

De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer ?

Quelques aspects de la diffusion des méthodes de détermination astronomique et chronométrique des longitudes en mer en France, de Lacaille à Mouchez (1750-1880)

What Precision do we really need at Sea? Some New Sights upon the Dissemination of the Methods of Astronomical and Chronometric Determination of the Longitudes at Sea in France, from Lacaille to Mouchez (1750-1880)

Guy Boistel



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/histoiremesure/1748>
DOI : 10.4000/histoiremesure.1748
ISSN : 1957-7745

Éditeur

Éditions de l'EHESS

Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2006
Pagination : 121-156
ISBN : 2-7132-2095-5
ISSN : 0982-1783

Référence électronique

Guy Boistel, « De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer ? », *Histoire & mesure* [En ligne], XXI - 2 | 2006, mis en ligne le 01 décembre 2009, consulté le 14 novembre 2019. URL : <http://journals.openedition.org/histoiremesure/1748>

Guy Boistel *

**De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer ?
Quelques aspects de la diffusion des méthodes de détermination
astronomique et chronométrique des longitudes en mer en France,
de Lacaille à Mouchez (1750-1880)**

Résumé. Au cours des XVIII^e et XIX^e siècles, les méthodes de l'astronomie nautique évoluent nettement, offrant aux navigateurs deux méthodes complémentaires de détermination des longitudes en mer, les distances lunaires et les méthodes horlogères. A la méthode graphique développée par l'abbé Nicolas-Louis de Lacaille en 1759, qui permet aux marins d'atteindre rapidement un degré de précision raisonnable sur les longitudes, répond une méthode mathématique plus ambitieuse, développée par le Chevalier de Borda pour les élites, et qui conduit à une plus grande exactitude des calculs. Un siècle plus tard, l'officier Ernest Mouchez et l'astronome Antoine Yvon-Villarceau s'opposent en des termes semblables sur les mathématiques mises en œuvre dans les méthodes employées pour le contrôle de la dérive thermique des chronomètres de marine. Cette étude aborde sous un nouvel angle, les questions de la transmission des savoirs et des pratiques, de la formation professionnelle, celle des cadres navigants de la marine militaire, celle des officiers et pilotes de la marine marchande. On tente ainsi de démontrer comment il est possible d'envisager d'un seul et même élan, l'histoire de quelques cent-cinquante années de navigation astronomique savante, entre les années 1750 et la fin du XIX^e siècle.

Abstract. What Precision do we really need at Sea? Some New Sights upon the Dissemination of the Methods of Astronomical and Chronometric Determination of the Longitudes at Sea in France, from Lacaille to Mouchez (1750-1880).

During the 18th and 19th centuries, the methods and the instruments of nautical astronomy evolved clearly, offering to seafarers two complementary sets of methods for the determination of the longitudes at sea: the lunar distances and methods using timekeepers. When abbot Nicolas-Louis de Lacaille developed a graphic method in 1759, which allowed the seafarers to reach quickly one degree of reasonable precision on the longitudes, a few years later, the Chevalier de Borda answered with a more ambitious mathematical method, developed for the elites, which led to a higher accuracy of the computations. One century later, the officer Ernest Mouchez and the astronomer Antoine Yvon-Villarceau opposed in similar terms on the degree of the mathematics implemented in the methods employed for the control of the thermal drift of the timekeepers. Thus, it is possible to consider in a same run up, the history of some hundred fifty years of high astronomical navigation, between the 1750s and the end of the 19th century. This study also approaches a new view, the questions of the dissemination of the knowledges, and of the vocational training of both the naval officers and the captains and pilots of the merchant marine.

* Centre François Viète d'histoire des sciences et des techniques, Université de Nantes, 2 rue de la Houssinière, BP. 92 208 — Nantes Cedex. E-mail : guy.boistel@wanadoo.fr

« Ce qu'il faut aux marins, en fait de Longitudes, soit pour se rendre directement à leur destination, soit pour ne jamais aventurer leurs atterrages tout le monde en convient : ce sont des résultats facilement obtenus, promptement vérifiés et qui, dans l'étroite limite des erreurs d'observation ne laissent aucun doute sur la véritable position du vaisseau ». ¹

Du point de vue du développement de l'astronomie, le XVIII^e siècle peut aisément être décrit comme le siècle de la quête des longitudes en mer. De nombreuses études ont examiné comment des avancées théoriques et techniques significatives ont aidé navigateurs et astronomes à résoudre le problème de la détermination des longitudes en mer : travaux sur la mécanique céleste, notamment sur la théorie des mouvements de la Lune, améliorations techniques successives des octants et sextants ainsi que des chronomètres de marine, développements des calculs de trigonométrie sphérique allant de pair avec une recherche de simplification des méthodes de navigation astronomique. Ces travaux se sont poursuivis tout au long du XIX^e siècle. Du point de vue de l'astronomie nautique et des techniques de navigation, il n'y a pas rupture entre les XVIII^e et XIX^e siècles, mais continuité des problématiques et des débats entre astronomes et marins, au moins jusque dans les années 1870. Bien sûr, ces considérations théoriques vont de pair avec d'incessantes réformes concernant l'instruction scientifique des marins, depuis la fin du XVII^e siècle, avec les réformes de Colbert, créant les écoles d'hydrographie, puis 1765, avec les réformes du ministre Choiseul. Elles sont suivies par la création, dans les années 1830, d'observatoires de la Marine, en lien avec une réorganisation des écoles d'hydrographie. Ces observatoires doivent entraîner les marins aux observations astronomiques et assurer le réglage et le bon emploi des chronomètres de marine embarqués par les capitaines marchands ².

Les développements de la mécanique céleste, de l'astronomie de position et des instruments nautiques au XVIII^e siècle rendaient la méthode des distances lunaires utilisable en mer. Le perfectionnement rapide des chronomètres de marine, encouragé tardivement en France par l'Académie royale des sciences, semblait, dans les années 1770-1780, apporter une réponse définitive à cette quête et clore le débat en fournissant aux marins un arsenal de méthodes, de pratiques et d'instruments enfin adaptés à leurs besoins. Mais cette vision occulte les difficultés rencontrées par les marins marchands

1. RICHARD, L., 1840, « Avertissement ».

2. Voir H. FAYE, 1879, MOUCHEZ, E., 1879, MARGUET, F., 1931. Pour un exemple de ces observatoires de la Marine créés au cours du XIX^e siècle, voir O. SAUZEREAU, 2000. Voir aussi G. BOISTEL, 2001a, 2002, 2003, 2006, à paraître (a).

du XVIII^e siècle dans la conduite des opérations logarithmiques de trigonométrie sphérique, ainsi que dans la maîtrise des erreurs d'observation et de calcul. Aux méthodes mathématiques de haut niveau, astronomes et navigateurs répondent par l'emploi de méthodes graphiques ne nécessitant que la manipulation de la règle et du compas ou du quartier de réduction, instruments de navigation familiers au marin. Par ailleurs, jusque dans les années 1860-1870, et malgré les efforts des horlogers, les chronomètres de marine, soumis aux caprices des variations de la température, sont sujets à des dérives irrégulières de leur marche. Aux travaux théoriques sur la compensation thermique des montres de marine et les lames bimétalliques, développés à partir des années 1850, les marins répondent par l'emploi de méthodes graphiques semi-empiriques, qui visent en général à obtenir des coefficients de correction des observations à partir de la construction de courbes ou de graphiques géométriques, au lieu d'employer le calcul analytique ³.

Dans ce cadre, à un siècle d'intervalle, les débats et les oppositions apparaissent similaires et s'expriment pratiquement dans les mêmes termes. Aux discussions sur les erreurs dans la méthode astronomique des distances lunaires dans la seconde moitié du XVIII^e siècle — dont les figures de proue académiques sont l'abbé Nicolas-Louis de Lacaille (1713-1762), astronome, et le chevalier Jean-Charles de Borda (1733-1799), ingénieur mathématicien — répond la polémique virulente qui oppose l'officier de Marine et astronome Ernest-Barthélémy Mouchez (1821-1892) à l'astronome de l'observatoire de Paris Antoine Yvon-Villarceau (1813-1883) sur les méthodes de contrôle de la marche et de la dérive thermique des montres de marine. Aux mathématiques de haut niveau pour les élites prônées par des géomètres de l'Académie et quelques « marins savants » ⁴, d'autres marins et des astronomes opposent l'emploi de méthodes graphiques, rapides et sûres, pour la navigation. L'opposition est forte et conditionne la production de manuels et de traités, dont il est possible d'établir une typologie ⁵.

Tentons donc ici de dégager le contexte et la nature des débats entre astronomes, géomètres, professeurs d'hydrographie et marins autour de la

3. Voir par exemple E. MOUCHEZ, 1855.

4. Au sens que donne M. VERGÉ-FRANCESCHI (1986 et 1996) à cette expression. Il s'agit de la poignée d'officiers, le plus souvent nobles, proches de l'Académie ou académiciens, bien instruits et bien formés, capables d'effectuer observations et calculs astronomiques de qualité, que l'on trouve engagés dans les expéditions de circumnavigation ou au ministère de la Marine.

5. BOISTEL, G., 2004a.

question du choix de la (ou des) meilleure(s) méthode(s) de navigation astronomique à destination des marins du commerce.

1. Lacaille contre Borda. La méthode des distances lunaires en question au XVIII^e siècle

Opposer ces deux hommes peut sembler paradoxal, puisqu'ils ne sont pas contemporains. Le chevalier de Borda apparaît sur la scène savante dans les années 1766-1767. Lacaille, lui, est décédé depuis 1762. En 1798, Borda et l'inspecteur examinateur hydrographe de la Marine, le Nantais Pierre Lévêque (1746-1814), dressent un panorama des recherches sur les longitudes en mer dans un long rapport lu à l'Institut sur une méthode graphique de recherche des longitudes ⁶. Les deux académiciens s'attaquent directement et sans complaisance à la manière dont Lacaille considérait ces questions. Pour comprendre cette prise de position, il est nécessaire de rappeler que Lacaille avait envisagé en 1754 un modèle d'almanach nautique puis, en 1759, une méthode graphique afin de simplifier les calculs nautiques et de « rendre praticable la méthode des longitudes au commun des navigateurs » ⁷.

Lacaille et les longitudes en mer

Entré tardivement sur la scène astronomique, dans les années 1730, associé aux opérations géodésiques des Cassini pour la méridienne de France, l'abbé Lacaille est élu à l'Académie royale des sciences en 1741. Ses travaux concernent notamment les catalogues stellaires boréal et austral, la théorie du Soleil, les longitudes en mer et les éphémérides astronomiques. Il s'affirme comme l'un des astronomes les plus réputés de son époque et des plus influents de l'Académie.

Entre 1750 et 1754, il a eu l'occasion de tester en mer la méthode des distances lunaires, aux côtés des officiers de la Compagnie des Indes et notamment de Jean-Baptiste d'Après de Manneville (1707-1780), lors de plusieurs étapes d'un voyage qui devait les mener au cap de Bonne-Espérance et dans l'Océan Indien ⁸. Lacaille avait envisagé d'introduire la

6. BORDA, J.-C. & LÉVÊQUE, P., an VII (1798). Boistel, G., 2001b, 2003.

7. LACAILLE, N.-L., 1754, « Projet pour rendre la méthode des longitudes sur mer praticable [sic] au commun des navigateurs », Archives nationales, fonds Marine (AN, MAR), 2 JJ 69, pièce 16. Voir N.-L. LACAILLE, 1759, *Mém.*, pp. 63-98. La méthode graphique de Lacaille est reprise dans J. LALANDE, 1759, pp. 174-193.

8. Voir G. BOISTEL, 2006d et 2001b, partie III, pp. 308-358.

méthode des distances lunaires dès 1743, lorsqu'il avait pris la charge de calculateur des *Éphémérides des mouvemens célestes*, publiées par l'Académie des sciences tous les dix ans. Mais la parution de l'*Astronomie nautique* de son prestigieux aîné Maupertuis, en 1743, lui avait fait remettre son projet à plus tard ⁹.

Quelque temps après son retour du Cap, fort de son expérience de navigation en mer, Lacaille propose de nombreux aménagement de la méthode des distances lunaires : un modèle d'almanach nautique, puis une méthode graphique réduisant les calculs de trigonométrie sphérique. Le « Mémoire sur l'observation des longitudes en mer » marque une étape importante dans les recherches des astronomes et des marins sur ce sujet. Les successeurs de Lacaille doivent prendre position par rapport aux idées ou principes exposés dans ce texte. La méthode graphique qu'il propose n'est exposée, dans ce mémoire, que de manière relativement succincte et abrupte ¹⁰. Elle est publiée à part et éclaircie par Lacaille dans son édition posthume et révisée du *Nouveau traité de navigation* de Pierre Bouguer (1698-1758), puis par Jérôme Lalande (1732-1807) dans les volumes de la *Connaissance des temps pour 1761 et 1762*, puis dans son *Exposition du calcul astronomique* (1762). Le modèle d'almanach nautique proposé, comportant les calculs préétablis des distances luni-astroales de trois heures en trois heures, constitue bien l'originalité de ce mémoire ¹¹. Lacaille la présente avec insistance, et au bon moment. En effet, depuis 1753, la théorie de la Lune a fait des progrès notables. Le mathématicien Alexis Clairaut en France et l'astronome Tobias Mayer en Prusse ont développé des tables dont la précision croissante laissait un espoir de voir le problème résolu rapidement ¹². Par ailleurs, à la demande insistante de l'astronome Pierre-Charles Le Monnier (1715-1799), le père Alexandre-Guy Pingré (1711-1796) a entrepris la rédaction de l'*État*

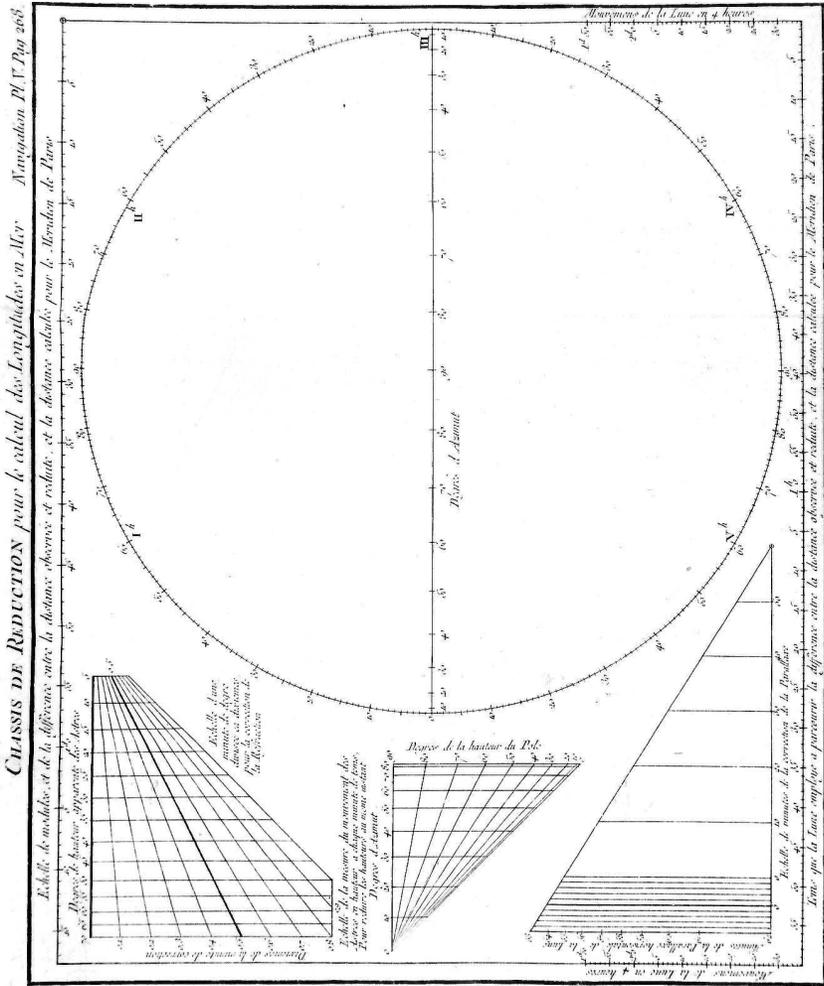
9. BOISTEL, G., 2004b. L'ouvrage de Maupertuis était destiné à devenir le manuel d'astronomie nautique en usage dans la Marine. Mais, en raison de son caractère exagérément analytique et sans rapport avec les pratiques des marins, cet ouvrage n'eut aucun succès.

