne. Huygens publiera en 1659 son *Systema Saturnium*. Rien ne justifie pour l'instant le besoin d'une bonne horloge dans cette détermination plutôt qualitative du système satellitaire de la planète.

A l'importance de l'astronomie réponds l'importance des mathématiques. En juin 1658 Ismaël Boulliau envoie à Huygens les problèmes posés par l'"anonyme" à propos de la cycloïde: rectifications d'arcs, quadratures et calculs de volumes de révolution obtenus en faisant tourner la cycloïde autour de ses axes. Huygens réponds à une partie seulement et les trouve si difficiles qu'il doute que leur auteur les ait lui-même résolus. On sait que cela incite Christopher Wren à révéler sa rectification de la parabole, la première qui ait été réussie. On recherchait en effet encore à progresser sur le problème de la quadrature du cercle et des quadrature en général après le gros et discutable travail de Grégoire de Saint-Vincent. Puisqu'

² HUYGENS Christiaan, "Horologium oscillatorium", dans les "Oeuvres Complètes de Christian Huygens" (ultérieurement notées O.C.), éditées par la Société hollandaise des Sciences, La Haye, (1888-1950), Vol. XVIII.

³ O.C. II, Correspondances.

Archimède avait ouvert la voie grâce à la quadrature de la parabole et son traité à propos de la quadrature du cercle, on ne doutait pas de la possibilité des quadratures alors que l'on doutait de celle des rectifications. Les divers travaux de quadrature mettent en réalité en place une algèbre des surfaces dans la mesure où on établit des rapports entre elles. Les rectifications de la parabole puis de la cycloïde vont faire éclater ce cadre laborieux et un peu décevant. Tout le monde se met alors à trouver sa propre méthode de rectification, Huygens bien sûr, mais aussi son ami Claude Mylon, l'astronome Auzout et d'autres.

Lorsqu'on saura que l'"anonyme" est Blaise Pascal, on saura également qu'il sait résoudre tous les problèmes qu'il a posés. Huygens commencera à correspondre avec lui. En 1658 est réussie la rectification de la parabole semi-cubique à partir de la quadrature de la parabole. Un procédé général consistant à ramener la rectification d'une courbe à la quadrature d'une courbe associée avait été mis au point indépendamment par Van Heuraet d'une façon générale, et par Huygens pour des cas particuliers. On trouve en effet dans les manuscrits de ce dernier la réduction de la rectification de la parabole à la quadrature de l'hyperbole, le 27 Octobre 1657.

Mais la contribution la plus originale de Huygens à ce sujet est sans doute l'étude des développantes et développées, un peu plus tard. Il n'en est pas encore question, ni dans les lettres, ni ailleurs. Ce travail fait partie des sujets sur lesquels Huygens demeure relativement isolé. C'était le cas de ces travaux sur les chocs achevés en 1656 mais non publiés. C'est aussi le cas de son étude de la force centrifuge, dont les brouillons datent aussi de cette époque.

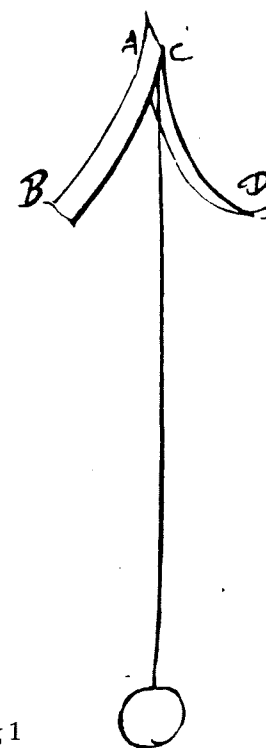


fig 1

La place occupée par la description des horloges, les discussions concernant le principe et le détail du mécanisme prennent une place importante dans la correspondance, avec J. Chapelain de l'académie de Montmor, puis avec Pierre Petit, spécialiste en "automates". Ce dernier s'inquiète en particulier de savoir si l'horloge ne va pas tourner plus vite lorsqu'on lui accroche un plus gros poids. Huygens réponds que c'est le contraire, car alors l'amplitude d'oscillation du pendule serait plus grande et les oscillations plus lentes. Il faut donc réduire cette amplitude, la maintenir à l'intérieur de limites fixées. Il ne semble pas que cela ait posé trop de problèmes pratiques et Huygens ne s'inquiète pas plus que cela dans ses lettres du non isochronisme du pendule circulaire. Il dessine un procédé qui consiste à coincer le fil du pendule (souple dans sa partie supérieure) en deux "joints" incurvés (voir Fig.1) et signale que cela rend les oscillations plus égales entre elles⁴. La motivation de la découverte du tautochronisme de la cycloïde n'y apparaît donc pas. La cycloïde est encore un pur objet mathématique, sans aucun rapport avec la pratique des horloges.

⁴ O.C. II, p. 270, Lettre à Pierre Petit du 1 Novembre 1658.

Mais lorsqu'on se plonge alors dans l'étude de ses brouillons de l'année 1659 et des années antérieures (ce qu'il faut toujours faire à propos de Huygens qui a peu publié, d'autant plus qu'il suffit de profiter de l'énorme travail d'édition de la Société hollandaise des Sciences), on s'aperçoit que l'histoire de la détermination des longitudes et donc du temps, masque l'histoire d'un problème plus théorique: celui des mesures des espaces et des temps de la chute des corps.

