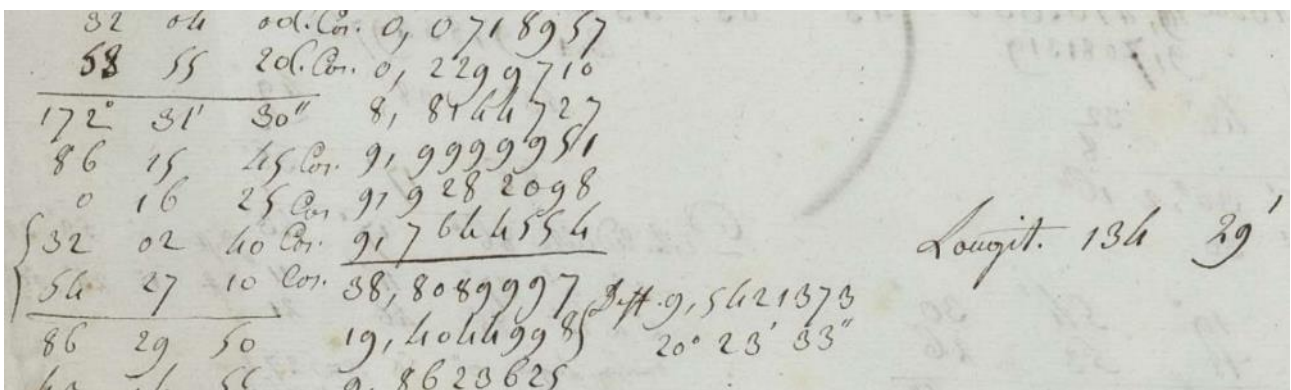




Navigateurs toulonnais en quête des longitudes : Chabert de Cogolin, d'Entrecasteaux, Dumont d'Urville

Philippe Dutarte, inspecteur d'académie retraité
Association Sciences en Seine et Patrimoine, Rouen

Didier Trotoux, IREM, Université de Caen Normandie
Association Sciences en Seine et Patrimoine, Rouen



Ce texte correspond à une conférence accueillie par le Service historique de la défense (SHD) à la Corderie de Toulon, dans le cadre des journées nationales 2025 de l'Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public (APMEP).

Résumé

Entre le voyage de Chabert de Cogolin en 1750 et celui de Dumont d'Urville en 1826, se mesure l'évolution des techniques de détermination des longitudes avec l'imposition progressive des chronomètres de marine.

Lors de son voyage sur les côtes du Canada en 1750-1751, Chabert de Cogolin mesure les longitudes à terre en utilisant des méthodes astronomiques, notamment l'observation des satellites de Jupiter et les distances lunaires. Il est ensuite l'un des premiers à tester et à préconiser l'utilisation des chronomètres de marine lors de la guerre d'indépendance des Etats-Unis, en 1778-1779 lors de la campagne du comte d'Estaing au départ de Toulon, puis en 1781-1782 lors de celle du comte de Grasse.

Le voyage d'Entrecasteaux, parti de Toulon à la recherche de La Pérouse entre 1791 et 1794, voit l'apogée des méthodes astronomiques de recherche de longitudes. Le cercle à réflexion de Borda est employé à la méthode des distances de la Lune au Soleil et aux étoiles. La comparaison est faite avec les montres marines et permet leur correction.

Pendant le voyage de Dumont d'Urville, de 1826 à 1829, les longitudes sont essentiellement déterminées à l'aide des chronomètres de Marine mais on utilise encore les différentes mesures des navigateurs précédents et les longitudes sont alors estimées à l'aide de moyennes.

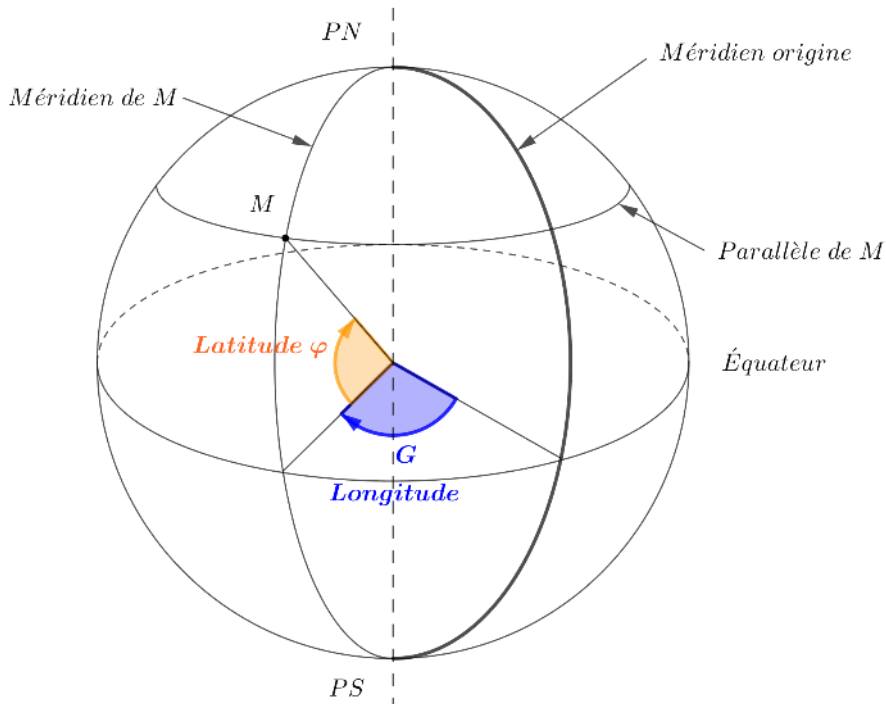
Plan

1. Le problème des longitudes.....	page 3
2. Chabert de Cogolin, du quart de cercle à l'horloge de marine.....	page 7
3. D'Entrecasteaux à l'âge d'or du cercle à réflexion.....	page 34
4. Dumont d'Urville, quand les chronomètres s'imposent.....	page 53
Conclusion.....	page 59

1. Le problème des longitudes

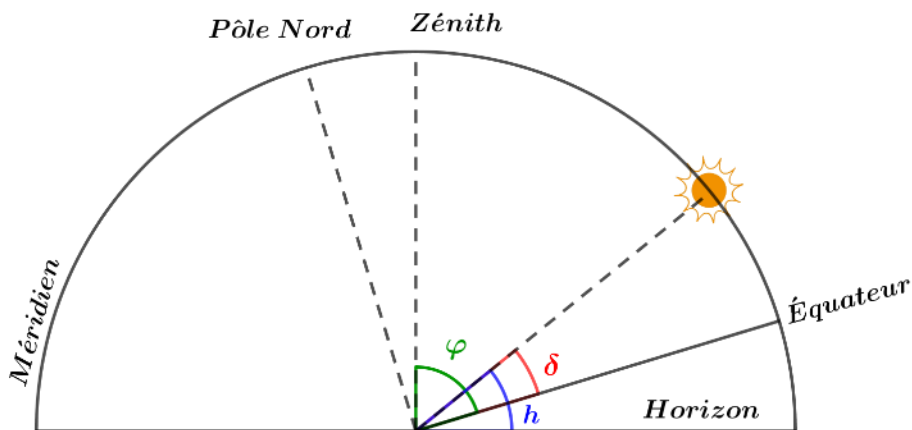
1.1 Se repérer en mer

Le repérage en mer se fait par latitude (Nord/Sud) et longitude (Est/Ouest).



Repérage sur la sphère par latitude et longitude.

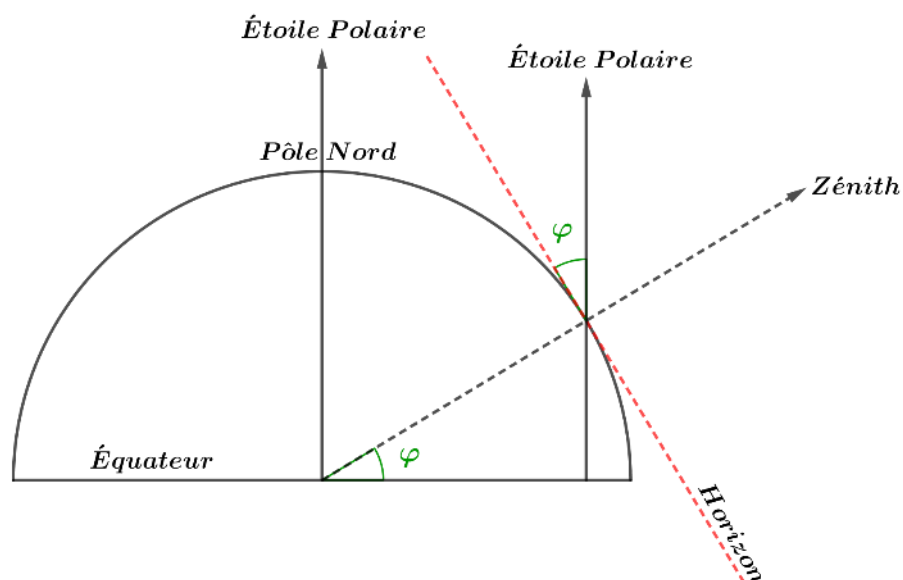
La détermination de la latitude a été connue très tôt, par des observations astronomiques assez simples. De jour, elle peut être déterminée en mesurant la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon à midi, connaissant sa déclinaison donnée par les tables.



Latitude par la hauteur du Soleil à midi.

$$\varphi = (90^\circ - h) + \delta$$

De nuit, la latitude est fournie par la hauteur du pôle, correspondant approximativement, dans l'hémisphère nord, à la hauteur de l'étoile polaire au-dessus de l'horizon.



Latitude par la hauteur de l'étoile polaire.

À partir du xv^e siècle, la mesure de la latitude en mer est bien établie.

En revanche, la détermination de la longitude en mer ne fut résolue, dans la pratique, avec une précision suffisante, qu'à partir de la deuxième moitié du xviii^e siècle. Elle est intimement liée à la mesure du temps, la Terre effectuant une rotation de 360° de longitude en 24 heures.

En 1707, après avoir quitté le siège de Toulon pour ramener sa flotte en Angleterre, l'amiral Cloudesley Shovell, navigue par temps de brouillard au nord des îles Scilly, pensant se trouver plus au large. La flotte s'échoue et près de 1400 marins périssent noyés. C'est le désastre naval des Sorlingues¹. Cet accident marque les esprits en Angleterre. Conjugué à la volonté britannique de suprématie maritime, il précipite les choses. Le parlement britannique promulgue le « *Longitude Act* », en juillet 1714.

Le *Longitude Act* énumérait trois prix² :

- 20 000 £ pour une méthode de détermination de la longitude à un demi-degré près (30 milles soit 56 km à l'équateur) ;
- 15 000 £ pour une méthode précise aux deux tiers de degré près ;
- 10 000 £ pour une méthode précise à un degré près.

Il instituait également le « *Board of longitude* », un jury composé de savants, d'officiers de marine et de fonctionnaires du gouvernement, qui était maître de l'attribution des prix. Pour juger de la fiabilité d'une proposition, il fallait que celle-ci soit expérimentée sur un bateau de Sa Majesté faisant route sur l'océan de la Grande-Bretagne vers n'importe quel port des Antilles que choisiraient les commissaires sans perdre sa longitude au-delà des limites assignées³.

¹ Le naufrage des îles Scilly n'était probablement pas dû qu'à une erreur de longitude mais à une erreur globale de position, y compris en latitude, suite au mauvais temps persistant empêchant les mesures astronomiques.

² Des souverains avaient promis des récompenses pour la résolution du problème des longitudes : Philippe II d'Espagne, en 1567, son fils Philippe III d'Espagne en 1598 et les États Généraux des Provinces Unies vers 1600.

³ On peut consulter Philippe Despoix, *Mesure du monde et représentation européenne au XVIII^e siècle : Le programme britannique de détermination de la longitude en mer*, Revue d'histoire des sciences, 2000.

Les enjeux d'un calcul précis de la longitude étaient d'assurer la sécurité des navires, de permettre le développement d'une cartographie maritime fiable, de réaliser des gains de temps sur les traversées par une navigation plus précise et d'accroître la domination politique sur une grande partie du monde qui restait à découvrir, cartographier, occuper et exploiter⁴.

1.2 Les méthodes

Le 11 juin 1714, Newton écrit :

« Pour déterminer les longitudes en mer, plusieurs méthodes ont été élaborées, valables en théorie, mais difficiles à mettre en œuvre.

L'une est d'utiliser une montre pour garder le temps exactement. Mais, en raison du mouvement d'un navire, de la variation des températures, de l'humidité et de la sécheresse, et de la différence de gravité selon les latitudes, une telle montre n'a pas encore été inventée.

Une autre consiste à observer les éclipses des satellites de Jupiter. Mais, en raison de la longueur des télescopes nécessaires pour les observer et des mouvements d'un navire en mer, ces éclipses ne peuvent pas encore être observées.

Une troisième consiste à observer la position de la Lune. Mais sa théorie n'est pas encore assez précise à cette fin. Elle est suffisamment précise pour déterminer sa longitude à deux ou trois degrés près, mais pas à un degré près...».

La différence de longitude entre deux points du globe est un angle horaire, une relation géographique entre les heures solaires locales. La Terre tourne de 360° en 24 heures donc de 15° en une heure de temps ou de 15' en une minute.

Cette relation entre l'espace et le temps a ouvert deux voies de recherche :

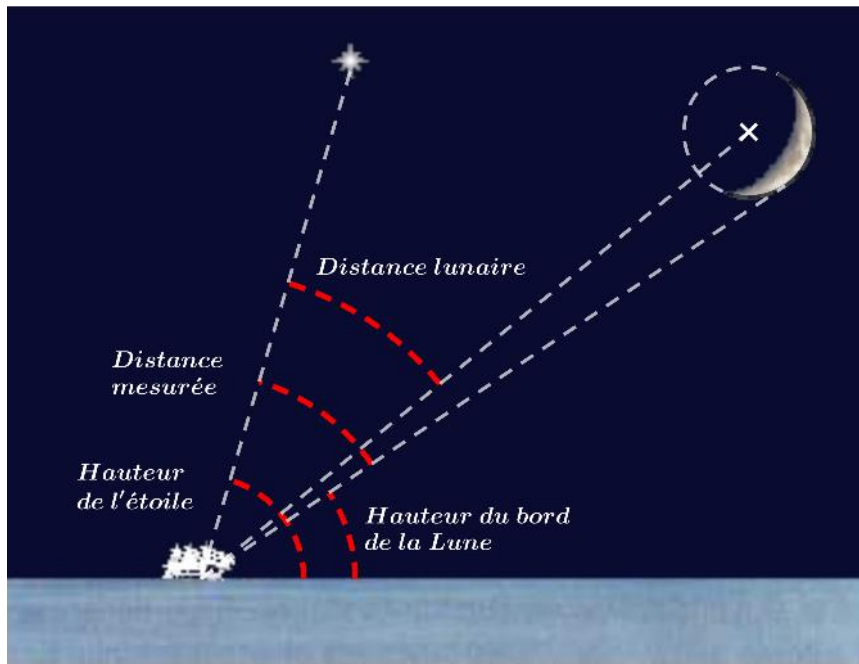
- la voie horlogère : construire un garde-temps infallible qui permettrait de transporter l'heure du port de départ ou du méridien origine afin de la comparer à l'heure solaire locale ;
- la voie astronomique : comparer l'heure locale d'une conjonction astronomique à celle d'un observatoire de référence c'est-à-dire utiliser une planète ou une étoile comme horloge céleste.

La voie horlogère supposait la construction d'un garde-temps inédit et relevait essentiellement du domaine de l'artisan. La voie astronomique nécessitait un dispositif d'observation adapté au déplacement nautique, mais surtout l'intermédiaire d'une discipline déjà mathématisée, l'astronomie, pour prévoir les mouvements des corps célestes envisagés.

Les deux branches de la résolution du problème allaient cependant bientôt se faire face dans une sévère concurrence opposant le côté artisanal de la construction de nouvelles machines d'une part, et le côté savant de l'observation et du calcul mécanique de l'autre.

⁴ En France, en 1715, l'Académie Royale des Sciences crée un prix Rouillé favorisant les recherches en astronomie et tout ce qui peut faciliter la navigation et le commerce.

Le principe de la méthode des distances lunaires consiste à utiliser la Lune comme horloge céleste en mesurant la distance angulaire apparente entre une étoile, une planète ou le Soleil et le bord éclairé de la Lune.



Mesure d'une distance lunaire.

Sa mise en œuvre nécessite de réaliser trois observations-mesures simultanées : la hauteur de l'étoile au-dessus de l'horizon, la hauteur du bord éclairé de la Lune et la distance angulaire apparente entre l'étoile et le bord éclairé de la Lune.

L'observateur doit ensuite effectuer des corrections à cause de la réfraction atmosphérique, qui a tendance à remonter l'étoile dans le ciel, et de la parallaxe horizontale de la Lune, qui tend à descendre la Lune sur l'horizon du fait de sa proximité avec l'observateur.

Il obtient alors une « distance vraie », qui, comparée à la valeur tabulée pour la même heure au méridien de référence dans les éphémérides, donne une valeur approchée de la différence de longitude entre le méridien de référence et le navire.

La Lune se déplace suffisamment rapidement autour de la Terre pour qu'un observateur puisse aisément la voir se déplacer dans le ciel parmi les étoiles ou le Soleil. Sa révolution sidérale (par rapport aux étoiles fixes) étant d'environ 27 jours $\frac{1}{3}$, elle se déplace de $13,17^\circ$ par jour, soit $0,55^\circ$ par heure (environ son diamètre angulaire en une heure) par rapport à une étoile. La période synodique de la Lune (par rapport au Soleil) étant d'environ 29 jours $\frac{1}{2}$, elle se déplace de $12,2^\circ$ par jour, soit $0,51^\circ$ par heure par rapport au Soleil. Une heure correspond donc à une variation de distance lunaire d'environ $0,55^\circ$ par rapport à une étoile et d'environ $0,51^\circ$ par rapport au Soleil. Or une heure correspond à une variation de longitude de 15° , d'où un facteur d'environ 30 entre la variation de distance lunaire et la variation de longitude. Ainsi, une erreur dans la mesure de la distance entre la Lune et une étoile (ou au Soleil) conduit à une erreur sensiblement 30 fois plus grande sur l'heure et la longitude qui en résulte : pour une précision de $30'$ d'angle en longitude, il faut des tables de la Lune et une mesure de distance lunaire précises à $1'$ d'angle.

2. Chabert de Cogolin, du quart de cercle à l'horloge de marine

2.1 Un navigateur savant toulonnais

Joseph Bernard de Chabert de Cogolin naît le 28 février 1724 à Toulon. Il fait partie de ceux que l'on désigne comme les « officiers savants » du siècle des Lumières.



Portrait du marquis de Chabert-Cogolin (1724-1805)
Antoine Vestier (1740-1824)
Musée national de la Marine.

Sur le tableau de Vestier, on le voit en fin de carrière, couvert d'honneurs : vice-amiral, il arbore les médailles de l'ordre de Saint-Louis (créé par Louis XIV et ancêtre de la légion d'honneur), de celui de Cincinnatus (créé par Georges Washington) et de l'ordre hospitalier de Saint-Lazare de Jérusalem. Dans le domaine scientifique, il est membre de l'Académie de Marine, de l'Académie des Sciences et chef adjoint du Dépôt des cartes et plans de la Marine, ancêtre de l'actuel SHOM (Service hydrographique et océanographique de la Marine), responsable, entre autres, de l'édition des cartes marines.

Chabert effectue sa formation à Toulon. Il y est nommé garde de la Marine le 14 juillet 1741 et suit les cours d'hydrographie au séminaire des jésuites de la ville, autrefois situé dans l'actuelle rue Jean Jaurès (à l'époque rue Royale) et dont seul subsiste le porche d'entrée déplacé à la corderie.



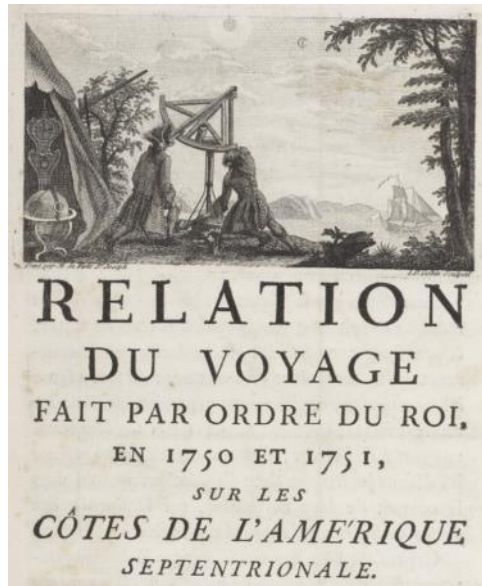
Le Port neuf ou l'Arsenal de Toulon, pris dans l'angle du Parc d'Artillerie – 1755
École de Claude-Joseph Vernet – musée de la Marine.
Détail pouvant montrer des élèves officiers, gardes de la Marine.

Chabert reçoit le grade d'Enseigne en avril 1748 et est retenu à Paris par le ministre, le comte de Maurepas, pour qu'il y apprenne l'astronomie, de façon à pouvoir l'enseigner aux officiers de marine.

Deux ans plus tard, il est désigné pour aller à l'île Royale (actuelle île du Cap-Breton) afin de cartographier les côtes de l'Acadie. Son expédition est organisée par Roland-Michel Barrin de La Galissonnière, alors chef du Dépôt des cartes et plans de la Marine, à Paris.

Chabert arrive à Louisbourg en août 1750. Il est de retour à Toulon le 7 novembre 1751 et est attaché au Dépôt de la Marine, sous la direction de La Galissonnière. Il y prépare ses relevés, en vue de les publier. Ils paraissent en 1753 sous le titre de *Voyage fait par ordre du roi en 1750 et 1751, dans l'Amérique septentrionale* [...]. L'ouvrage comporte deux parties : la première constitue un abrégé de son journal, accompagné de cartes ; la seconde est consacrée à ses observations astronomiques.