10. Il exploite des idées déjà présentées par le père Paul Hoste en 1692, puis par Pierre Bouguer en 1753, pour la détermination graphique de l'heure locale à partir de la seule observation de la hauteur du Soleil ou d'une étoile (BOISTEL, G., 2001b, partie II pour une étude sur des ébauches d'almanachs nautiques et partie III pour les méthodes graphiques de détermination de l'heure locale chez Hoste et Bouguer, pp. 458-472).

11. LACAILLE, N.-L., 1759, p. 98.

12. L'enjeu était d'importance. Une théorie analytique de la Lune devait être capable de donner sa longitude écliptique à moins d'une minute d'arc près pour que la méthode des distances lunaires puisse être employée en mer selon les termes du *Longitude Act* (BOISTEL, G., 2001b, parties I et IV, et 2006a).

Figure 1. Lacaille : châssis pour la méthode graphique destinée à simplifier les calculs de réduction des distances lunaires



Source : LACAILLE, abbé, Nicolas-Louis (de), 1760, p. 268.

du Ciel, premier recueil d'éphémérides rédigées explicitement dans un souci d'utilisation nautique. La concurrence était donc féroce, chacun voulant publier son éphéméride, espérant ainsi assurer la promotion de sa méthode¹³.

13. BOISTEL, G., 2001b, partie II pour une histoire des éphémérides astronomiques, nautiques (notamment de la *Connaissance des Temps*) et autres almanachs locaux destinés aux marins. Voir aussi N.-L. de LACAILLE, 1755.

De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer ?

Considérant la manière dont sont gradués les principaux instruments nautiques du moment (octants et sextants), Lacaille précise les sources d'erreur dans la mesure d'un arc céleste. Ce sont les erreurs sur les graduations des instruments courants et la division du vernier¹⁴, sur les défauts de parallélisme et d'alignement des miroirs et sur la stabilisation de l'image, rendue difficile en raison des mouvements du navire. La somme de ces erreurs est environ égale à quatre minutes d'arc. C'est, selon Lacaille, « la précision en dessous de laquelle nul observateur ne peut prétendre descendre »¹⁵. Pour lui comme pour la plupart des auteurs de la fin du XVIII^e siècle, l'erreur sur la longitude terrestre est toujours égale à environ 27 fois l'erreur sur la distance lunaire¹⁶. À ces erreurs, il faut ajouter les incertitudes sur la mesure de la hauteur des astres et celles qui résultent de l'imprécision des tables de la Lune. Au final, la longitude est obtenue avec une incertitude de 177', soit environ trois degrés sur la longitude terrestre¹⁷. C'est, selon Lacaille, l'erreur minimale sur la longitude que le navigateur peut attendre de la méthode des distances lunaires. Il fustige les auteurs qui annoncent de meilleures précisions¹⁸, montrant ainsi qu'ils n'ont pas de réelle expérience de la mer et des observations nautiques¹⁹.

Lacaille pose enfin le problème : qu'est-ce qu'une bonne méthode de détermination des longitudes à la mer ? Quels sont les critères qui en décident ? Il formule surtout une question importante, qui ne reçoit pas de réponse satisfaisante au cours des XVIII^e et XIX^e siècles : de quelle précision

14. C'est en 1631 que l'ingénieur militaire Pierre Vernier décrivit le système qui porte son nom, pour la graduation des instruments destinés à mesurer des angles (à l'imitation d'une division donnée par Nonius en 1542). Sous le limbe glisse une coulisse divisée en autant de parties égales permettant d'obtenir des précisions de plus en plus grandes, comme sur nos pieds à coulisse modernes.

15. LACAILLE, N.-L., 1759, p. 69.

16. LACAILLE, N.-L., 1759, p. 85. CAILLET, V., p. 333.

17. Un arc d'une minute d'arc correspond à l'équateur à un mille nautique, soit 1,852 km environ. Une lieue marine vaut trois milles nautiques, soit 5,56 km. Une erreur d'une minute d'arc sur la distance lunaire se traduisant par une erreur d'environ 27' sur l'écart en longitude, la position d'un navire est connue à 27 milles nautiques, ou 50 km près (9 lieues marines) à l'équateur. L'erreur totale chez Lacaille est de 177' (108'+15'+54'), soit 2° 57' en longitude terrestre. Cet écart en longitude correspond à 177 milles nautiques, ou 59 lieues marines à l'équateur, ou 328 km.

18. LACAILLE, N.-L., 1759, pp. 71-79, p. 85 ; MARGUET, F., 1931, pp. 225-226.

19. De nombreux professeurs d'hydrographie chargés d'enseigner le pilotage et la navigation astronomique n'ont aucune expérience de la mer (VERGÉ-FRANCESCHI, M., 1986 ; RUSSO, F., 1964).

sur la longitude a-t-on réellement besoin sur mer ? Lacaille donne sa réponse et fixe deux critères ²⁰. Selon le premier, une bonne méthode est celle qui requiert le plus petit nombre d'observations susceptibles d'une grande précision. Pour Lacaille, seule la distance lunaire apparente doit être observée. Le second critère consiste à privilégier une méthode qui vise la mesure directe de l'arc entrant dans la réduction des observations à la longitude : ici, la distance luni-astrale ou luni-solaire. Toute méthode, aussi simple qu'elle puisse paraître, n'autorisant la connaissance de la distance lunaire vraie qu'après réduction de plusieurs hauteurs observées des astres, multipliant ainsi les incertitudes, doit, selon Lacaille, être rejetée.

Il introduit une dimension nouvelle dans le débat général sur l'instruction des officiers et des pilotes de la Marine française. Les auteurs, explique-t-il, manquent d'expérience maritime et surchargent leurs méthodes de cas particuliers inutiles, leur attribuant une facilité et une précision illusoire. Lacaille sait par expérience que les marins ne manquent pas de compétences ; les exemples de d'Après de Manneville et du marquis de Chabert (1724-1805) le prouvent ²¹. Mais les méthodes qui leur sont proposées, élaborées le plus souvent par des géomètres ou des auteurs davantage versés dans les mathématiques que dans la pratique maritime, ne sont pas toujours à leur portée. À bord d'un navire, le marin doit avoir à sa disposition des méthodes simples, rapides et fiables. C'est, selon Lacaille, ce vers quoi doit tendre l'astronome travaillant dans le domaine de l'astronomie nautique. Son almanach nautique est ainsi destiné à rendre aisée la méthode des distances lunaires au « commun des navigateurs » en lui épargnant de longs calculs de trigonométrie sphérique ²². Lacaille clame la confiance qu'il place en cette méthode : connaître sa longitude même à quarante lieues près (soit 220 km environ) n'est pas inutile quand un navire se rend aux Indes orientales ²³.

20. LACAILLE, N.-L., 1759, pp. 71 et suiv.

21. D'Après de Manneville a expérimenté les distances lunaires en mer un an avant d'embarquer avec Lacaille vers le cap de Bonne-Espérance en novembre 1750. Joseph-Bernard Cogolin, marquis de Chabert a publié en 1753 un compte rendu de son *Voyage fait en 1750 et 1751 en Amérique septentrionale*, au cours duquel il a déterminé les positions géographiques de l'entrée du golfe du Saint-Laurent et de quelques îles à l'aide des distances lunaires observées à terre (BOISTEL, G., 2001b, partie III).

22. LACAILLE, N.-L., 1759, p. 73.

23. LACAILLE, N.-L., 1759, p. 71.

La codification d'une méthode pour les élites par Borda

Michel Vergé-Franceschi a montré combien les réformes entreprises pour améliorer l'instruction des gardes de la Marine sous Choiseul, et poursuivies jusqu'à de Castries en 1786, sont restées sans effet. Ainsi dénonce-t-on dans la Marine des années 1771-1773 le « relâchement », le « peu de travail », le « manque d'assiduité, de vigilance et de fermeté des officiers subalternes »²⁴. M. Vergé-Franceschi souligne en outre que le débat dépasse le seul cadre de la formation scientifique. Il est aussi social et oppose les tenants d'une Marine au recrutement exclusivement nobiliaire à ceux d'une Marine qui ferait confiance à des hommes qui ne sont pas nécessairement issus des gardes-marine, comme Bougainville, type même du navigateur qui n'est pas entré dans le moule classique des officiers, mais aussi comme Borda, Berthoud, Pingré, etc., tous ayant contribué aux progrès de la navigation²⁵. D'autres auteurs ont souligné les déficiences de l'enseignement de l'hydrographie, qui n'a pas contribué à diffuser les méthodes de la nouvelle navigation dans la marine marchande²⁶. Malgré la formidable vitrine que représentent les expéditions scientifiques et les voyages de circumnavigation entre 1760 et 1790, la conjugaison des inerties sociales, des déficiences de la formation, des hésitations étatiques, de l'instabilité ministérielle et de l'incompétence de certains des ministres qui se sont succédé peut expliquer, *a posteriori*, la situation délicate dans laquelle se trouve la Marine française dans la seconde moitié du XVIII^e siècle. Dans ce contexte, les distances lunaires n'ont intéressé qu'une élite bien instruite²⁷.

Comment le chevalier Jean-Charles de Borda, pur « terrien », est-il devenu l'un des symboles de la navigation scientifique ? C'est à l'École du Génie de Mézières qu'il fait ses débuts²⁸. Ses premiers travaux en mathématiques le dirigent vers la mécanique des fluides, les machines mécaniques et leurs applications dans la construction navale. Ce n'est qu'en 1767 qu'il entre dans la Marine, en étant nommé lieutenant de port à Brest. Entré à l'Académie royale des sciences en 1759, Borda est élu associé géomètre le 30 juin 1768. Il devient membre de l'Académie de Marine à Brest lors de la

24. VERGÉ-FRANCESCHI, M., 1996, pp. 370-373.

25. VERGÉ-FRANCESCHI, M., 1996, pp. 373-375.

26. Notamment F. RUSSO, 1964 ; HAHN, R., 1964 ; VERGÉ-FRANCESCHI, M., 1986 ; BOISTEL, G., 1999 ; FAUQUE, D., 2000.

27. CHAPUIS, O., 2000, pp. 80-82 ; VERGÉ-FRANCESCHI, M., 1996, pp. 370-375.

28. BELHOSTE, B., 1997 pour l'École du Génie de Mézières. MASCART, J., 2000, pour une biographie de référence (au ton toutefois hagiographique) du chevalier de Borda.

refonte d'avril 1769. Cependant, une partie du corps de la Marine à Brest regarde d'un œil soupçonneux ce « terrien » qui, hors du parcours classique de recrutement, veut entrer dans le corps très fermé des officiers ²⁹.

C'est pourtant en qualité de lieutenant de vaisseau et de commissaire de l'Académie des sciences que Borda participe au grand voyage scientifique à bord de la frégate *Flore* et contribue à son succès. Ce voyage plusieurs fois différé est à replacer dans le contexte du prix Rouillé de Meslay. Le sujet, déjà proposé par l'Académie le 5 avril 1769 et complété pour le prix de 1771, était :

« Déterminer la meilleure manière de mesurer le temps à la mer [...] les montres et pendules et instruments qui seront présentés n'éprouvent pas un dérangement de plus de deux minutes en six semaines afin qu'elles puissent donner la longitude à un demi-degré près pendant cet espace de temps ». ³⁰

La *Flore*, commandée par l'officier Verdun de la Crenne, appareille le 29 octobre 1771 et quitte Brest pour un long voyage qui devait amener les savants embarqués — le père Pingré, des officiers et marins savants tels que Borda, Verdun de la Crenne, etc. — vers Cadix, le Cap-Vert, la Martinique, Terre-Neuve, l'Islande, le Danemark. Après une année de navigation et d'observations astronomiques, la *Flore* est de retour à Brest le 10 octobre 1772. L'expédition emportait de nombreux instruments à tester en mer ³¹ : deux montres de Leroy, une de Berthoud, des horloges des artisans Biesta et d'Arsandeaux, prétendants au prix Rouillé de Meslay, plusieurs sextants et octants de fabrication britannique ³², un mégamètre construit par de Charnières ³³, des lochs ³⁴, des compas magnétiques, etc. Le travail fut intense, et les observateurs nombreux. Le compte rendu fit l'objet de plusieurs mémoires. Le plus synthétique est celui présenté par Borda le 27 novembre 1776 et publié dans le volume de l'histoire de l'Académie pour l'année 1773 ³⁵. Le choix de la *Flore* n'était pas innocent. Cette frégate était

29. PÈNE, M., 1999.

30. BOISTEL, G., 2001b, partie 1, pour un exposé complet sur le prix Rouillé de Meslay de navigation.

31. BORDA, J.-C., 1773, *Mém.*, pp. 260-263 pour un exposé détaillé des instruments et de leur précision.

32. CHAPUIS, O., 2000, pp. 56-58 : cet auteur souligne bien que les instruments en usage en France sont essentiellement de fabrication britannique, notamment ceux utilisés lors du voyage de la *Flore*.