2°) La délicate étude de la chute des corps.

Les quatre personnages principaux de cette histoire exemplaire sont Galilée, Mersenne, Riccioli et Huygens. Les travaux de Galilée sont aujourd'hui bien connus et, même si l'on ne sait pas exactement comment il procédait pour mesurer les temps, on sait qu'il a utilisé divers procédés. Son exposé le plus explicite à ce sujet, lorsqu'il s'agit d'étudier des billes sur des plans inclinés, mentionne un grand seau d'eau dont l'eau coule par un trou étroit dans un récipient qu'il pèse ensuite soigneusement⁵. Lorsque Alexandre Koyré parle à ce sujet de l'"la stupéfiante et pitoyable pauvreté" des moyens utilisés par Galilée⁶, puisqu'il ne s'agit même pas vraiment d'une clepsydre, il ne se demande pas quelle précision on pouvait obtenir avec un grand seau et une balance très précise, sachant que Galilée l'utilise par ailleurs pour peser de l'air⁷.

Mersenne effectue des mesures directes de longueur de chute, et trouve que le corps en chute libre parcourt 3 pieds en une demi seconde, 12 en une, 48 en deux et 108 en trois. La seconde est définie astronomiquement, mais comment la détermine-t-il dans ses expériences? Koyré suppose qu'il utilisa un pendule de trois pieds et demi, car il en est question dans un autre passage de l'*Harmonie Universelle* de Mersenne. Un tel pendule fait son "oscillation", c'est-à-dire 1/2 période, en une seconde d'arc de la rotation de la Terre ou du ciel.

Ravi de la cohérence de ses résultats concernant la proportion galiléenne de la chute des corps, Mersenne s'étonne alors des mauvais résultats que fournit Galilée lorsqu'il avance des valeurs particulières, à savoir 100 coudées en 5 secondes. D'après Mersenne, 100 coudées font 166,66 pieds et ses propres résultats impliquent une hauteur de chute de 300 pieds en 5 secondes. Le résultat lui semble donc grossièrement faux et Koyré abonde dans son sens. Or ce résultat de Galilée provient de la deuxième journée du *Dialogue*...⁸ et Galilée évoque il est vrai à ce sujet des "expériences répétées". Ces chiffres ne constituent cependant pas un résultat mais un point de départ pour évaluer le temps de chute du boulet depuis la Lune! Il est probable que Galilée ne s'intéresse pas du tout à ces chiffres comme mesure réelle de la pesanteur. Il me semble d'ailleurs, après revue des résultats quantitatifs donnés ensuite dans les *Discours*..., que Galilée était beaucoup plus intéressé par

⁵ GALILEE "Discours concernant deux sciences nouvelles", présentation, traduction et notes de Maurice Clavelin, Armand Colin, (1970), p.144.

⁶ KOYRE Alexandre, "Une expérience de mesure", dans "Etudes d'histoire de la pensée scientifique.", Gallimard, (1973).

⁷ Ibid, p.66.

⁸ GALILEE, "Dialogue sur les deux grands systèmes du Monde.", traduit de l'italien par René Fréreau avec le concours de François De Gandt, Seuil, (1992), p.236.

des rapports que par des mesures absolues. Il est souvent question de corps tombant sur une distance de 100 coudées pour comparer les vitesses de chute de corps différents, sans qu'aucune valeur de temps ne soit indiquée à ce moment là. Il n'est question que de proportions. Le plan incliné lui sert d'ailleurs à vérifier que les espaces parcourus sont comme les carrés des temps et non à faire une mesure absolue (ce qui assure que la rotation des boules au cours de leur descente n'est pas gênante, contrairement à ce que dit Koyré). Mais Mersenne est moins satisfait de lui-même lorsqu'il constate que le pendule de 3 pieds et demi descendrait sur son quart de cercle plus rapidement que sur la verticale de la même hauteur. Il refait ses expériences plus tard vers 1647 en essayant de comparer directement le temps de chute sur l'arc de cercle et sur la verticale, ou plus exactement les longueurs telles que les temps soient les mêmes, ce qui peut être assuré par la coïncidence de deux sons. C'est cette procédure, que Mersenne juge plutôt insatisfaisante, qui sera reprise plus tard par Huygens.

Le troisième personnage de cette histoire, le père jésuite Riccioli, est sans conteste le plus pittoresque, à la fois patient et passionné, dans son acharnement à trouver la longueur du pendule qui battrait "exactement" la seconde, afin de s'en servir pour mesurer des temps. Pour ce faire, Riccioli parvient, avec des aides, à compter des oscillations pendant des heures, les comptant à voix haute et constituant ainsi la première horloge à pendule, dit Koyré, une horloge humaine!. Mais l'incohérence des résultats est décourageante. Riccioli ignorait totalement le travail de Mersenne, qui s'était finalement rendu compte du non isochronisme des oscillations du pendule circulaire.

Huygens reprend donc les dernières expériences de Mersenne, en essayant d'améliorer le dispositif, dont il nous livre obligeamment le dessin (voir Fig.2)⁹.