2.2 Voyage au Canada 1750-1751



Joseph-Bernard de Chabert de Cogolin

Voyage fait par ordre du Roi en 1750 et 1751 dans l'Amérique septentrionale – 1753.

Préparation du voyage

Un brouillon autographe (Archives nationales, Marine III 1, 1JJ, registre n° 1) de La Galissonnière témoigne des préparatifs de l'expédition de Chabert au Canada⁵ :

« Le Sr de Chabert me paraissant suffisamment instruit pour les observations astronomiques dont on a besoin et devant être bientôt pourvu des instruments nécessaires, il doit ce me semble être envoyé dans le port où s'arme le vaisseau de l'île Royale assez tôt pour s'embarquer. »

Directeur du Dépôt de la Marine depuis le 1^{er} janvier 1750, La Galissonnière favorise les échanges avec les scientifiques, notamment Pierre Bouguer, Pierre-Charles Le Monnier et Nicolas-Louis de Lacaille, dont il organise la mission astronomique dans l'hémisphère sud d'octobre 1750 à juin 1754. C'est Le Monnier, qui a participé à l'expédition de Maupertuis en Laponie, qui instruit Chabert en matière d'astronomie comme l'indique le courrier suivant de Chabert à La Galissonnière⁶ :

« J'ai une grâce à vous demander, c'est que mes observations soient données à examiner à M. Le Monnier. Vous savez, Monsieur, que c'est de lui que je tiens quelques connaissances que j'ai d'astronomie et je serais charmé par cette raison qu'il ait les prémices de l'usage que je tâche d'en faire pour notre métier, dont il a bien à cœur l'avancement. »

⁵ Cité par Roland Lamontagne - *L'expédition hydrographique de Chabert au Canada* - Revue d'histoire des sciences et de leurs applications, tome 17, n°2, 1964. pp. 115-119, en ligne.

⁶ Chabert à La Galissonnière, Louisbourg, le 12 décembre 1750, Archives nationales, cité par Roland Lamontagne.

Au début de la *Relation du Voyage fait par ordre du Roi en 1750 et 1751 dans l'Amérique septentrionale*, Chabert témoigne de l'intérêt de cette formation en astronomie :

« M. le comte de Maurepas auquel je rendis compte du dessein que j'avais de m'instruire des principes d'astronomie, voulut bien en protéger l'exécution, & l'étude à laquelle je me livrai devint d'autant plus satisfaisante pour moi, qu'indépendamment du fruit personnel que j'en espérais, j'avais la perspective des grands effets que devait produire l'application des officiers de la Marine à cette science : des voyages fréquents, nécessaires d'ailleurs, leur facilitent les moyens d'observer, & c'est d'eux que l'on doit attendre les plus rapides progrès de la géographie & de la navigation, comme en effet je le vois avec plaisir se vérifier tous les jours.

J'eus l'ordre de demeurer à Paris pour exécuter mon dessein ; & lorsque j'eus acquis les connaissances nécessaires, je ne pensai qu'à en faire l'application aux lieux même qui m'en avaient inspiré l'idée [le Canada].

Je présentai pour cela au ministre, dans le mois d'août 1748, un projet sur les observations & les opérations qu'il me paraissait le plus nécessaire d'y faire, & sur les moyens de l'exécuter : il l'approuva & me promit de m'y employer dès que les circonstances le permettraient, j'en attendis avec impatience l'occasion au port de Toulon, où je continuai mes services, elle ne tarda point à s'offrir, tout concourait à me la procurer. »

Est associé à Chabert le chevalier Eléonor Cécile de Diziers-Guyon, alors garde de la Marine, pour l'assister dans ses opérations. Chabert et Diziers-Guyon sont figurés mesurant une distance lunaire sur le frontispice de la relation du voyage.

Les objectifs de la mission

L'objectif principal de la mission de Chabert est l'amélioration des cartes marines dans le secteur de Louisbourg, porte d'entrée de la Nouvelle France et du golfe du Saint-Laurent, particulièrement en longitude.

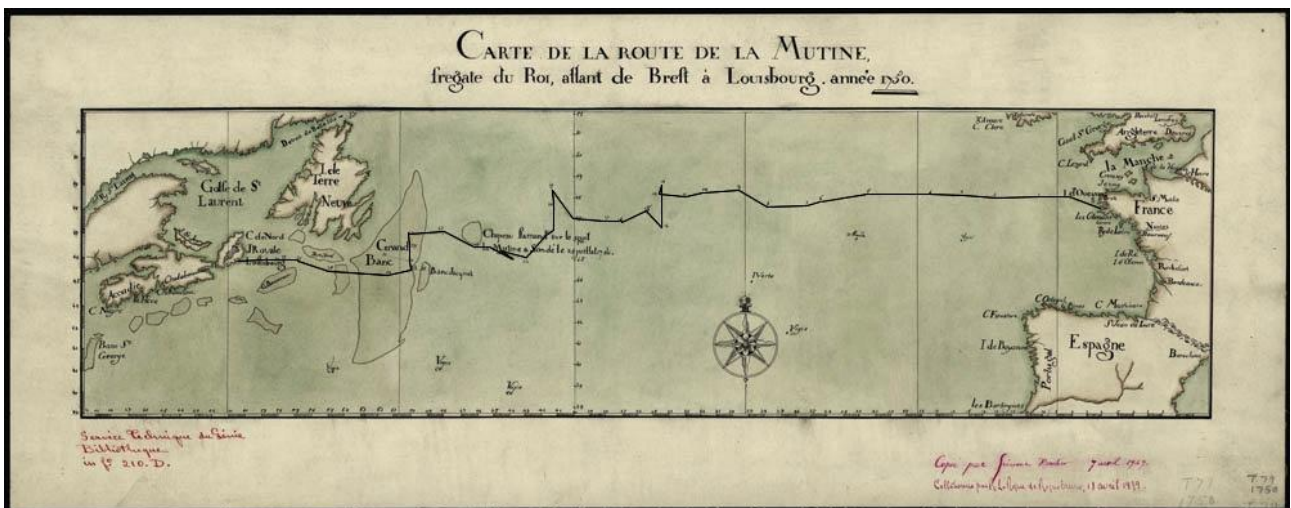
« Il est peu de pays où il fût aussi nécessaire de faire des observations astronomiques, que dans la partie de l'Amérique septentrionale, qui comprend l'Acadie, l'île Royale & l'île de Terre-neuve ; il suffit, pour s'en convaincre, de jeter les yeux sur les cartes qui ont été jusqu'à présent le plus en usage, & de voir leur peu de ressemblance : à la vérité, étant toutes fondées sur des estimates, elles ne pouvaient guère s'accorder ; mais il n'en était pas moins surprenant que dans certains endroits leurs différences montassent à près de neuf degrés de longitude, ou encore 120 lieues [468 km], comme on le trouve en effet entre les cartes anglaises et hollandaises, dans la position de la côte orientale de l'île de Terre-neuve, ce qui fait plus d'un sixième de sa distance aux côtes de l'Europe. [...] bien des conséquences fâcheuses pouvaient résulter d'une telle incertitude ; il y a même grande apparence que la perte de plusieurs vaisseaux, entre autres celle de la flûte du Roi le Chameau, en 1725, n'eut point d'autre cause. »

Le naufrage du *Chameau*, chargé d'or et d'argent pour financer la colonie de la Nouvelle France, eut un retentissement certain à l'époque. En 1965, le trésor du *Chameau* est découvert à environ 30 mètres de profondeur. Des centaines de pièces d'or et d'argent de Louis XV sont remontées.

Au premier rang des instructions du roi figure la détermination de la longitude de Louisbourg.

« J'y reçus [à Brest] mon Instruction du Roi, par laquelle, " Sa Majesté ayant résolu de faire faire des opérations géométriques & astronomiques, pour constater sur les cartes les positions de quelques points de l'Amérique septentrionale, me chargeait de cette mission, & me laissant le choix des observations que j'y devais faire, me faisait seulement expliquer par un Mémoire particulier qui y était joint, les principaux objets de celles dont on avait besoin ". [...] Tel est le précis de cette Instruction ; j'y vais joindre le Mémoire particulier auquel je devais me conformer. " Observer la longitude de Louisbourg & sa latitude. Déterminer la distance & le gisement depuis l'entrée de Louisbourg jusqu'à la pointe de l'île de Scatari [...] ". ».

De Brest à Louisbourg à bord de *La Mutine*



Carte anonyme possiblement dressée par ou pour l'ingénieur Louis Franquet, arrivé à Louisbourg à bord de *La Mutine* le 9 août 1750, peut-être par Pierre-Jérôme Boucher. Collection nationale de cartes et plans – Gouvernement du Canada (en ligne).

La Mutine, frégate commandée par le marquis de Choiseul-Praslin, part de Brest le 29 juin 1750.

« Nous appareillâmes de la rade de Brest le 29 de juin 1750, à trois heures après midi, avec un petit vent d'est-nord-est, qui fraîchit à mesure que nous fûmes sous voile, & qui continuant de nous être favorable pendant huit jours, nous fit faire deux cent cinquante lieues en droite route, & avec un très beau temps. »

La Mutine est une frégate de 24 canons de 6 livres (poids des boulets) construite à Brest en 1744. C'est un trois-mâts de guerre petit et rapide.

Les instruments scientifiques à bord de La Mutine

Dans la relation du voyage, Chabert indique quels sont les principaux instruments scientifiques embarqués.

« Ils [les instruments] consistaient en un très bon quart de cercle, que M. de Mairan eut la bonté de me céder, & qu'il avait fait faire sous ses yeux par le sieur Langlois, de près de deux pieds & demi [80 cm] de rayon, à lunette, divisé par des transversales et par points, & garni d'un micromètre à la façon de M. de Louville, avec une seconde lunette pour la mesure des angles, & plusieurs des choses qu'on a imaginé pour sa commodité ; une pendule à secondes, des lunettes de plusieurs grandeurs, & divers autres instruments, tant pour les opérations géométriques que pour la navigation, dont je renvoie le détail aux occasions où j'en ai fait usage. »

Un « État des dépenses faites par M. de Chabert à Louisbourg », présent aux archives nationales, permet de préciser la valeur des instruments mis à disposition par l'état :

« Achat d'instruments à Paris et leur entretien : 2 lunettes de 18 pieds, une de 9 pieds, une de 7, un grand micromètre, un octant, un réveil, un déclinatoire, une règle à pinnules, etc... 1098 lt 4 s. »
(environ 12 400 € – AN MAR/B/3/511 – Correspondance de M. Hocquart, intendant à Brest, 14 juin 1752.)

Pour comparaison, le total des dépenses engagées par le roi pour la mission est 7668 livres 15 sous.



Le principal instrument, et sans doute le plus coûteux, est un quart de cercle de deux pieds et demi (80 cm) possédant deux lunettes et un micromètre de Louville, réalisé par Langlois. Cet instrument s'utilise à terre pour mesurer des angles.

Le micromètre était une invention récente améliorant la précision du quart de cercle. Louville en fait la présentation à l'Académie des sciences en 1714.

« Comme l'astronomie moderne doit la meilleure partie de la perfection où elle est aujourd'hui aux instruments dont elle se sert présentement, inconnus aux anciens, dont les principaux sont le quart de cercle, pour mesurer les angles & les hauteurs que font les astres tant entre eux qu'avec l'horizon, & la pendule d'observation, pour mesurer exactement le temps, on ne saurait rendre un plus grand service à l'astronomie que d'ajouter à ces deux instruments toute la perfection qu'il leur manque encore [...]. Je ne parlerai ici que de ce que j'ai fait pour le quart de cercle. »

Louville décrit le fonctionnement de son micromètre.

« Cet instrument est à peu près fait comme les micromètres ordinaires, il fait mouvoir un filet de soie horizontal qui rase le filet fixe sans le toucher, par le moyen d'une vis dont le pas doit être le plus fin, & le plus égal qu'il sera possible ; on comptera combien il faudra de tours de vis pour faire une minute, ou du moins de parties marquées par l'aiguille ou index qui tourne avec la vis sur le cercle supérieur divisé en 100 ; l'on en fera une table, afin d'avoir tout d'un coup la valeur de l'angle que l'on cherche, ainsi quand on voudra prendre la hauteur du bord supérieur du soleil à midi, par exemple, on placera le quart de cercle en sorte que le filet horizontal fixe de la lunette soit à peu près sur le limbe supérieur du soleil, on ira voir sur le limbe où tombe le cheveu ; & comme il arrivera rarement qu'il se trouve précisément sur le milieu d'un point, on le mettra sur le point le plus proche, en suite de quoi comme le filet fixe ne se trouvera plus sur le limbe supérieur du soleil, on fera mouvoir le filet mobile, en tournant la vis du micromètre, jusqu'à ce qu'il rase le bord du soleil, ce qu'il est facile de faire avec tant de précision que l'on voudra, & l'on aura par le moyen de la table & du nombre de parties égales qu'aura fait l'index, la quantité de minutes & de secondes de degré qu'il faudra ajouter ou soustraire de la hauteur marquée par le cheveu sur le limbe de l'instrument. »



Quart de cercle à deux lunettes et micromètre, vers 1785
Musée des Arts et métiers.



Sur la gravure de titre du *Voyage fait par ordre du Roi en 1750 et 1751 dans l'Amérique septentrionale* apparaît la lunette astronomique, de près de 5 à 6 mètres, utilisée par Chabert avec une échelle permettant de la soutenir.

Un dispositif, sans doute analogue à celui utilisé par Chabert, est visible dans la salle octogonale de l'Observatoire de Greenwich. Une extrémité de la lunette repose sur un barreau de l'échelle, tandis que l'autre extrémité s'appuie sur un trépied réglable en hauteur.



National Maritime Museum, Greenwich.

Les lunettes pouvaient atteindre de très grandes dimensions, comme en témoigne Fontenelle dans l'éloge qu'il fait du chevalier de Louville⁷.

« On aura peut-être peine à croire combien dans ce siècle-ci, en France, à 30 lieues de Paris, un astronome, avec tout son équipage & ses pratiques ordinaires, fut un spectacle étonnant aux yeux de tout le canton de Carré. [...] Un mât de 30 ou 35 pieds qu'il a planté dans son jardin pour y attacher une lunette de 30 pieds, est destiné à lui faire voir les étoiles de plus près, & plusieurs l'ont vu se faire hisser au haut de ce mât, & y rester longtemps. Les honnêtes gens du pays, trop éclairés pour donner dans la magie, viennent de toutes parts lui demander quel temps il fera ou si la récolte sera abondante. »

⁷ Éloge de Jacques Eugène d'Allonville Chevalier de Louville par Fontenelle – 1732.



Une pendule à seconde est visible sous la tente. Il semble s'agir d'un « régulateur de plancher » de style Louis XV. Elle fera l'objet de toutes les attentions pour connaître le plus précisément possible l'heure locale, comme en témoigne Chabert.

« Je commençai à prendre des hauteurs correspondantes du Soleil, & je répétai la même opération tous les jours de temps clair, pour me bien assurer de la marche de la pendule, & me trouver toujours en état de savoir l'heure à chaque observation que j'aurais faite : l'assiduité de ce soin, souvent superflue dans tout autre pays, & très pénible dans celui-ci, était cependant indispensable, parce que le froid excessif arrêtait souvent la pendule, quoique son mouvement fût d'ailleurs bon et uniforme. »

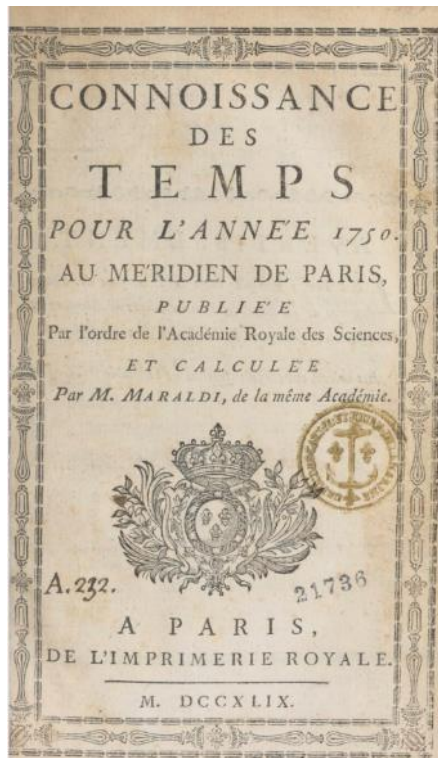
Ces horloges, indispensables pour toutes les déterminations de longitude, sont équipées d'un pendule qui bat la seconde ou la demi-seconde. Malgré leur relative fidélité, elles doivent être vérifiées régulièrement et plus particulièrement avant et après chaque observation d'une éclipse d'un satellite de Jupiter ; la précision de la mesure des longitudes en dépend fortement.

Chabert dispose également de tables et d'éphémérides pour prévoir les phénomènes astronomiques.

« J'eus dès lors soin de prévoir tous les phénomènes propres à déterminer la longitude ; la Carte du Zodiaque publiée à Londres par Senex, me fut pour cela d'un grand secours, en me faisant connaître quand il devait y avoir quelque éclipse ou appulse d'étoile par la lune, qui ne fût point annoncée dans la Connaissance des Temps, ni dans les Ephémérides, je m'assurai ainsi journellement de l'état du ciel. »

L'appulse désigne le rapprochement apparent le plus serré entre deux astres, généralement le rapprochement entre la Lune et une planète ou une étoile.

John Senex publie en 1718 une carte des constellations du zodiaque en trois longues bandes organisées verticalement sur deux pages. Chaque bande montre 8 degrés du ciel de part et d'autre de l'écliptique. Le travail est d'une grande précision car basé sur l'édition non autorisée de Halley (1712) du catalogue des étoiles de Flamsteed, l'astronome royal de Greenwich (Flamsteed refusa de publier son travail durant toute sa vie).



Eclipses des Satellites de Jupiter.			II. SAT.	
	J.	H. M.	J.	H. M.
I. SAT.			1.	5. 0. S.
			5.	6. 17. M.
			8.	7. 35. S.
			12.	8. 52. M.
1.	0. 51. S.		15.	10. 8. S.
3.	7. 29. M.		19.	11. 26. M.
5.	1. 46. M.		23.	0. 43. M.
6.	8. 15. S.		26.	1. 59. S.
8.	2. 43. S.		30.	3. 16. M.
			III. SAT.	
10.	9. 11. M.		3.	7. 31. S. E.
12.	3. 39. M.		10.	1. 30. S. E.
13.	10. 7. S.		18.	1. 36. M. I.
15.	4. 34. S.		18.	3. 28. M. E.
17.	11. 3. M.		25.	5. 34. M. I.
19.	5. 31. M.		25.	7. 28. M. E.
20.	11. 59. S.			
22.	6. 37. S.			
24.	0. 55. S.			
26.	7. 23. M.			
28.	1. 51. M.			
29.	8. 19. S.			
31.	2. 47. S.			

« Connaissance des temps pour l'année 1750. ».

L'observatoire de Louisbourg

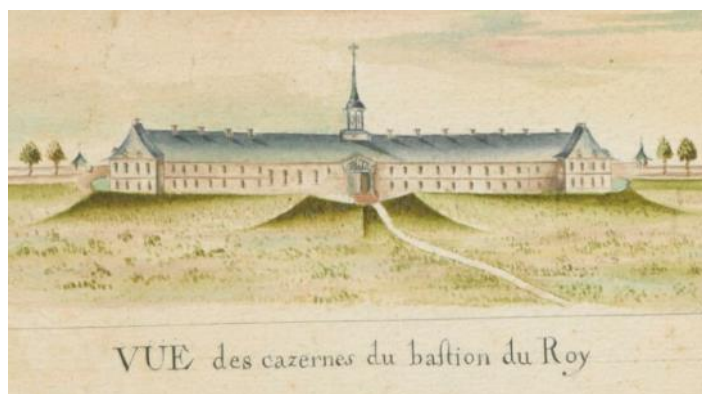
Chabert se fait construire un observatoire sur le bastion du Roi de la forteresse de Louisbourg.

« Je n'avais trouvé dans la ville aucune maison où l'on pût commodément observer, la rigueur du froid ne me permettait cependant plus de travailler en plein air ; je pris le parti de faire construire sur le flanc méridional du bastion du Roi, auprès duquel j'étais logé, une cabane de charpente couverte de planches, pour me servir d'observatoire. »

Les documents historiques permettent de retrouver précisément l'endroit.



Plan et vues de Louisbourg.



Vue des « cazernes » du bastion du Roy – Gallica.

Chabert décrit ses conditions de travail à Louisbourg dans une lettre adressée à La Galissonnière datée du 12 décembre 1750⁸.

« J'ai l'honneur de vous rendre compte des opérations que j'ai faites cette année [...] et de vous proposer plusieurs moyens de les continuer l'été prochain, mais j'ai à vous prier [...] d'avoir la bonté de me procurer de meilleurs moyens de les exécuter que cette première année, en vous exposant les obstacles que j'y trouve souvent et qui non seulement me retardent et m'empêchent de les faire mais même les rendent avec cela plus coûteuses au Roi par le manque d'ordre précis de me fournir toutes les choses qui me sont nécessaires soit pour mon travail, ou mes besoins journaliers. Je vois à regret que parce qu'on n'a pas cet ordre [...] que de fréter un bâtiment pour me transporter dans les différents endroits, et de me donner quelque argent de la caisse, si j'en ai besoin, on me refuse tous les jours bien des choses qui coûteraient beaucoup moins au Roi si elles m'étaient fournies de ses magasins ou achetées pour son compte, cet inconvénient m'a mis dans la nécessité de prendre de l'argent, soit pour acheter des provisions pour la nourriture de M. de Diziers, la mienne, celle du pilote et nos deux domestiques dans le bateau, ou aujourd'hui pour acheter fort chèrement des choses absolument nécessaires pour se garantir des rigueurs de l'hiver [...]. »

Chabert effectue deux observations le 20 décembre 1750 en vue de déterminer la longitude de Louisbourg : mesure de la distance angulaire de la Lune au Soleil le matin et émergence du premier satellite de Jupiter le soir.