33. FAUQUE, D., 2002.

34. Le loch (ou *log ship*) est une planchette lestée retenue au bout d'un long filin marqué régulièrement qui servait à estimer la vitesse du navire. Voir J. RANDIER, 1998, pp. 78-89.

35. BORDA, J.-C., 1773, *Mém.*, pp. 258-334.

un véritable navire laboratoire à bord duquel, écrit Borda, « officiers, gardes de la Marine, pilotes, & même quelques timoniers, tous observoient, tous calculoient, autant que le service essentiel du Navire le pouvoit permettre »³⁶

À l'issue de leur dense voyage, Borda et ses compagnons parviennent à des conclusions presque définitives³⁷. Parmi tous les instruments d'observation, quelles que soient leurs qualités respectives, « l'usage du sextant est de tous les jours »³⁸. Octants et sextants doivent désormais équiper tous les navires³⁹. La longitude a le plus souvent été déterminée à un degré près, parfois moins, l'incertitude principale provenant de l'erreur courante d'une minute d'arc des tables de la Lune. La comparaison de la détermination des longitudes en mer à l'aide des distances lunaires et des montres marines a conduit à des écarts maximaux d'un degré. Borda fixe le protocole pour la pratique des distances lunaires : trois observateurs observent, au même instant, la hauteur du Soleil ou de l'étoile, la hauteur de la Lune et la distance entre la Lune et l'astre choisi, pour éviter les calculs de réduction des observations au même instant⁴⁰. Lorsqu'un observateur est seul pour mesurer les hauteurs et les distances, le tout est rapporté à une montre à secondes ; un calcul simple d'interpolation permet de ramener les hauteurs à l'instant de la distance observée.

À l'issue du voyage, Borda propose un premier modèle imprimé et standardisé de disposition des calculs de trigonométrie sphérique conduisant au calcul de la distance lunaire. Ce modèle de calculs est pour la première fois diffusé dans le *Guide du navigateur* que Pierre Lévêque, premier disciple de Borda, publie à Nantes en 1778.

Jugements de Borda sur les distances lunaires selon Lacaille

Les premiers doutes sur les idées assez strictes formulées par Lacaille quant à la précision que le navigateur peut attendre des distances lunaires (impossibilité de descendre sous la barre des 4' sur la mesure de la distance angulaire) ont été émis assez rapidement. Les astronomes ont attribué ces conceptions sévères à un défaut des instruments avec lesquels Lacaille observait. Déjà, à la fin des années 1750, les astronomes James Bradley (1693-1762) et Tobias Mayer (1723-1762) avaient émis des doutes quant à

36. BORDA, J.-C., 1773, p. 302.

37. BORDA, J.-C., 1773, pp. 261-263 et 305-309.

38. BORDA, J.-C., 1773, p. 306.

39. BORDA, J.-C., 1773, pp. 306-307.

40. BORDA, J.-C., 1777, pp. 263 et 308.

Figure 2. Borda, disposition des calculs pour la longitude

| Éléments du calcul. | | Réduction de la distance. | |
|------------------------|------------------|--|---|
| LATITUDE | 16° . 10 | Dist. app. ☉☉ | 116° . 59' . 0'' |
| Heure approchée . . . | 5h . 0 | Haut. app. ☉ | 18 . 52 . 50 |
| Long. estimée | 27 . 0 | Haut. app. ☾ | 44 . 27 . 10 |
| Heure de Paris | 6h . 48 | Somme | 179 . 59 . 0 |
| Demi-diam. ☉ | 15' . 56 | Demi-somme | 89 . 59 . 0 |
| Demi-diam. ☾ | 15 . 32 | Moins la dist. | 26 . 59 . 30 |
| Aug. du 1/2 diam. { | 0 ; 11 | Haut. vraie ☉ | 18 . 50 . 20 |
| Demi-diam. corr. | 15' . 43'' | Haut. vraie ☾ | 45 . 6 . 52 |
| Parall. hor. ☾ | 56 . 55 | Somme | 63 . 57 . 12 |
| Dis. obs. ☉☾ | 116° . 8' . 50'' | Demi-somme | 31 . 58 . 36 |
| Demi-diam. ☉ | 0 . 15 . 56 | cos. 6 . | 1626961 |
| Demi-diam. ☾ | 0 . 15 . 43 | cos. 9 . | 9511007 |
| Déviat. | 116 . 40 . 29 | cos. 9 . | 9760886 |
| Err. du miroir. — | 0 . 26 | cos. 9 . | 8486158 |
| DIST. AP. ☉☾ | 116 . 39 . 43 | Somme | 56 . 1090169 |
| Haut. obs. ☉ | 18 . 40 . 55 | Demi-somme | 18 . 0545084 |
| Dép. de l'hor. — | 4 . 3 | cos. { | 9 . 9285309 |
| Demi diam. ☉ + | 15 . 56 | cos. A { | 9 . 9999611 |
| HAUT. APP. ☉ | 18 . 52 . 50 | Somme | 9 . 9284920 |
| Réf. — par. — | 2 . 37 | C'est le sin. de la demi-distance | 58° . 0' . 54'' |
| Corr. therm. + | 0 . 6 | Distance | 116 . 1 . 48 |
| Corr. bar. + | 0 . 1 | Quantité restituée | 0 . 0 . 43 |
| HAUT. AP. ☉ | 18 . 50 . 20 | DISTANCE RÉDUITE | 116 . 2 . 31 |
| Haut. obs. ☾ | 44 . 15 . 25 | Dist. prises dans les tables. { | 1 ^{re} à 6 ^h 115 . 39 . 5 |
| Dép. de l'hor. — | 4 . 3 | 2 ^{me} à 9 ^h 117 . 9 . 9 | |
| Demi diam. ☾ + | 15 . 43 | Différ. | 5847 |
| HAUT. APP. ☾ | 44 . 27 . 10 | Ce qui répond à | 0h . 46' . 50'' |
| Par. — réf. { | + 39 . 1 | Heure de la première distance | 6 . 0 . 0 |
| Ther. et bar. + | 0 . 2 | HEURE DE PARIS | 6 . 46 . 50 |
| HAUT. TR. ☾ | 45 . 6 . 52 | | |
| | | Calcul de l'heure du vaisseau. | Déclinaison. |
| | | Hauteur ☉ | 18° . 50' . 20'' |
| | | Latitude | 16 . 10 . 0 |
| | | Dist. pol. | 20 . 0 |
| | | Somme | 111 . 20 . 20 |
| | | Dem. som. 55 . 40 . 10 | cos. 9 . 7512555 |
| | | Moins haut. 55 . 49 . 50 | sin. 9 . 7777554 |
| | | Somme | 19 . 5590030 |
| | | Demi-somme | 9 . 7795015 |
| | | C'est le sin. du demi-angle hor. | 37° . 0' . 14'' |
| | | Multiplié par | 8 |
| | | HEURE DU VAISSEAU | 4h . 56' . 1'' . 52'' |
| | | HEURE DE PARIS | 6 . 46 . 50 |
| | | Différence en temps | 1 . 50 . 48 |
| | | LONG. A L'OUEST DE PARIS | 27° . 42' |
| | | Dif. en 24h | 0 . 19 . 9 |
| | | Part. proportionnelles. | |
| | | Pour 6h | 0 . 4 . 47 |
| | | Pour 45' | 0 . 0 . 36 |
| | | Pour 2' | 0 . 0 . 2 |
| | | Pour 6h 47' 0" | 0 . 5 . 25 |
| | | Déclin. | 13 . 59 . 56 |
| | | Dist. pol. | 76 . 20 . 0 |

Calcul des observations de longitude faites par un seul observateur.

Source : BORDA, J.-C., (de), an XI (1802), p. 64.

la qualité du sextant de Lacaille en examinant ses tables de la réfraction. La correspondance qu'échangent Lacaille et Mayer à la fin des années 1750 est riche en discussions sur ce sujet⁴¹. L'instrument mis en cause dans les tra-

41. GAPAILLARD, J., 1996, notamment les lettres de l'année 1758 (n°2, 4, 6, 7) où Mayer suspecte les réfractions de Lacaille et où ce dernier discute de l'instrumentation et de ses qualités.

vaux sur la réfraction était un sextant de six pieds, construit en 1750 par Claude Langlois (v. 1700-v. 1756), dont Lacaille s'était servi au cap de Bonne-Espérance. L'arc de ce sextant était trop long de 10 à 12 secondes d'arc, ce qui faussait les valeurs de la réfraction ⁴².

Entre les travaux de Lacaille sur les longitudes, entre 1754 et 1760, et ceux menés à bord de la *Flore*, les constructeurs d'instruments avaient fait de grands progrès dans la fabrication des octants et des sextants, apportant un soin particulier aux graduations. En 1798, Borda et Pierre Lévêque jugent encore plus sévèrement la qualité des instruments employés à la mer par Lacaille lors de son voyage au cap de Bonne-Espérance ⁴³ :

« Il donna l'estimation des erreurs dont il la jugeoit susceptible, mais cette estimation prouve que les instrumens à réflexion dont cet astronome étoit muni, étoient infiniment médiocres, pour ne pas dire mauvais ; aussi ses calculs ne sont-ils plus applicables à l'état actuel des instrumens » ⁴⁴.

De mauvais instruments en calculs erronés, il n'y a qu'un pas à franchir, ce que font allègrement Borda et Lévêque. Tout en jugeant « stérile » la manière dont Lacaille traite de la méthode des distances lunaires, ils reconnaissent toutefois à l'astronome le mérite d'avoir contribué à la répandre ⁴⁵.

La méthode de Borda à la portée des marins ?

En 1788, le futur ministre de la Marine, le marin Pierre Claret de Fleurieu (1738-1810), souhaitant promouvoir la « méthode de Borda », dresse un constat catastrophique sur la manière dont les capitaines marchands regardent les calculs que cette méthode exige. Les pilotes, explique Fleurieu, nés pêcheurs, apprennent à lire, gravissant pas à pas les degrés de l'instruction. Leur ambition de devenir un jour capitaine leur fait suivre les cours d'hydrographie, où ils acquièrent les quatre opérations élémentaires, apprennent à se servir du quartier de réduction et des instruments pour prendre la hauteur des astres en mer. Mais, poursuit-il :

« si on leur montre cette méthode de Borda, ils s'écrient c'est la chose impossible ! S'il faut savoir cela pour être Capitaine, jamais nous ne le serons. Prendre la Lune avec la main ou faire ce calcul, c'est la même difficulté pour nous ». ⁴⁶

42. GAPAILLARD, J., 1996, note 75, p. 509 et note 82, p. 514.

43. BOISTEL, G., 2006d.

44. BORDA, J.-C. & LÉVÊQUE, P., 1798, p. 467.

45. BORDA, J.-C. & LÉVÊQUE, P., 1798, p. 467.

46. Lettre de Pierre Claret de Fleurieu à Mgr le Comte de la Luzerne (secrétaire d'État à la Marine), AN, MAR, G 96, fol. 43-44 (s.l.n.d.), citation fol. 43v°.

