

Frédéric Bretar, dans le cadre de son de DEA en Epistémologie, Histoire des Sciences et des Techniques, a écrit et soutenu en 2004 un mémoire traitant "l'histoire de la détermination des longitudes de Ptolémée à Borda : Développements théoriques et mise en pratique. Application à la navigation". Ce document a paru particulièrement intéressant pour nos lecteurs férus d'histoire des sciences géographiques, et son auteur a bien voulu nous le présenter en trois publications successives, après "Des Longitudes et des Mers : la genèse de la navigation", voici la deuxième.

Le temps des premières longitudes (2/3)

■ Frédéric BRETAR

Ce début de XVII^e siècle est une période charnière pour l'Homme, pour sa conception du Monde et pour la philosophie naturelle. La science des longitudes n'est pas en reste et les découvertes de Galilée seront à la base d'une esquisse de solution de ce délicat problème. La découverte des satellites de Jupiter va bouleverser la science des longitudes. Si cette horloge céleste est difficile à observer du pont d'un navire, elle résoudra pour un temps le problème de la détermination des longitudes à terre. Les satellites de Jupiter n'auront cessé d'être observés, leurs mouvements prédits au sein d'éphémérides dont les premiers furent ceux de D. Cassini en 1668. Cette seconde période s'achève aux abords du siècle des Lumières quand la cartographie se rationalise. Nous allons voir par contre que la navigation hauturière reste problématique. On reprend les idées de G. Frisius concernant les distances lunaires, on se penche sur le problème du magnétisme terrestre pendant que Huygens fabrique des machines à garder le temps.

Les cadences parfaites des planètes Médicéennes

Le problème des longitudes en mer va progressivement devenir aussi célèbre que celui de la quadrature du cercle. Dès la fin du XVI^e siècle, certains états proposent des récompenses¹ à quiconque y apporterait une solution ? Parmi les nombreux postulants, le plus célèbre fut sans doute Galilée. En 1636, il propose aux Etats Généraux des Provinces Unies de Hollande une méthode pour déterminer les longitudes en mer. Cette proposition est l'aboutissement des recherches de

Galilée en ce domaine. Le savant fonde sa méthode sur l'observation des occultations des lunes de Jupiter. C'est en effet dans la nuit du 7 janvier 1610 qu'il observe des choses que personne n'a jamais vues avant lui : les astres Médicéens, ou quatre des huit satellites de Jupiter². Mais c'est seulement en 1612 qu'il notera pour la première fois une éclipse de ces satellites. Quand un satellite entre dans l'ombre de la planète, il disparaît pratiquement instantanément. Si un navigateur pouvait noter l'heure locale d'un tel événement et la comparer à celle à laquelle cet événement est sensé se produire au dessus d'un méridien de référence, la différence en temps donnerait directement la longitude du navire.

Comme Gemma Frisius un siècle plus tôt, la mise en pratique d'une telle méthode ne va pas de soi. D'abord, l'observation est particulièrement délicate (nous y reviendrons en détails), et malgré des solutions techniques avancées par son inventeur (un casque muni d'une lunette, le celatone), la qualité des optiques (télescopes) est trop faible. Puis, surtout, le calcul précis d'une longitude suppose la possession de tables astronomiques soigneusement établie. Au temps de Galilée, on ne les avait pas encore. Il faudra alors attendre les travaux de l'astronome Dominique Cassini (1625-1722) dont les éphémérides sont publiées en 1668. Ces tables³ ont la précision nécessaire à l'emploi prévu par Galilée, emploi de grande importance pratique pour améliorer la cartographie terrestre. Pour leur rédaction, Cassini considère comme circulaires et uniformes les mouvements des satellites, mais applique des corrections empiriques issus de ses observations. Il calcule l'inclinaison de leurs orbites par rapport à celle de l'orbite de Jupiter sur l'écliptique, calcul qui lui permet de déterminer avec une bonne précision leurs latitudes par rapport à la planète.