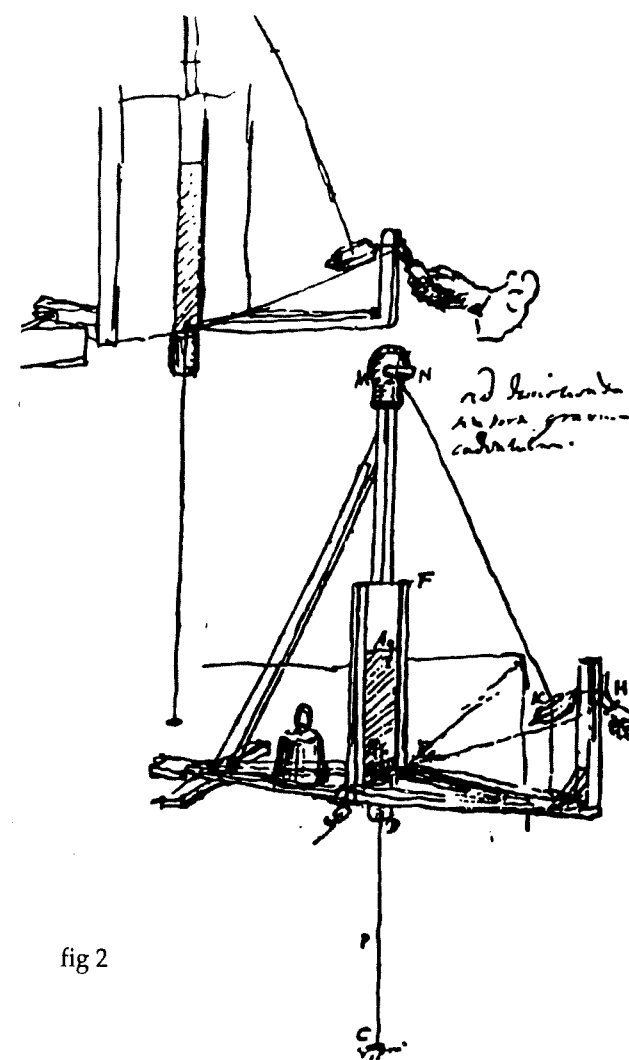


fig 2

⁹ O.C.XVI, p.282.

Le départ du pendule et du corps en chute verticale est obtenu en brûlant un fil, et l'instant d'arrivée est détecté au son. Huygens se rend compte qu'il cherche un rapport de deux temps, un nombre sans dimension qui pourrait être calculé. Devant la difficulté de l'expérience, il va commencer à chercher à établir théoriquement ce rapport. Cela le conduira au passage à démontrer l'isochronisme approché, et donc non exact, du pendule circulaire, puis à découvrir celui de la cycloïde.

Après son analyse de cette histoire, Koyré¹⁰ concluait: "non seulement les expériences valables sont fondées sur une théorie, mais même les moyens qui permettent de les réaliser ne sont eux-mêmes rien d'autre que de la théorie incarnée."

Pierre Costabel¹¹ prenant la suite de Koyré, parle plus prudemment à propos de Huygens d'une "imbrication des procédures". Il est certain qu'après avoir achevé ses brillantes démonstrations Huygens ne songera plus, ni personne après lui, à expérimenter sur ce sujet. Le but des expériences n'était donc certainement pas, comme on le dit trop souvent, la mesure de l'accélération de la pesanteur, mais une meilleure connaissance des phénomènes de chutes libre et pendulaire. Pour Huygens, expérimentations et calculs servent à trouver, seule la démonstration géométrique prouve. La vérification expérimentale de cette relation offre maintenant aussi peu d'intérêt que de vérifier le théorème de Pythagore.

3°) Le tautochronisme du cercle et de la cycloïde.

Galilée a toujours cru que le pendule circulaire était isochrone et sa conviction n'était pas seulement fondée sur l'observation. Elle s'appuyait également sur le fameux "Théorème des cordes". Démontré dans les "Discours...", ce théorème était déjà mentionné dans une lettre à Guido Ubaldo del Monte en 1602.

Le théorème III de la troisième journée des "Discours..."¹², établit que pour des plans inclinés différemment mais de même dimension verticale, les temps de parcours sont comme les longueurs pour des mobiles partant du repos, car les "degrés de vitesse" sont les mêmes sur chaque horizontale. Ce que nous pouvons écrire:

$$\frac{t_{AB}}{t_{AC}} = \frac{AB}{AC}$$

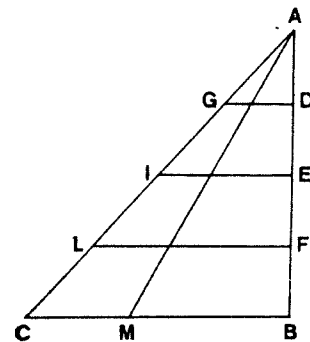


Fig.3

¹⁰ KOYRE, ibid, p.314.

¹¹ COSTABEL Pierre, "Isochronisme et accélération, 1638-1687", Archives internationales d'Histoire des Sciences, n° 102, Juin 1978.

¹² GALILEE, "Discours...", p.150.