Figure 3. F.-V. Dulague : la méthode de Borda

| M O D E L E D'UN CALCUL DE LONGITUDE. | | | T E M des observ. à la Mont | |
|---|--|--|---|--|
| <p>EXEMPLE II. Le 14 Janvier 1780, étant par 35° 45' de longitude estimée: Ouell à l'égard de Paris, un Observateur a pris cinq distances consécutives du bord éclairé de la Lune au bord du Soleil le plus voisin. Deux autres Observateurs, au contraire l'heure, ont a pris de rebref cinq nouvelles hauteurs du Soleil, plus exactes que les précédentes, avec l'instrument qui avoit servi à mesurer les distances, la latitude étant alors de 14° 6' 15" N. On demande la longitude du lieu de l'observation des 5 dernières hauteurs du Soleil. La correction des instrumens étoit : pour le Soleil de 1' 00" additive, pour la Lune de 2' 15" additive, & pour les distances de 1' 45" soustractive ; la hauteur de l'œil des Observateurs au-dessus du niveau de la Mer étant de 17 pieds.</p> | | | | |
| <p>PREPARATIONS du Calcul, pour trouver la Distance vraie ou réduite.</p> | | | <p>RÉDUCTIONS</p> | |
| <p>CORRECTION INSTRUMENTALE.</p> | | <p>E L E M E N S pris dans la Connaissance des Temps.</p> | | |
| <p>Pour { le Soleil. + 1' 00" la Lune + 2 15" les distances. - 1 45"</p> | | <p>CALCUL de la parallaxe horizontale de la Lune.</p> | <p>CALCUL du demi-diamètre apparent de la Lune.</p> | |
| <p>Longitude estimée O 25° 45' ou différence des Mérid. O. 25 55'</p> | | <p>Parall. horif. le 14, à midi. 55' 47" Parall. horif. le 14, à minuit. 56 30"</p> | <p>Diam. horif. le 14, à midi. 30' 28" Diam. horif. le 14, à midi. 30 54"</p> | |
| <p>Heure moyenne des observations. } le 14, à 40</p> | | <p>Variation en 12 heures. + 23 Variation pour 5h 15'. + 10 Parall. horif. le 14, à midi. 55 47"</p> | <p>Variation en 24 heures. + 26 Variation pour 5h 15'. + 6 Diam. horif. le 14, à midi. 30 28"</p> | |
| <p>Temps approché à Paris. } le 14, à 5h 15'</p> | | <p>Parall. cherchée pour 5h 15'. 55' 57"</p> | <p>Diamètre horif. pour 5h 15'. 30 34 Donc demi-diamètre horif. 15 17 Augment. du demi-diam. + 11</p> | |
| <p>CALCUL de la distance apparente & de la distance vraie du Soleil au Zénith.</p> | | <p>CALCUL de la distance apparente & de la distance vraie de la Lune au Zénith.</p> | <p>CALCUL de la dist. appar. des centres du Soleil & de la Lune.</p> | |
| <p>Haut. observ. du bord infér. 38° 45' 00" Correc. instrum. + 1' 00" } - 3 14 Inclin. de l'horif. - 4 14</p> | | <p>Haut. observ. du bord supér. 48° 20' 48" Correc. instrum. + 2' 15" } - 1 59 Inclin. de l'horif. - 4 14</p> | <p>Dist. obs. des bords les plus près. 87° 59' 00" Correction instrumens. - 1 45 Demi-diamètre du Soleil. + 16 18 Demi-diam. appar. de la Lune. + 15 28</p> | |
| <p>Haut. appar. du bord infér. 38 41 46 Demi-diamètre du Soleil. + 16 18</p> | | <p>Haut. appar. du bord sup. 48 18 49 Demi-diam. appar. de la L. - 15 28</p> | <p>Différence des bords. 88° 29' 1"</p> | |
| <p>Haut. appar. du centre 38 58 4 Dist. appar. du Soleil au Zénith. 51 1 56 Réfraction + 1' 22" } + 1 15 Parallaxe - 7</p> | | <p>Haut. appar. du centre. 48 3 21 Dist. appar. de la L. au Zénith. 41 56 39 Réfraction. + 1' 00" } - 36 24 Parallaxe. - 37 24</p> | <p>Log. parall. horif. de la Lune. 3.121951 Sin. dist. appar. de la L. au Zénith. 9.321040</p> | |
| <p>Dist. vraie du Soleil au Zénith. 51° 3' 11"</p> | | <p>Dist. vraie de la Lune au Zénith. 41° 20' 15"</p> | <p>Somme. 3.150991 C'est le logarithme de la parallaxe de la Lune en hauteur. 37' 24"</p> | |
| <p>HAUTEURS du Soleil, prises pour trouver l'heure vraie du Vaisseau : L. Latitude étant alors de 14° 6' 15" N. Correc. instrum. - 1' 45"</p> | | <p>PREPARATIONS du Calcul pour trouver l'heure vraie du lieu où étoit le Vaisseau, quand on a pris les hauteurs du Soleil.</p> | | |
| <p>T E M à la Montre.</p> | | <p>Heure moy. des haut. du Sol. 4h 32' 57" Dist. des Mérid. par la Montre. O 2 27 13</p> | <p>Heure moy. du bord infér. du Sol. 16° 20' 00" Correc. instrum. - 1' 45" } - 5 59 Inclin. de l'horif. - 4 14</p> | |
| <p>HAUT. obs. du bord inférieur du Soleil</p> | | <p>Temps vrai à Paris correspondant aux hauteurs du Soleil. 7h 0' 10"</p> | <p>Haut. appar. du bord infér. 16 14 1 Réfract. costelp. - 3' 32" } - 3 24 Parallaxe, idem. + 8</p> | |
| <p>HAUTEURS du Soleil, prises pour trouver l'heure vraie du Vaisseau : L. Latitude étant alors de 14° 6' 15" N. Correc. instrum. - 1' 45"</p> | | <p>CALCUL de la Déclinaison du Soleil pour Paris le 14, à 7h 0' 10"</p> | | |
| <p>HAUTEURS du Soleil, prises pour trouver l'heure vraie du Vaisseau : L. Latitude étant alors de 14° 6' 15" N. Correc. instrum. - 1' 45"</p> | | <p>Déclin. du Soleil le 14, à midi. 21° 19' 32" S le 15, à midi. 21 8 41</p> | <p>Haut. vraie du bord inférieur. 16 10 37 Demi-diamètre du Soleil. + 16 18</p> | |
| <p>HAUTEURS du Soleil, prises pour trouver l'heure vraie du Vaisseau : L. Latitude étant alors de 14° 6' 15" N. Correc. instrum. - 1' 45"</p> | | <p>Mouvement diurne en déclino. - 10 14</p> | <p>Haut. vraie du centre. 16° 25' 55" Distance vraie du Soleil au Zénith. 73 33 1</p> | |
| <p>HAUTEURS du Soleil, prises pour trouver l'heure vraie du Vaisseau : L. Latitude étant alors de 14° 6' 15" N. Correc. instrum. - 1' 45"</p> | | <p>Part. proport. pour 7h 0' 10". - 3 10 Déclin. du Soleil le 14, à midi. 21 19 32</p> | <p>Latitude du lieu N. 14° 6' 15" Distance du Soleil au Zénith. 73 53 45</p> | |
| <p>Heure moyenne.</p> | | <p>Déclin. cherchée pour 7h 0' 10". 14° 16' 22" S Dist. du Soleil au Pôle élevé 111 16 22</p> | <p>Cette demi-f. Ainsi l'angle</p> | |

Source : F.-V. DULAGUE, 1784, p. 362.

Pour la Page 362.

| E. | TEM S | DISTANCES | HAUTEURS | HAUTEURS |
|------------------|----------------------------------|---|---|--|
| | des observations à la Montre. | observ. des bords les plus proches du Soleil & de la Lune. | observées du bord inférieur du Soleil. | observées du bord supérieur de la Lune. |
| Observateur à | 2h 33' 0" | 87° 57' 0" | 40° 0' 30" | 46° 55' 0" |
| Observateurs, | 2 37 50 | 87 57 45 | 39 8 0 | 47 56 0 |
| variations, pos. | 2 40 15 | 87 59 0 | 38 42 0 | 48 34 0 |
| avec l'intrude | 2 41 30 | 88 0 0 | 38 7 30 | 49 4 0 |
| de la hauteur | 2 45 25 | 88 1 15 | 37 47 0 | 49 26 30 |
| du lieu de | | | | |
| 17' additive, | | | | |
| Observateurs au | | | | |
| Sommes. | 13 20 0 | 439 55 0 | 193 45 0 | 241 44 0 |
| Heure moyenne. | 2h 42' 0" | 87° 59' 0" | 38° 45' 0" | 48° 30' 48" |
| | | Distance moyenne. | Hauteur moyenne du Soleil. | Hauteur moyenne de la Lune. |

RÉDUCTION de la Distance apparente de la Lune au Soleil à la Distance vraie, & détermination de l'heure à laquelle cette Distance a eu lieu à Paris.

| | | | |
|---|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| Distance appar. | des centres 88° 29' 1" | Compl. arith. Sin. 0.109100 | |
| du Soleil au Zénit. | 81 1 56 | Compl. arith. Sin. 0.174960 | |
| de la Lune au Zénit. | 41 56 39 | | |
| Somme. | 181 27 36 | | 9.801213 |
| Demi-somme. | 90 43 48 | | 9.878263 |
| Diff. de la demi-som. à la dist. du Soleil au Zénit. | 39 41 52 | Sin. | 9.870218 |
| Diff. de la demi-som. à la dist. de la Lune au Zénit. | 48 47 9 | Sin. | 9.819868 |
| Distance vraie. | du Soleil au Zénit. 51 3 11 | Sin. | 38.675642 |
| de la Lune au Zénit | 41 20 15 | Sin. | 19.838311 |
| Différence de ces deux distances vraies. | 9 42 56 | | |
| Moitié de cette différence. | 4 51 28 | Cofin. | 9.998437 |
| Reste le Sin. d'un arc A = | 43 45 38 | | 9.839884 |
| Somme. Cofin. de la demi-distance vraie ou réduite. | 43° 48' 30" $\frac{1}{2}$ | | 9.877116 |
| Donc distance vraie déduite de l'observation. | 87 57 1 | Logar. de 3h. | 4.033434 |
| Diff. prise des Tables | précéd. à 3h 9' 16" 87 0 23 | Logar. | 3.130184 |
| suiv. à 6 9' 15" 83 25 45 | Diff. 1 25 13 | Comp. arith. | 6.224838 |
| Somme. Logarithme de 1h 57' 57" | | | 3.849846 |
| Temps de la distance précédente des Tables. | 3 9 16 | | |
| Donc temps compté à Paris au moment de l'observation de dist. | 5 7 13 | | |
| Temps à la Montre correspondant. | 2 40 0 | | |
| Différence des Méridiens, suivant la Montre O. | 2h 27' 13" | | |

du lieu où étoit le Soleil.

| | |
|--------------------------------|--|
| br. du Sol. 16° 20' 0" | |
| 45' } — 5 59 | |
| 14 } — 3 24 | |
| diffé. 16 14 1 | |
| 32' } — 3 24 | |
| 8 } — 3 24 | |
| Erreur. 16 10 37 | |
| pl. + 16 18 | |
| 16° 25' 55" | |
| au Zénit. 73 33 5 | |
| 14° 6' 15" | |
| 73 53 45 | |

CALCUL de l'Heure vraie comptée à bord du Vaisseau.

| | | | |
|--|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Diff. vraie du Soleil au Zénit. | 73° 33' 5" | Compl. arith. Sinus. | 0.013194 |
| du Pôle au Zénit. | 75 53 45 | Compl. arith. Sinus. | 0.030648 |
| du Soleil au Pôle élevé. | 111 16 22 | | |
| Somme | 260 43 12 | | 9.910492 |
| Moitié | 130 21 36 | | 9.514457 |
| Moitié — la distance du Pôle au Zénit. | 54 27 51 | Sin. | 19.468902 |
| Moitié — la dist. du Sol. au Pôle élevé. | 19 5 14 | Sin. | 9.734455 |
| Cette demi-somme est le Sinus du demi-angle horaire. | 32° 51' 44" | | |
| Ainsi l'angle horaire est de | 65 43 28 | | 4h 22' 54" |

CONCLUSION DE LA LONGITUDE.

Donc Temps vrai compté à bord. 4h 22' 54"
 Temps vrai à Paris au même instant. 7 0 20
 Donc vraie différ. des Méridiens Ouest. 2h 37' 16"
 Ou Longitude cherchée Méridien de Paris Occidentale. 39° 15'

Fleurieu conclut tristement sur les habitudes des marins :

« Il résulte de tout cela que les capitaines marchands vont aux Indes et en Amérique sans avoir rien changé à leur ancien usage [...]. Faut-il s'étonner si tant de bâtiments perdent corps et biens faute de savoir leur longitude ? »⁴⁷

Les méthodes graphiques offrent-elles une alternative de choix aux longs calculs logarithmiques et trigonométriques ? Pour Borda, la recherche de ces méthodes destinées à simplifier les calculs ne présente plus qu'un intérêt limité, voire s'avère néfaste, en regard des progrès de la science des longitudes dont il est le nouveau coryphée⁴⁸.

L'idée de vulgariser des méthodes simples s'était pourtant imposée tant en France qu'en Angleterre. En effet, dans les années 1780, Georges Margetts (1748-1804) avait entrepris d'abrégé l'ensemble des tables de réduction des distances lunaires, publiées à Londres en 1772⁴⁹. Mais l'étendue de cet ouvrage de plus de mille pages rendait très difficile le calcul des interpolations : il était ainsi devenu presque inutile⁵⁰. En 1798, l'abbé Alexis Rochon (1741-1817), ancien astronome et bibliothécaire de l'Académie de Marine brestoise, propose une nouvelle méthode graphique fondée sur le quartier de réduction, familier aux marins⁵¹. Si Borda et Lévêque la jugent « d'usage assez simple et bien suffisant pour tous les cas où les marins peuvent employer ces méthodes », ils ajoutent que les méthodes graphiques et instrumentales « ont l'inconvénient d'habituer à un travail en quelque sorte automatique, des hommes qui n'y sont déjà que trop disposés »⁵². Ils concluent que la meilleure manière « d'éviter aux navigateurs les difficultés et les embarras d'un calcul, est de leur apprendre à calculer »⁵³. Le jugement est sévère et souligne l'opposition de fond et de classe qui sépare savants de l'Académie et marins⁵⁴ :

« Il est temps que les marins cessent de regarder les sciences mathématiques et

47. *Ibid.*, fol. 43v°-44r°.

48. BORDA, J.-C. & LÉVÊQUE, P., 1798, p. 469.

49. MARGETTS, G., 1790 (voir J. LALANDE, 1793, p. 63 ; 1803, p. 615).

50. LALANDE, J., 1793, pp. 62-63.

51. ROCHON, A., 1798a. Depuis le XVII^e siècle, le quartier de réduction est un instrument employé pour la détermination graphique de la route d'un navire à l'aide de « l'estime ». Dans ce mémoire, Rochon propose un ensemble de trois abaques permettant, à l'aide du quartier de réduction employé comme une abaque trigonométrique, de trouver les sinus et cosinus de la hauteur apparente d'un astre et de la distance luni-astrale, à partir de la hauteur apparente de la Lune et de sa parallaxe horizontale.

52. BORDA, J.-C. & LÉVÊQUE, P., 1798, p. 470.

53. AN, MAR, G 96, fol. 55, lettre de Borda au ministre, de Paris, le 4 mars 1789.

54. Voir F. BELLEC, 2000, et S. DÉBARBAT, 2000.

physiques comme inutiles à la pratique de la navigation et à ses progrès. Sans le secours des sciences la marine seroit encore dans l'enfance ». ⁵⁵

En 1798, Rochon désapprouve le manque de conscience de ces savants impliqués dans l'instruction des marins et qui, selon lui, s'acquittent mal de cette tâche :

« Il est sans doute affligeant de penser que l'art de descendre à la portée du commun des hommes ne soit pas sans difficultés ; c'est une triste vérité que les savants du premier ordre ne sentent peut-être pas aussi vivement que des hommes moins instruits. J'ai crû reconnoître que des savants justement célèbres par l'étendue de leurs connoissances, n'avoient pas toujours été aussi utiles qu'ils eussent dû l'être, s'ils eussent mieux jugé, s'ils eussent mieux connu l'influence d'une éducation négligée sur la grande majorité des hommes ». ⁵⁶

À la fin du XVIII^e siècle, les navigateurs ont à leur disposition deux méthodes de détermination des longitudes en mer. La méthode des distances lunaires, avec ses variantes, est exigeante : elle impose des observations délicates et de longs calculs logarithmiques et de trigonométrie sphérique. On peut ainsi penser que les marins se tournent définitivement vers les méthodes horlogères. Un chronomètre bien réglé conserve l'heure du port de départ ; quelques observations astronomiques simples et courantes en mer donnent l'heure locale ; la différence d'heure donne enfin la différence des longitudes.

Malgré le développement et l'amélioration des chronomètres de marine, qui pourraient donner à penser — comme l'affirme l'historiographie traditionnelle — que les marins disposent désormais de tous les outils pour assurer une bonne navigation, la question des longitudes n'est en fait pas réglée dans les pratiques des navigateurs à la fin du XVIII^e siècle. L'historiographie s'est toujours principalement intéressée à l'objet technique que représente la montre de marine ⁵⁷, mais assez peu aux pratiques quotidiennes des marins et à l'emploi de la montre de marine en mer pour la détermination des longitudes ⁵⁸.