« Le ciel s'éclaircit enfin le 19 de décembre, & je poursuivis mes observations ; nous mesurâmes le 20 au matin, M. de Diziers & moi, avec le quart de cercle, l'angle de distance entre le bord éclairé de la Lune & celui du Soleil qui en était le plus proche : cette opération fut répétée trois fois avec soin & par un très beau temps, mais quoiqu'elle fût propre à donner la longitude, c'était par d'autres plus décisives [...] que je voulais déterminer la longitude de Louisbourg, & je ne fis celle-ci que par précaution, pour y avoir recours au défaut des autres que je recherchais, ou pour me mettre à portée de vérifier le degré d'exactitude de cette méthode.

⁸ Cité par Roland Lamontagne - *L'expédition hydrographique de Chabert au Canada* - Revue d'histoire des sciences et de leurs applications, tome 17, n°2, 1964.

Le soir du même jour, j'observai l'émersion du premier satellite de Jupiter, le temps était alors couvert à Paris, où cette éclipse aurait été visible ; mais l'observation correspondante en fut faite à Madrid par le P. Vendlingen, & la comparant avec la mienne, on trouve le méridien de Louisbourg à 4 heures 8 minutes & demie de distance de celui de Paris.

L'heure de mes deux observations fut exactement conclue par des hauteurs prises avant & après le jour où elles furent faites ; je me hâtai d'en transcrire les détails pour profiter du dernier vaisseau qui partit pour la France le 29 de décembre, & l'hiver déjà commencé ne nous laissa plus d'espérance d'en voir arriver avant quatre mois. »

Longitude de Louisbourg par les satellites de Jupiter le 20 décembre 1750

L'observation simultanée de l'immersion ou de l'émersion d'un satellite de Jupiter de l'ombre de cette dernière permet, en calculant la différence des heures locales des instants d'observation, de déterminer la différence de longitude des deux lieux d'observation. Il s'agit souvent du premier satellite de Jupiter, Io, le plus proche de sa planète⁹.

Le 14 décembre 1680, Cassini présente un rapport à l'académie¹⁰, « *L'Invention des longitudes vérifiée par les observations nouvelles par M. Cassini* » :

« Sur le projet que je donnai au public l'an 1668 la même année que j'eus l'honneur d'être appelé en France au service de sa Majesté. Les Astronomes de l'Académie Royale des Sciences travaillent présentement à la détermination des longitudes nécessaires à la perfection des Cartes de Géographie et de la Navigation. [...] Nous nous servons aujourd'hui des éclipses des Satellites de Jupiter qui sont fort fréquentes et qui se déterminent avec une grande précision sans hésiter d'un quart de minute [...]. Il y a douze ans que mes tables sont publiées et pendant ce temps Jupiter ayant fait une révolution entière par le Zodiaque je les ai toujours comparées aux observations faites par toutes les parties de son orbe pour les perfectionner davantage. »

Le 20 décembre 1750, outre de bonnes conditions météorologiques, Chabert bénéficie d'une bonne situation de Jupiter dans le ciel.

« Jupiter, encore loin de sa conjonction au Soleil, offrait des éclipses de ses satellites les plus sûres qu'on pût observer, d'autant mieux que la déclinaison de cette planète étant boréale, la dégageait longtemps des vapeurs de l'atmosphère qui peuvent rendre ces sortes d'observations douteuses, & surtout dans ce pays. »

⁹ Les satellites de Jupiter ont été observés en 1610 par Galilée.

¹⁰ Académie Royale des sciences, Procès-verbaux, t. 9, 18 novembre 1679-29 juin 1683, Registre de mathématique, 14 décembre 1680, fol. 89-90.

*Émerision du 1^{er} Satellite de Jupiter
observée à Louisbourg
Le 20 Decembre 1750 au soir*

*Observations pour l'heure de la pendule
Hauteurs correspondantes du bord supérieur du soleil*

Le 19 Decembre

<i>Hauteurs</i>	<i>au soir</i>	<i>midi non corrigé</i>
<i>10^h 01' 39"</i>	<i>1^h 50'</i>	<i>12^h 13' 51³/₄"</i>
<i>02' 57"</i>	<i>at 41^h 50' 50" 1/2</i>	<i>13 55</i>
<i>15 54</i>	<i>18 10</i>	<i>13 48</i>
<i>27 53</i>	<i>at 51^h 50' 50" 1/2</i>	<i>13 47</i>
<i>52 50</i>	<i>18 30 11^h 50' 50" 1/2</i>	<i>13 50</i>
<i>12 12 50¹/₄"</i>		
<i>12 13 51¹/₄"</i>		
		<i>12 13 51¹/₄"</i>

L'Observatoire de Paris possède un manuscrit (peu lisible) donnant des calculs de l'observation de l'émerision de Io à Louisbourg le 20 décembre 1750. Les 19, 20 et 22 décembre, des « hauteurs correspondantes » du bord supérieur du Soleil ont été prises afin de déterminer l'heure du midi vrai marquée par la pendule. Il s'agit de relever l'heure marquée par la pendule lorsque le Soleil est à la même hauteur avant et après le midi vrai (culmination du Soleil). La moyenne des deux heures notées doit correspondre au midi vrai. Ceci permet d'étudier « la marche de la pendule ».

De l'étude de la marche de la pendule, Chabert peut déterminer l'heure vraie locale de l'observation de l'émerision de Io la nuit du 20 décembre 1750 à Louisbourg.

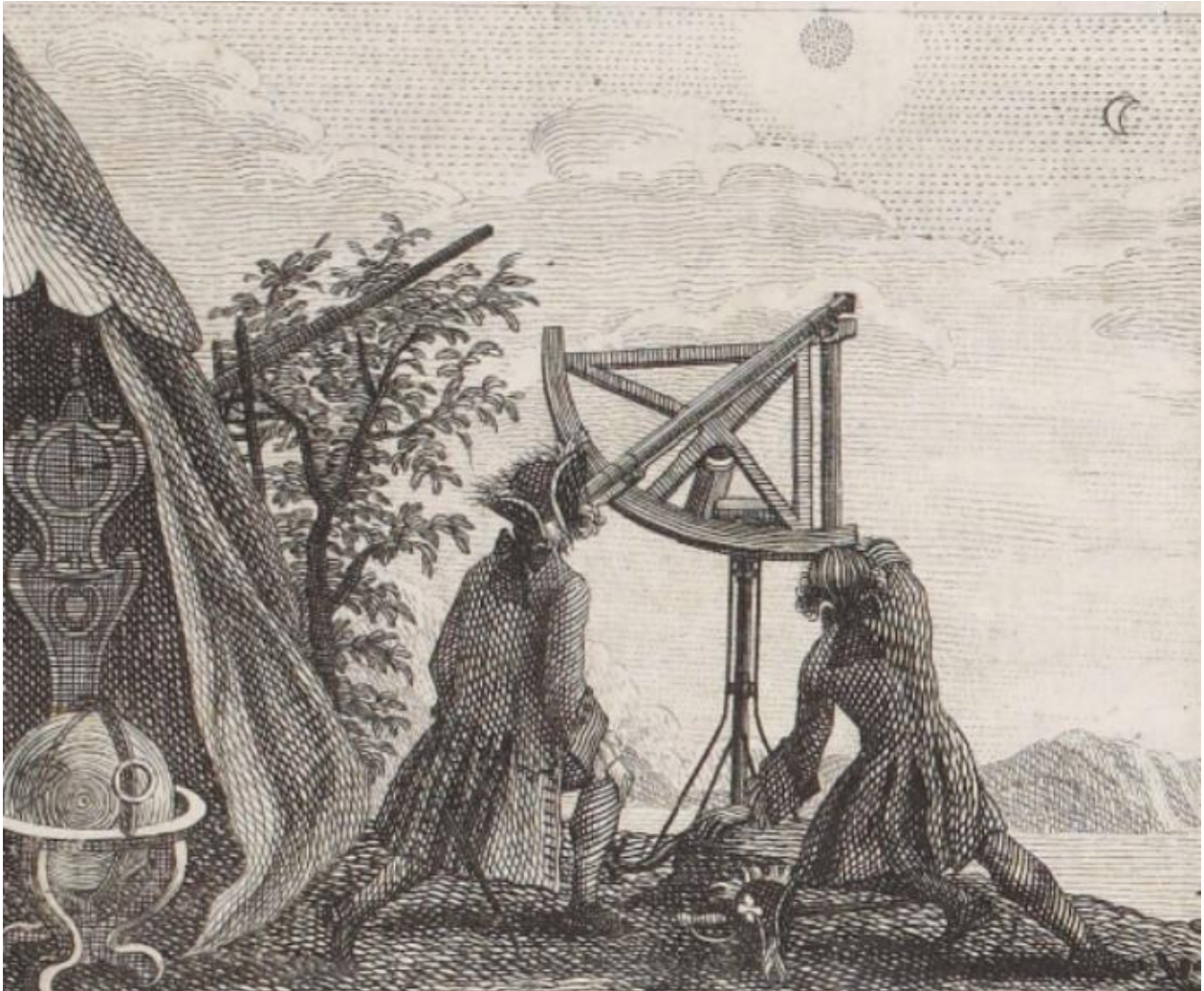
Voici les résultats de l'observation tels qu'ils sont fournis dans le *Voyage fait par ordre du Roi en 1750 et 1751 dans l'Amérique septentrionale*.

« L'éclipse du premier satellite de Jupiter, dont j'observai l'émerision à Louisbourg, le soir du 20 décembre 1750, à 7 h 48' 41" temps vrai, n'ayant point été observée à Paris, où le ciel était couvert, on a comparé l'observation de Louisbourg avec celle qui fut faite à Madrid, par le P. Vendlingen jésuite, cosmographe des Indes, qui la croit exacte : il commença à apercevoir le satellite sortant de l'ombre à 11 h 32' 48", avec un télescope à réflexion de 3 pieds, dont l'effet étant supposé le même que celui de ma lunette de 15 pieds, on détermine la distance des méridiens de Madrid & de Paris, de 24' 20" ; & comme l'on compte la distance entre ceux de Madrid & de Paris de 24' 20", on déduit la distance du méridien de Louisbourg à l'égard de Paris, de 4 h 8' 27". »

La différence de temps entre Paris et Louisbourg de 4 h 8 min 27 s multipliée par 15° donne une longitude de Louisbourg d'environ 62,1125° à l'ouest de Paris. Le méridien de Greenwich étant à 2° 20' 14" à l'ouest de celui de l'Observatoire de Paris, cela donne une longitude de Louisbourg à 59,775° à l'ouest du méridien de Greenwich. Le GPS fournit : 59,99° à l'ouest de Greenwich. La mesure de Chabert, obtenue à terre par l'observation des satellites de Jupiter, est donc très correcte.

Jan Wendlingen (1715-1790) est un jésuite hongrois. Il a construit deux méridiens solaires dans le monastère de l'Escorial, qui servaient au réglage des horloges mécaniques. Pour être précis, le GPS actuel est fondé sur le système géodésique mondial WGS84 pour lequel le méridien de référence international (IRM) est situé à 5,3'' à l'est du méridien historique de Greenwich de 1884. On peut faire l'expérience avec Google Maps et constater que sur la ligne méridienne devant l'observatoire de Greenwich, le GPS indique une longitude de $-0,00147^\circ$.

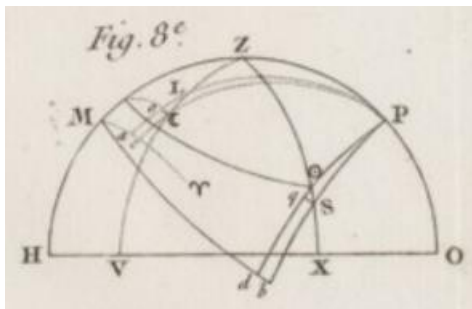
Longitude par les distances lunaires le 17 juin 1751



Chabert et Diziers-Guyon effectuent huit mesures de distance du bord éclairé de la Lune à celui du Soleil qui lui est le plus proche, le 17 juin 1751 dans le passage de Bacareau sur la côte sud-est de l'Acadie (aujourd'hui Nouvelle-Écosse). Le lieu précis de la mesure nous est connu car signalé sur la carte réalisée par Chabert.

*Distances du bord éclairé de la Lune à celui du Soleil
qui en étoit le plus proche.*

1751. 17 JUIN.	HEURES de la pendule.			TEMPS vrai.			VALEUR des angles mesurés.		
	Heurt.	Min.	Sec.	Heurt.	Min.	Sec.	Degrés.	Min.	Sec.
1. ^{re} Distance . .	19.	9.	31	19.	12.	04	66.	40.	38 $\frac{1}{4}$
2. ^e	19.	13.	22	19.	15.	55	66.	38.	37 $\frac{1}{4}$
3. ^e	19.	22.	13	19.	24.	33 $\frac{1}{2}$	66.	35.	19 $\frac{1}{2}$
4. ^e	19.	24.	39	19.	27.	12 $\frac{2}{3}$	66.	35.	01
5. ^e	19.	31.	41	19.	34.	14 $\frac{1}{4}$	66.	31.	48 $\frac{1}{2}$
6. ^e	19.	33.	34 $\frac{1}{2}$	19.	36.	08	66.	31.	33
7. ^e	19.	41.	49 $\frac{1}{2}$	19.	44.	23	66.	28.	15
8. ^e	19.	43.	53 $\frac{1}{2}$	19.	46.	27	66.	27.	02 $\frac{2}{3}$



À partir d'une longitude estimée à 4 h 36 $\frac{1}{2}$ min à l'ouest de Paris, Chabert obtient, selon les éphémérides, la différence des ascensions droites apparentes réfractées calculées de la Lune et du Soleil :

$$\Delta_{cal} = 69^{\circ} 35' 35 \frac{1}{2}''.$$

À partir de la distance Lune Soleil mesurée (7ème mesure), Chabert calcule la différence des ascensions droites apparentes réfractées observées de la Lune et du Soleil et obtient :

$$\Delta_{obs} = 69^{\circ} 38' 09 \frac{1}{3}''.$$

Si l'estimation de longitude était correcte, on devrait trouver la même chose. En déterminant le taux de variation moyen de la différence d'ascension droite entre la Lune et le Soleil, on peut déduire de la différence $\Delta_{obs} - \Delta_{cal} = 2' 33 \frac{5}{6}''$, la correction à apporter à la longitude.

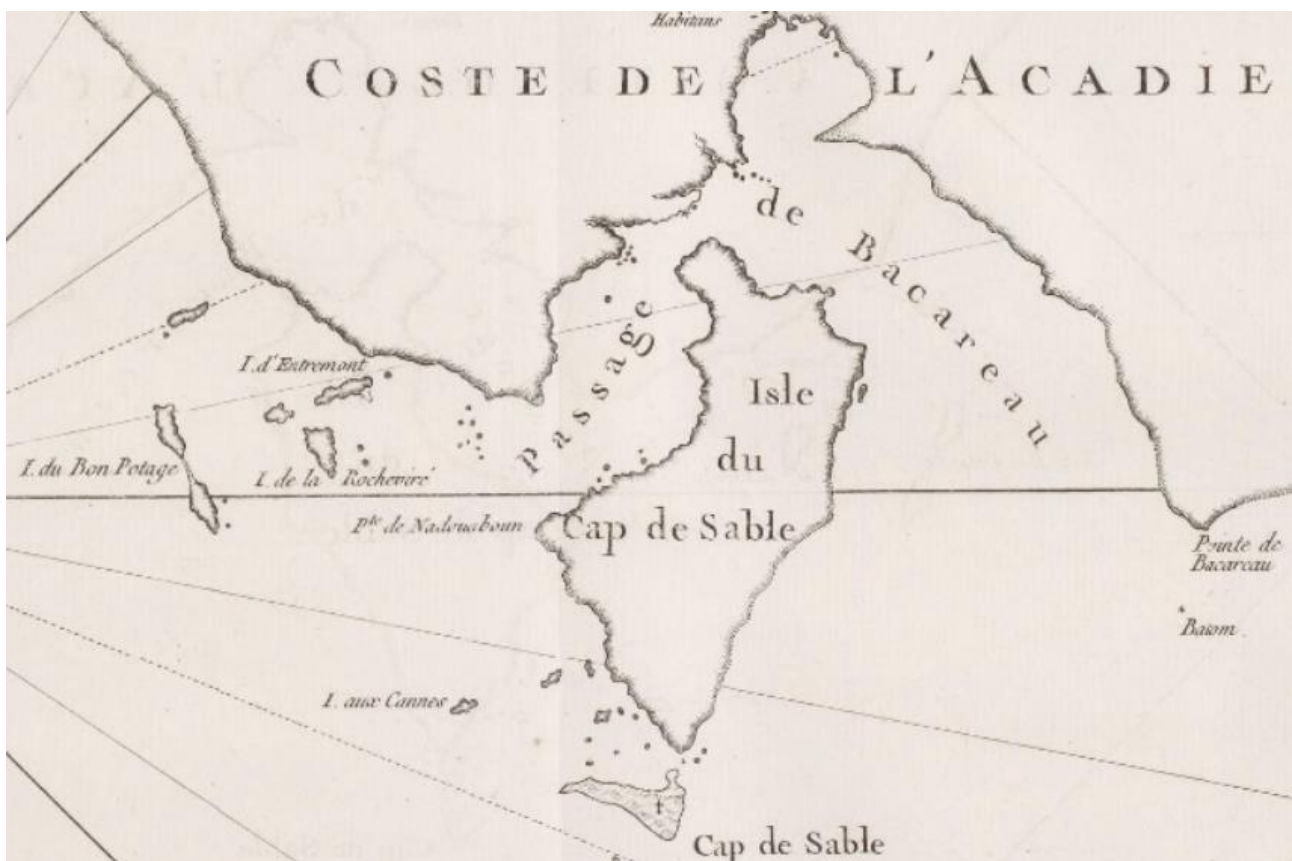
Déduction de l'angle de différence d'ascension droite, entre la Lune & le Soleil, soit par les Tables, soit par l'observation, & leur comparaison, dont on conclut la situation du méridien cherché.

« On trouve que la quantité de 2' 33" $\frac{5}{6}$ dans l'ascension droite de la Lune, répond à 4' 29" $\frac{1}{2}$ [4 min 29 s $\frac{1}{2}$] de temps, ainsi la distance du méridien du passage de Bacareau, près du cap de Sable, à celui de Paris, qui résulte de cette observation, est de 4h 32' 00" $\frac{1}{2}$ [4 h 32 min 00 s $\frac{1}{2}$]. »

Chabert obtient une longitude, en temps, de 4 h 32 min à l'ouest de Paris, soit, en multipliant par 15°, une longitude de 68° à l'ouest du méridien de Paris. Ramenée au méridien de Greenwich, on obtient, en retirant 2°20'14", une longitude de 65,66° à l'ouest de Greenwich, alors que le GPS donne 65,61°. Une fois encore, la mesure, réalisée à terre, est très satisfaisante.



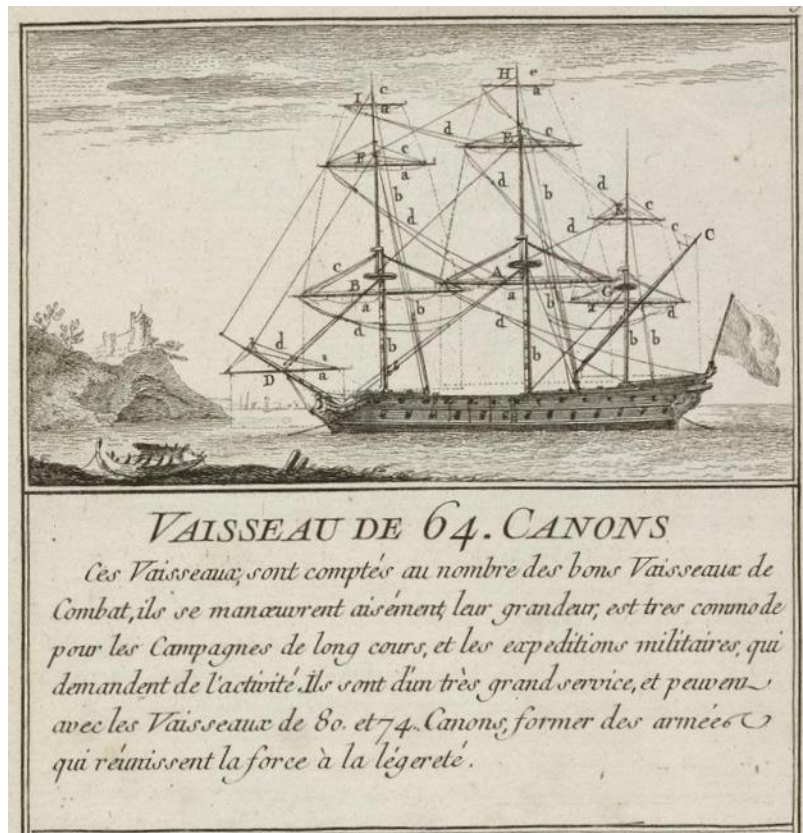
★ Le Centre de cet Asterique marque un Point dont la Latitude et la Longitude ont été déterminées par des Observations Astronomiques



Retour à Toulon à bord du Triton

Chabert embarque à Louisbourg le 13 septembre 1751 à bord du vaisseau de 64 canons *Le Triton*. Il arrive à Toulon le 7 novembre.

Le Triton a été construit en 1747 à Toulon par François Coulomb.



Nicolas Ozanne – *Marine militaire.*

2.3 Longitude par les horloges marines en 1778-1779 et en 1781-1782

Après la Déclaration d'Indépendance des Treize États d'Amérique, Louis XVI décide de protéger les bâtiments des « *insurgents*¹¹ ». Le Marquis de Chabert de Cogolin reçoit, le 28 février 1778, le commandement du *Vaillant* dans l'escadre du Vice-amiral d'Estaing (1778-1779). Au cours de cette campagne, Chabert détermine la longitude du vaisseau grâce à des horloges de marine. C'est la première fois qu'une armée navale est guidée à l'aide de chronomètres de marine.