Le théorème des cordes proprement dit est démontré dans le Théorème VI. D'après le théorème III:

$$\frac{t_{AB}}{t_{AD}} = \frac{AB}{AD} \quad \text{et} \quad \frac{t_{AC}}{t_{AE}} = \frac{AC}{AE}$$

D'après la loi de la chute des corps démontrée auparavant:

$$\frac{t_{AD}}{t_{AE}} = \sqrt{\frac{AD}{AE}}$$

Et comme (géométrie du cercle):

$$AB^2 = AD \cdot AF \quad \text{et} \quad AC^2 = AE \cdot AF$$

$$\text{alors} \quad \frac{t_{AD}}{t_{AE}} = \frac{AB}{AC}$$

$$\text{donc:} \quad \frac{t_{AB}}{t_{AC}} = \frac{t_{AD}}{t_{AE}} \times \frac{AB}{AC} \times \frac{AE}{AD} = 1$$

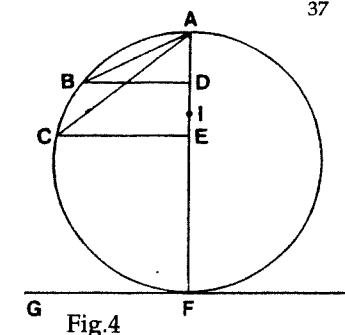


Fig.4

Huygens aborde donc ce problème en 1659, c'est-à-dire quelques dizaines d'années après seulement. On a déjà pu mesurer à quel point le contexte avait radicalement changé. On va voir maintenant à quel point le style géométrique diffère maintenant de celui de Galilée. Un dessin, tiré des brouillons de Huygens, y suffira (voir Fig.5)¹³

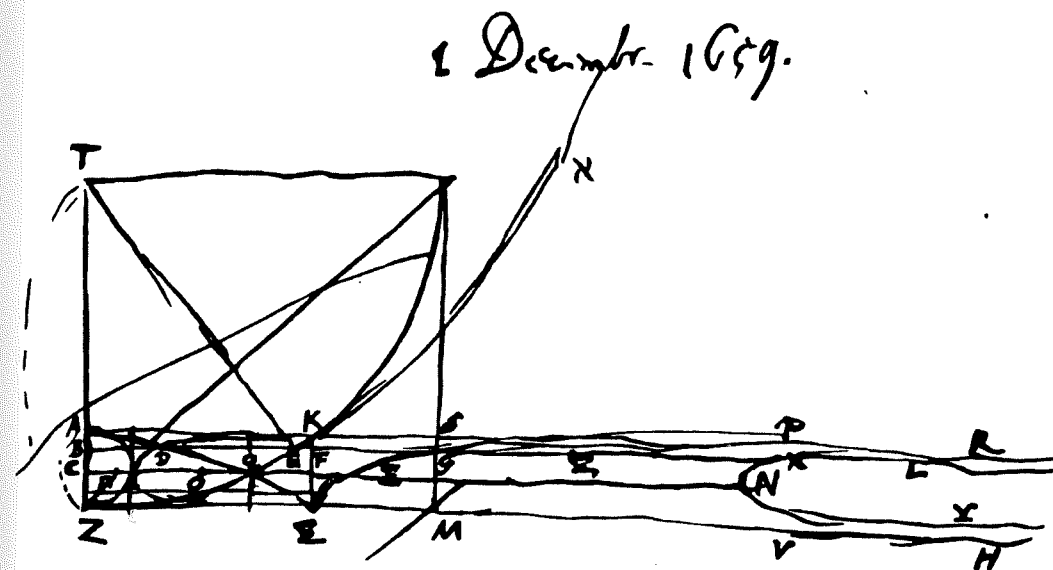


Fig.5

Nous n'allons évidemment pas suivre intégralement la démarche de Huygens qui utilise un certain nombre de courbes intermédiaires, en particulier pour exprimer des racines, ou bien remplacer des évaluations de longueurs par des surfaces, comme il est maintenant habitué à le faire. La seule courbe ajoutée dont on

¹³ O.C.XVI, p.392.

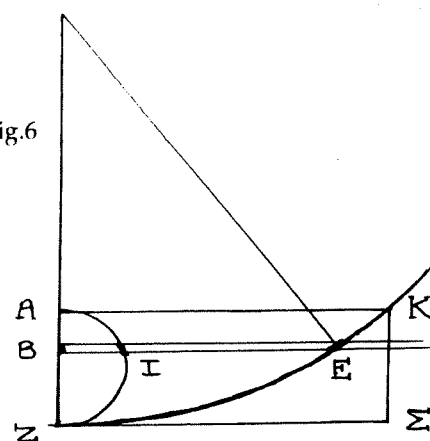
ne puisse se passer est la parabole ZK qui remplacera l'arc de cercle ZK dès que nécessaire, (voir Fig.6).