1 L'Espagne avec Philippe II en 1567, puis Philippe III en 1598, puis la Hollande

2 Les durées de révolution de ces quatre satellites sont brèves, 1 jour 18 heures pour le premier, 3 j 13h pour le second, 7 j 3h pour le troisième et 16 j 18h pour le dernier

3 Les éphémérides de Cassini ont de plus servi à Römer en 1676 pour mettre en évidence de la vitesse finie de la lumière

■ ■ ■ Outre la nécessité d'avoir des tables fiables, il est aussi capital de disposer d'un compteur de temps régulier. Si Galilée ne possédait qu'un simple pendule pour mesurer les périodes de ses satellites, les architectes de la nouvelle carte de France disposeront de vraies horloges, bâties en partie sur les recherches du physicien hollandais Christiaan Huygens (1629-1695). La détermination précise des heures locales via une horloge fiable pourrait constituer une avancée sans précédent dans notre rapport à l'espace.

Le temps devient mesurable

Christiaan Huygens est un acteur incontournable dans la quête des longitudes, tant sur mer qu'à terre. Si pour Kant, le temps est une condition nécessaire de possibilité des phénomènes, pour Huygens, c'est une condition nécessaire à toute physique. Toute mesure s'inscrit dans le temps. C'est pourquoi le physicien hollandais s'attachera à des études aussi bien théoriques (isochronisme de la cycloïde) que pratique (les horloges) tout au long de sa vie. C'est lui qui reprendra l'idée de Gemma Frisius (cf. article précédent) de régler une horloge sur l'heure du méridien origine et de transporter ce temps sur un vaisseau. Il est habité, dès 1659, par la certitude de produire par art un temps plus exactement mesuré que celui dont la nature elle-même donne des exemples. Son enthousiasme est rapidement partagé et confirmé par les essais en mer de ses premières horloges. Dans une lettre de Huygens au Major Holmes revenant d'un voyage atlantique vers les îles de Saint Thomas et reproduite dans les *Philosophical Transactions* de 1667, il écrit :

"I did not imagine that the watches of this first structure would succeed so well, and I had reserved my main hopes for the new ones. But seeing that those have already served so successfully, and that the others are get more just and exact, I have the more reason to believe that the invention of longitude will come to its perfection."

C'est cette confiance dans le pouvoir de la mécanique qui le fait se pencher sans discontinuer de 1660 à sa mort en 1695, sur cet espace marin dont l'instabilité constitue le caractère essentiellement non mesurable longitudinalement. L'épisode du refus de la méthode astronomique proposée par Galilée en 1635 pour la détermination des longitudes par les membres du jury du concours ouvert par les Etats Généraux de Hollande est bien connue de Huygens lorsqu'il confie dans une lettre à Van Schooten le 12 janvier 1657, son espoir de vaincre par le moyen de la technique, le problème de longitudes.

"J'ai trouvé ces derniers jours un nouveau modèle d'horloge qui mesure les temps avec tant de précision qu'il y a grand espoir que l'on puisse par son moyen trouver les longitudes surtout s'il suppose le transport en mer."

Mais en 1657, Huygens est loin de maîtriser l'ensemble des obstacles qui s'opposent au transport d'un garde temps en mer, et le souhait qu'il formule ici montre que l'adaptation de gardes temps aux conditions des grands voyages océaniques n'est pas encore pensée comme un véritable problème. Cette nouvelle horloge, dont il donne une description dans l'*Horlogium* de 1658 consiste en l'adaptation d'un pendule dont les oscillations de faibles amplitudes sont inter-

ceptées par un mécanisme d'échappement à ancre. Il convient de noter que le problème de la détermination des longitudes est moins lié à la précision mathématique rigoureuse de l'oscillation qu'à la possibilité de maintenir, par un artefact, une oscillation pratiquement constante.

Après quelques essais en mer, Huygens s'attaque de front au problème de la houle, et en 1671, il propose un pendule triangulaire, immédiatement suivi de l'invention d'une suspension à cardan encore en usage plusieurs siècles après lui dans la suspension de chronomètres mécaniques. Au mouvement pendulaire, il substituera le ressort spiral qui arme les montres portatives. Bien que méfiant vis-à-vis de ce garde-temps, c'est cette invention (disputée par Hook) qui est à la base des chronomètres portatifs modernes :

"La pendule était sans doute le moyen le plus facile et le plus certain pour connaître les longitudes en mer, si avec la perfection de l'égalité et de la justesse, elle n'eût point le défaut de n'être portative et de ne pas pouvoir être mue avec le corps auquel est attachée sans s'arrêter, en telle sorte que l'agitation des vaisseaux interrompt nécessairement son mouvement, qui est un inconvénient que l'on n'a pu éviter malgré toutes les précautions et tout l'art que l'on y a apporté jusqu'à présent."