L'horlogerie de précision et l'horlogerie de marine connaissent de sérieux progrès entre 1750 et 1860 environ. L'histoire du prix des longitudes britannique remis en 1765 à l'horloger anglais John Harrison a été rendue

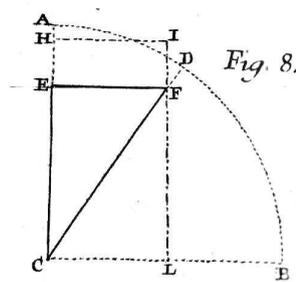
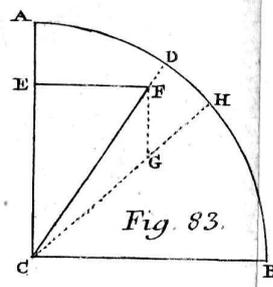
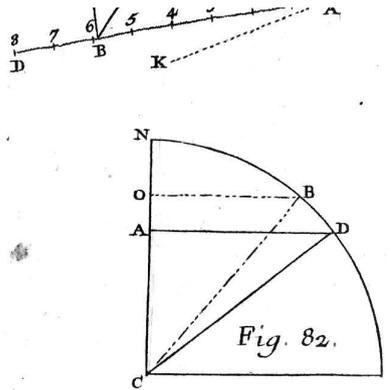
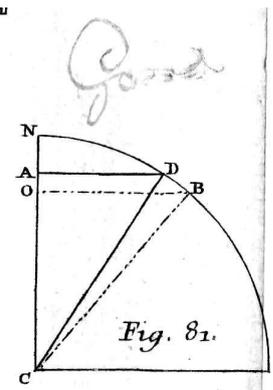
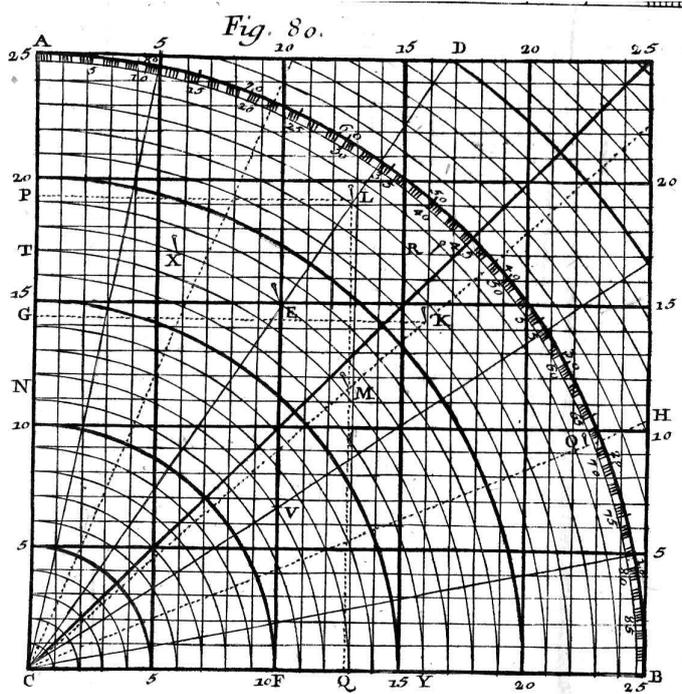
55. BORDA, J.-C. & LÉVÉQUE, P., 1798, p. 473.

56. ROCHON, A., 1798b.

57. Dans la suite, montres de marine, chronomètres de marine ou montres à longitudes désignent les mêmes objets. Ces expressions figurent dans la littérature astronomique depuis la fin du XVIII^e siècle.

58. BOISTEL, G., 2006b.

Figure 4. Le quartier de réduction des marins inspire l'abbé Rochon pour sa méthode graphique



Source : F.-V. DULAGUE, 1784, planche non numérotée.

célèbre par le *best-seller* de Dava Sobel, *Longitude*⁵⁹. Les noms des horlogers français Lepaute, Leroy, Berthoud⁶⁰ et Bréguet sont aussi célèbres, mais l'histoire de la chronométrie marine en France reste largement méconnue.

Si le développement technologique des montres de marine est rapide dans les dernières décennies du XVIII^e siècle, leur diffusion, dans la marine marchande notamment, est très limitée. De par leur coût élevé et leur rareté — ce sont alors des exemplaires uniques —, peu de navires sont équipés de montres. Ce n'est le cas que dans les grandes expéditions de circumnavigation, lorsque le ministère de la Marine le juge nécessaire.

Pour ce qui est des manuels, l'usage des montres de marine n'est vraiment abordé que dans la dernière édition du *Traité de navigation* de Bézout par l'officier de marine Édouard de Rossel, en 1814. Entre 1812 et 1816, des officiers du Dépôt des cartes et plans de la Marine et des professeurs d'hydrographie — notamment l'amiral François-Étienne de Rosily (1748-1832) et Charles Guépratte (1777-1857) — mettent progressivement en place des observatoires de la Marine et se préoccupent de réglementer la maintenance des chronomètres de marine⁶¹. Les horlogers de la Marine se nomment alors Louis Berthoud (1754-1813), Louis Bréguet (1747-1823) ou Jean-François Henri Motel (1788-1839), élève de Louis Berthoud⁶². À cette époque, les montres embarquées sont soumises à des irrégularités de marche dont la cause est la sensibilité extrême aux variations de température, à l'épaississement des huiles de lubrification et aux mouvements brusques des navires. Ainsi, paradoxalement, jusque dans les années 1860, les distances lunaires servent à contrôler la marche des montres de marine. Mais la plupart des marins du commerce naviguent encore à l'estime. En 1864, Hervé Faye témoigne de cet état de fait à l'Institut :

« Quant à la longitude, elle s'obtient par l'estime, à moins que le navigateur ne possède un ou plusieurs chronomètres dignes de confiance : alors, par des angles horaires pris de temps à autre, le matin ou le soir, il obtient l'heure locale et par

59. On ne peut ignorer le succès médiatique et populaire de ce roman qui entérine une vision exclusivement anglo-saxonne de la quête des longitudes en mer (SOBEL, D., 1995). Pour des références sérieuses sur la question, voir A. J. TURNER, 1985 ; HOWSE, D., 1993 ; BENNETT, J., 2002.

60. BERTHOUD, F., 1775. Bien avant Berthoud, Pierre Leroy avait conçu et appliqué les principes de la chronométrie moderne dont son concurrent s'était attribué les mérites (CARDINAL, C., 1996).

61. Cette question est actuellement étudiée à Nantes par O. Sauzereau et G. Boistel. On peut s'en faire une première idée dans F. MARGUET, 1931, pp. 283-291 ; HERVIEU, R., 1962, pp. 180-195 ; BOISTEL, G., 2004a, pp. 116-120.

62. BOURGOIN, J. & LACOMBE, H., 1996.

suite la longitude. Je ne parle pas ici de l'observation des distances lunaires, ressource précieuse qui sert à contrôler les chronomètres lorsqu'il s'élève des doutes sur leur marche, et à leur fournir de nouveaux points de départ ; je crois qu'elle n'est guère en usage qu'à bord des navires de l'État où toutes les ressources de l'astronomie sont savamment appliquées ». ⁶³

Tout au long du XIX^e siècle, les marins savants, mandatés ou non par le Dépôt des cartes et plans de la Marine (ou du Service hydrographique de la Marine), s'intéressent à la résolution du problème crucial de l'irrégularité de la marche des chronomètres ⁶⁴.

2. Comment contrôler la dérive thermique de la marche des chronomètres ?

Quelques travaux font date et restent des références pour les traités de navigation de la fin du siècle : citons ceux des lieutenants de vaisseau Ernest-François de Cornulier (1831) ⁶⁵, Jean-Pierre Lieussou (1854) ⁶⁶ et Ernest-Barthélémy Mouchez (1855) ⁶⁷. En étudiant les irrégularités de marche des chronomètres de marine, Cornulier et Lieussou proposent des formules mathématiques similaires, qui donnent un peu plus qu'une simple proportionnalité entre les variations de marche des chronomètres et les variations de température. En 1855, Ernest Mouchez, partisan de s'en tenir à une simple proportionnalité — hypothèse « simple et gratuite, suffisante pour la précision recherchée » ⁶⁸ —, propose de développer une méthode graphique de contrôle et de correction de la marche des montres, permettant d'aller plus loin dans la prise en compte des variations accidentelles et plus adaptée, selon lui, aux pratiques des navigateurs. Pour cela, il propose de construire des courbes de la différence de marche entre un chronomètre et un étalon, en fonction du temps et de la température. À partir des courbes isothermes, il peut déterminer les corrections à apporter à la marche des chronomètres étudiés ⁶⁹.

63. FAYE, H., 1864, p. 438.

64. À cette époque, l'avance ou le retard diurne des chronomètres de Bréguet et Berthoud sont inférieurs à deux secondes de temps. Les différences entre les longitudes obtenues par les montres et celles obtenues par les distances lunaires sont d'environ une dizaine de minutes d'arc, soit environ 18 km (HERVIEU, R., 1962, p. 191 ; GUÉPRATTE, C., 1823, pp. 206 et *sq.*).

65. CORNULIER, E., 1831.

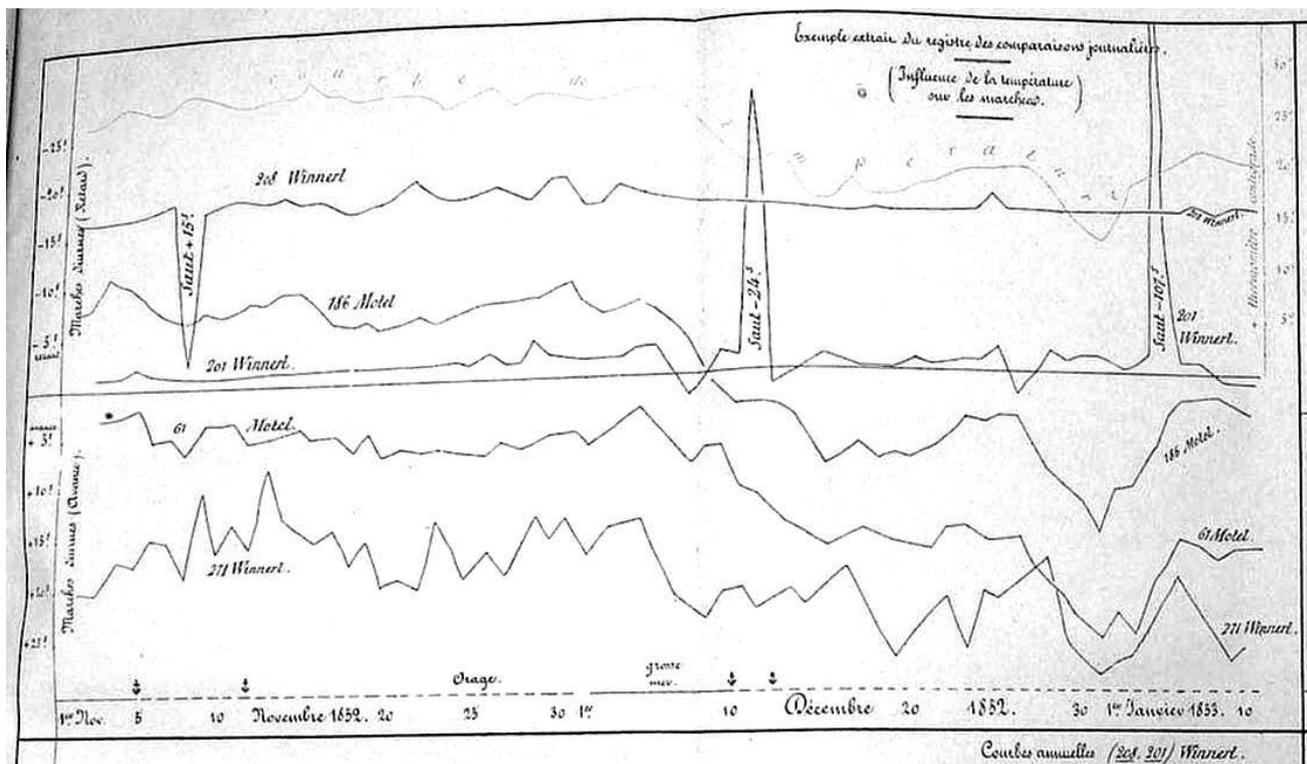
66. LIEUSSOU, J.-P., 1854.

67. MOUCHEZ, E., 1855.

68. MOUCHEZ, E., 1855, pp. 238-239.

69. Mouchez explique que, sans sa méthode graphique, de fortes irrégularités observées dans le fonctionnement de quelques montres du constructeur Winnerl n'auraient pu être mini-

Figure 5. E. Mouchez, 1855. Exemple de tracé de la marche d'un chronomètre de Winnerl



Source : E. MOUCHEZ, 1885, planche hors-texte.

Une approche théorique de la question est proposée par l'astronome de l'Observatoire Antoine Yvon-Villarceau ⁷⁰. En 1863, celui-ci développe sa théorie du bilame. Son application à un ressort spiral fait de deux métaux dont les dilatations s'annulent (ou presque) permet d'expliquer les irrégularités de marche des montres marines. Il propose dans la foulée une nouvelle formule, fondée sur un développement de Taylor-MacLaurin des variations de température, pour aider les navigateurs à corriger la marche des montres marines ⁷¹. En outre, Yvon-Villarceau espère que les horlogers s'empareront de ses travaux de haut niveau pour concevoir de nouveaux chronomètres de marine. Mais la plupart n'ont pas les connaissances suffisantes pour comprendre et s'approprier ces travaux théoriques. Au début des années 1870, avec l'aide du capitaine de vaisseau Aved de Magnac, Yvon-Villarceau assure la promotion de ce qu'il appelle la « Nouvelle navigation » et qui consiste à : 1. privilégier les méthodes de droite de hauteur plutôt que les distances lunaires ⁷² ; 2. employer une approche statistique pour déterminer le point le plus probable ; 3. employer sa formule fondée sur le développement de Taylor pour le contrôle de la marche des montres marines.

C'est dans ce contexte qu'éclate dès 1875 la querelle entre Yvon-Villarceau et Mouchez, qui s'inscrit dans la guerre de succession d'Urbain Le Verrier à la tête de l'observatoire de Paris et dans les luttes d'influences au sein du Bureau des longitudes ⁷³.

La querelle entre le marin Mouchez et l'astronome Yvon-Villarceau, entre 1875 et 1879

Après des études de musique poussées qui l'ont mené de Vendôme à Paris, Yvon-Villarceau découvre les sciences tardivement. Admis à l'École centrale en 1837, il en sort avec un diplôme d'ingénieur mécanicien, opte pour le saint-simonisme et développe un goût prononcé pour les mathéma-

misées et que l'on aurait très bien pu mettre ces chronomètres au rebut si les sauts observés sur les graphiques de la marche de ces montres avaient été surinterprétés (MOUCHEZ, E., 1855, pp. 239-241).

70. YVON-VILLARCEAU, A., 1863 et 1865. BERTRAND, J., 1890.

71. Ce développement contient plusieurs termes dans lesquels on trouve les puissances successives des variations de température et de la marche du chronomètre.