On compare alors le temps de chute de K en Z , soit t_K , à celui d'une chute uniforme de A en Z , soit θ_A , effectué à vitesse moitié de la vitesse acquise en Z par la chute de puis A . (ce dernier temps est donc le temps de chute verticale depuis A). Puis on va considérer des petits temps sur des tranches de chacune des deux chutes considérées:

$$\frac{\delta t_E}{\delta \theta_B} = \frac{\delta l_E}{\delta l_B} \times \frac{v_B}{v_E}$$

$$= \frac{TE}{BE} \times \frac{1}{2} \sqrt{\frac{AZ}{AB}} \quad \text{d'après Galilée.}$$

Fig.6



On assimile maintenant le cercle à une parabole telle que:

$$BE^2 = p \cdot BZ = 2 TE \cdot BZ$$

Alors:

$$\frac{\delta t_E}{\delta \theta_B} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{TE}{2}} \times \sqrt{\frac{AZ}{BZ \cdot BA}}$$

$$\text{or } BI^2 = BZ \cdot BA$$

$$\text{et } \frac{\delta l_I}{\delta l_B} = \frac{AZ}{2 \cdot BI}$$

$$\text{Donc: } \frac{\delta t_E}{\delta \theta_B} = \sqrt{\frac{TE}{2 \cdot AZ}} \times \frac{\delta l_I}{\delta l_B}$$

On peut maintenant sommer termes à termes, car les éléments dénominateurs sont constants. On obtient:

$$\frac{t_K}{\theta_A} = \sqrt{\frac{TE}{2 \cdot AZ}} \times \frac{\pi}{2} \quad \text{mais } \frac{\theta_A}{\theta_T} = \sqrt{\frac{AZ}{TZ}} \quad \text{donc } \frac{t_K}{\theta_T} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\pi}{2}$$

Il est ainsi démontré que le temps de chute depuis le point K ne dépend pas de ce point, à condition que l'arc soit assez petit pour pouvoir être confondu avec un arc de parabole. Les méthodes utilisées ici par Huygens sont à comparer avec les méthodes utilisées en géométrie pure et ne sont pas à proprement parler originales, bien qu'elles soient récentes. Leur application à des problèmes mécaniques est en revanche propre à Huygens à cette époque.

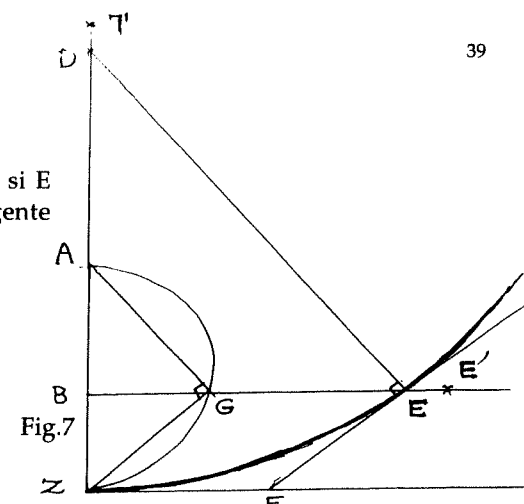
Mais la suite est beaucoup plus étonnante: Huygens semble inspiré par le travail que lui a demandé cette démonstration délicate, et réaliser tout à coup que sa démonstration pourrait être exacte si le point courant E de l'arc de cercle se trouvait maintenant sur une courbe telle que:

$$\frac{TE}{BE} = \frac{cte}{BE'} \quad \text{avec } E' \text{ sur une parabole.}$$

Il montre tout de suite que cela est réalisé si E est sur une cycloïde, (voir Fig.7). La tangente EF est en effet parallèle à ZG , donc:

$$\frac{ED}{EB} = \frac{GA}{GB} = \frac{ZG}{ZB} = \sqrt{\frac{ZA}{ZB}}$$

On définit E' par:



$$BE' = BE \times \frac{L}{ED} = L \times \sqrt{\frac{ZB}{ZA}} \quad \text{donc: } BE'^2 = \left(\frac{L^2}{ZA} \right) \times ZB = p \times ZB$$

et E' est bien sur une parabole de paramètre p . On fixera ensuite ZA égal à la moitié de TE . Huygens termine alors la démonstration du tautochronisme de sa cycloïde, sur la figure suivante¹⁴, que nous n'explicitons pas ici !:

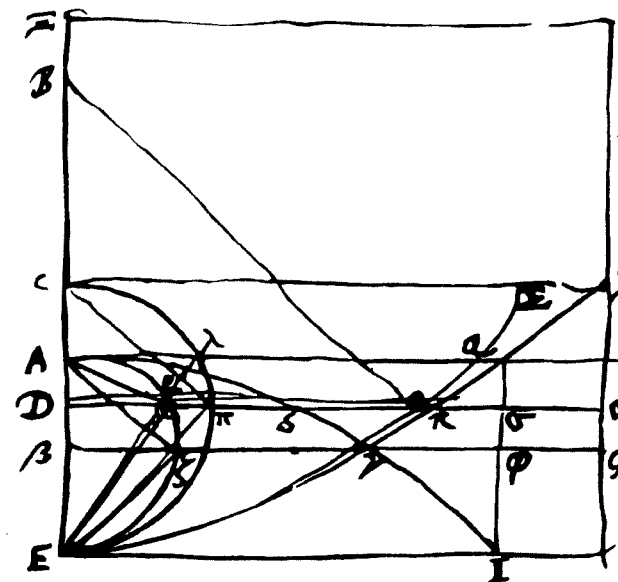


Fig.8

¹⁴ O.C.XVI, p.404.