Huygens estime que le ressort a trop d'inconvénients pour la mesure du temps. Les tentatives qu'il réalise jusqu'en 1683, si elles n'aboutissent pas à la résolution définitive du problème de la longitude, et si elles n'aboutissent pas au remplacement pur et simple des vétustes horloges marines par la technique du ressort, contribue fortement à indiquer la voie de sa résolution. Cette invention est pour nous un des principaux acquis de la mesure du temps.

Les longitudes entre terre et mer Splendeurs...

La méthode des Immersions/Emersions des satellites de Jupiter est simple dans son principe, mais fort complexe en pratique (même à terre). En effet, la connaissance de l'heure locale pouvait certes être précise, grâce aux nouvelles horloges, mais la régularité d'un jour à l'autre du pendule n'était pas pour autant assurée, loin de là. Bien que les tables de Cassini fussent suffisamment précises pour espérer trouver la longitude de points sur terre, l'observation d'une éclipse d'un satellite de Jupiter nécessitait de longues opérations de vérification des horloges afin de connaître leur marche exacte, leur avance ou leur retard. La première étape consistait à déterminer le midi local par la méthode de la méridienne, et d'initialiser les pendules. Le comportement des horloges était ensuite soigneusement inscrit dans un registre pendant plusieurs jours, permettant d'apprécier les corrections à effectuer lors de l'observation. Les instructions générales pour de telles observations ont été rédigées par D. Cassini lui-même⁴

"Pour faciliter les observations astronomiques dans les voyages, avant que de partir on règlera les pendules à celles de l'observatoire et l'on marquera par un filet à plomb la situation dans laquelle il les faudra remettre. On marquera aussi la

⁴ "Voyage au Cap Verd en Afrique et aux îles de l'Amérique", in *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, 1729, pp. 432-435

situation du petit poids qui règle la vitesse de la pendule, pour pouvoir le remettre en cas qu'il se déplace. On observera combien de seconde par jour avance ou retarde la pendule en avançant ou en reculant le petit plomb au-dessus ou au-dessous à la différence d'un pouce. Ayant mis [les pendules] en mouvement à l'heure estimée, on prendra quelques hauteurs du bord supérieur ou inférieur du Soleil [...] avant et après midi. On compare l'heure du matin avec celle du soir et on aura l'heure du midi. [...] Après avoir trouvé l'heure du midi, si elle est éloignée du point de douze heure, on peut avancer ou reculer l'aiguille des minutes [...] On fera les mêmes opérations le suivant et par là on trouvera le temps que l'horloge marque à midi. [...] S'il s'en faut beaucoup que la pendule soit d'accord avec le ciel au bout de 24 heures, on saura combien il faudra baisser le petit poids du pendule par la différence qu'on aura observé qu'il fait par jour le baissant ou haussant d'un pouce. [...] après qu'elle sera réglée, on pourra commencer à s'en servir."

Une fois les horloges "étalonnées" (on en prend généralement plusieurs), il s'agissait d'observer les satellites entrer et sortir du cône d'ombre de Jupiter.

Sur les quatre lunes pouvant servir au calcul de la longitude, on préfère souvent se baser sur la plus proche de Jupiter (période de révolution la moins longue). Notons enfin qu'il est plus facile de suivre un satellite et de noter l'heure de sa disparition, plutôt que de regarder dans la nuit sidérale et attendre qu'une vague lumière s'en dégage.

Cette méthode est maintenant en fait la seule permettant de trouver de manière précise et régulière la longitude du lieu



Extrait de la carte de déclinaison magnétique de Halley - 1702. Les lignes isogones apparaissent sur la surface de l'océan.