72. Vers 1837, le capitaine américain Thomas H. Sumner met au point une méthode graphique qui donne les deux coordonnées — latitude et longitude — simultanément, à partir de la mesure de la hauteur d'un astre, le Soleil principalement (VANVAERENBERGH, M. & IFLAND, P., 2003). Voir A. LEDIEU, 1877, pour une étude étendue sur toutes ces méthodes.

73. LE GUET TULLY, F., 2005.

tiques appliquées à l'astronomie. En février 1846, Arago lui offre une place d'élève à l'Observatoire. Yvon-Villarceau est nommé astronome titulaire le 11 février 1854. Il est l'auteur de très nombreux travaux, plus ou moins théoriques, notamment sur les orbites des étoiles doubles. Il entre au Bureau des longitudes en 1862 et est élu assez tardivement à l'Académie des sciences, en 1867. Dans les années 1870, Yvon-Villarceau est le secrétaire du Bureau et l'un de ses membres les plus actifs.

E. Mouchez entre à l'École navale de Brest en 1837 et gravit patiemment les échelons hiérarchiques de la Marine ⁷⁴. Il y développe un goût et des aptitudes pour les observations astronomiques et hydrographiques. Entre les années 1850 et 1870, au cours d'importantes missions hydrographiques, il développe quelques idées personnelles concernant l'adaptation des techniques de l'observatoire aux besoins scientifiques de la Marine et formule certaines critiques sur la qualité des éphémérides de la *Connaissance des temps* publiés par le Bureau des longitudes. Durant la guerre contre la Prusse en 1870-1871, Mouchez est chargé d'assurer la défense du Havre et s'illustre par un succès militaire (il a alors sous ses ordres Félix Faure et Sadi Carnot). Reconnu pour ses mérites scientifiques et militaires, il est élu au Bureau des longitudes en 1873. Alors capitaine de vaisseau, il est nommé par le Bureau et le ministère de la Marine responsable d'une mission d'observation du passage de Vénus devant le Soleil, prévu pour le 9 décembre 1874. De retour en France en mars 1875, Mouchez, auréolé de son succès (il est admis la même année à l'Académie des sciences), prend une place croissante au sein du Bureau des longitudes. Il est nommé à la tête de l'observatoire de Paris trois ans plus tard, en juin 1878 ⁷⁵.

Les premiers épisodes visibles, pour l'historien, de la querelle ont lieu lors de l'installation par Mouchez, avec le soutien des ministères de la Marine, de l'Instruction publique et de la Ville de Paris, d'un observatoire de la Marine au parc Montsouris, en 1875 ⁷⁶. Au cours des séances du Bureau des longitudes du mois de septembre 1875, Yvon-Villarceau dénonce l'extension des pouvoirs conférés à Mouchez par le Bureau pour l'installation et l'équipement de cet observatoire destiné à l'instruction astronomique des officiers sortis de l'École navale, des géographes, voyageurs et officiers scientifiques de l'armée. Pourtant, Mouchez obtient assez facile-

74. MOUCHEZ, R., 1970.

75. BOISTEL, G., à paraître (b). Voir E. MOUCHEZ, 1875.

76. BOISTEL, G., 2006c.

ment que le Bureau mette à sa disposition la collection d'instruments qu'Yvon-Villarceau avait rassemblés pour des opérations géodésiques ⁷⁷ :

« Le secrétaire [Yvon-Villarceau] regrette que la solution de questions, dans lesquelles l'intérêt du Bureau est sérieusement engagé, ne soit pas préparée par des commissions avant de se produire en séance et qu'il soit statué sur ces propositions par le vote d'un petit nombre de membres présents. Dans tous les cas, il proteste à l'avance contre l'extension donnée au mandat de M. Mouchez déterminé par le précédent vote du Bureau ». ⁷⁸

L'ambiance est donc électrique entre les deux hommes lorsque l'officier de Marine Henri-Julien Aved de Magnac, proche d'Yvon-Villarceau et auteur d'un *Rapport sur l'état actuel de la navigation astronomique et sur les perfectionnements à y apporter* ⁷⁹, envoie au Bureau ses essais sur la marche des chronomètres de marine. Le 18 août 1875, Yvon-Villarceau lit une lettre d'Aved de Magnac qui informe le Bureau qu'après une traversée de soixante-huit jours de mer, cinq chronomètres de marine n'ont pas dévié de plus de six secondes en longitude, dérive qui a été déduite de constructions graphiques sur la marche des chronomètres. Mouchez s'étonne de l'emploi de méthodes graphiques par des auteurs qui ont toujours clamé leur préférence pour des méthodes analytiques. Yvon-Villarceau répond que « la traduction graphique d'une formule n'en constitue pas l'abandon » ⁸⁰.

La querelle ne demeure pas confinée au Bureau des longitudes. Elle s'étend bientôt aux séances de l'Académie des sciences, où les deux hommes siègent. Le 28 mai 1877, dans une assez longue intervention ⁸¹, Mouchez récuse l'appellation de « Nouvelle navigation », dénonce l'emploi de méthodes probabilistes pour la détermination du point en mer et refuse l'approche trop mathématique que veut imposer Yvon-Villarceau dans un traité d'astronomie nautique destiné à être diffusé dans tous les établissements navals. Ce dernier propose l'application de la série de Taylor pour remplacer les formules de Cornulier ou de Lieussou, qui ne représentaient

77. Procès-verbaux des séances du Bureau des longitudes (PV BDL), année 1875 (archives du Bureau des longitudes, Paris).

78. PV BDL, séance du 15 septembre 1875. Mouchez occupe officieusement et avec l'aval du Bureau le poste de directeur de l'observatoire. La création est annoncée au *Journal Officiel* du 3 octobre 1875 et l'observatoire commence ses activités le 4 octobre 1875 (BOISTEL, G., 2006c).

79. Manuscrits du Bureau des longitudes, T 72, 31 août 1874, Bibliothèque de l'observatoire de Paris. À cette époque, Mouchez est en route pour l'île Saint-Paul, où il doit observer le passage de Vénus devant le Soleil.

80. PV BDL, 18 août 1875.

81. MOUCHEZ, E., 1877, pp. 1207-1211.

que les premiers termes du développement de la marche d'un chronomètre de marine en fonction de la température. Mouchez lui rétorque :

« Il existe très peu de chronomètres embarqués dont la régularité des variations autorise l'application d'une formule fondée sur l'hypothèse d'une absence complète de solution de continuité. Ces délicats instruments sont soumis, à la mer, à tant de causes de variations accidentelles, qu'il est bien difficile d'admettre qu'on puisse calculer utilement leur marche par les mêmes formules de continuité qu'on applique à la marche des astres ou à d'autres phénomènes naturels ». ⁸²

Les « jeux » mathématiques sont-ils compatibles avec les besoins réels de la navigation ? Mouchez poursuit :

« Ce sont là des recherches spéculatives un peu trop subtiles n'ayant qu'un intérêt théorique comme en ont déjà fait sur l'astronomie nautique bien des professeurs et des savants peu familiarisés avec les besoins de la Marine ; elles ne peuvent avoir aucune utilité pratique. Il faut des procédés plus simples et plus rapides pour diriger un navire ». ⁸³

Yvon-Villarceau lui répond le 4 juin 1877 en déplaçant le débat vers la question de l'enseignement des nouvelles méthodes de la navigation ⁸⁴. Il rappelle qu'il a été sollicité par le ministère de la Marine pour écrire un livre d'astronomie nautique et craint que la méthode de Sumner (ou de la droite de hauteur) ne soit pas enseignée dans les écoles navales. Yvon-Villarceau se propose de faire le tri dans toutes les variantes des méthodes, en affirmant sa préférence pour les méthodes directes des officiers Marcq Saint-Hilaire et Aved de Magnac.

Mouchez poursuit la critique à la séance suivante, le 11 juin 1877. Il rappelle que de nombreux officiers, dont Aved de Magnac, ont produit des commentaires enthousiastes sur l'emploi des méthodes graphiques pour le contrôle de la marche des chronomètres embarqués. Il souligne que les méthodes de droite de hauteur sont enseignées à l'École navale depuis le début des années 1870 par des professeurs qui ont fait publier des cours lithographiés ⁸⁵. Puis il affirme de manière sévère :

« J'ai toujours protesté de la manière la plus formelle contre ces nombreux traités de navigation écrits par des auteurs étrangers à la Marine. Il existe dans ces questions une trop grande différence entre la théorie et la pratique pour que des professeurs ou des astronomes, qui n'ont pas navigué, puissent faire autre chose que des variations plus ou moins connues sur toutes les combinaisons possibles de la

82. MOUCHEZ, E., 1877, p. 1208.

83. MOUCHEZ, E., 1877, p. 1210.

84. YVON-VILLARCEAU, A., 1877, pp. 1251-1256. Voir aussi A. LEDIEU, 1877.

85. Par exemple G. HILLERET, 1871, « Méthode de Sumner ou méthode américaine », pp. 255-267.

trigonométrie. Et, s'ils veulent introduire quelque solution nouvelle, ils risquent le plus souvent de produire de ces problèmes sans aucune autre utilité pratique, du genre de ceux que les anciens géomètres nommaient des Récréations mathématiques [...] En un mot, ce n'est pas à Terre que l'on peut apprendre le métier de marin, même au point de vue de l'astronomie nautique ».⁸⁶

Yvon-Villarceau reprend la discussion le 18 juin en insistant sur ses travaux et le développement de la théorie des lames bimétalliques, seul remède selon lui à la compensation thermique des chronomètres de marine. Il reprend la question de l'enseignement et s'interroge :

« Pourquoi donc les réformes antérieurement proposées avaient-elles été constamment repoussées ? [...]. Je l'ai expliqué en insistant sur ce que les nouvelles méthodes ne pouvaient produire tous leurs résultats tant que la question chronométrique n'aurait pas été résolue ».⁸⁷

La fin de la querelle prend un ton plus personnel, voire plus insultant. Chaque protagoniste apporte à l'appui de ses objections et accusations diverses lettres et témoignages de l'étranger, comme autant de garants de leur vérité scientifique⁸⁸.

Pendant ce temps, les méthodes mathématiques continuent à effrayer les capitaines marchands. En 1880 paraît à Toulon un ouvrage écrit par un marin du commerce et qui s'adresse aux capitaines au long cours. L'ouvrage s'ouvre sur une lettre de Mouchez. Celui-ci est devenu, depuis 1878, le premier marin directeur de l'observatoire de Paris. Dans cette très intéressante lettre, Mouchez reprend ses critiques à l'égard des traités de navigation trop mathématiques :

« Je vous félicite d'autant plus de cette publication que provenant d'un capitaine au long cours elle sera reçue avec plus de confiance par les marins du commerce qui se défient quelquefois, non sans raison, des ouvrages trop théoriques publiés par des savants ou des professeurs étrangers aux besoins de la navigation, et qui se préoccupent souvent davantage du côté scientifique que du côté utile et pratique de l'astronomie nautique ».

Selon Mouchez, les savants traités de navigation rendent les procédés les plus simples opaques pour les marins du commerce :

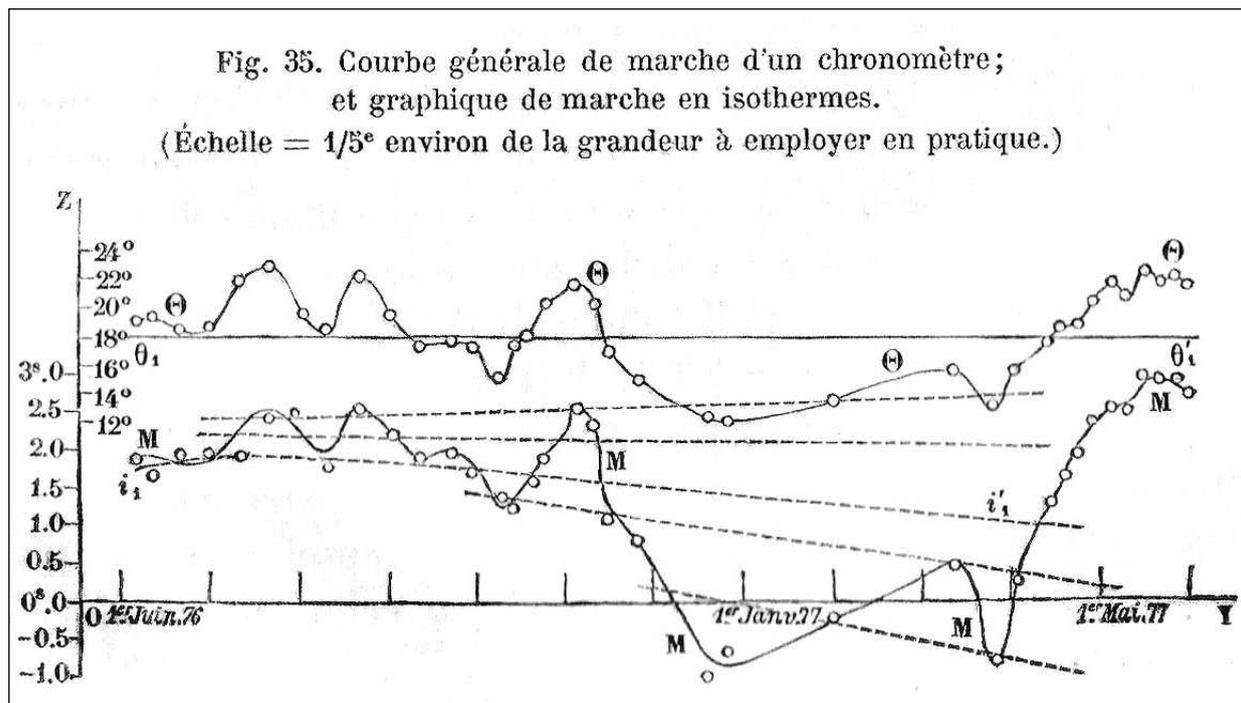
« Les savantes recherches [...] ont sans doute un intérêt scientifique mais elles n'ont encore apporté qu'un bien faible bénéfice au point de vue de la pratique de la navigation [...]. Les capitaines du commerce sont alors portés à négliger certaines corrections, certains procédés qui leur semblent trop compliqués et qui ont

86. MOUCHEZ, E., 1877, pp. 1352-1353.

87. YVON-VILLARCEAU, A., 1877, p. 1423.

88. MOUCHEZ, E., 1877, pp. 1425-1426 ; YVON-VILLARCEAU, A., 1877, pp. 1475-1481.

Figure 6. A. Ledieu, 1877. Exemple de courbes isothermes de la marche de chronomètres



Source : A. LEDIEU, 1877, p. 326.

cependant une réelle utilité. Il leur est donc nécessaire de savoir que les procédés les plus élémentaires et les plus simples suffisent aussi pour obtenir des chronomètres et des observations astronomiques appliquées à la navigation, toute la précision pratiquement utile qu'on en peut espérer aujourd'hui ».