Dans le cadre d'une seconde campagne, le 10 septembre 1780, Chabert commande le *Saint-Esprit* dans la flotte de De Grasse, qui quitte Brest le 22 mars 1781 pour les Antilles et l'Amérique du Nord. Chabert est gravement blessé au cours de la bataille de la Chesapeake.

¹¹ Colon américain ayant pris parti contre l'Angleterre au cours de la guerre d'indépendance américaine.



Rencontre entre de Grasse et Washington – Cerny Charles 1956 – Musée de la Marine
Chabert est à droite, reconnaissable à sa croix de Saint-Lazare.

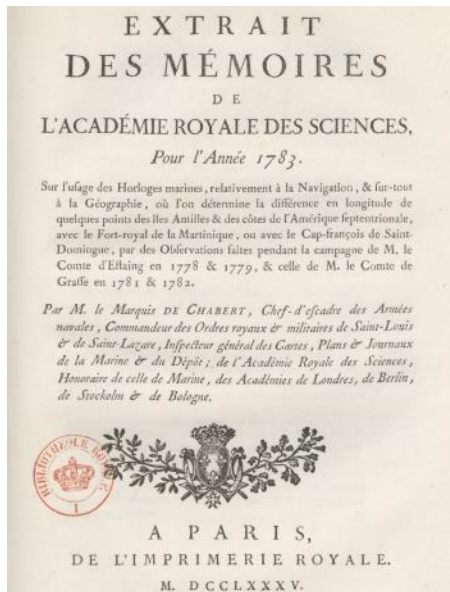
Le *Vaillant*, commandé par Chabert en 1778-1779, est un vaisseau portant 64 canons sur deux ponts, construit à Toulon par Noël Pomet. Il sert dans la Marine française de 1755 à 1783, traversant deux conflits avec l'Angleterre : la guerre de Sept ans et la guerre d'Indépendance américaine.

Le *Saint-Esprit*, commandé par Chabert en 1781-1782, est un vaisseau portant 80 canons sur deux ponts construit à Brest.

La relation de l'essai des horloges marines lors des campagnes de la guerre d'indépendance des Etats-Unis par Joseph-Bernard de Chabert de Cogolin paraît dans les *Mémoires de l'Académie Royale des sciences* de 1783.

« Les savants qui ont été chargés d'éprouver des horloges marines, ont constaté par la publication de leurs expériences, qu'on parvient à en construire qui surpassent l'exactitude exigée pour la solution du problème de la longitude, & qu'on est en état, au moyen de cette découverte, de jouir pour la navigation du grand avantage dans la vue duquel le parlement d'Angleterre avait promis une somme considérable. Cet avantage consiste, comme on sait, à trouver la longitude en mer, avec la précision au moins d'un demi degré au bout de quarante deux jours de route, c'est-à-dire sans craindre plus de quatre à huit lieues d'erreur, suivant le parallèle sur lequel on atterrit, après une traversée peut-être de douze à quinze cents lieues, pendant que par l'estime ordinaire du chemin, l'erreur des pilotes monte quelquefois jusqu'à cent lieues. »

Chabert souligne le caractère positif de l'expérimentation ainsi que son intérêt militaire.



« C'est afin d'être en état d'offrir à mes généraux ce moyen d'assurance pour la direction des routes de leur armée, que j'embarquai des horloges marines sur le vaisseau le Vaillant que je commandais en 1778 & 1779, sous les ordres de M. le comte d'Estaing, & sur le vaisseau le Saint-Esprit en 1781 & 1782, sous les ordres de M. le comte de Grasse. La satisfaction qu'ils ont bien voulu me témoigner de ce que je leur avais signalé ma longitude lorsqu'ils l'avaient désiré m'a amplement dédommagé de mes soins pendant quatre ans pour la conduite des horloges, pour la connaissance de leur marche à toutes les relâches, & pour le calcul des observations. »

Chabert donne une description des horloges marines embarquées lors de ses deux campagnes.

« Dans chacune de ces campagnes, j'avais embarqué deux horloges, ainsi qu'il est indispensable ; savoir, en 1778, celles désignées par n° 17 à poids, & n° 3 à ressort ; & en 1781, par n° 22 à poids, & n° 2 à ressort, toutes inventées & construites par M. Ferdinand Berthoud. »

Ferdinand Berthoud, dans son ouvrage « *Les longitudes par la mesure du temps* », paru en 1775, distingue les deux types d'horloges par les termes « horloge de marine » pour celles à poids et « montre de marine » ou « montre à longitude » pour celles à ressort, qu'il faut encore distinguer des « montres de poche » à secondes, qui ne peuvent être utilisées comme garde-temps.

« Les horloges marines, telles que je les construis [...] sont de deux espèces. Les premières sont à poids & d'un assez grand volume. [...] Celles de la seconde espèce sont beaucoup plus petites. Elles sont à ressort et portatives. [...] Ces dernières que j'appellerai montres marines ou montres à longitudes pour les distinguer, sont d'un usage plus commode pour les navigateurs, & quoique construites sur les mêmes principes que les horloges marines, elles ne comportent pas tout à fait le même degré de justesse. »

La montre marine à ressort n°3 de Ferdinand Berthoud est visible au musée des Arts et Métiers à Paris, ainsi que des modèles analogues aux autres horloges embarquées par Chabert.



Horloge marine n° 11 à poids moteur par Ferdinand Berthoud, 1773
Musée des Arts et Métiers.

L'horloge marine n° 11 ci-dessus est conçue selon le modèle de l'horloge n° 10 décrite par F. Berthoud dans son *Traité des horloges marines*, publié en 1773, de la page 331 à la page 344.



Montre marine n° 3 par Ferdinand Berthoud, 1776 (trois cadrans donnent les heures, minutes et secondes) –
Musée des Arts et Métiers.



Il est remarquable de constater que la forme et le volume de ces montres marines, montées à la Cardan dans une boîte en acajou, sont à peu près les mêmes que ceux des chronomètres encore en usage au début du xx^e siècle (voir ci-contre la montre marine n° 3 par Ferdinand Berthoud embarquée par Chabert en 1778).

Chabert signale que les horloges à poids sont plus fragiles que celles à ressort, du moins dans les conditions assez extrêmes des combats.

« Les deux horloges à poids n'ont pas conservé la régularité de leur mouvement, & ont fini par cesser entièrement de me servir, la première à l'époque du combat devant la Grenade, & la seconde à celle du combat devant la baie de Chésapeak ; les bragues des canons de 24 de la seconde batterie s'étant rompues pendant l'action, les affûts, dans leur recul, heurtèrent contre les armoires qui renfermaient les horloges, & ont dû, par la violence d'un tel choc, en déranger le mécanisme.

On aurait pu prévenir cet accident, en les descendant à la cale, comme celles à ressort, à l'approche des combats, mais on ne peut déplacer ainsi les horloges à poids, sans courir le risque de les arrêter. »

Une « équation de la température » est établie avant le départ pour chaque horloge. Il s'agit de déterminer la correction à effectuer par 24 heures selon la température.

Table de l'Equation de la Température
Pour l'Horloge Marine N.° 5.
En supposant cette Horloge réglée sur le mouvement moyen
du Soleil à 18°. au dessus de la Congelation.
Qu'elle retarde de 4'. 50 en 24 heures à 12°.
Et qu'elle retarde de 5'. 50 en 24 heures à 25°.

Degrés du Chronomètre	Correction pour chaque Degré	Correction pour chaque Décimale observée au Chronomètre au dessus du Degré.																		
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.									
28.	7'. 95 82																			
27.	7'. 15 82	7, 21	7, 29	7, 38	7, 46	7, 54	7, 62	7, 70	7, 79	8, 07	7, 95									
26.	6'. 31 81	6, 39	6, 47	6, 56	6, 64	6, 72	6, 80	6, 88	6, 97	7, 05	7, 13									
*25.	5'. 50 81	5, 58	5, 66	5, 74	5, 82	5, 91	5, 99	6, 09	6, 15	6, 23	6, 31									
24.	4'. 69 80	4, 77	4, 85	4, 93	5, 01	5, 10	5, 18	5, 26	5, 34	5, 42	5, 50									
23.	3'. 89	3, 97	4, 05	4, 13	4, 21	4, 29	4, 37	4, 45	4, 53	4, 61	4, 69									

Equation de la température de l'horloge marine n° 5 de Berthoud – Chabert juillet 1780
 Archives nationales MAR/2JJ/31.

La marche de chaque horloge est ensuite régulièrement étudiée, notamment lors des étapes, en 1778, à Toulon et Boston par des hauteurs correspondantes du Soleil (moyenne de deux mesures à la même hauteur) à terre, à New-York par des hauteurs chaque jour en rade.

Marche de l'horloge marine n° 2

<i>Lieux des observations et leurs Dates</i>	<i>interv. valles</i>	<i>rapport de la marche au temps moy. sans égard à la température</i>	<i>équation de la température pour l'écart d'intervalle</i>	<i>chaque en 24^h par 2^h d'écart à la température</i>	<i>correction en 24^h corrigée de la température</i>
<i>Toulon 1778</i> du 21 mars au 9 avril par des haut. corrig. à terre	9	<i>A. v. 0' 15,40</i>	<i>A. v. 5,63</i>	<i>A. 1,593</i>	<i>A. 0,978</i>
<i>New York 1778</i> du 13 au 18 juillet du 13 au 14 juillet du 13 au 16 juillet du 13 au 15 juillet <i>l'heure a été déterminée deux fois par des haut. absolus en rade</i>	5 4 3 2	<i>A. v. 16,52</i> <i>A. v. 25,89</i> <i>A. v. 10,91</i> <i>A. v. 4,58</i>	<i>A. v. 8,93</i> <i>A. v. 6,94</i> <i>A. v. 4,96</i> <i>A. v. 3,17</i>	<i>A. 3,264</i> <i>A. 6,472</i> <i>A. 4,637</i> <i>A. 2,29</i>	<i>A. 1,478</i> <i>A. 4,174</i> <i>A. 2,978</i> <i>A. 0,705</i>
<i>Boston 1778</i> du 17 au 26. 8 br. par des haut. corrig. à terre	9	<i>A. v. 2' 10,01</i>	<i>A. v. 3,32</i>	<i>A. 14,446</i>	<i>A. 14,09</i>

Marche de l'horloge marine n° 2 – Chabert – Archives nationales MAR/2JJ/31.

Longitude à l'entrée de la Delaware (cap Henlopen) avec l'horloge marine n° 3 le 7 juillet 1778

Dans le mémoire à l'Académie des sciences, Chabert rapporte le succès de la détermination, avec l'horloge n°3, d'une première longitude en Amérique.

« La première longitude que l'horloge marine, n° 3, me donna le moyen de déterminer en 1778, à notre arrivée avec M. le comte d'Estaing aux côtes de l'Amérique septentrionale, fut celle du cap Hinlopen [cap Henlopen], à l'entrée de la Delaware, le 7 juillet, de 77 d 33'. On sera sans doute étonné de m'entendre rapporter cette longitude, dans l'idée que c'est sur la foi d'une horloge marine, sachant que je n'avais pu vérifier sa marche depuis le 9 avril à Toulon, & que la confiance dans cet instrument serait trop hasardée, après quatre vingt neuf jours, pour une détermination géographique absolue ; mais l'éclipse de Soleil du 24 juin, que j'avais exactement observée à la mer, comparée aux correspondantes en Europe, a fait du vaisseau un point fixe bien déterminé, d'où j'ai pu partir pour y rapporter mon observation de longitude, faite treize jours après devant le cap Hinlopen. »

Rapporté à Greenwich, cela fait une longitude de 75,21° Ouest alors que le GPS donne 75,09°. Pas mal !

Longitude à la baie de la Chesapeake le 22 septembre 1781

Chabert rapporte ensuite la mesure effectuée à la baie de Chesapeake en 1781, peu avant la bataille.

« Longitude du cap Henry, à l'entrée de la baie de Chesapeak.
 [...] malgré la loi que je m'étais faite d'exclure toute détermination qui dépendrait d'un long intervalle de temps depuis la vérification des horloges, je hasarde, quoiqu'après trente quatre jours écoulés, de donner la différence en longitude du cap Henry à l'entrée de la baie de Chesapeak avec le Cap-François, de 4 d 13' 1/2 à l'ouest, par une observation faite le 5 septembre au matin, pendant que l'on voyait l'armée ennemie qui venait pour nous attaquer, & que nous combattîmes dans la journée. La latitude du cap Henry que j'ai établie sur plusieurs hauteurs méridiennes du Soleil, observées à bord, est de 36 d 57'. »

L'examen des documents présents aux Archives nationales permet de mieux analyser la méthodologie de détermination de la longitude à l'aide des horloges marines. Nous n'avons pas retrouvé trace de l'observation du 5 septembre, mais nous avons celle du 22 septembre 1781 (Archives nationales cote MAR/2JJ/33).

Le matin du 22 septembre, Chabert effectue trois mesures de la hauteur du bord inférieur du Soleil au-dessus de l'horizon (sans doute à l'octant) et note l'heure indiquée par l'horloge marine n° 2.

A l'Ancre A la B. de Chesapeak dev. le Cap Henry. le Samedi 22 Septem ^{bre} 1781.		au Matin.		
OBSERVATIONS faites à bord pour trouver l'heure & la Longitude du Vaisseau par les Horloges Marines.				
Hauteurs absolues du bord infér. du Soleil.	Temps de l'Horlog. N° 2 lors des haut. absol. du Sol.	Comparaison des Horloges		
		avant l'obsf.	après l'obsf.	deg. du Therm.
		h	l	u
1 ^{ere} 27.40	1 ^{re} 11.53.31	N°.		de N° 2 24, 8
2 28.00	2 11.55.22	N°.		de N°.
3 28.20	3 11.57.10	Diff.		

OBJET TERRESTRE en vue du Vaisseau.	
Pour trouver sa latitude.	
du Vaisseau	
la Cap Henry	
Rel. à mid. à l'Y du Sud à l'Est	
Mill. de dist.	2.
D'où diff. en latitude	1.57
Lat. du V Cap Henry observée.	36.57.03
Donc lat. du Y ^{re}	36.59.00.

La situation du vaisseau, ancré à 2 milles (environ 3,7 km) du Cap Henry, dont la latitude est connue, permet de calculer la latitude du vaisseau : 36° 59' 00" Nord.

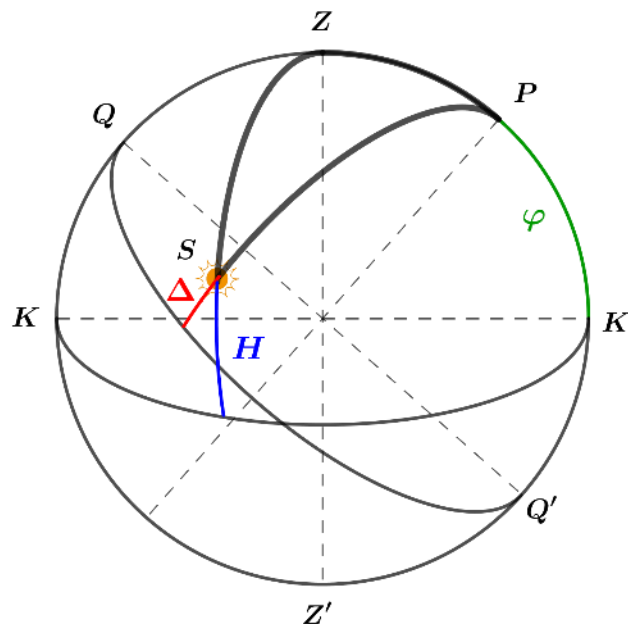
L'heure vraie du vaisseau est calculée à partir de la hauteur vraie du centre du Soleil (après correction de réfraction et parallaxe) $H = 28^{\circ} 09' 38''$, de la latitude $\varphi = 36^{\circ} 59' 00''$ et de la distance polaire du Soleil $90 - \Delta = 89^{\circ} 56' 32''$ où Δ est la déclinaison du Soleil fournie par les éphémérides.

Nous allons détailler les calculs, présentés ci-dessous sous la forme d'une feuille préimprimée.

Calcul de l'heure du Vaisseau.			
	I	II	
Haut. vr. ☉	28 . 09 . 38		
Latitude . .	36 . 59 . 00	compl. cof.	0 . 0975562
Dist. polai.	89 . 56 . 32	compl. fin.	0 . 0000002
Somme . .	153 . 05 . 10		
$\frac{1}{2}$ somme . .	77 . 32 . 35	cofinus . .	9 . 3338621
$\frac{1}{2}$ fom. - h ^r .	49 . 22 . 57	finus . . .	9 . 8802833
		Somme . .	19 . 3117018
		$\frac{1}{2}$ somme . .	9 . 6558509
		Demi-angle horaire . .	26 . 55 . 11
		Multiplié par 8 . . .	215 . 21 . 28
			3 . 38 . 21,5
		Heure vraie du Vaiss.	8 . 24 . 38,5
		Equat. du tems	- 7 . 34,1
		Temps moyen du Vaiss.	8 . 17 . 04,4
		N ^o . 2 marquoit . . .	11 . 55 . 21
		Donc N ^o 2 ^{avançoit} sur	
		le tems moyen de . .	3 . 38 . 10,6
		N ^o sur N ^o . de . .	
		Donc N ^o sur le t. m.	

La formule fondamentale de la trigonométrie sphérique, dans le triangle de position du Soleil PZS (pôle-zénith-Soleil), donne l'angle horaire P du Soleil :

$$\cos P = \frac{\sin H - \sin \Delta \sin \varphi}{\cos \Delta \cos \varphi}.$$



Chabert n'utilise pas cette formule, qui ne se prête pas au calcul avec les tables de logarithmes, mais la formule de Borda suivante :

$$\sin \frac{P}{2} = \sqrt{\cos s \times \sin(s - H) \times \left(\frac{1}{\cos \varphi}\right) \times \frac{1}{\sin(90 - \Delta)}}$$

où s est défini par :

$$s = \frac{\varphi + (90 - \Delta) + H}{2}$$

En passant au logarithme, la formule de Borda devient :

$$\log \left(\sin \left(\frac{P}{2} \right) \right) = \left(\frac{1}{2} \right) \times \left(\log \cos s + \log \sin(s - H) + \log \left(\frac{1}{\cos \varphi} \right) + \log \left(\frac{1}{\sin(90 - \Delta)} \right) \right)$$

On comprend alors la disposition des calculs fournissant l'heure locale dans la feuille préimprimée. Il s'agit, à partir des trois données H, φ et 90 - Δ, de lire dans les tables les quatre logarithmes de la formule précédente.

Disposition des calculs (selon feuille préimprimée) :

H	... 28° 09' 38"		
φ	... 36° 59' 00"	log(1/cos φ)	... 0,0975562
90 - Δ	... 89° 56' 32"	log(1/sin(90 - Δ))	... 0,0000002

2s	... 133° 05' 10"		
s	... 77° 32' 35"	10 + log cos s	... 9,3338621
s - H	... 49° 22' 57"	10 + log sin (s - H)	... 9,8802833

		Somme	... 19,3117018
		1/2 somme valant 20 + log sin (P/2)	... 9,6558509
		Demi angle horaire P/2	... 26° 55' 11"
		Angle horaire	... 53° 50' 22"
		Angle horaire P en temps	... 3 h 35 min 21,5 s
Heure vraie du vaisseau	12 h - 3 h 35 min 21,5 s		... 8 h 24 min 38,5 s

L'heure locale vraie du vaisseau étant connue, on recherche, à l'aide de la montre marine, l'heure vraie correspondante au méridien de Paris. La comparaison des deux heures fournira la longitude.

L'étude de la marche de l'horloge marine n°2, effectuée à terre au Cap-François (aujourd'hui Cap-Haïtien) permet de supposer que l'horloge n° 2 retarde sur le temps moyen de Paris de 1 h 36 min 28,3 s.

Heure vraie du vaisseau		... 8 h 24 min 38,5 s
Equation du temps	-	... 7 min 34,1 s
Temps moyen du vaisseau		... 8 h 17 min 04,4 s
N° 2 marque		... 11 h 35 min 21 s
N° 2 avance sur le temps moyen du vaisseau de		... 3 h 38 min 16,6 s
N° 2 retarde sur le temps moyen de Paris de		... 1 h 36 min 28,3 s
Longitude du vaisseau en temps		... 5 h 14 min 45 s

Long. du Vau. en tems. . . 5. 14. 45.
 Tems vrai de Paris . . . 1. 48. 45

En multipliant par 15°, on obtient une longitude du vaisseau de 78,69° à l'ouest de Paris ou encore 76,35° à l'ouest de Greenwich. Le GPS donne 76° Ouest, ce qui n'est pas mal du tout !

Voici deux documents illustrant les travaux réalisés au Cap-François (Cap-Haïtien) par Chabert pour l'étude de la marche des montres de marine.