Mais insatisfait de sa méthode, Huygens recommence à zéro à partir des propriétés de la cycloïde seule, selon la procédure qu'il adoptera finalement pour la publication de ce résultat dans l'*Horologium oscillatorium* de 1673. Il ajoutera seulement à ce moment là la méthode archimédienne d'exhaustion à la place du passage à la limite.

Sans détailler cette dernière démonstration, donnons-en les éléments principaux. Le but est de prouver que le temps de chute depuis le point quelconque B jusqu'à A sur la cycloïde CA est indépendant de la position position de ce point de départ, donc de la ligne FEB (voir Fig.9a).

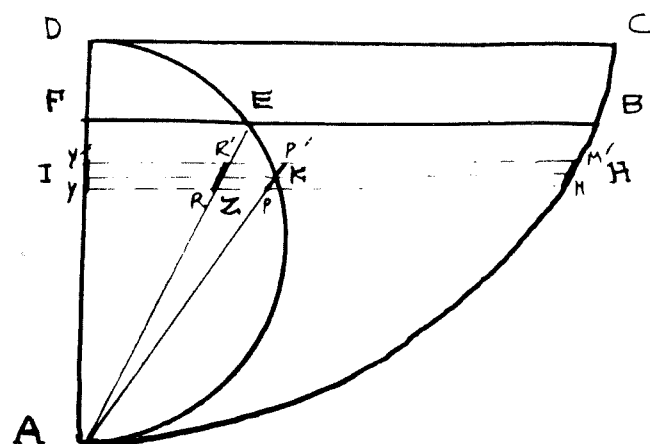


Fig.9a

Huygens va trouver un rapport constant entre le temps de chute sur l'arc BA et celui de la chute sur la corde EA. Le théorème des cordes complète ensuite la démonstration.

On utilise d'emblée quatre résultats galiléens qui avaient été nécessaires au cours des démonstrations précédentes.

- Le temps de chute libre sur EA ne dépend pas de E et est donc égal au temps de chute sur DA.

- Ce temps est le même que celui d'une descente sur EA à vitesse uniforme égale à la moitié de la vitesse finale acquise en fin de course notée V_{EA} .

- Cette vitesse finale est la même que celle de la chute de F en A.

- La vitesse finale est proportionnelle à la racine carrée de la hauteur de chute, ici FA.

Ensuite interviennent les comparaisons de temps élémentaires sur les petits éléments reliés à l'élément de tangente MM' , naturellement confondu avec un petit arc de cycloïde sans qu'il soit nécessaire de le justifier ici. Un calcul

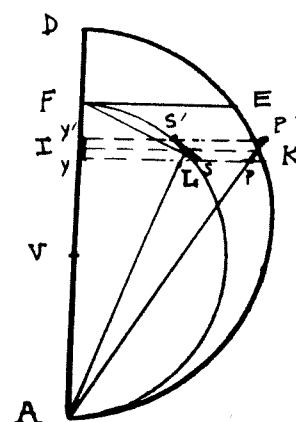


Fig.9b

intermédiaire fait intervenir l'élément SS' de la circonférence ALF (Fig.9b), qui permettra d'effectuer la somme aboutissant au résultat final.

Il ne semble pas que Huygens ait fait état de sa découverte publiquement à cette époque. Il la mentionne rapidement dans une lettre à van Schooten du 6 Décembre 1659¹⁵ en redonnant un dessin du pendule encadré de ses joues, semblable à celui qui se trouvait dans la lettre antérieure à Pierre Petit. La différence est qu'il connaît maintenant la forme exacte que doivent avoir ces joues. Cette mention apparaît encore une fois ou deux dans sa correspondance. C'est peu par rapport à l'étonnement que peut poser une telle découverte. La discrétion de Huygens peut être due au fait qu'il n'est pas satisfait de sa démonstration par passage à la limite, ou bien trop peu convaincu de l'intérêt pratique d'une solution exacte. L'"invention" de la cycloïde n'est en effet sans doute pas nécessaire à la construction d'horloges performantes pour lesquelles on peut limiter l'amplitude de l'oscillation du pendule, comme cela se pratique aujourd'hui. Avoir trouvé ce que personne ne cherche peut avoir laissé Huygens assez décontenancé, car le problème de ses contemporains est surtout celui du transport des horloges en mer pour la détermination des longitudes et non l'amélioration de la physique galiléenne.

4°) Les longitudes.

Quelques soient les préoccupations théoriques de Huygens, il a annoncé dès Février 1657 à son ami Claude Mylon¹⁶ une nouvelle invention utile à l'astronomie et à la détermination des longitudes. Celui-ci, une fois mis en présence de la description de l'horloge, lui réponds qu'il lui faudra la rendre "inaltérable"¹⁷, la perfectionner de façon à ce qu'elle soit "aussi bonne en mer que dans votre chambre"¹⁸. Huygens ne réponds pas précisément sur ce sujet à Mylon, mais à Chapelain qui lui fait la même demande un an plus tard¹⁹. Tout au moins souhaite-t-il que l'on puisse un jour transporter en mer les plus grandes de ses horloges. Ses manuscrits attestent de son souci de trouver de bons systèmes de suspension, entre 1659 et 1663.