Est-il utile de se lancer dans des calculs compliqués alors qu'une précision moyenne est le plus souvent suffisante ?

« Un simple coefficient de température suffit presque toujours pour faire disparaître la plus grosse partie de l'erreur provenant d'un défaut de compensation [...] et le tracé de la droite de hauteur à diverses heures de la journée quand on approche de Terre (*Méthode Sumner*), tiendront lieu avantageusement de tous les autres calculs de l'astronomie nautique, car on en tirera ainsi tous ce que donne d'utile la hauteur observée d'un astre et l'emploi des chronomètres ». ⁸⁹

Les officiers travaillant au Service hydrographique de la Marine, eux, regardent avec respect et circonspection la méthode d'Yvon-Villarceau. Édouard Caspari, ingénieur hydrographe et directeur du Dépôt de la Marine, n'accorde qu'une courte page respectueuse à ces calculs dans son *Cours d'astronomie pratique* publié en 1888, sur les cinquante-deux consacrées aux chronomètres de marine portatifs ⁹⁰.

*

Les acteurs de ces deux polémiques figurent parmi les savants les plus représentatifs du développement de la navigation scientifique et astronomique au cours des XVIII^e et XIX^e siècles. L'abbé Lacaille est un astronome qui a navigué aux côtés des meilleurs officiers de la Compagnie des Indes. Il est l'une des figures marquantes de l'astronomie du XVIII^e siècle. Le chevalier de Borda est un « terrien », ingénieur-mathématicien ayant commandé l'une des expéditions scientifiques les plus célèbres, devenue l'emblème même de la navigation de haut niveau. Ces deux académiciens ne sont pas, à l'origine, des marins, mais l'historien ne se risquerait pas à remettre en cause leur expérience maritime.

L'officier de Marine Mouchez a développé de grandes compétences scientifiques et des idées personnelles sur la diffusion des méthodes de l'astronomie à destination des marins, qui l'ont conduit à la direction de deux observatoires : l'un, méconnu, celui du Bureau des longitudes et de la Marine au parc Montsouris ; l'autre, prestigieux, l'observatoire de Paris.

89. ROUX, J., 1880 ; Mouchez est l'auteur de la préface.

90. CASPARI, É., 1888, première partie, pp. 275-276 et seconde partie, pp. 111-138 pour la détermination des longitudes géographiques par les méthodes chronométriques.

Yvon-Villarceau, mécanicien de formation, est un pur produit de l'école d'astronomie française. Formé à la mécanique céleste au sein de l'observatoire de Paris, il a développé des talents de mathématicien et de théoricien. N'ayant jamais navigué, il s'est adjoint l'officier Henri Aved de Magnac pour asseoir sa légitimité nautique.

À leur époque respective, Lacaille et Yvon-Villarceau suivent un parcours savant qui les mène inéluctablement vers l'Académie des sciences. Borda et Mouchez ont des parcours moins linéaires, marqués par la quête des honneurs et des titres académiques.

Mouchez s'inscrit dans le courant créé par Lacaille, entretenu au fil du temps par des astronomes de l'Académie (A. Rochon, J. Lalande), quelques professeurs d'hydrographie (V. Dulague à Rouen, P. Ducom à Bordeaux, E. P. Dubois à Brest, etc.) et officiers de Marine (le lieutenant L. Pagel). Ce courant prend en compte le niveau réel de formation des marins du commerce, manifestant un souci permanent d'adapter ainsi méthodes et instruments aux besoins du « commun » de ces navigateurs⁹¹. Ces savants veulent penser et agir en marins : employer des méthodes d'exécution rapide, sûres, fiables et contrôlables, n'exigeant des navigateurs guère plus que les connaissances acquises lors de leurs courtes études hydrographiques et se fiant à leur expérience de la mer.

Yvon-Villarceau est plus proche du courant symbolisé par Borda. En bons ingénieurs⁹², ces hommes sont partisans de méthodes mathématiques élaborées, au niveau desquelles les marins se doivent de s'élever par leur formation. En bon saint-simonien, Yvon-Villarceau fait l'apologie du travail et attend des marins, comme des ingénieurs, qu'ils s'y consacrent entièrement pour relever la patrie⁹³.

91. Dans cet ordre d'idées, évoquons les réformes introduites par Lalande dans les éphémérides de la *Connaissance des Temps* et la publication de tables horaires du Soleil ; les méthodes graphiques élaborées par Rochon ; la publication de manuels adaptés par certains professeurs d'hydrographie nantais (en particulier) ; ou encore l'invention d'une lunette méridienne portative et la création de l'observatoire de Montsouris par Mouchez.

92. Yvon-Villarceau prend la présidence de la Société des ingénieurs civils en juillet 1871 : « Le choix que vous venez de faire d'un représentant des sciences appliquées me paraît être une heureuse manifestation en faveur de la théorie ; car aujourd'hui encore, de regrettables préjugés à l'endroit de la science ou de la théorie sont enracinés dans beaucoup d'esprits [...] ». (YVON-VILLARCEAU, A., 1871, p. 8). Sur les ingénieurs depuis la fin du XVIII^e siècle, voir P. BRET, 2002 et 2004.

93. « La vie du marin, comme celles des ingénieurs civils, est une vie de travail, soutenue, incessante, avec laquelle la vie de garnison pratiquée par nos troupes de terre, sous l'ancien régime, ne présente aucune analogie. C'est au travail que seront dus particulièrement la

De Borda à Yvon-Villarceau, un certain nombre de savants plus ou moins célèbres (G. Monge, J.-B. Biot), de professeurs d'hydrographie (P. Lévêque à Nantes puis à Paris, C.-M. Fournier à Brest, V. Caillet à Nantes puis à Brest, etc.) ou d'officiers de Marine (Claret de Fleurieu, D'Entrecasteaux, de Rossel, de Rosily, Fleuriais, Aved de Magnac, etc.) relayent ces conceptions élitistes, avec un ton souvent dédaigneux envers les capitaines marchands. Diffusion vers le plus grand nombre ou production de méthodes pour les élites : la tension apparaît dans la seconde moitié du XVIII^e siècle au sein du milieu académique, lieu d'exercice de l'expertise savante, et perdure tout au long du XIX^e siècle.

Ces débats illustrent aussi le désintéret progressif des astronomes français pour la question des longitudes. Au XVIII^e siècle, presque tous les astronomes importants de l'Académie sont impliqués dans le développement et la diffusion des méthodes de navigation : Lacaille, Lalande, Le Monnier, Pingré, Rochon, pour les plus connus. Lalande et Le Monnier ont même le titre de « préposé au perfectionnement de la navigation sous toutes ses formes »⁹⁴. Au XIX^e siècle, les luttes intestines au sein du Bureau des longitudes et de l'observatoire de Paris, l'orientation mathématique des travaux de mécanique céleste — même s'ils sont développés en partie pour une utilisation nautique — et le développement de nouvelles techniques, telles que la photographie et la spectroscopie, détournent progressivement l'attention des astronomes des questions de navigation⁹⁵. Le relais est pris par des officiers de Marine formés désormais à l'École navale de Brest, qui, au cours du XIX^e siècle, développe chez ses élèves une forte conscience astronomique⁹⁶. La jonction est assurée par les professeurs d'hydrographie. Proches du terrain, ils assurent depuis la fin du XVII^e siècle, avec plus ou moins de réussite, la difficile et ingrate tâche de former un public varié, par-

régénération et le salut de notre malheureuse patrie et j'espère bien que les ingénieurs civils, y contribueront pour la plus large part. Honneur donc au travail ! », YVON-VILLARCEAU, A., 1871, p. 9.

94. G. BOISTEL, 2001b, partie I, pour une étude sur ce statut échappant au contrôle de l'Académie des sciences, et 2004b.

95. En 1860, Urbain Le Verrier va même jusqu'à remettre en cause les efforts que déploient les calculateurs du Bureau des longitudes pour améliorer les éphémérides à destination des marins et déclare qu'« il ne saurait accepter que la *Connaissance des Temps à l'usage des astronomes* devienne une simple éphéméride nautique », CRAS, 1860, t. 50, p. 351.

96. BOISTEL, G., 2006c, sur le rôle d'un petit groupe d'officiers de l'École navale dans la conduite des travaux de l'observatoire de la Marine au parc Montsouris, futur observatoire du Bureau des longitudes.

fois indiscipliné et souvent réfractaire aux exigences croissantes des nouvelles méthodes de navigation.

Tout au long des XVIII^e et XIX^e siècles, on peut noter un accord des milieux académiques et savants sur le haut degré de précision, recherché aussi par les officiers de la Marine chargés de missions hydrographiques pour la cartographie des possessions coloniales, sans commune mesure avec les besoins de la navigation quotidienne et la formation des marins du commerce.

On peut donc ainsi comprendre les tensions qui apparaissent dans la littérature nautique et qui opposent, depuis le milieu du XVIII^e siècle, les tenants d'une navigation scientifique de haut niveau aux partisans d'une démocratisation des procédés, à destination du public plus large et moins bien formé des marins du commerce. Sans doute cet ensemble de tensions est-il la conséquence et l'un des avatars des hésitations permanentes de la politique maritime française, que les historiens de la marine ont depuis longtemps soulignées⁹⁷.

Les quelque cent cinquante années de développement d'une navigation scientifique exigeante qui courent des années 1750 — avec la rencontre entre Lacaille et d'Après de Manneville — aux années 1900 — qui voient la suppression des distances lunaires des éphémérides nautiques françaises — sont caractérisées par un renouvellement méthodologique permanent. Les distances lunaires ont rapidement été supplantées par les méthodes chronométriques, elles-mêmes relayées par les méthodes de détermination de la droite de hauteur, puis par les méthodes de radionavigation. Ce renouvellement méthodologique et le développement rapide de la navigation à vapeur et de ses besoins scientifiques et techniques sont incompatibles avec le temps administratif de prise de décision⁹⁸.

Ils sont aussi incompatibles avec le temps nécessaire pour la diffusion des différentes méthodes dans les institutions chargées de l'instruction des marins. La diffusion de la méthode dite de la droite de hauteur à partir des années 1870 et la distribution de l'heure de l'observatoire de Paris par télégraphie dans les ports et villes de France, à partir des années 1880, conduisent à l'abandon rapide des méthodes astronomiques lunaires à la fin du

97. VERGÉ-FRANCESCHI, M., 1996 ; BELLEC, F., 2002a et 2002b.

98. Par exemple, les discussions autour de la question de la diffusion de l'heure à distance, par téléphone puis par télégraphie sans fil, en particulier pour déterminer l'heure en mer, mettent plusieurs années à aboutir (CRAS, 27 juin 1904, pp. 1657-1659 ; 29 mai 1905, pp. 1429-1430 ; 30 mars 1908, pp. 671-673 ; 13 avril 1908, pp. 800-801 ; 4 juillet 1910, pp. 53-55 ; 21 novembre 1910, p. 911, en particulier).

XIXe siècle et rendent caduque la poursuite des efforts de création d'observatoires chronométriques et d'une formation des marins à grande échelle⁹⁹. Les années 1870-1880 sont marquées par un dépérissement des écoles d'hydrographie ; beaucoup sont fermées au cours de l'année 1887¹⁰⁰. Des « écoles navales commerciales » dont le fonctionnement est assuré par les Chambres de commerce se chargent temporairement de cette formation et tentent de trouver des solutions à la crise des vocations¹⁰¹. Enfin, à partir de 1906, les Écoles nationales de la marine marchande assurent la formation des capitaines du commerce.

Sources primaires

HARS désigne la collection de l'*Histoire de l'Académie royale des sciences*, avec les mémoires lus en séance pour l'année [...]. « Hist. » désigne la partie Histoire ; « Mém. » désigne la partie *Mémoires*.

CRAS désigne les *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences pour l'année [...]*.

BERTHOUD, Ferdinand, *Les longitudes par la mesure du temps ou Méthode pour déterminer les longitudes en mer avec le secours des horloges marines [...]*, Paris, J.-B.-G. Musier fils, 1775.

BERTRAND, Joseph, « Éloge historique de Yvon-Villarceau », *Éloges académiques*, Paris, Hachette, 1890, pp. 331-347.

BORDA, Jean-Charles (de) & al., « Opérations faites à bord de la Flore [...] », *HARS*, 1773, (Paris, 1777) ; Hist., p. 64 ; Mém., pp. 358-334.

BORDA, Jean-Charles & LÉVÊQUE, Pierre, « Rapport sur le mémoire et la carte trigonométrique présentés par le Citoyen Maingon, Lieutenant de Vaisseau », *Procès-verbaux de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, tome 1, séance du 11 vendémiaire an VII (2 octobre 1798), Paris, Gauthier-Villars, 1910, pp. 465-473.

—, *Description et usage du cercle de réflexion*, Paris, F. Didot, an XI (1802).

CAILLET, Vincent, *Traité élémentaire de navigation*, Paris, Robiquet, 1851.

CASPARI, Édouard, *Cours d'astronomie pratique. Application à la géographie et à la navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 1888.

99. La décision de supprimer les tables des distances lunaires de la *Connaissances des temps* est prise lors des séances du Bureau des longitudes des 23 et 30 janvier 1901 (archives du Bureau des longitudes, procès-verbaux, année 1901).

100. Note pour le ministre de la Marine, de la part de la Direction du personnel, mars 1887 (AN, CC4 1294, « Écoles d'hydrographie, affaires collectives, 1879-1902 ») : « Sous les dates des 19 avril 1886 et 22 février 1887, le Ministre a décidé, sur ma proposition, la fermeture de plusieurs écoles d'hydrographie [...] qui, il faut le reconnaître, occasionnent au département de la Marine des dépenses dont il ne retire presque aucun profit ».

101. Rapport sur l'ouverture d'une école navale commerciale au port de Nantes, année 1891 (archives municipales de Nantes, R1 C43, dossier n° 7). Voir aussi MARESCHAL, G., 1892.