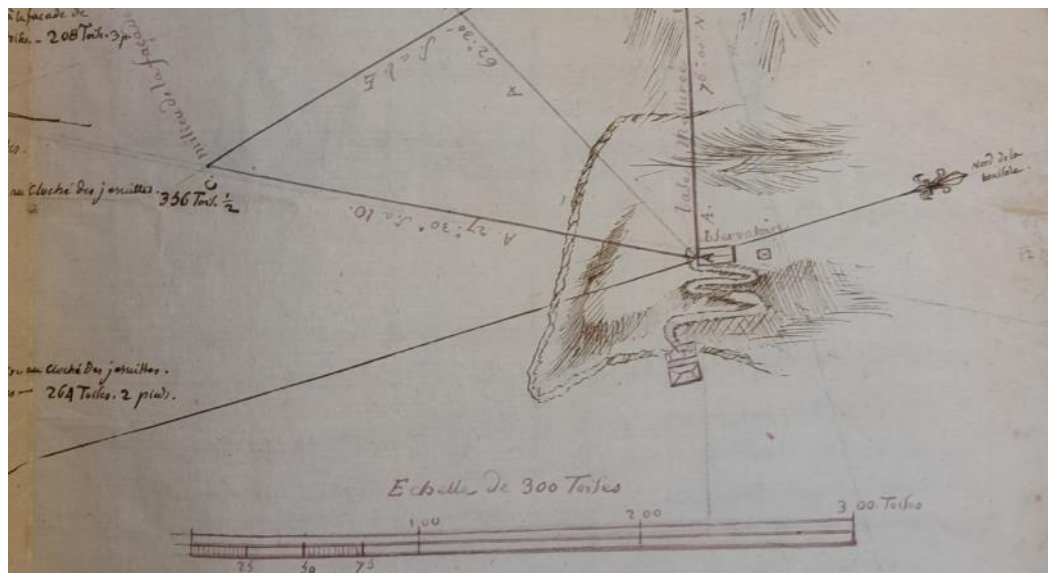
Les temps marqués par les montres marines, à bord, et l'horloge astronomique, à terre, sont comparés à l'aide de signaux. Il s'agit en général de signaux de feu, à la fois visuels et sonores, par exemple avec une amorce de poudre.

SIGNAUX pour la Comparaison du tems tout à la fois marqué par les Horloges Marines à Bord, & par la Pendule Astronomique à Terre.

Sig- naux.	A Terre, à la Pendule Astronomique.		A Bord, à l'Horl. Mar. N.° 2		Différ.	Comparaison des Horl. Marines entr'elles.										
	H. M. S.		H. M. S.			Avant les Signaux.		après les sig.		dég. du Therm.						
	H.	M.	S.	H.		M.	S.	H.	M.							
1	0.	05	09	3.	26	01	3.20.52	N.° 2	3.	21	00	3.	31	00	N.° 2	24,8
2	0.	06	09	3.	27	00,5	20.51,5	N.° 22	4.	22	27	4.	32	27	N.° 22	24,6
3	0.	07	09,2	3.	28	01	20.51,8	Différ.	1.	01	27		01	27		
4	0.	08	09,2	3.	29	00,5	20.51,3	<i>autant de signaux le 24 20 de devant à cause de la nuit de 17 1/2</i>								
5	0.	09	09,5	3.	30	01	20.51,5									
Somma	46			140.04			8,1									
Milleux	0.	07	09,2	3.	28	00,8	3.20.51,6									
				1		1	27,0									
				N.° 22		4	29	27,8								

Comparaison des temps marqués par l'horloge marine n° 2, à bord, et la pendule astronomique, à terre, le 24 juillet 1781 au Cap-François de Saint-Domingue.

Une triangulation a été effectuée pour préciser la position de l'observatoire astronomique au Cap-François. Les observations astronomiques ont permis le réglage de la pendule et la détermination des coordonnées géographiques.



Triangulation au Cap-François pour préciser la position de l'observatoire
(Archives nationales MAR/2JJ/32).

La bataille de la baie de Chesapeake, aussi connue sous le nom de bataille des caps de Virginie, est une bataille navale décisive de la guerre d'indépendance des États-Unis qui eut lieu près de l'embouchure de la baie de Chesapeake le 5 septembre 1781 entre la flotte du *rear admiral* britannique Thomas Graves et celle du lieutenant-général des armées navales françaises François Joseph Paul de Grasse. La précision du tir français endommage suffisamment six vaisseaux britanniques pour forcer Graves à rompre le combat et à s'esquiver. La victoire de la flotte française empêche la Royal Navy de secourir les forces du général Charles Cornwallis à Yorktown, ville située au fond de la baie. Elle évite également toute interférence britannique avec les renforts et provisions envoyés depuis Newport et les Antilles françaises aux armées coalisées de George Washington, Rochambeau et La Fayette. Cette bataille amène ainsi la chute de Yorktown, puis l'indépendance des États-Unis¹².

¹² Source Wikipédia.

3. D'Entrecasteaux à l'âge d'or du cercle à réflexion



Antoine Reymond Joseph de Bruny d'Entrecasteaux (1737-1793)
Château d'Entrecasteaux – Var.

Antoine Reymond Joseph Bruny d'Entrecasteaux est né à Aix-en-Provence le 8 novembre 1737. Après des études au collège des Jésuites d'Aix-en-Provence, il s'engage comme Garde de la Marine à Toulon en juillet 1754, à l'âge de seize ans.

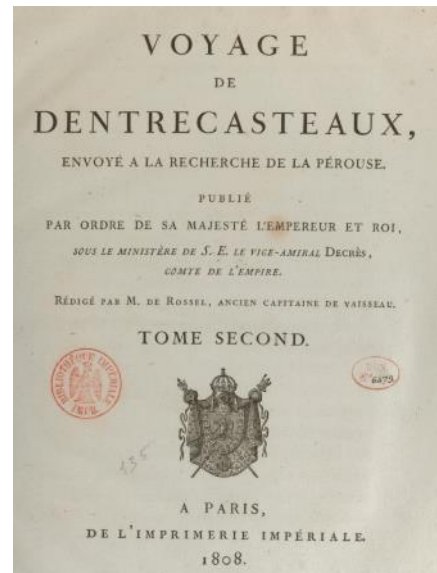
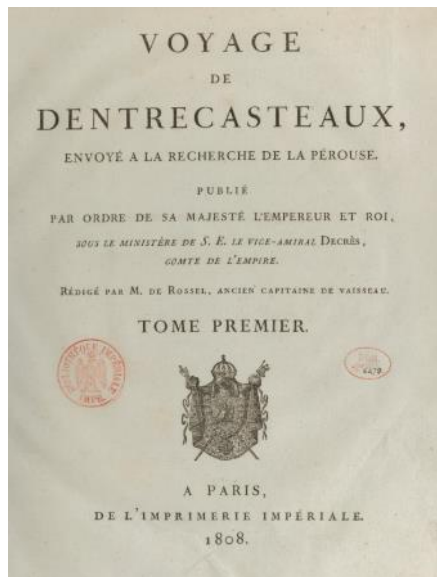
3.1 À la recherche de Lapérouse

En 1791, d'Entrecasteaux est chargé par Louis XVI de partir à la recherche de Lapérouse, dont on est sans nouvelle depuis trois ans. Il appareille de Brest le 28 septembre 1791 avec les frégates *La Recherche* et *L'Espérance*.

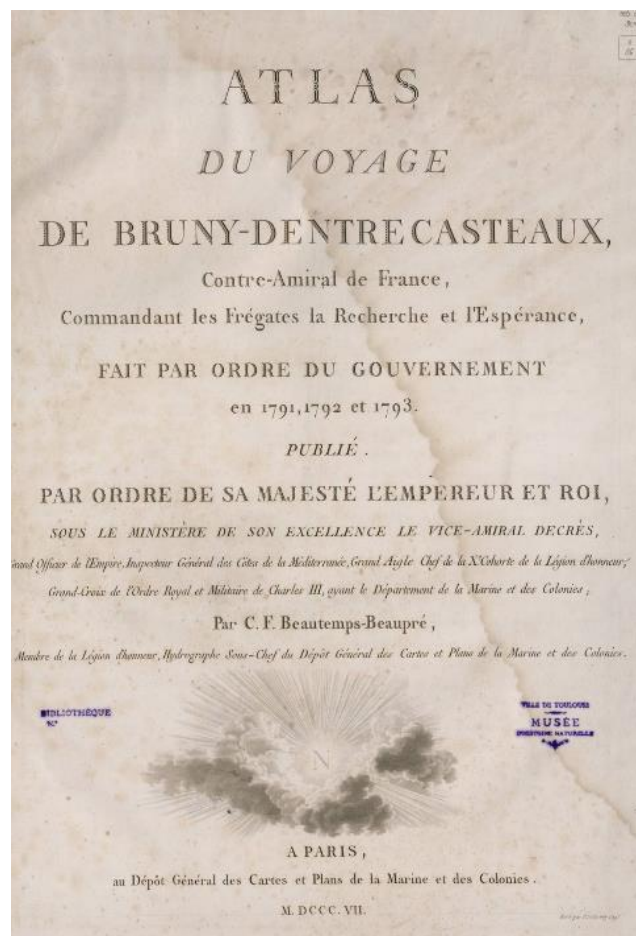
La relation du voyage est publiée en 1808 sous le titre *Voyage de Dentrecasteaux, envoyé à la recherche de La Pérouse* par Élisabeth-Paul-Édouard de Rossel (1765 - 1829), astronome et contre-amiral, dernier chef de l'expédition après le décès d'Entrecasteaux en 1793 puis d'Auribeau en 1794.

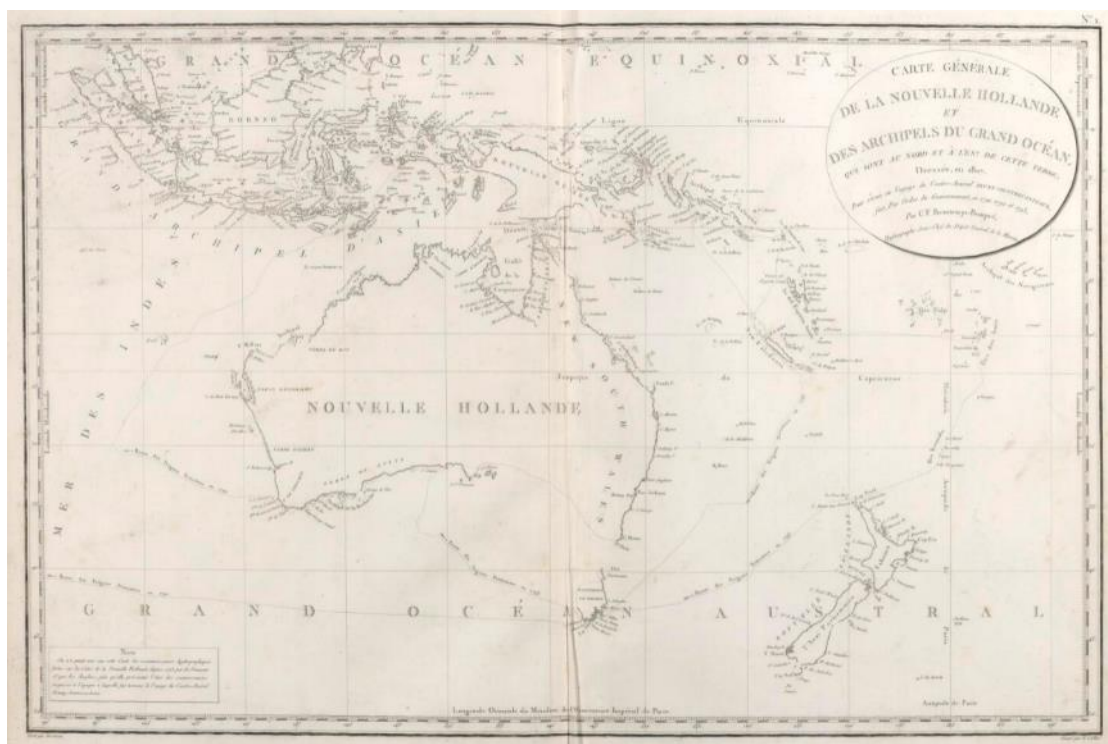


Présentation du *Voyage de Dentrecasteaux* au SHD de Toulon.



Le tome 1 reprend notamment le journal de bord tenu par d'Entrecasteaux. Le tome 2 est un traité d'astronomie nautique rendant compte des observations faites par Rossel. Le *Voyage de Dentrecasteaux* est accompagné d'un Atlas de cartes dressées par l'ingénieur géographe Charles-François Beautemps-Beaupré (1766-1854) et publié par le Dépôt général des cartes et plans de la Marine et des colonies en 1807.





Carte n° 1 de l'Atlas de Beautemps-Beaupré montrant une partie du trajet de l'expédition.

Rossel reproduit le Mémoire du Roi donnant, notamment, les objectifs de l'expédition.

Mémoire du Roi, pour servir d'instruction particulière au sieur Bruny-Dentrecasteaux, chef de division des Armées navales, commandant des frégates la Recherche et l'Espérance.

« Le voyage du contre-amiral Dentrecasteaux avait pour objet la recherche de M. de la Pérouse et, sous ce rapport, c'est sans doute l'un de ceux qui doivent faire le plus d'honneur à la nation qui l'a ordonné. M. de la Pérouse était parti de Brest le 1^{er} août 1785 et les dernières lettres qu'on avait reçues, annonçaient qu'il devait être de retour à l'Île-de-France dans le courant ou la fin de 1788. [...] Au mois de février 1791, l'Assemblée nationale décréta que le Roi serait prié de faire armer deux bâtiments pour aller à la recherche de cet illustre navigateur, dont le sort avait fixé l'attention générale. »

« Le principal objet du voyage est de rechercher les bâtiments du sieur de la Pérouse, dont le sort est ignoré depuis le 10 mars 1788, qu'ils ont quitté Botany-Bay, à la côte orientale de la Nouvelle-Hollande. Mais, comme cette première vue n'exclut pas celles qui peuvent être relatives à l'accroissement des connaissances humaines et des découvertes utiles, il a été embarqué sur les frégates la Recherche et l'Espérance, des savants et des artistes en état de remplir les divers objets d'utilité qui doivent rendre cette campagne intéressante pour toutes les nations : les bâtiments ont été munis des instruments d'astronomie et autres nécessaires pour assurer la justesse des observations astronomiques et des expériences en tout genre qui peuvent être faites à la mer et dans les pays qui seront visités [...]. »

3.2 Les instruments de l'expédition

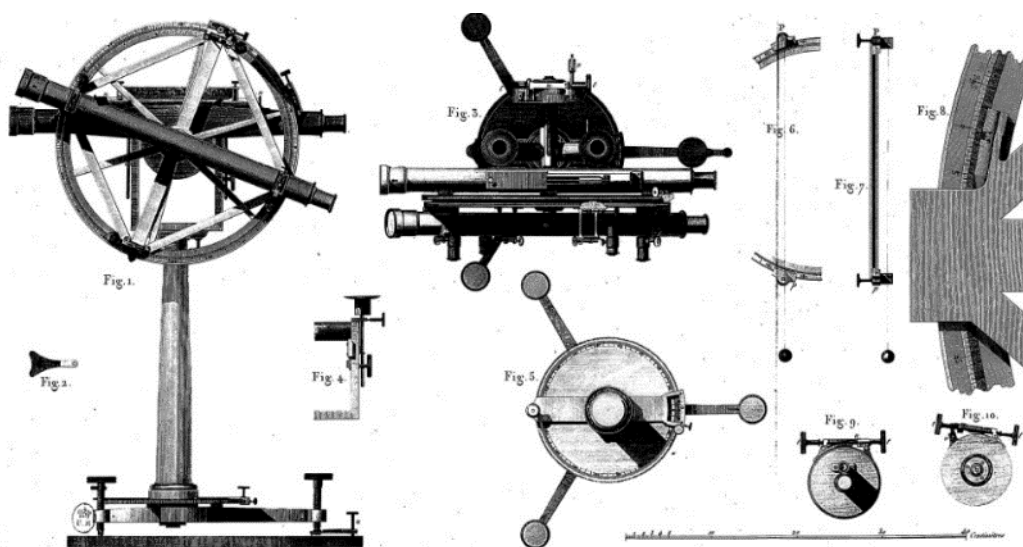
Dans le tome 1, Rossel indique les principaux instruments embarqués.

« Le Gouvernement avait pourvu les bâtiments des instruments nécessaires pour les observations astronomiques : il y avait à bord de chaque frégate,
1° Un cercle astronomique répétiteur de Borda, exécuté par M. Le Noir ;
2° Plusieurs cercles à réflexion du même artiste ;
3° Un compas azimutal ;
4° Une boussole d'inclinaison, inventée par Borda, et construite de manière à donner l'inclinaison de l'aiguille aimantée et à faire des expériences sur la durée de ses oscillations ;
5° Une montre marine de M. Louis Berthoud ;
6° Une lunette astronomique pour observer les éclipses des satellites de Jupiter. »

Il est de plus noté dans le tome 2 que chaque frégate est équipée d'une horloge astronomique (utilisée pour les observations à terre).

Le cercle répétiteur de Borda, réalisé par Lenoir, est un instrument topographique (et astronomique) permettant, à terre, des mesures d'angles précises. Il est équipé de deux lunettes montées sur un cercle et débrayables, permettant ainsi de répéter plusieurs fois la mesure. En effectuant la moyenne des différentes mesures accumulées le long du cercle, on gagne en précision (selon le théorème central limite de la théorie des probabilités). D'après Rossel,

« Le cercle astronomique est le seul instrument dont nous nous soyons servis à terre pour prendre les hauteurs des astres, d'après lesquelles ont été calculés les angles horaires qui ont servi à régler les montres, et pour mesurer les distances méridiennes au zénith. »

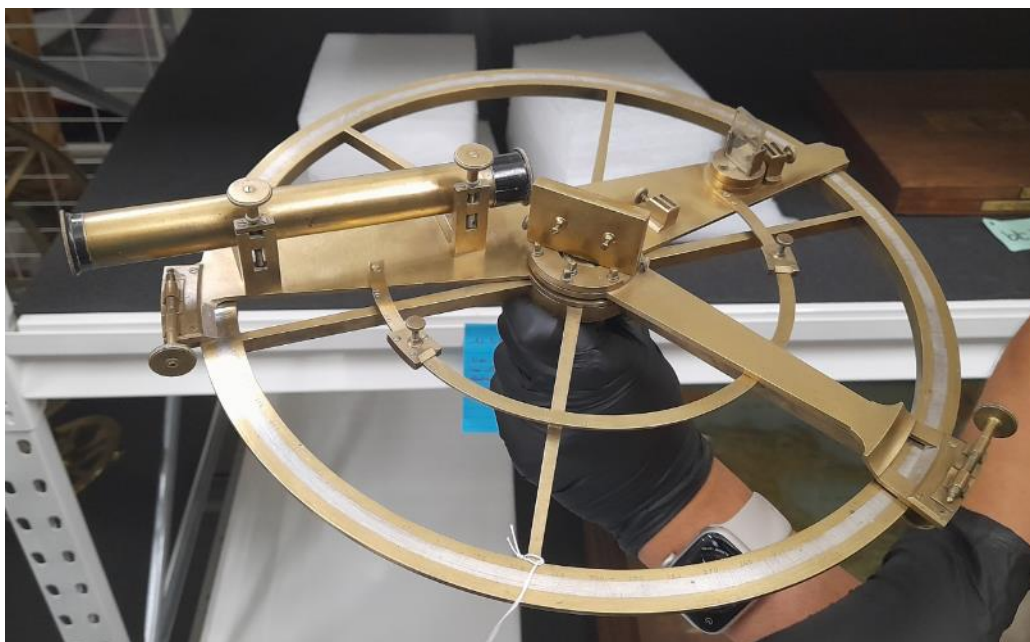


Cercle répétiteur – Base du système métrique décimal, tome II, Delambre, 1807.

Le cercle répétiteur a remplacé le quart de cercle dans les opérations géodésiques et astronomiques de terrain.

Le cercle à réflexion de Borda, réalisé par Lenoir, ne doit pas être confondu avec le précédent. Il est, lui, conçu pour une utilisation en mer. Comme le précédent, grâce à deux alidades débrayables, il permet la répétition des mesures pour gagner en précision.

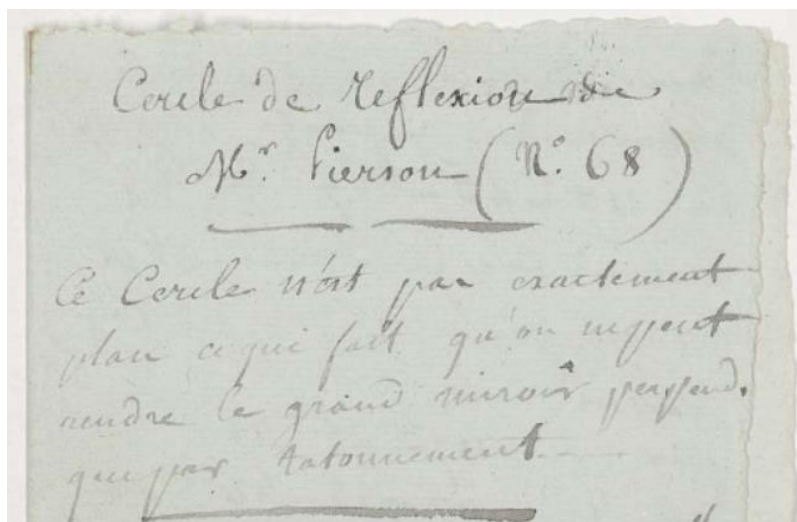
Le cercle à réflexion (ou de réflexion) de Borda est l'instrument de détermination de la longitude en mer par la méthode des distances lunaires. La précision du cercle de Borda-Lenoir est de 4 à 5 secondes d'angle.



Cercle à réflexion de Borda par Lenoir – Musée national de la Marine.
(marqué « Lenoir à Paris n°222 »)

Plusieurs cercles à réflexion étaient disponibles sur la *Recherche* et l'*Espérance*. D'après un papier présent aux Archives nationales, le cercle à réflexion n° 68 (défectueux), sans

doute de Lenoir, était à bord de l'*Espérance* où il servait à Amboise Pierson, astronome et aumônier.



Cote MAR/5JJ/4 – Vue 614 : cercle de réflexion de M. Pierson (n° 68)

« Ce cercle n'est pas exactement plan ce qui fait qu'on ne peut rendre le grand miroir perpendiculaire que par tâtonnement ».

Le cercle à réflexion a été inventé par Tobias Mayer, qui l'associe en 1752 à l'utilisation de ses tables lunaires (*Tabulæ motuum Solis et Lunæ novæ et correctæ*). Il utilise le principe de la double réflexion de l'octant ou du sextant, par lequel l'angle mesuré sur le limbe est la moitié de l'angle visé, mais sur un cercle complet au lieu du huitième (octant) ou du sixième (sextant) de cercle. L'avantage du cercle est que l'on peut répéter la mesure plusieurs fois et obtenir, en prenant la moyenne, une précision supérieure : d'après le théorème central limite, l'écart type de la dispersion des mesures est divisé par la racine carrée du nombre de mesures effectuées.