d'observation par rapport au méridien origine (celui de Paris). Bien que la mise en place soit délicate, une telle précision n'avait jusqu'à présent pu être atteinte que lors de l'observation d'éclipses de Lune (qui ne sont pas visibles de toute part). C'est une aubaine pour le renouveau de la cartographie. L'Académie des sciences, en 1666, se voit attribuer la mission d'une cartographie précise de la France, notamment sous l'impulsion de Colbert (1619-1683). Une triangulation générale de la France est décidée, entreprise par Picard (1620-1682), poursuivie par D. Cassini, puis son fils Jacques (1677-1756). À partir de la mesure de la base d'un premier triangle et de la connaissance des coordonnées géographiques d'un des sommets de cette base obtenues par des observations astronomiques, on peut construire une série de triangles et connaître leurs caractéristiques. À la fin de la série, un autre point astronomique est effectué permettant de contrôler les erreurs éventuelles et de calculer les dimensions réelles d'un arc de méridien ou de parallèle. Pour la première fois, on disposait d'une technique rigoureuse pour mesurer les dimensions de la Terre, pour établir sa forme définitive (aplatie aux pôles ou à l'équateur ?) que la célèbre expédition de Bouguer et La Condamine au Pérou illustrera dans des conditions difficiles.

La création de l'Observatoire de Paris (1667) en même temps que celle de l'Académie des sciences fait de la France un pays à la pointe du progrès scientifique. L'Académie invite de nombreux astronomes étrangers et les gratifie de pensions. On compte parmi eux Huygens de Leyden, Ole Römer de Copenhague et D. Cassini de Bologne. Ils travailleront aux côtés de Jean Picard, Adrien Auzout et Philippe de la Hire.

On constate un élan sans précédent pour la connaissance de la géographie précise de la terre en cette fin de XVII^e siècle. Les astronomes français, une fois le méridien de l'Observatoire de Paris bien établi, décident de relier les observatoires des différents pays voisins. Picard part pour Uraniburd (1671-1672), Chazelles en Méditerranée (1693-1695), D. Cassini en Italie (1694-1696), J. Cassini en Flandre, Hollande et Angleterre (1697-1698). Des projets encore plus ambitieux et des voyages plus lointains sont préparés très rapidement. Richer à Cayenne (1671-1673), d'autres aux Antilles, à l'île de Fer.

...et misères des lunes de Jupiter

La méthode mise au point par Cassini semble porter ses fruits, à terre. Mais on s'aperçoit progressivement d'imperfections. D'abord, les horloges ne sont pas transportables en l'état et nécessitent un étalonnage avant chaque mesure, comme nous venons de le voir. Le roulis d'un navire empêche pratiquement cette étape, le balancement du pendule étant directement influencé par la houle. D'autre part, nous avons vu que définir précisément l'instant d'immersion (dans le meilleur des cas) était parfois difficile à apprécier et pouvait varier d'un observateur à un autre, pour une même immersion. Le type de lunette utilisée peut aussi avoir une importance primordiale. En effet, l'instant de disparition d'un satellite ne sera pas le même à travers une lunette de 34 pieds et à travers une lunette de 18 pieds. On verra les émergences plus tard de quelques instants par la seconde que par la première ! Si cette erreur est

■■■

■ ■ ■ négligeable dans le cas de longues bases, elle est extrêmement gênante lorsqu'il s'agit de bases plus courtes.

L'obstacle majeur à l'utilisation de cette méthode à bord d'un navire est l'encombrement de la lunette. Le fort grossissement et la faible ouverture des lunettes astronomiques de l'époque imposait un socle stable afin de ne pas perdre de vue la planète. C'est une chose impossible sur le pont d'un navire que la houle fait osciller en permanence. Il s'avère donc que malgré des tentatives d'amélioration de la stabilité de la lunette (chaise suspendue, le celatone de Galilée), il n'est pas possible d'appliquer l'observation de la régularité des mouvements des satellites de Jupiter à la détermination des longitudes en mer. Huit ans après la création de l'Académie des sciences, le roi d'Angleterre, Charles II, signe un décret instituant la Royal Society en 1674. Les astronomes anglais sont trop au courant de l'inapplicabilité de la méthode de Cassini pour trouver les longitudes en mer. C'est autour de l'astronome John Flamsteed (1646-1719) et de sa conviction que la méthode des distances lunaires est la seule à pouvoir solutionner les longitudes en mer que la Royal Society crée l'Observatoire de Greenwich en 1676. En effet, l'application de la méthode des distances lunaires, nous l'avons vu, nécessite la connaissance de deux données fondamentales :

- la position des étoiles fixes par rapport à la course annuelle du soleil (écliptique)
- la position de la Lune au dessus d'un méridien de référence au moment où un navigateur fait une observation.