Les dessins ci-dessous²⁰ rappellent les capacités "ingénieuses" du futur académicien. Si la question des longitudes n'est pas son problème majeur, il n'a jamais négligé l'aspect pratique de la construction des instruments. Qu'il s'agisse de lunettes astronomiques ou de pompes à vide, Huygens invente des améliorations qu'il met en oeuvre lui-même, avec l'aide d'artisans ou parfois de ses propres frères. Il est technicien et dessinateur. De l'époque classique, il est celui que l'on pourrait comparer à Léonard de Vinci par son imagination et l'importance, sinon la qualité des représentations.

¹⁵ Lettre de Christian Huygens à Fr. van Schooten du 6 Décembre 1659, O.C.II, 521-522.

¹⁶ Lettre de Huygens à Claude Mylon du 1^{er} Février 1657, O.C.II, 7-8.

¹⁷ Lettre de Claude Mylon à Huygens du 12 Avril 1657, O.C.II, p.22.

¹⁸ Lettre de Claude Mylon à Huygens du 18 Mai 1657, O.C.II, p.29.

¹⁹ Lettre de Chapelain à Huygens du 12 Avril 1658, O.C.II, 165-167, et réponse de Huygens le 6 Juin 1658, O.C.II, 180-181.

²⁰ O.C.XVII, p.165.

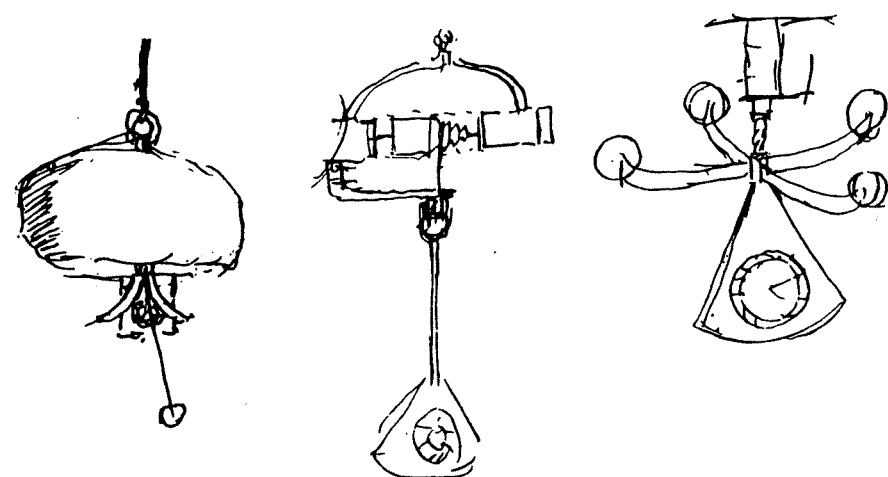


Fig.10

En 1665 le "Journal des savants" publie deux lettres, l'une de Londres relatant une navigation réussie, racontée par le capitaine lui-même à son retour²¹. Il fait état du fait que grâce aux pendules de Monsieur Huygens, il a pu prévoir son arrivée dans une île le lendemain, au grand étonnement de son équipage. Le journal publie également une lettre de Huygens dans laquelle il commente celle du capitaine Holmes²². Huygens annonce "qu'on exposera en vente les dites horloges, avec l'instruction nécessaire pour s'en servir sur mer", et qu'il a ainsi "franchi le pas". Mais il annonce également qu'il diffèrera la publication de la figure de sa nouvelle horloge qui se fera avec "toutes les démonstrations" à l'intérieur d'un "Traité des pendules que j'ai écrit ces jours passés et qui est d'une spéculation fort subtile". On le constatera en 1673.

Le perfectionnement des horloges se poursuit, années après années. Huygens décrit en détail son dernier modèle dans une lettre de Septembre 1669 à Estienne²³. Ce n'est qu'un exemple. Dans une lettre de la même époque, Oldenburg fait allusion aux diverses expériences effectuées avec des horloges sur mer, dont un voyage à Cayenne. Il demande également à Huygens ce qu'il pense d'une nouvelle horloge "dont le mouvement se fait dans le vuide pour remédier à l'inégalité de l'Air?"²⁴. On trouve enfin une relation détaillée de l'essai des mesures de longitudes par les horloges sur le navire de Monsieur de Beaufort lors d'un voyage de Candie (en Crète) à Toulon. La relation envoyée à Colbert²⁵ est très détaillée et semble indiquer que le résultat n'est pas encore vraiment satisfaisant.

Mais revenons maintenant à l'histoire de l'Académie dont nous avons parlé au début de ce texte. On peut lire en 1667: "Le pendule de Monsieur Huyghuens marque les secondes avec plus d'exactitude que les horloges communes ne marquaient les demi-heures. Elles peuvent même servir d'instrument pour avoir les lieux des étoiles, et elles donnent assez souvent ce que les instruments ne donneraient pas"²⁶.