Borda va améliorer le cercle de Mayer, comme le décrit Rossel :

« [Le cercle de Mayer] avait l'inconvénient extrême de nécessiter entre chaque observation la vérification du parallélisme des miroirs, et d'introduire par cette opération, dont on ne peut répondre à trente secondes près, une autre source d'erreur [...] Par un de ces moyens simples qui caractérisent le génie, Borda, en construisant l'instrument de manière que les rayons virtuels de l'image vue par réflexion puisse venir au grand miroir en passant à la droite ou à la gauche de la lunette, a rendu inutile la vérification du parallélisme des deux miroirs, et a donné au cercle à réflexion tous les avantages dont il jouit et qui en font l'instrument le plus parfait de tous ceux de ce genre qui ont été proposés jusqu'à ce jour. »

En reculant la lunette du cercle de Mayer et en rapprochant le petit miroir du limbe, Borda parvient à ce que les rayons réfléchis parviennent à la lunette par la droite ou par la gauche.

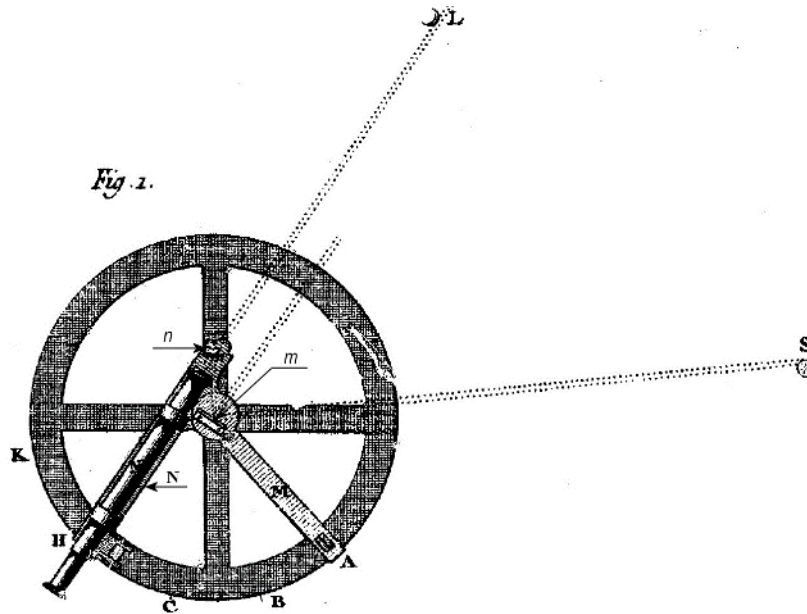


Fig. 1.
Cercle de Mayer (espace limité entre les deux miroirs *m* et *n*)
Description et usage du cercle de réflexion – Jean-Charles de Borda – 1787.
M : alidade mobile du grand miroir *m* ;
N : alidade mobile de la lunette portant le petit miroir *n*.

Le cercle de Mayer-Borda est constitué de trois parties principales :

- le cercle proprement dit, corps de l'instrument, dont le limbe est gradué en 720 parties égales correspondant chacune à un degré de l'angle visé¹³ ;
- l'alidade M du grand miroir *m* (entièrement étamé) centrée sur le cercle ;
- l'alidade N de la lunette avec un petit miroir *n* (la partie inférieure est étamée, l'autre transparente) en déport mais lui aussi centré sur l'axe du cercle (à la différence du sextant, l'alidade du petit miroir est mobile indépendamment du grand miroir).

Avec un cercle de Mayer, seule une observation par la droite de la lunette (comme avec un sextant) est possible.

Soit à mesurer l'angle apparent entre deux astres S (Soleil) et L (Lune) par la droite (figure 1 ci-dessus).

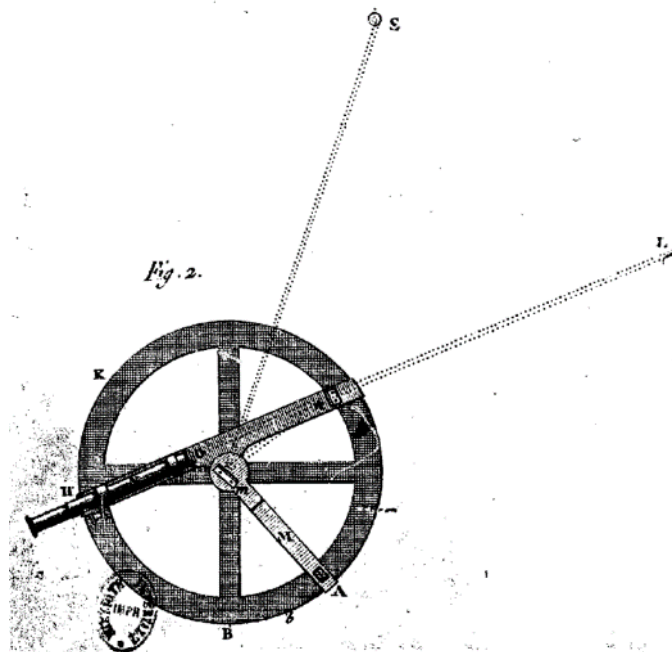
- 1 - Placer l'alidade M sur une division de référence A qui peut être le point zéro et la fixer ;
- 2 - Faire pivoter l'alidade N pour que les deux miroirs soient parallèles « en faisant coïncider dans le champ de la lunette les images directe et réfléchie d'un même objet éloigné quelconque » (point de parallélisme) ;
- 3 - Fixer alors l'alidade N et viser L avec la lunette (premier contact) ;
- 4 - Desserrer l'alidade M et la faire tourner vers B point où « l'image de l'astre S, réfléchi par les deux miroirs, entre dans la lunette et vient toucher l'image de l'astre L vue directement à travers la partie non étamée du petit miroir. » (second contact, ici par la droite de la lunette).

¹³ Après double réflexion, comme sur un sextant, l'angle visé est le double de l'angle correspondant sur le limbe.

Comme pour un sextant, l'arc AB donne alors l'angle apparent entre les deux astres (l'arc AB sur le limbe mesure la moitié de l'angle entre les deux astres).

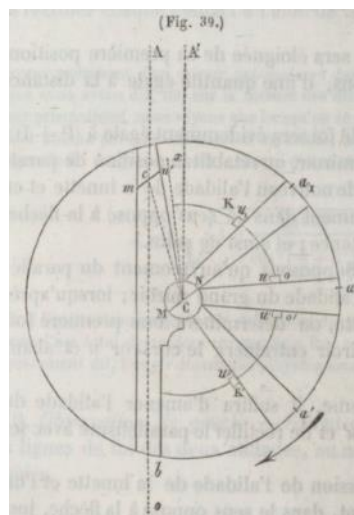
En reprenant les mêmes opérations à partir du point B, nouvelle référence pour le point de parallélisme, on peut effectuer une deuxième mesure (à partir de l'étape 2), on obtiendra le point C. L'arc AC correspond à une double mesure de l'angle entre les deux astres. On peut reprendre la méthode une troisième et quatrième fois...

En effectuant une observation croisée, alternativement par la gauche et par la droite de la lunette, on s'affranchit du point de parallélisme. À la différence du cercle de Mayer (et du sextant), avec un cercle de Borda, on peut recevoir les rayons réfléchis par la gauche de la lunette. Sur la figure 2 ci-dessous, les rayons réfléchis du Soleil parviennent à la lunette par la gauche.



Cercle de Borda – observation par la gauche
Description et usage du cercle de réflexion – Jean-Charles de Borda – 1787.

Voyons comment on réalise une observation croisée avec un cercle à réflexion de Borda (voir la figure 39 extraite du *Cours de navigation et d'hydrographie* par Edmond Dubois – 1869).



1 – *Point de parallélisme* :

- fixer l'alidade du grand miroir sur le zéro de la graduation (point a) ;
- desserrer et tourner l'alidade de la lunette dans le sens des graduations (flèche) pour faire coïncider un objet lointain A et A' (l'alidade de la lunette indique le point b) ; fixer l'alidade de la lunette.

2 – *Contact par la gauche* (l'observateur d'une hauteur d'astre vise l'horizon en tenant l'instrument comme sur la figure 40) :

- desserrer l'alidade de la lunette et fixer l'alidade du grand miroir ;
- tourner le corps du cercle (et donc l'alidade du grand miroir) dans le sens contraire des graduations jusqu'au contact (astre et horizon ou astre et Lune) ; l'alidade du grand miroir est en a_1 (0 des graduations) et le point a correspond sur le limbe à la distance D à mesurer.



Edmond Dubois – *Cours de navigation et d'hydrographie* – Deuxième édition 1869.

3 – *Contact par la droite* (l'observateur tient l'instrument comme sur la figure 41) :

- desserrer l'alidade du grand miroir et fixer celle de la lunette ;
- tourner l'alidade du grand miroir dans le sens des graduations jusqu'au contact (de a_1 , graduation 0, l'alidade du grand miroir passe par a et s'arrête en a', sur une graduation du limbe correspondant à 2D).

On lit la mesure sur le vernier de l'alidade du grand miroir.

On peut recommencer autant que voulu les étapes 2 et 3 (contact par la gauche puis par la droite) et obtenir un nombre pair de mesures. On prend enfin le « milieu entre un grand nombre de résultats » pour atténuer les erreurs.

« Toutes ces erreurs seront atténuées si l'on prend un milieu entre un grand nombre de résultats : de là, on peut conclure la règle générale qu'il faut multiplier les observations le plus qu'il est possible, pour avoir la longitude avec précision. »

L'expression « cercle à réflexion », plutôt que « cercle de réflexion », est validée par Rossel et Beautemps-Beaupré dans le rapport de l'expédition d'Entrecasteaux (*Voyage de Dentrecasteaux* – 1808). Pour les levés hydrographiques, Beautemps-Beaupré fait réaliser par Etienne Lenoir vers 1820 un cercle à réflexion plus compact d'un rayon de 10 cm au lieu de 14 cm. Il est utilisé jusque vers 1850 au Service géographique des Armées.

L'utilisation du cercle à réflexion devint très commune au cours de l'expédition d'Entrecasteaux, comme en témoigne le biologiste La Billardière¹⁴.

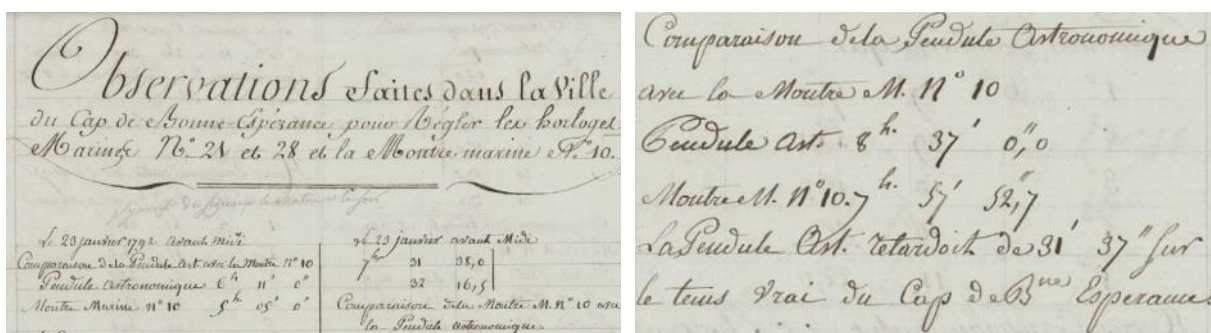
« Je suis fâché que ce précieux instrument [le cercle de réflexion de Borda], quoique d'un usage extrêmement facile, soit encore peu répandu. Chacun de nos officiers en avait un, qui devint, dans le cours de la campagne, d'un usage sûr entre les mains de tous. »

Pour ce qui est des montres marines pour la détermination des longitudes, Rossel cite les montres n°10 et 14 de Louis Berthoud¹⁵.

« Nous avons fait usage de la montre n° 14 de Louis Berthoud, pour déterminer des longitudes, depuis le commencement de la campagne, jusqu'à la relâche de Boni, île Waigiou ; et de Boni à Sourabaya, île de Java, nous nous sommes servis de la montre n° 10 du même artiste. L'effet des variations de température sur le mouvement journalier des montres était corrigé par les moyens employés dans leur construction et il suffisait d'appliquer, aux résultats qu'elles donnaient, les corrections que les vérifications faites aux deux termes extrêmes d'une période avaient indiquées. »

Dans les archives, sont également citées les montres n° 17 et n° 5, ainsi qu'une « montre d'Arnold », vraisemblablement de l'horloger anglais John Arnold¹⁶, remise à l'escale du Cap. Le journal d'Entrecasteaux, rapporté par Rossel, fait état de la remise de cette montre par le gouverneur par intérim, Johannes Izaac Rhenius¹⁷.

« il [M. Rhenius] a eu aussi la complaisance de me céder une montre marine d'Arnold, pour remplacer une montre de Berthoud que j'étais obligé de renvoyer en France, parce qu'elle avait souffert dans le transport de Paris à Brest et qu'elle s'était arrêtée. La montre d'Arnold nous a été d'une grande utilité par la suite ; elle a servi à faire les observations à terre et sur les gaillards, sans être obligé d'y transporter la montre n° 14. »



Cote MAR/5JJ/17 - Registre de la marche des montres par Pierson, sur l'Espérance.

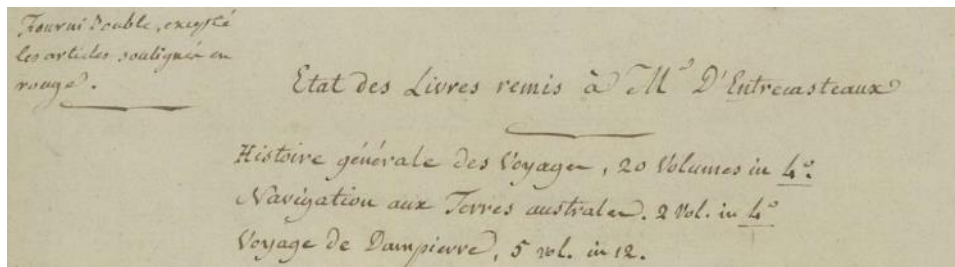
¹⁴ La Billardière, *Relation du voyage à la recherche de Lapérouse*, t. 1, p. 54.

¹⁵ Pierre-Louis Berthoud, né à la Brévine le 22 juillet 1754 et mort le 17 septembre 1813 à Argenteuil, est un horloger français d'origine neuchâteloise. Il est le neveu de Ferdinand Berthoud.

¹⁶ John Arnold a fait avancer la cause du chronomètre de marine grâce à ses inventions du balancier compensateur bimétallique, du spiral cylindrique à courbes terminales ou de l'échappement à détente.

¹⁷ Rossel, *Voyage de Dentrecasteaux envoyé à la recherche de La Pérouse*, t. 1 p. 33.

Amboise Pierson, astronome et aumônier à bord de l'*Espérance*, parle des horloges marines n° 21 et n° 28, de la montre n° 10 ainsi que d'une pendule astronomique. La terminologie de l'horlogerie de marine ne semble pas complètement fixée. Le terme « chronomètre » n'est pas utilisé. On parle d'horloge ou de montre de marine pour celles utilisées en mer, souvent indistinctement. Parfois, comme pour Pierson, « montre de marine » désigne une petite horloge portative que l'on déplace sur le pont du navire (pour les mesures astronomiques) alors que « l'horloge de marine » reste dans sa boîte en acajou avec montage à la Cardan, calée dans un endroit le plus stable possible du navire et n'est jamais déplacée (elle sert de garde-temps pour la détermination des longitudes).



Etat des livres remis à M. D'Entrecasteaux
(livres fournis « en double exemplaire, excepté les articles soulignés en rouge »).

Outre les instruments, les frégates sont pourvues de livres scientifiques, tables et éphémérides.

Parmi l'état des livres remis à d'Entrecasteaux, on trouve :

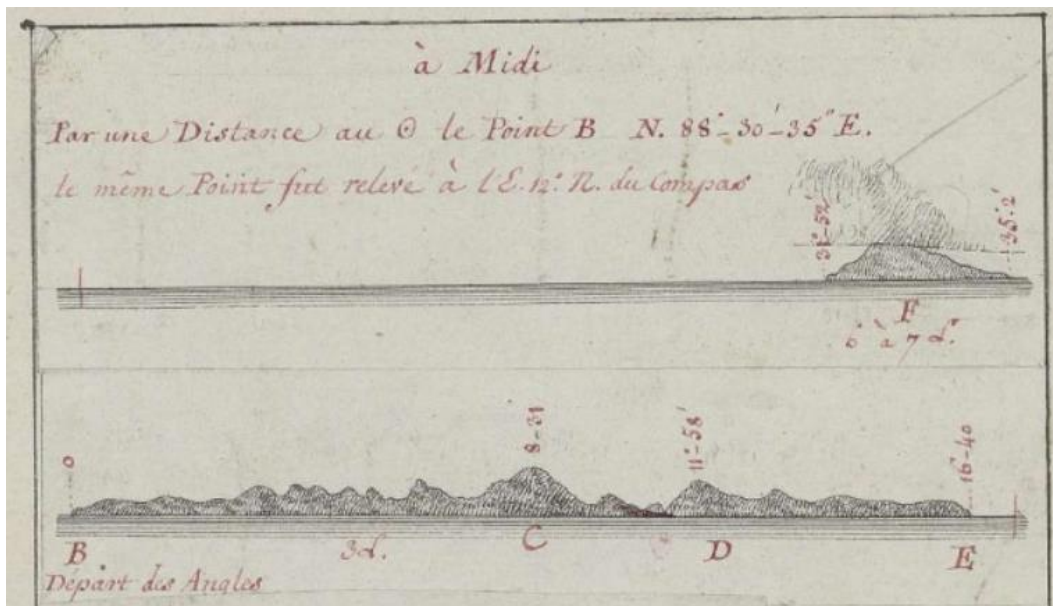
- Atlas de l'Encyclopédie et Discours ;
- Atlas de Flamsteed ;
- Trigonométrie de Cagnoli ;
- Traité de navigation de Bezout ;
- Traité d'optique de Smith ;
- Coelum australe par l'Abbé de la Caille ;
- Traité de mécanique analytique par la Grange ;
- Table des logarithmes de la Caille.

3.3 Longitude de l'île de la Recherche (Vanikoro)

Le 19 mai 1793, est aperçue l'île de la Recherche (alias Vanikoro). Il s'agit de l'île du naufrage de Lapérouse, ce qu'ignore d'Entrecasteaux.

« L'île que nous avons relevée à l'Est 32° Sud, n'avait pas été aperçue par Carteret ; nous l'appelâmes île de la Recherche. Nous la vîmes dans un si grand éloignement, que nous ne pûmes la placer sur nos cartes avec précision ; on a cependant déterminé sa latitude et sa longitude, et elle doit être, à quelques minutes près, par 11° 40' de latitude et par 164° 25' de longitude. »

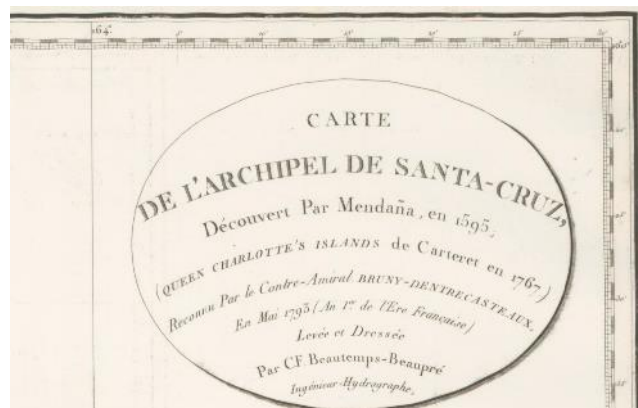
La latitude 11°40' correspond aux données GPS actuelles. La longitude présente une erreur d'environ 9 minutes de degrés.



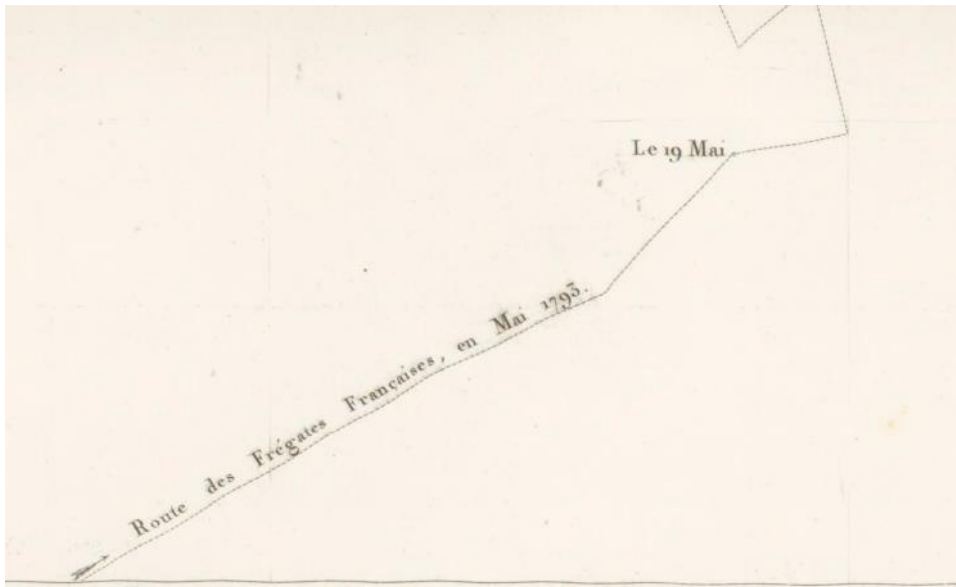
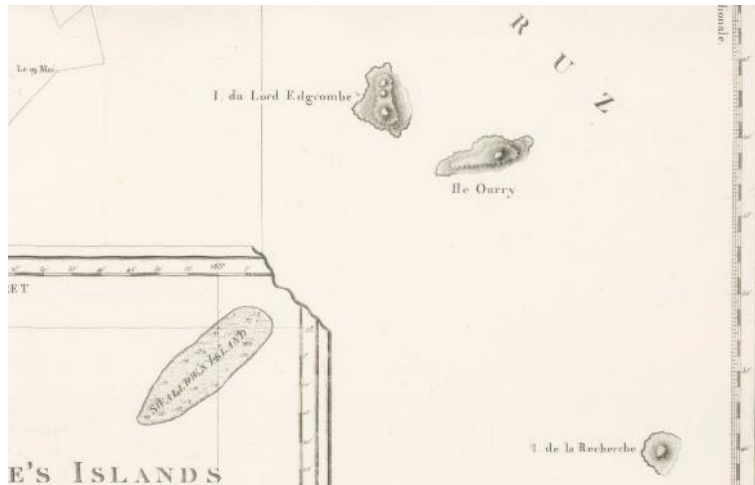
Observations, 1791-1795 Beautemps-Beaupré – Archives nationales – MAR/5JJ/20.