D'après ses propres observations, Flamsteed a prouvé que le meilleur catalogue d'étoiles disponible à l'époque était celui produit par Tycho Brahe (1546-1601), avec une erreur de 10 minutes ou plus, tandis que les tables de la Lune fournissaient sa position à 20 degrés près, soit une erreur potentielle sur la position terrestre de plusieurs centaines de miles dans les latitudes équatoriales. Les données nécessaires à la fabrication d'un nouveau catalogue prendrait des années. C'est en effet une activité qui occupera les astronomes du monde entier pendant plus de 150 ans.

Un bilan mitigé

Trouver les longitudes est au cœur des préoccupations des grands observatoires. On sait maintenant que la connaissance de la position des étoiles fixes avec précision est une des conditions nécessaires à toute entreprise astronomique de calcul des longitudes, ainsi que celle du mouvement de la Lune. On a vu que l'observation des éclipses de Lune furent pendant longtemps la seule méthode conduisant à la connaissance des longitudes *"et c'est en effet celle qui le présente le plus naturellement"*. Nous connaissons les limitations de cette méthode. Les principales éclipses continueront à être observées pour valider les coordonnées géographiques de certains lieux remarquables.

Parallèlement, un certain nombre de méthodes sont mises au point. Il s'agit par exemple de l'occultation des fixes pas la Lune, cas particulier des distances lunaires correspondant au moment de l'immersion de l'étoile par la Lune puis de sa réapparition de l'autre côté.

Pour le Soleil également, on peut observer le début où les disques solaire et lunaire sont tangents extérieurement. C'est le début ou la fin de l'éclipse de Soleil. Au moment des contacts, les centres des deux astres sont à une distance de l'autre égale à la somme de leur demi diamètre. C'est une méthode développée par J. Cassini, en prolongeant les travaux de son père concernant les éclipses de Soleil ainsi que les intuitions de Edmund Halley (1656-1742) lorsqu'il propose en 1683 :

"If therefore you happen at sea to observe nicely the time of an occultation or close application of a star to the moon, and can find a correspondent observation, about the same mean anomaly and distance of the moon from the Sun, especially near the aforesaid period of 18 years and 11 days, you may without sensible error, from hence pronounce in what Meridian your ship is tables."

Un des avantages majeurs de cette méthode par rapport à celle des satellites de Jupiter, aux dires de M. Cassini, réside dans la possibilité d'observer les fixes de première, deuxième et troisième grandeur avec une lunette de 2 pieds au lieu d'une lunette de 10, 12 pieds. Une telle méthode nécessite la connaissance précise du cours de la Lune, ce que l'astronomie ne peut encore fournir.

La piste magnétique

La recherche de la longitude via des mesures magnétiques a une histoire propre, en général indépendante des autres méthodes de détermination des longitudes, mais mérite d'être signalée car c'est le premier phénomène auquel la recherche accorde une dimension planétaire.

Nous avons vu que la boussole était utilisée par les marins pour indiquer le nord. C'est un instrument parfait par sa grande simplicité ; il n'a qu'un petit défaut : il n'indique par réellement le nord et cette erreur n'est pas constante en fonction du lieu et varie dans le temps. En chaque lieu, il y a un angle entre la direction du Nord géographique et celle indiquée par la boussole. L'histoire de la découverte de cette déclinaison est longue, obscure et commence avec les remarques que fait Christophe Colomb dans son journal de bord le 3 septembre 1492. C'est cependant G. Mercator qui le premier aura l'idée de déterminer les longitudes en mesurant la déclinaison magnétique. Les lois régissant le champ magnétique terrestre ne sont pas connues à l'époque. Pourtant, un médecin londonien du XVI^e siècle, Guilielmus Gilbertus, dans son traité *De Magnete* publiera des tables de la déclinaison, en supposant que la Terre est un aimant géant.

On parlait d'expérimentation planétaire, il en s'agit effectivement d'une. L'étude du champ magnétique de la Terre nécessite des données réparties sur l'ensemble du globe. On sait qu'il faut travailler à grande échelle. Dès les premières années de la Royal Society, on encourage les navigateurs à récolter des observations de déclinaison :

"To observe declinaison and variations of the compass or needle from the Meridian exactly in as many places as they can and the same every several voyages."