Une rubrique intitulée "Longitudes" y apparaît l'année suivante, et se poursuivra pendant plusieurs années. Ce problème est comparé à celui de la quadrature du cercle! La comparaison ne vise évidemment pas la nature même du problème, mais la variété et la fantaisie des solutions proposées. On aurait pu évoquer tout aussi bien le problème du mouvement perpétuel, que l'Académie supprimera officiellement de ses débats une centaine d'années plus tard. Des solutions de toutes sortes vont en effet être proposées aux académiciens, car "il y a de grandes récompenses proposées à qui pourra résoudre ce problème."

Les dispositifs proposés sont par exemple un "Odomètre" ou "Compte-pas" qui consiste à comptabiliser les tours d'une roue que l'on laisse traîner dans l'eau. Les

²¹ Le "Journal des Sçavans", par le sieur de Hédouville, publié à Amsterdam chez Pierre le Grand, (1685), p.104.

²² Ibidem, p.144. Cette lettre du 5 Février est publiée également dans la correspondance de Huygens, O.C.V, p.222.

²³ Lettre de Christiaan Huygens à Estienne, du 7 Septembre 1669, O.C.VI, p.490.

²⁴ O.C.VI, p.495.

²⁵ O.C.VI, 501-503.

²⁶ Histoire de l'Académie des Sciences, op.cit., T.I, p.42.

académiciens objectent évidemment que la présence des courants ruine cette méthode pour la détermination de la distance parcourue par le navire. Une autre méthode utilise l'observation du mouvement en longitude de la Lune par rapport à une étoile fixe. Mais c'est sans doute l'insuffisance des éphémérides lunaires qui rend cette méthode inutilisable. Puis on relate l'histoire d'un curé de campagne "venu du fond d'une province exposer son secret", résultat de 35 ans d'observations astronomiques. Il ne s'agissait de rien de moins que de l'existence d'une planète inconnue qui se maintiendrait constamment au dessus d'un méridien donné....

On comprend alors que cette rubrique disparaisse vers l'année 1670, au profit d'autres comme celle de la "Mécanique" qui apparaît en 1674. Il y est plus question du traité de Mariotte sur le chocs²⁷ que de l'*Horologium* de Huygens. Signalons enfin que vers 1686 on se sert des satellites de Jupiter pour vérifier et corriger les horloges!²⁸.

Dans sa biographie de Huygens, John Adrien Vollgraff signale que les horloges de Huygens n'ont finalement pas donné satisfaction²⁹. Lors de l'expédition de 1690-92, l'opinion de de Volder à ce sujet était même nettement défavorable. Huygens avait décidé de modifier à nouveau son horloge et s'était remis à l'oeuvre en Janvier 1693, bien qu'il ait alors quitté l'Académie depuis longtemps, et bien malgré lui. A la fin de Mai 1694, à peu près un an avant sa mort, Huygens écrit à Leibniz qu'il a fait "executer et mettre en perfection" sa nouvelle invention qu'il prétend "pouvoir porter sur mer".

Des efforts considérables de Huygens, il reste surtout aujourd'hui un résultat théorique étonnant. La découverte même de Huygens, telle que nous l'avons décrite, apparaît comme quelque peu miraculeuse. Mais elle l'est moins si l'on tient compte de l'immersion du géomètre dans ces problèmes, immersion que nous ne pouvons reproduire, des heures de travail acharné, dont l'essentiel nous échappe définitivement, comme condition de l'intuition géométrique. Huygens meurt trop tôt pour participer au concours concernant la brachistochrone et s'apercevoir, peut-être, que sa courbe merveilleuse réserve d'autres surprises en mécanique. La question des longitudes lui a surtout fait travailler des techniques différentes dans la fabrication et la suspension des horloges marines. Il n'était sans doute pas nécessaire de découvrir le pendule parfaitement isochrone pour cela. Huygens a participé à l'émulation générale sans y être totalement plongé. Il poursuit un idéal de fusion entre physique et géométrie qu'il tient à la fois de Galilée et de Descartes. Il recherche avant tout la rigueur du géomètre qui réécrit la physique galiléenne sur le modèle archimédien. C'est pourquoi il diffère trop longtemps la publication de ses résultats.

²⁷Mariotte a publié en 1673 un traité sur les chocs nettement inspiré de la "méthode" du bateau de Huygens, jamais publiée. Ce dernier exprimera souvent son amertume à ce sujet vers la fin de sa vie.

²⁸Histoire de l'Académie des sciences, op.cit., T.VII, p.617.

²⁹Biographie de Huygens par J.A.Vollgraff, O.C.XXII, p.760.

Le lien entre l'invention du pendule cycloïdal isochrone et le souci pratique de la détermination des longitudes n'est donc pas direct, d'autant moins que les études géométriques de la cycloïde ont été proposées par Mersenne d'une façon totalement indépendante. Cet heureux hasard ne peut être assimilé à celui qui fait que les corps célestes se meuvent sur des coniques, car il s'agit dans ce dernier cas de l'utilisation en mécanique des courbes du second degré en général, connues depuis longtemps. La cycloïde est en revanche une courbe mécanique particulière, en vogue depuis peu, qui se trouve répondre de façon inattendue à un problème pratique particulier du moment: celui d'avoir de bonnes horloges. On ne peut dans ce cas que rester sur l'impression d'une rencontre fortuite, d'un heureux hasard.