Sur les relevés effectués par Beautemps-Beaupré, la lettre F correspond à l'île de Vanikoro (dont le sommet est masqué par les nuages) et les lettres de B à E à l'île d'Utupua.

Philip Carteret est un officier de marine, navigateur et explorateur britannique. Le 12 août 1767, il atteint les îles qu'il appelle de la Reine-Charlotte, partie des îles Santa Cruz, découvertes en 1595 par l'explorateur espagnol Álvaro de Mendaña.



Sur la planche 20 de l'Atlas de Beautemps-Beaupré, figure la position des navires le 19 mai 1793 (sans doute à midi), la ligne verticale correspond à la longitude de 164° à l'est de Paris.

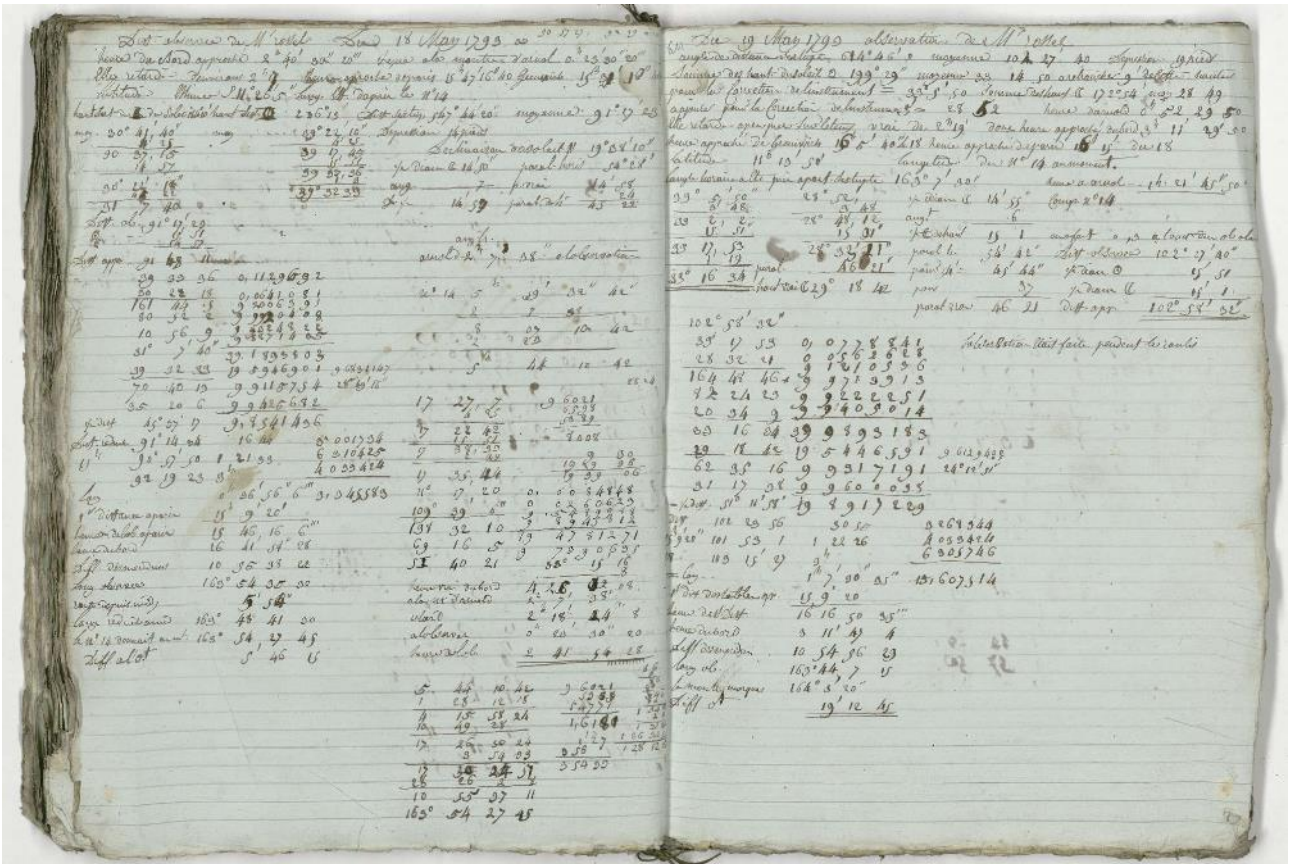


Zoom sur la carte de l'archipel de Santa-Cruz (appartenant aujourd'hui à l'État des Salomon).



Longitude le 19 mai 1793 dans le journal manuscrit d'Entrecasteaux (cote AN MAR/5JJ/6/A vue 481).

On trouve aux Archives nationales un cahier d'observation de Gicquel des Touches de Saint-Malo, pilote sur la *Recherche* (cote MAR/5JJ/6/B disponible en ligne) où figurent les calculs de détermination de la longitude du navire par la méthode des distances lunaires le 19 mai 1793.



MAR/5JJ/6/B vue 612 : longitude par les distances lunaires 19 mai 1793 (page de droite).

Trois observations de distances ont été réalisées.

- Distance de la Lune au Soleil : Rossel effectue une mesure sextuple de l'angle de $614^{\circ}46'$ ce qui donne une moyenne de $102^{\circ}27'40''$ (distance observée). Il note que la hauteur d'observation est de 19 pieds au-dessus de l'horizon.

- Hauteur du Soleil : dans le même temps, un autre observateur relève 6 fois le Soleil et obtient une somme de $199^{\circ}29'$ dont la moyenne est $33^{\circ}14'50''$ à laquelle il faut retrancher une correction instrumentale de $9'$, ce qui donne la hauteur observée du Soleil :

$$H_{OS} = 33^{\circ}5'50''.$$

- Hauteur de la Lune : un troisième observateur a relevé 6 fois le bord de la Lune et obtenu une somme de $172^{\circ}54'$ de moyenne $28^{\circ}49'$ à laquelle il faut ajouter une correction instrumentale de $3'$, ce qui donne la hauteur observée de la Lune : $H_{OL} = 28^{\circ}52'$.

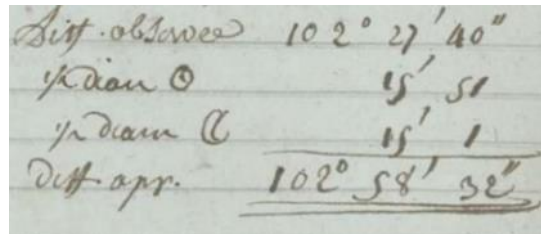
On prépare ensuite les calculs à l'aide des éphémérides.

- Calcul des hauteurs apparente réfractée et vraie du Soleil :

Hauteur observée		33° 5'50"
- dépression	-	3'48"
+ ½ diamètre	+	15'51"
		$H_{arS} = 33°17'53"$
- correction réfraction & parallaxe	-	1'19"
		$H_{vS} = 33°16'34"$

- Calcul des hauteurs apparente réfractée et vraie de la Lune :

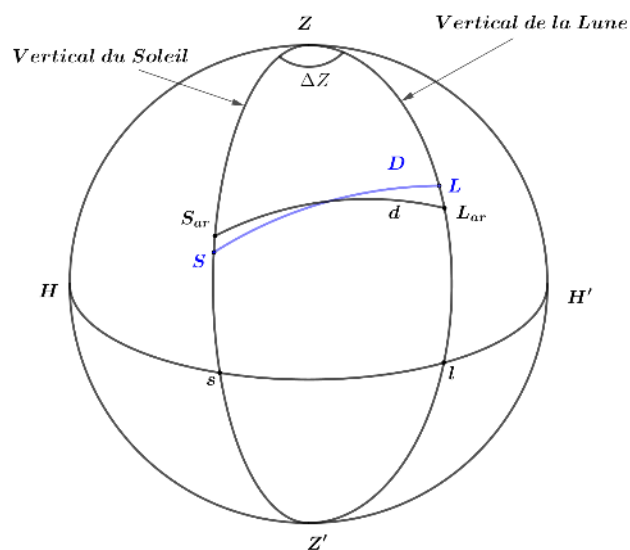
Hauteur observée		28° 52'
- dépression	-	3'48"
- ½ diamètre et augmentation	-	15'01"
		$H_{arL} = 28°32'21"$
+ correction réfraction & parallaxe	+	46'21"
		$H_{vL} = 29°18'42"$



- Calcul de la **distance apparente réfractée Lune Soleil, d** :

Distance observée		102°27'40"
+ ½ diamètre Soleil	+	15'51"
+ ½ diamètre et augmentation Lune	+	15'01"
		$d = 102°58'32"$

Une fois ces calculs préliminaires effectués, il fallait « réduire » la distance apparente d à la **distance vraie D** en utilisant la formule de Borda.



RÉDUCTION DE LA DISTANCE APPARENTE
À LA DISTANCE VRAIE

Dist. appar. \odot	73° 35' 40" - 1"			
Haut. appar. \odot	40. 4. 20.	Ar. cos	0,162060	
Haut. appar. \odot	55. 22. 20"	Ar. cos	0,2454661	
	Somme 169. 2. 20"			
	Demi-Somme 84. 31. 10.			
		cos	8. 9800395	
moins la Dist.	10. 55. 30"	cos	9. 9920567	
Haut. vraie \odot	40. 3. 19	cos	9. 8839020	
Haut. vraie \odot	55. 54. 36.	cos	9. 7485714.	
	Somme 95. 57. 55"			
	Somme 38. 9662417.			
	$\frac{1}{2}$ Som. 19. 4831208.			
	Demi-Somme 47. 58. 57			
		cos	9. 8256582.	diff. 9. 6574626
		cos Δ	9. 9497735.	$\Delta = 27. 1. 40."$
Log. Sinus de la Demi-distance			9. 7754347	Log. Sin. Δ
Demi-distance			36. 36. 8"	
Distance corrigée			73. 12. 15"	Log. 3 ^h 4. 033424
Distances prises dans les Tables	} Prédente à 9. 9. 20"	74. 20. 4.	diff. 67. 19"	Log. 4239
		72. 46. 58.	diff. 93. 6"	Compl. 2863
			Log. de l'Heure à ajouter	1376.
			Heure	2 ^h 11' 7" ^s
			Heure de la dist. préc.	9. 9. 20"
			Heure de Paris lors de l'Observation	11. 20. 27. 30"

102° 58' 32"			
39° 17' 53	0,	0778841	
28 32 4	0	0562628	
164 48 46	9	1210596	
82 24 20	9	9713913	
20 34 9	9	9222251	
	9	9405014	
63 16 34	9	893183	
29 18 42	19	5446591	
62 35 16	9	9317191	
31 17 38	9	9600055	
- 124. 51° 11' 58"	19	8917229	
102 23 56		50 16	

Réduction de la distance lunaire apparente à la distance vraie dans le cahier de Gicquel.

Nous allons détailler les calculs de réduction de la distance lunaire apparente à la distance vraie, effectués par Gicquel.

Calcul de la distance vraie Lune Soleil, D :

d	102°58'32"	<i>(distance apparente réfractée)</i>	
H_{arS}	33°17'53"	com. cos. 0.0778841	<i>complément arithmétique du log. cosinus</i>
H_{arL}	28°32'21"	com. cos. 0.0562628	<i>des hauteurs ou log(1/cos(angle))</i>
somme	164°48'46"		
½ somme	82°24'23"	cos. 9.1210536	<i>log. cosinus des angles ou</i>
diff à la dist	20°34'09"	cos. 9.9713913	<i>log(cos(angle))</i>
H_{vS}	33°16'34"	cos. 9.9222251	
H_{vL}	29°18'42"	cos. 9.9405014	
somme	62°35'16"	somme 39.9893183	
		½ somme 19.5446591	
½ somme	31°17'38"	cos. 9.9317191	diff. 9.6129400 (log sin α)
			$\alpha = 24°12'51"$
		cos. α 9.9600038	
		somme 19.8917229	

C'est le log. sinus de la demi-distance 51°11'58"

La **distance lunaire vraie** vaut donc **$D = 102°23'56"$** .

Pour le calcul de l'heure de Paris au temps de l'observation, on recherche dans les tables des distances de la lune aux astres (*Connaissance des Temps* ou *Nautical Almanac*) pour la date du 18 mai 1793, les deux distances de la Lune au Soleil entre lesquelles se trouve la distance trouvée précédemment.

Distance vraie D :		102° 23' 56"	
		diff.	30' 55"
<i>Distances prises</i>	Première à 15 h 9 min 20 s	101° 53' 01"	
<i>dans les tables</i>		diff.	1° 22' 26"
	Seconde à 18 h 9 min 20 s	103° 15' 27"	

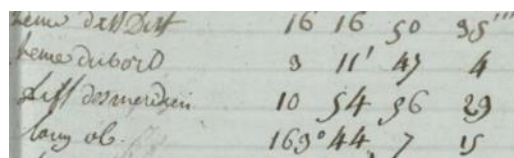
L'heure cherchée s'obtient à l'aide de la proportion :

1° 22' 26" est à 30' 55" comme 3 h sont au quatrième terme.

On obtient pour ce terme **1 h 7 min 30 s** que l'on ajoute à l'heure de la première distance.

Heure de Paris lors de l'obs. : 15 h 9 min 20 s + 1 h 7 min 30 s = **16 h 16 min 50 s**.

On déduit de ce qui précède le calcul de la longitude.



Heure de Paris lors de l'observation : **16 h 16 min 50 s 35'''**

Heure du bord lors de l'observation : **3 h 11 min 47 s 4'''**

(obtenue à partir de la hauteur du Soleil et de la latitude du vaisseau)

Différence des méridiens : **10 h 54 min 56 s 29'''**

(heure du vaisseau - heure de Paris + 24)

Longitude de l'observation : **163° 44' 7" 15''' Est**

Avantage aux distances lunaires sur les montres

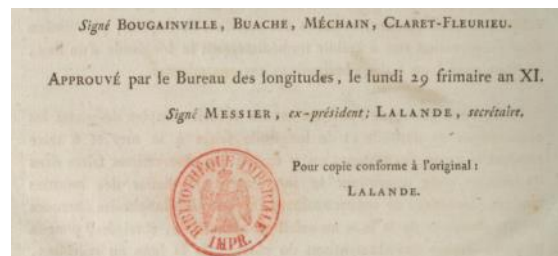
Rossel est « très circonspect » sur l'utilisation des montres marines pour obtenir des longitudes, du moins lorsqu'un long espace de temps sépare la mesure de la vérification astronomique des montres.

« Les montres marines sont plus propres à donner les différences en longitude après des intervalles de temps très courts que quand les époques des observations sont éloignées. Ces machines, quoique très parfaites dans l'état où elles sont à présent, sont cependant sujettes à de petites variations qui produisent chaque jour de légères erreurs sur les longitudes conclues ; et ces erreurs étant de nature à s'accumuler, de manière que celle de la dernière longitude est affectée de la somme de toutes les erreurs des jours précédents à compter de celui où l'on a fait les dernières observations pour régler la montre, on doit, après un laps de temps considérable, être très circonspect sur l'usage qu'on fait des longitudes obtenues par les montres. »

Dans leur rapport sur l'ouvrage de Rossel à propos des observations astronomiques durant l'expédition d'Entrecasteaux, les commissaires du Bureau des longitudes mettent en avant la méthode des distances lunaires, tout en reconnaissant un intérêt complémentaire à l'usage des montres de marine.

« Un des paragraphes du second chapitre roule entièrement sur la détermination de la longitude par les distances de la lune au soleil et aux étoiles : le C. [citoyen] Rossel discute et apprécie l'influence des différentes erreurs dont l'observation principale et les observations secondaires peuvent être affectées ; et c'est toujours d'après la théorie appuyée d'une très longue expérience qu'il pose les limites de l'incertitude qui peut encore rester sur la longitude obtenue par ce moyen. Ces limites seront beaucoup resserrées par la grande exactitude des nouvelles tables du soleil que le C. [citoyen] Delambre vient de rectifier, et par celle des tables de la lune de M. Bürg, que le bureau des longitudes a vérifiées et couronnées. »

« La marche des montres marines ne peut ordinairement être vérifiée que dans les relâches et il arrive assez souvent qu'elle change d'une station à la suivante. [...] Les montres marines peuvent servir encore à faire concourir des distances de la lune observées à des jours éloignés les uns des autres, pour fixer avec plus de précision la longitude d'un point ou de plusieurs dont on a eu connaissance entre deux relâches. »



4. Dumont d'Urville, quand les chronomètres s'imposent

Jules Sébastien César Dumont d'Urville, né en 1790 en Normandie, est très lié à Toulon, où il rencontre sa femme Adèle Pépin (son prénom sera donné à la Terre-Adélie), née à Toulon, avec laquelle il se marie en 1815. C'est du port de Toulon qu'il embarque pour ses voyages d'exploration, en 1819 à bord de la *Chevrette* pour la mer Noire et les îles grecques (découverte de la Vénus de Milo), en 1822 sur la *Coquille*, pour un voyage de circumnavigation sous le commandement de Duperrey, en 1820, commandant l'*Astrolabe* (la *Coquille* rebaptisée) pour l'exploration de la « mer du Sud » et en 1837 pour une expédition en Antarctique avec l'*Astrolabe* et la *Zélée*.

Nous nous intéressons ici à la détermination des longitudes lors du voyage de Dumont d'Urville sur l'*Astrolabe* de 1826 à 1829.



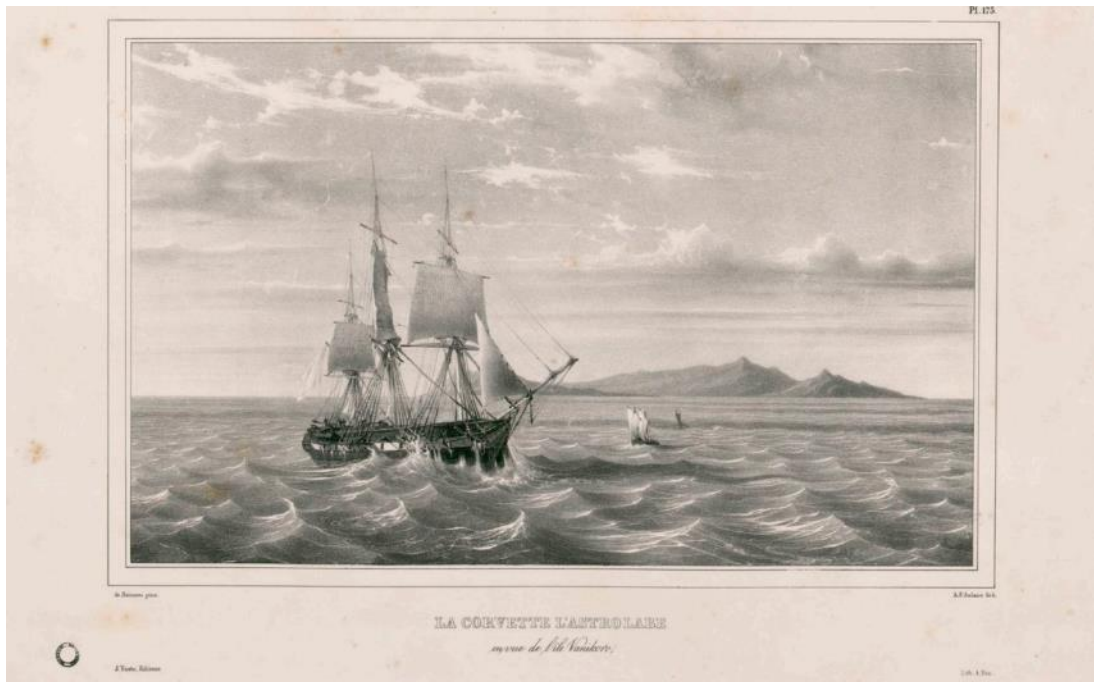
Portrait de Dumont d'Urville (1790 – 1842) – Gallica.

4.1 Le voyage de l'astrolabe : 1826-1829.

En 1825, Dumont d'Urville reçoit le grade de capitaine de frégate. On lui confie la mission d'explorer quelques archipels du Pacifique et de trouver les vestiges des navires de Lapérouse. Il doit aussi effectuer le relevé géographique des côtes imparfaitement tracées et surtout préciser la position en longitude des îles.

Dumont d'Urville quitte Toulon le 25 avril 1826 sur la *Coquille* rebaptisée l'*Astrolabe* en l'honneur de Lapérouse. L'*Astrolabe* arrive près de Vanikoro en février 1828, où sont identifiés les restes de l'expédition de Lapérouse ainsi que le lieu de naufrage des vaisseaux.

L'*Astrolabe* est de retour à Toulon en avril 1829.



La corvette l'Astrolabe en vue de l'île Vanikoro – planche 175.

La frégate *Astrolabe*, de son nom de baptême « *La Coquille* », a été construite à Toulon et mise en service en janvier 1812. Elle est construite sur les plans de Pestel, sous le nom de « Grande gabare écurie » ; elle sera reclassée corvette de 2ème classe. Elle est rebaptisée l'*Astrolabe* le 15 Décembre 1825.