Ces observations, ainsi que celles relatives aux courants marins, aux vents, à la marche de pendules, à la profondeur de

l'eau, à la salinité, à la nature du sol, doivent être consignées dans un registre à remettre à la Royal Society dès le retour en Angleterre. Les résultats ainsi obtenus seront rassemblés par Halley qui entame lui-même un grand voyage pour effectuer des mesures au moyen d'une boussole semblable à celle de Stevin. Il publie en 1702 la première carte globale de la déclinaison magnétique, sur laquelle il relie les points de même valeurs et forme des lignes isogoniques. Ces lignes, selon Halley, pourraient être utilisées pour calculer les longitudes en mer. La solution proposée par l'astronome anglais consiste à couper l'isoligne magnétique correspondant à la valeur de la déclinaison trouvée à bord d'un navire avec une latitude observée par la hauteur d'un astre (on obtient un point). Cette méthode fait douter les meilleurs auteurs jusqu'au milieu du XVIII^e siècle sans pour autant totalement l'exclure. Cassini le rappelle dans un article présenté en 1722 à l'Académie des sciences. On l'accepte faute d'avoir une méthode qui s'impose en pratique à toutes les autres: *"Il n'est pas encore à espérer beaucoup pour les longitudes du système de M. Halley sur la déclinaison de l'aiman. Tout y paraît jusqu'à présent dans un mouvement assez irrégulier, et selon des espèces de méridiens magnétiques assez bizarre. Mais peut-être tirera-t-on un jour pour les longitudes quelque méthode."*

Même Pierre Bouguer, trente et un ans plus tard (bien qu'il exprime clairement toutes les précautions à prendre avec cette méthode) ne rejette pas définitivement la mesure de la déclinaison magnétique comme le moyen de trouver sa distance au méridien origine: *"Messieurs Mountain et Dodson ont entrepris de faire pour 1744 ce que M. Halley avait fait pour 1700. [...] Ils se sont trouvés en état de tracer les lignes courbes magnétiques tout autour de la terre, ce que n'avait pas fait M. Halley. Il m'a paru qu'il n'y avait qu'à joindre ensemble ces deux systèmes [...] pour pouvoir en retirer tout l'avantage possible [...] afin de voir le changement que souffre la déclinaison de l'aiman et de pouvoir juger à peu près de son progrès pour les années suivantes. [...] En plusieurs endroits ces mêmes lignes ne s'écartent pas extrêmement de la direction du méridien, et elles n'ont pas sensiblement changé de place depuis 1700 jusqu'en 1744. C'est principalement dans ces endroits qu'on peut employer avec succès la variation de l'aiman pour découvrir la longitude."*

Aspect de la navigation à l'aube du siècle des Lumières

Outre les bateaux d'émigrants, ce sont des navires chargés de marchandises qui sillonnent les mers du globe. Le XVII^e siècle a vu s'établir un nombre de comptoirs important sur les rives des colonies de toutes les nations européennes (France, Angleterre, Hollande, Allemagne, Espagne, Portugal). La forme définitive de la traite négrière en France est mise au point à Nantes au cours de la décennie 1720-1730 où seront affrétés jusque trente navires en 1765. Le commerce maritime au long cours a lieu essentiellement entre les métropoles et leurs colonies. Le Portugal développe fortement ses importations. En 1699, 765 kilos d'or étaient arrivés à Lisbonne; ce chiffre passait à 9000 en 1714 et 25000 en 1720. À partir de cette date, la quantité d'or débarquée à Lisbonne dépasse chaque année

11 000 kg. Il faut y ajouter les diamants et autres pierres précieuses ou fines. En échange, le Portugal exporte au Brésil des produits fabriqués et des esclaves achetés en Afrique. Le commerce espagnol a subi une profonde crise de 1622 à 1650. Il remonte ensuite, surtout avec la mise en exploitation des mines d'argent du Mexique: l'argent du Mexique prend, au milieu du XVIII^e siècle, le relais de l'or brésilien.