- CORNULIER, Ernest-François (de), « Études sur les chronomètres de Marine », *Annales maritimes et coloniales*, 2^e série, II^e partie, t. II, 1831, pp. 380-402.
- DULAGUE, François-Vincent, *Leçons de navigations*, Rouen, J. Racine, 1784.
- DUBOIS, Edmond-Paulin, *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Arthus-Bertrand, 1881.
- FAYE, Hervé, « Sur une méthode nouvelle proposée par M. Littrow, pour déterminer en mer l'heure et la longitude », *CRAS*, t. LVIII, 7 mars 1864, pp. 437-449.
- , « Observatoires chronométriques pour la Marine marchande », *CRAS*, t. LXXXIII, 9 juin 1879, pp. 1143-1147.
- GUÉPRATTE, Charles, *Leçons élémentaires d'astronomie nautique et de navigation*, Brest, Lefournier et Deperiers, 1823.
- HILLERET, Gustave, *Cours de l'École navale. 2^e année. Année scolaire 1871-1872. Astronomie et navigation*, Brest, Imprimerie et lithographie Roger Père, 1871.
- LACAILLE, abbé Nicolas-Louis (de), « Diverses observations faites pendant le cours de trois différentes traversées pour un voyage au cap de Bonne-Espérance, & aux Isles de France & de Bourbon », *HARS*, 1754 (Paris, 1759), Hist., pp. 110-116 ; Mém., pp. 94-130.
- , *Éphémérides des mouvemens célestes, pour dix années, V : depuis 1755 jusqu'à 1765 [...]*, Paris, J.-J.-E. Collombat, 1755.
- « Mémoire sur l'observation des longitudes en mer », *HARS*, 1759, (Paris, 1765), Hist., pp. 166-180 ; Mém., pp. 63-98.
- , *Nouveau traité de navigation, contenant la théorie et la pratique du pilotage [...] de P. Bouguer, revu et abrégé par M. l'abbé de la Caille*, Paris, H.-L. Guérin et L. F. Delatour, 1760.
- LALANDE, Jérôme, *Connaissance des Temps [...] pour l'année 1761*, Paris, 1759.
- , *Abrégé de navigation, historique, théorique et pratique*, Paris, Dezanche, 1793.
- , *Bibliographie astronomique, avec l'histoire de l'astronomie jusqu'à 1802*, Paris, Imprimerie de la République, 1803.
- LEDIEU, Alfred, *Les nouvelles méthodes de navigation. Étude critique*, Paris, Dunod, 1877.
- LIEUSSOU, Jean-Pierre, *Recherches sur les variations de la marche des pendules et des chronomètres [...]*, Paris, Paul Dupont, 1854.
- MARESCHAL, G., « L'école de capitaines au long cours à Marseille », *La Nature*, n° 992, 4 juin 1892, pp. 7-10.
- MARGETTS, Georges, *Longitude tables for correcting the effect of parallax and refraction of the observed distance taken between the Moon and the Sun or a fixed star [...]*, Londres, Penton Steer Islington, 1790.
- MOUCHEZ, Ernest, « Note sur les variations des chronomètres observés pendant la campagne de la Capricieuse », *Nouvelles annales de la Marine et des Colonies*, t. XIII, avril et mai 1855, pp. 230-254 + planche p. 360.
- , *Notice sur les travaux scientifiques de M. Mouchez*, Paris, Gauthier-Villars, 1875.
- , « Observations relatives à l'ouvrage présenté à l'Académie par M. Yvon-Villarceau, sous le titre de Nouvelle navigation », *CRAS*, t. LXXXIV, 1^{er} semestre 1877, pp. 1207-1211 ; 1352-1353 ; 1425-1426.
- , « Envoi de l'heure de l'observatoire de Paris aux ports de commerce pour le réglage des chronomètres », *CRAS*, t. LXXXVIII, 1879, pp. 1227-1228 et 1291-1293 (répon-

se de Hervé Faye).

- RICHARD, (capitaine) L., *Essai sur les instruments et sur les tables de navigation et d'astronomie*, Brest, Anner, 1840.
- ROCHON, (abbé) Alexis, *Exposition d'une méthode facile et à la portée du commun des navigateurs pour résoudre les utiles problèmes de la latitude et de la longitude*, Brest, 1798a.
- , *Mémoire sur l'astronomie nautique et particulièrement sur l'utilité des méthodes graphiques pour le calcul de la longitude à la mer, par les distances de la Lune au Soleil [...]*, lu à l'Institut national de France le 1^{er} ventôse an VI, Paris, Prault, 1798b.
- ROUX, J., *Étude sur les chronomètres suivie d'une note sur les distances lunaires à l'usage de MM. les capitaines au long-cours (préface d'Ernest Mouchez)*, Toulon, E. Costel, 1880.
- YVON-VILLARCEAU, Antoine, « Recherches sur le mouvement et la compensation des chronomètres », *Annales de l'observatoire impérial de Paris, Mémoires*, t. VII, 1863, pp. 1-164.
- , *Notice sur les travaux de M. Yvon-Villarceau*, Paris, Gauthier-Villars, 1865.
- , « Discours de M. Yvon-Villarceau, président entrant », *Société des Ingénieurs Civils. Séance d'installation du 7 juillet 1871*, Paris, Imprimerie Viéville et Capiomont, 1871, pp. 8-15.
- , « Réponse [...] aux observations de M. Mouchez [...] », *CRAS*, t. LXXXIV, 1^{er} semestre 1877, pp. 1251-1256 ; 1421-1425 ; 1475-1481.

Bibliographie

- BELHOSTE, Bruno, « L'École du Génie de Mézières. L'alliance entre théorie et pratique », *La Recherche*, n° 300, juillet-août 1997, pp. 40-45.
- BELLEÇ, François (contre-amiral), « Borda et la navigation scientifique », in « Bicentenaire de la mort du Chevalier de Borda (avril 1999) », *Bulletin de la Société de Borda*, 2000, n° 456, Dax, pp. 5-30.
- , « Allocution du contre-amiral François Bellec », *Académie de Marine. Communications et mémoires*, n° 1, octobre-décembre 2002(a), pp. 45-53.
- , « L'héritage français. La mer a-t-elle besoin de la France ? », *Académie de Marine. Communications et mémoires*, n° 1, octobre-décembre 2002(b), pp. 63-84.
- BENNETT, Jim, « The Travels and Trials of Mr Harrison's Timekeeper », in Marie-Noëlle BOURGUET, Christian Licoppe & Heinz Otto SIBUM (eds.), *Instruments, Travels and Science. Itineraries of Precision from the seventeenth to the twentieth century*, Londres-New York, Routledge, 2002, pp. 75-95.
- BOISTEL, Guy, « Le problème des longitudes à la mer dans les principaux textes d'astronomie nautique en France autour du XVIII^e siècle », *Sciences et techniques en perspective*, II^e série, vol. 3, fasc. 2, 1999, pp. 253-284.
- , « Deux documents inédits des RR. PP. jésuites R. Boscovich et E. Pezenas concernant les longitudes en mer », *Revue d'histoire des sciences*, 54/3, 2001a, pp. 383-397.
- , *L'astronomie nautique au XVIII^e siècle en France : tables de la Lune et longitudes en mer*, thèse de doctorat d'histoire des sciences et des techniques, Université de Nantes, 2001b. Prix André-Jacques Vovard de l'Académie de Marine, 2002 ; thèse commercialisée par l'Atelier national de reproduction des thèses, 2003.
- , « Les longitudes en mer au XVIII^e siècle sous le regard critique du père Pezenas », in

- Vincent JULLIEN (éd.), *Le calcul des longitudes. Un enjeu pour les mathématiques, la mesure du temps, la cartographie et la navigation*, Rennes, PUR, 2002, pp. 101-121.
- , « Pierre Lévêque (1746-1814), mathématicien nantais, examinateur hydrographe de la Marine méconnu », *Chronique d'histoire maritime*, n° 51, juin 2003, pp. 40-58.
 - , « Les ouvrages et manuels d'astronomie nautique en France, 1750-1850 », in Annie CHARON, Thierry CLAERR & François MOUREAU (éd.), *Le livre maritime au siècle des Lumières. Édition et diffusion des connaissances maritimes (1750-1850)*, Paris, PUPS, 2004a, pp. 111-132.
 - , « Pierre-Louis Moreau de Maupertuis : un inattendu préposé au perfectionnement de la navigation (1739-1745) », *Annales de la Société d'histoire et d'archéologie de l'arrondissement de Saint-Malo*, 2004b, pp. 241-261.
 - , « Au-delà du problème des trois corps : Alexis Clairaut et ses tables de la Lune à vocation nautique (1751-1765) », *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, hors-série, 2006a, pp. 20-29.
 - , « L'enseignement de l'astronomie nautique dispensé aux marins : structures, difficultés des concepts et renouvellement méthodologique, XVIII^e-XIX^e siècles », *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, hors-série, 2006b, pp. 307-309.
 - , « Instruire les marins avec les moyens du bord : l'observatoire de Montsouris », *Les Génies de la Science*, août-novembre 2006c, pp. 28-33.
 - , « Le voyage de l'abbé Nicolas-Louis de Lacaille, apprenti naturaliste ethnographe, au cap de Bonne-Espérance », in Sophie LINON-CHIPON & Daniela VAJ (éd.), *Relations savantes. Voyages et discours scientifiques*, Paris, PUPS, 2006d, pp. 121-142.
 - , « Training Seafarers in Astronomy: Methods, Naval Schools and Naval Observatories in 18th- and 19th-century France », in David AUBIN, Charlotte BIGG & Heinz Otto SIBUM (eds.), *Heavens on Earth: Observatory Techniques during the eighteenth and nineteenth centuries*, Durham, Duke University Press, à paraître (a).
 - , « Des bras de Vénus aux fauteuils de l'Académie, ou comment Ernest Mouchez devint le premier marin directeur de l'observatoire de Paris », in David AUBIN (éd.), *L'événement astronomique du siècle ? Une histoire sociale des passages de Vénus, 1874-1882*, Nantes, Cahiers du Centre François Viète, à paraître (b).
- BOURGOIN, Jean & LACOMBE, Henri, « Le repérage dans le temps et dans l'espace, autour du livre *La longitude en mer à l'heure de Louis Berthoud et Henri Motel de Jean-Claude Sabrier* », *La Vie des Sciences*, t. 13, n° 3, 1996, pp. 213-219.
- BRET, Patrice, *L'État, l'armée, la science. L'invention de la recherche publique en France, 1763-1830*, Rennes, PUR, 2002.
- , « Le dépôt général de la Guerre et la formation scientifique des ingénieurs-géographes militaires en France (1789-1830) », 2004 : <http://halshs.ccsd.cnrs.fr/halshs-00002880>
- CARDINAL, Catherine, « Ferdinand Berthoud and Pierre Le Roy: Judgement in the twentieth century of a Quarrel Dating from the eighteenth century », in William J. H. ANDREWES (ed.), *The Quest for Longitude*, Cambridge, Harvard University, 1996, pp. 281-292.
- CHAPUIS, Olivier, *À la Mer comme au Ciel. Beautemps-Beaupré et la naissance de l'hydrographie française*, Paris, PUPS, 2000.
- DÉBARBAT, Suzanne, « Borda et l'astronomie », in « Bicentenaire de la mort du Chevalier de Borda (avril 1999) », *Bulletin de la Société de Borda*, n° 456, 2000, pp. 31-48.
- FAUQUE, Danielle, « Les écoles d'hydrographie en Bretagne au XVIII^e siècle », *Mémoires de la Société d'histoire et d'archéologie de Bretagne*, t. LXXXVIII, 2000, pp. 369-400.

- , « Le mégamètre de Charles-François de Charnières (1766-1774) », in Vincent JULLIEN (éd.), *Le calcul des longitudes. Un enjeu pour les mathématiques, la mesure du temps, la cartographie et la navigation*, Rennes, PUR, 2002, pp. 61-82.
- GAPAILLARD, Jacques, « La correspondance astronomique entre l'abbé Nicolas-Louis de Lacaille et Tobias Mayer », *Revue d'histoire des sciences*, 49/4, 1996, pp. 483-551.
- HAHN, Roger, « L'enseignement scientifique des Gardes de la Marine au XVIII^e siècle », in René TATON (éd.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 1964 (rééd. 1986), pp. 547-558.
- HERVIEU, René, *Contribution à l'étude de l'évolution des méthodes de détermination astronomique du point à la mer*, thèse de doctorat de 3^e cycle, mention sciences, Université de Rennes, 1962.
- HOWSE, Derek, « The Astronomers Royal and the Problem of Longitude », *Antiquarian Horology*, Autumn 1993, pp. 43-52.
- JULLIEN, Vincent (éd.), *Le calcul des longitudes. Un enjeu pour les mathématiques, la mesure du temps, la cartographie et la navigation*, Rennes, PUR, 2002.
- LE GUET TULLY, Françoise, « De la réorganisation du Bureau des longitudes en 1854 à la création de l'observatoire de Nice en 1879 : vingt-cinq années cruciales pour l'astronomie française », in Guy BOISTEL (éd.), « Observatoires et patrimoine astronomique français », *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, n^o 54, 2005, pp. 89-108.
- MARGUET, (commandant) Frédéric, *Histoire générale de la navigation, xv^e-xx^e siècles*, Paris, Société d'éditions géographiques maritimes et coloniales, 1931.
- MASCART, Jean, *La vie et les travaux du Chevalier Jean-Charles de Borda (1733-1799). Épisodes de la vie scientifique au XVIII^e siècle*, Paris, PUPS, 2000 (1^{re} éd. Lyon, A. Rey, 1919).
- MOUCHEZ, Robert, *Amiral Mouchez, marin, astronome et soldat, 1821-1892*, Paris, Cujas, 1970.
- PÈNE, Michel, « Jean-Charles de Borda », *Cols bleus*, n^o 2485, mai 1999.
- RANDIER, JEAN, *L'Antiquaire de Marine*, Éditions d'Outre-Mer, 1973 (Réed. Le trouver, Éditions Marcel-Didier Vrac, 1998).
- RUSSO, François (s.j.), « L'hydrographie en France aux XVII^e et XVIII^e siècles : écoles et ouvrages d'enseignement », in René TATON (éd.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 1964 (rééd. 1986), pp. 419-440.
- SAUZEREAU, Olivier, *Nantes au temps de ses observatoires*, Nantes, Coiffard, 2000.
- SOBEL, Dava, *Longitude. The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*, New York, Walker and Company, 1995 ; trad. fr. Paris, J.-C. Lattès, 1996.
- TURNER, Anthony J., « France, Britain and the Resolution of the Longitude Problem in the 18th century », *Vistas in astronomy*, vol. 28, 1985, pp. 315-319.
- VANVAERENBERGH, Michael & IFLAND, Peter, *Line of Position Navigation. Sumner and Saint-Hilaire, the Two Pillars of Modern Celestial Navigation*, Bloomington, Unlimited Publishing, 2003.
- VERGÉ-FRANCESCHI, Michel, « Un enseignement éclairé au XVIII^e siècle : l'enseignement maritime dispensé aux gardes », *Revue historique*, 276/1, 1986, pp. 29-55.
- , *La Marine française au XVIII^e siècle*, Paris, SEDES, 1996.