Le commerce interlope (contrebande), est un des traits les plus caractéristiques du commerce transatlantique du XVIII^e siècle. Il se fait en partie par l'intermédiaire du Honduras britannique et s'exerce surtout au détriment de l'Espagne par les anglais. Le déclin de la Compagnie des Indes Occidentale hollandaise font bientôt des anglais les maîtres du commerce atlantique. Le commerce avec les colonies anglaises d'Amérique du Nord s'est très vite développé, bien que les treize colonies aient été, avant tout, des colonies de peuplement. Ces colonies produisent en abondance des céréales, de la viande, du poisson, du bois, du tabac, du coton. Ces produits sont exportés en Angleterre, mais aussi dans les pays d'Europe méridionale qui envoient, en échange, du vin et des fruits en Grande-Bretagne. Au retour, les bâtiments anglais vont acheter des esclaves en Afrique et les transportent en Amérique. Le commerce est également actif entre les îles anglaises des Antilles, les colonies du continent, et la Grande-Bretagne. Les Antilles expédient du sucre, des mélasses, du rhum et reçoivent en contrepartie des produits alimentaires ou des objets manufacturés. Le siècle des Lumières est déjà bien entamé, la question des longitudes sur mer n'est toujours pas résolue. De toutes les méthodes proposées, aucune ne semble aboutie, bien que l'astronomie soit au service de la cartographie et de la navigation. En 1719, le père Louis Feuillée dans une lettre au Régent écrit:

"Les avantages que la géographie et la navigation retirent des observations astronomiques m'engagent toujours plus vivement à exécuter les ordres de Son Altesse Royale. La navigation serait encore dans son enfance si l'astronomie ne l'avait perfectionnée, et le commerce de pays étrangers n'aurait pas apporté en Europe des sommes immenses si l'astronomie n'avait pas tracé aux navigateurs et posé sur les cartes les situations des lieux d'où l'on a tiré ces grande richesses. Les côtes de la mer du Sud étaient si mal jetées sur les meilleures cartes que leurs erreurs allaient à 160 lieues..."

Si la navigation n'est plus dans son enfance, elle n'a pas pour autant atteint sa maturité. Les tables de la Lune ont une précision insuffisante, les positions des étoiles fixes ne sont pas encore connues, les instruments d'observation ne permettent pas de prendre les hauteurs des astres à moins de 5,6 ou 7 minutes, et enfin les horloges marines ne gardent pas la cadence, en général, plus de 24 heures. Il ne reste (toujours) au pilote guère que l'estime pour calculer sa longitude. En somme, cette période charnière d'entre deux siècles, ce couloir où l'impression que les horizons méthodologiques disparaissent, n'est en fait que le prélude aux grands développements théoriques et techniques du siècle des Lumières. Aux hésitations d'un Halley, s'ajoutent les prédictions d'un Cassini concernant le calcul des longitudes en mer où il écrit en 1722 que *"Tout dépendra de l'Art de perfectionner les Lunettes et il n'est pas encore épuisé."*

■■■

- ■ ■ Sans avoir tort, ce ne sera pas pour autant entièrement exact. C'est en effet sans compter la nouvelle conception des mouvements planétaires de Newton.

Le Longitude Act

Certains événements ont marqué l'histoire des longitudes, la méthode d'Hipparque, les éphémérides de Cassini. D'autres, sans faire partie intégrante de cette histoire, ont pourtant grandement contribué à son évolution. Nous avons vu que les Anglais étaient très présents dans le commerce atlantique, et que la marine anglaise sillonnait allègrement cet océan. Même si ce n'est pas le seul, c'est sans doute un des plus fameux naufrages, celui d'une partie de la flotte de l'Amiral anglais Sir Clowdisley Shovel le 29 septembre 1707 sur les brisants des îles Scilly, au large de la pointe Ouest de l'Angleterre, emportant avec lui 2000 de ses hommes, qui fit prendre conscience aux autorités britanniques de l'urgence, et du sérieux de la situation concernant la pratique de la navigation en mer.

C'est ce qui a en partie motivé le Longitude Act signé par la Reine Anne le 8 juillet 1714 récompensant toute personne capable de fournir un moyen pratique pour calculer les longitudes en mer avec des conditions de précision impératives. Le gagnant recevrait 10 000 livres si l'erreur au cours d'un voyage vers les Indes occidentales (d'une période minimum de six semaines) ne dépassait pas 60 miles, il recevrait 15 000 livres si elle ne dépassait pas 30 miles, et 20 000 livres si l'erreur finale était inférieure à 30 miles. Le Longitude Act désigna un jury, le Board of Longitudes, constitué de savants, d'officiers de marine et de fonctionnaires du gouvernement. Parmi eux l'Astronome Royal (Flamsteed) y figurait comme membre d'office, ainsi que les professeurs de mathématiques des universités d'Oxford et de Cambridge et le président de la Royal Society (Newton). L'attrait d'une telle récompense a suscité de nombreuses vocations, mais les projets proposés n'ont pas été jugés suffisamment réalistes.

L'ambition de cette assemblée est a priori de ne privilégier aucune solution potentielle, pourvu qu'elle satisfasse aux conditions imposées de précision. En amont de l'Act, une commission d'experts dirigée par l'astronome royal Halley, et par le président de la Royal Society, Newton, avait rédigé un rapport sur la longitude (25 mai 1714)

"One is, by a watch to keep time exactly: but by reason of the motion of a ship, the variation of heat and cold and dry, and the difference of gravity in different latitudes, such a watch hath not yet been made. Another is, by eclipses of Jupiter's satellites: but by reason of the length of telescopes, requisite to observe them, and the motion of a ship at sea, those eclipses cannot be there observed. A third is, by the place of the moon: but her theory is not yet exact enough for this purpose: it is exact enough to determine her longitude within two or three degrees, but not within a degree....in the three ways there must be a watch regulated by a spring, and rectified every visible sunrise and sunset, to tell the hour of the day... in the first day, there must be two watches, this and the other mentioned above."

Dans ce rapport, c'est au nom de la Royal Society que s'exprime Newton. Celui-ci énumère un certain nombre de possi-

bilités en vue de déterminer la longitude en mer *"vraies en théorie mais difficile à exécuter"* : par le biais d'une montre capable de garder le temps exactement, par celui des éclipses de Jupiter, ou par la position de la Lune. Décisif dans ce texte est le fait que les méthodes présentées, qu'elles mettent en jeu l'observation et le calcul astronomique ou bien l'élaboration de nouvelles machines, soient exposées sans jugement quant à leur faisabilité. Les savoirs auxquels elles font appel sont de nature différente. La première proposition suppose la construction d'une horloge inédite et relève essentiellement du domaine de l'atelier ; la seconde et la troisième nécessitent un dispositif d'observation adapté au déplacement nautique, mais surtout l'intermédiaire d'une discipline déjà mathématisée, l'astronomie, pour prévoir les mouvements des corps envisagés. Il n'y pas de hiérarchie dans cette énumération : les trois procédés sont, dans le texte de Newton, traités de la même manière sur le plan rhétorique. On voit cependant se profiler deux espaces privilégiés dans lesquelles se trouvent les solutions : la terre (l'atelier), et les cieux (les observatoires astronomiques). Les deux branches de la résolution du problème vont cependant bientôt se faire face dans une sévère concurrence opposant le côté artisanal de la construction de nouvelles machines d'une part, et le côté savant de l'observation et du calcul mécanique de l'autre. ●

Contact

Frédéric BRETAR

Institut Géographique National

Laboratoire MATIS

Mail: Frederic.Bretar@ign.fr

Bibliographie

Bretar, F. *Histoire de la détermination des longitudes de Ptolémée à Borda : Développements théoriques et mise en pratique.*

Application à la navigation. Mémoire de DEA Epistémologie,

Histoire des Sciences et des Techniques, 2004.

ABSTRACT

The beginning of this 17th century is a hinge period for Man, for its idea of the World and for the natural philosophy. The science of longitudes is not in rest and discoveries of Galileo will be the basis of a sketch of solution of this delicate problem. The discovery of Jupiter satellites is going to upset the science of longitudes. If this celestial clock is difficult to observe from a ship deck, it will solve for a time the problem of the determination of longitudes on land. Satellites of Jupiter will not cease to be observed, their movements predicted within éphémérides whose firsts were these of D. Cassini in 1668. This second period ends up at the dawn of the 18th century when the cartography rationalizes. Deep sea navigation remains problematical. One resumes ideas of G. Frisius concerning lunar distances, one leans on the problem of the terrestrial magnetism while Huygens manufactures machines to keep the time.