Une publication luxueuse du voyage sera réalisée sous le titre *Voyage de la corvette L'Astrolabe exécuté par ordre du Roi, pendant les années 1826-1827-1828-1829 sous le commandement de M. J. Dumont d'Urville, capitaine de vaisseau*, en 15 volumes et 5 atlas, 1830-1833, chez J. Testu. On a particulièrement considéré le volume *Observations nautiques, météorologiques, hydrographiques et physiques* paru en 1833.



Présentation de certains volumes du *Voyage de la corvette L'Astrolabe*... au SHD de Toulon.

4.2 Les montres sur l'Astrolabe

Dumont d'Urville affirme avoir réalisé peu de mesures de longitudes par les distances lunaires et s'être essentiellement appuyé sur les montres marines.

« La nature active de nos reconnaissances nous a rarement permis de longues relâches : aussi nous n'avons guère pu faire usage du petit nombre de distances lunaires que nous avons mesurées. [...] Toutes les positions intermédiaires ont été assujetties aux stations principales par le transport du temps, en faisant usage des montres dont le mouvement a paru être le plus régulier pendant la durée de la traversée. [...]

Quatre montres marines avaient été remises à notre disposition, savoir : les montres n° 26 et 38 de Motel et les montres n° 118 et 83 de L. Berthoud. »

Jean-François-Henri Motel (1786 – 1859), élève de Louis Berthoud, figure parmi les plus importants horlogers français de la première moitié du XIX^e siècle. En 1823, reconnu pour la qualité exceptionnelle de son travail, il est nommé « Horloger de la Marine ».

« Le 22 août 1827, quelques minutes après avoir été remontée, la montre n° 26, qui avait servi pour les comparaisons, offrit, dans l'aiguille des secondes, un mouvement extraordinaire d'accélération qui indiqua qu'il y avait dérangement dans son mécanisme. Depuis cette époque, on cessa d'en faire usage. »

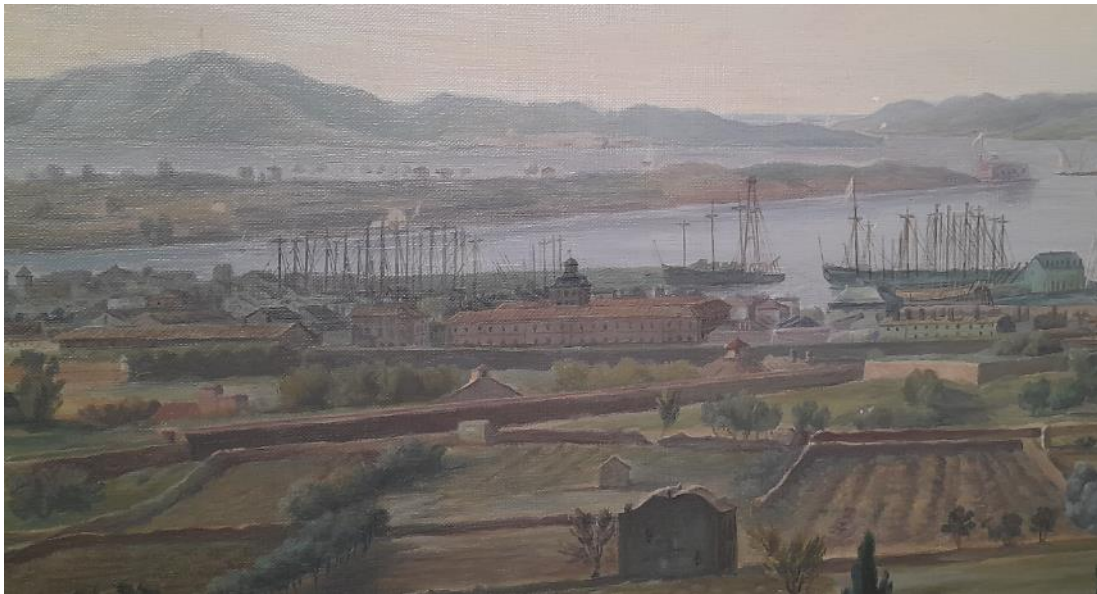
« Le 25 septembre 1827, après une salve de 21 coups de canons, le chronomètre n° 118 s'arrêta tout à coup. Remis en marche, il s'arrêta régulièrement par la suite, au bout de six heures. Pour ménager les deux montres qui restaient en état, le n° 118 fut réservé pour les observations, en ayant soin de le faire repartir chaque matin et chaque soir avant de s'en servir. »

« Sans avoir rien de très remarquable par leur précision, les marches des montres n° 38 et 83 ont été assez régulières durant tout le cours de la campagne, pour que l'on puisse accorder de la confiance dans leurs résultats, surtout avec la précaution que nous avons eue de coordonner nos travaux avec ceux de nos devanciers, particulièrement avec ceux de M. d'Entrecasteaux. »

Plusieurs jours avant le départ, la marche des montres est étudiée par comparaison avec la pendule astronomique de l'observatoire de Toulon.

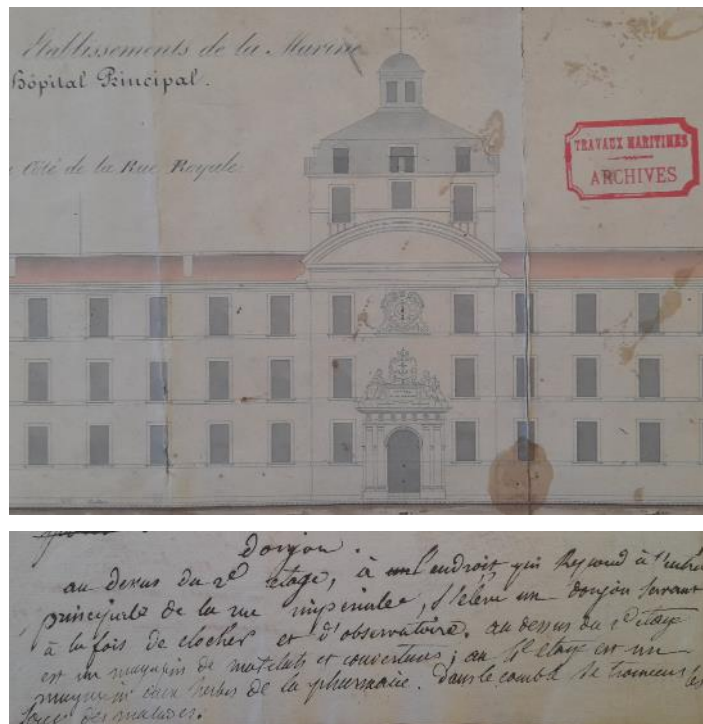
« Avant le départ de Toulon, nos montres furent journellement comparées à la pendule de l'observatoire de la marine, et ce fut au moyen de ces comparaisons que leur état sur le temps moyen du lieu et leur marche diurne furent définitivement fixés. Pour la position de l'observatoire de Toulon, nous avons adopté les ordonnées suivantes :

*43° 7' 23" latitude N.
et 3° 35' 27" longit. E. »*



Vue de la ville et de la rade de Toulon par Daniel Collemine d'après Joseph Vernet (détail)
Musée de la Marine – Toulon.

En 1826, l'observatoire de la marine se situe dans la tour de l'hôpital de la Marine autrefois situé dans l'actuelle rue Jean Jaurès (le bâtiment est détruit en 1911). Le père Antoine Laval, jésuite astronome, professeur d'hydrographie au collège des Gardes de la Marine, y avait créé un observatoire en 1719, tombé à l'abandon. En 1796, Borda et Lalande soutiennent, au nom du Bureau des longitudes, un projet de création d'un observatoire de la Marine à Toulon. C'est le donjon de Laval qui est choisi pour l'abriter.



« Donjon. Au dessus du 2^e étage, à l'endroit qui répond à l'entrée principale de la rue impériale, s'élève un donjon servant à la fois de clocher et d'observatoire ».

Manuscrit non daté accompagnant un plan de l'hôpital général daté du 1^{er} novembre 1818.
Archives – Service historique de la défense – Toulon – cote 2K2 84.

Le transport à terre de l'horloge marine étant trop risqué, la comparaison avec l'horloge astronomique à terre se fait au moyen de signaux. Chabert utilise ainsi un système « à feux » avec une charge de poudre au bout d'une perche du bord du navire. Borda, avant son embarquement sur la *Flore* en 1771, signale l'heure par un coup de pistolet permettant une méthode « à l'œil et à l'oreille ». Il faut attendre 1829 pour que le capitaine de la Royal Navy, Robert Wauchope, invente le premier système de « *time-ball* » qui est installé dans le port de Portsmouth¹⁸.

Un nouvel observatoire de la Marine est construit à Toulon en 1865. Il est équipé d'une « *time-ball* » et assure le service de l'heure¹⁹. Il est détruit en 1990.



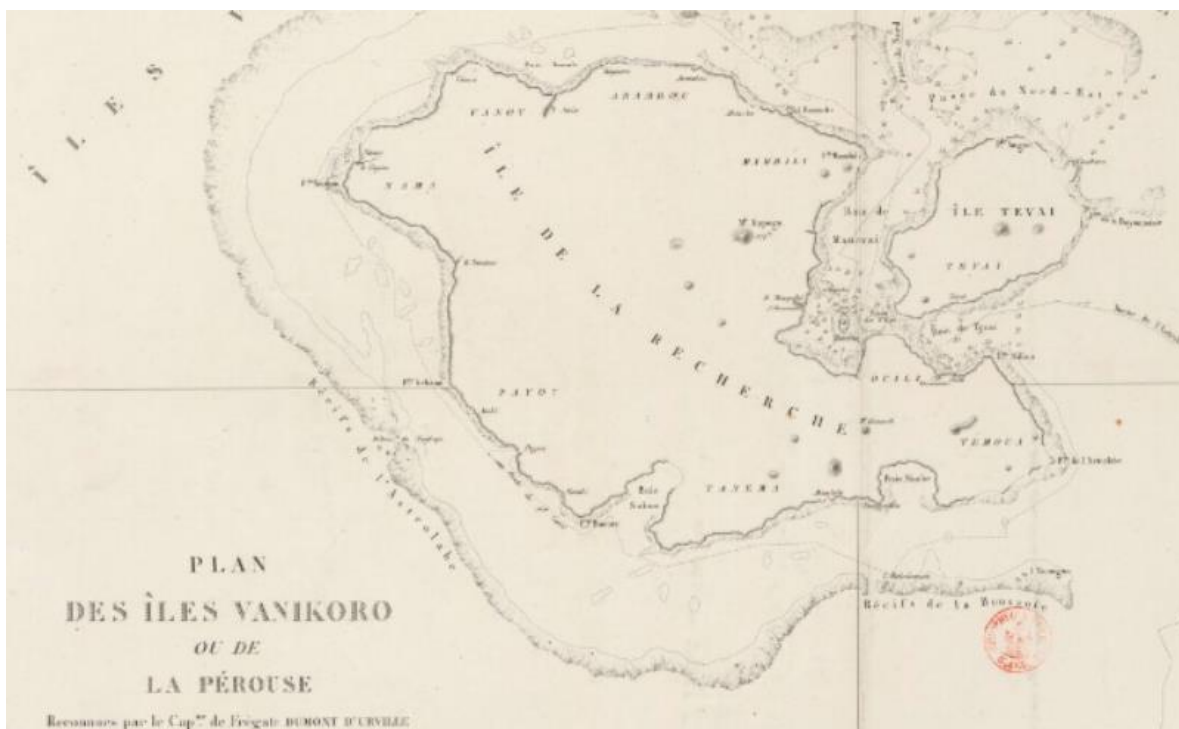
Carte postale datée de 1902 montrant l'observatoire maritime de Toulon et sa « *time-ball* ».

On peut ramener les coordonnées données par Dumont d'Urville pour l'observatoire de Toulon au système GPS. Le GPS donne pour l'Observatoire de Paris une longitude de 2,3366°E, d'où les coordonnées GPS du lieu indiqué par Dumont d'Urville pour l'Observatoire de Toulon : 43,1231°N et 5,9274°E. Ce lieu correspond exactement à la tour de l'horloge située sur le port de Toulon. Il s'agit sans doute d'un hasard, mais il est possible qu'en 1826 un signal horaire soit donné aux navires du haut de cette tour, en lien avec la tour de l'observatoire située à environ 250 mètres.

¹⁸ La « *time-ball* » ou boule horaire, visible depuis le navire, est hissée en haut de son mât et tombe à une heure précise, en général autour de midi, afin que le navire puisse régler son heure.

¹⁹ Source : Jérôme de La Noë – *Des systèmes de signalement du temps aux navires dans les ports français, dans les années 1880.*

4.3 Longitude de Vanikoro



Plan des Iles Vanikoro ou de La Pérouse. Reconnues par le Cap. ne de Frégate Dumont d'Urville / Levé et dressé par Mr Gressien...
Expédition de la corvette de S. M. L'Astrolabe Février et Mars 1828.

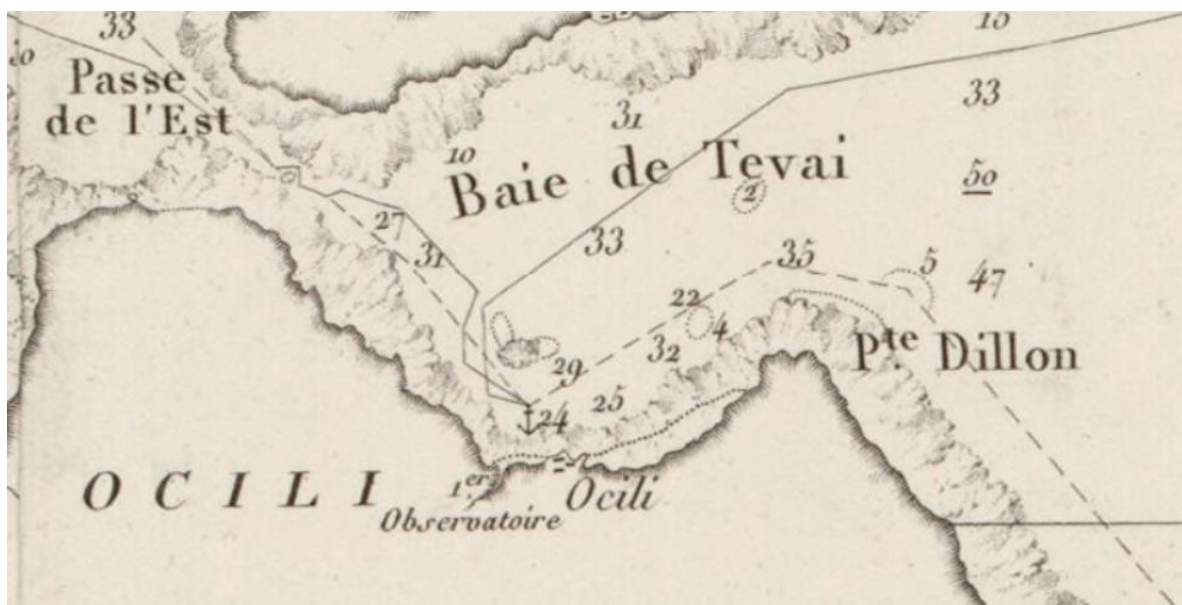
Pour obtenir la longitude de Vanikoro, sur le lieu de l'observatoire situé à Ocili, Dumont d'Urville utilise les montres marines et calcule la moyenne avec les résultats de ses prédécesseurs, d'Entrecasteaux et Dillon²⁰, et de son proche successeur Le Goarent²¹.

« Nous avons adopté, pour position définitive de notre premier observatoire au havre d'Ocili, sur Vanikoro, les chiffres suivants : lat. S. $11^{\circ} 40' 24''$; long. E. $164^{\circ} 31' 47''$.
La latitude résulte de deux séries de hauteurs circumméridiennes du soleil, observées par M. Jacquinot. M. Dillon indique $11^{\circ} 41'$ pour la latitude de ce point.
Pour la longitude, j'ai combiné les résultats suivants, savoir :
Voyage de d'Entrecasteaux, le sommet de Vanikoro, rapporté à Ocili... $164^{\circ} 28' 20''$ E.
M. Le Goarent, d'après les longitudes des deux extrémités de l'île..... $164 \quad 29 \quad 30$
Astrolabe, par la moyenne des marches des montres n° 38 et 83..... $164 \quad 24 \quad 47$
M. Dillon, par son chronomètre..... $164 \quad 44 \quad 30$

Longitude moyenne adoptée..... $164 \quad 31 \quad 47$ E. »

²⁰ Peter Dillon (1788 Martinique - 1847 Paris) est un navigateur, explorateur franco-irlandais. Il est surtout célèbre pour avoir découvert en 1827 le lieu de l'échouage de l'expédition de Lapérouse sur Vanikoro peu avant le passage de Dumont d'Urville.

²¹ Louis François Marie Nicolas Le Goarent de Tromelin (1786 Gourin en Bretagne - 1867 Lorient) est un contre-amiral français, envoyé dans l'océan Pacifique pour y mener des missions politiques et militaires. Il explore Vanikoro en juin 1828.



Connaissant avec précision le lieu d'observation, grâce à la carte de Vanikoro réalisée lors de l'expédition de Dumont d'Urville, on peut comparer avec la donnée du GPS. Le GPS donne une longitude d'Ocili à $166,9533^\circ$ à l'est de Greenwich. Ramenée au méridien de Paris, la longitude d'Ocili à Vanikoro donnée par le GPS est **$164^\circ 37' 0''$** .

Dumont d'Urville hésite cependant à retirer de son calcul de moyenne la mesure obtenue par Peter Dillon, sans en donner la raison. Il est vrai que cette mesure est sensiblement supérieure aux trois autres. Est-ce aussi parce que ce dernier est capitaine de commerce ou parce qu'il a identifié les restes de l'expédition Lapérouse juste avant lui ? Toujours est-il que ce nouveau calcul nous éloigne de la valeur donnée par le GPS.

« Une sorte de scrupule m'engagea à admettre dans cette combinaison les travaux de tous les navigateurs qui avaient eu pour objet cette île célèbre. Mais il eût été probablement plus exact de rejeter la détermination de Dillon, et alors la longitude d'Ocili aurait été $164^\circ 27' 32''$ E. »

Conclusion

Suivre ces trois navigateurs toulonnais (au sens où Chabert, d'Entrecasteaux et Dumont d'Urville sont fortement liés au port de Toulon) nous a permis de vivre en situation la résolution du problème des longitudes dans la seconde partie du XVIII^e siècle. Là où Chabert en 1750 ne peut déterminer sa longitude qu'à terre, en observant les satellites de Jupiter ou en calculant une distance lunaire, vingt-huit ans plus tard, il peut expérimenter avec succès l'utilisation des montres marines (il s'agit alors de prototypes rares et coûteux) pour renseigner en longitude les navires français impliqués dans la guerre d'indépendance des États-Unis. L'apparition de l'octant, du sextant et plus encore du cercle à réflexion de Borda permet l'utilisation des distances lunaires en mer. L'expédition d'Entrecasteaux en 1791-1793 voit l'aboutissement de cette méthode appliquée à la navigation et à la cartographie et consacre le cercle à réflexion que Beautemps-Beaupré promeut pour l'hydrographie. Les horloges et montres marines sont alors complémentaires des distances lunaires et leur marche est régulièrement contrôlée par les observations astronomiques. En 1826 avec Dumont d'Urville, les chronomètres de marine ont clairement pris l'avantage. Ils sont devenus plus fiables et performants et leur utilisation pour déterminer les longitudes demande infiniment moins de calculs que la méthode des distances lunaires. Malgré tout, les horloges marines restent rares et coûteuses à la fin du XVIII^e siècle et ne sont utilisées que pour des navigations exceptionnelles. Il faudra attendre la deuxième moitié du XIX^e siècle pour que leur production dépasse le stade artisanal et permette progressivement leur diffusion sur les navires français.

Sources primaires

- BEAUTEMPS-BEAUPRE, Charles-François – *Atlas du voyage de Bruny-Dentrecasteaux ... fait par ordre du gouvernement en 1791, 1792 et 1793* – édition 1807 – Gallica.
- BERTHOUD, Ferdinand – *Les longitudes par la mesure du temps*, 1775 – Gallica.
- BORDA, Jean-Charles de – *Description et usage du cercle de réflexion, ...* – 1787 – Gallica.
- BRUNY D'ENTRECASTEAUX [DENTRECASTEAUX], Joseph-Bernard Antoine – *Voyage de Dentrecasteaux envoyé à la recherche de La Pérouse... rédigé par M. de Rossel* – 1808 – 2 tomes – Gallica.
- CHABERT de COGOLIN, Joseph-Bernard de – *Voyage fait par ordre du Roi en 1750 et 1751 dans l'Amérique septentrionale* – 1753 – Gallica.
- CHABERT de COGOLIN, Joseph-Bernard de – *Sur l'usage des horloges marines – Mémoires de l'académie Royale des sciences pour l'année 1783 – 1785* – Gallica.
- DUMONT D'URVILLE, Jules – *Voyage de la corvette L'Astrolabe exécuté par ordre du Roi, pendant les années 1826-1827-1828-1829 sous le commandement de M. J. Dumont d'Urville, capitaine de vaisseau* – 1830-1833, chez J. Testu – 15 volumes et 5 atlas.
- LA BILLARDIÈRE, Jacques Julien Houtou de – *Relation du voyage à la recherche de Lapérouse fait... pendant les années 1791, 1792 et pendant la 1ere et la 2de année de la République Française* – deux tomes et un Atlas, 1799 – Gallica.

Sources secondaires

- Académie du Var – *Les grandes expéditions autour du monde*, Toulon 1817-1840 – Sophia-Antipolis Éditions Campanile 2018.
- BEDEL, Paul – *LA LONGITUDE EN MER PAR LES DISTANCES LUNAIRES – Aperçu historique et présentation des principales méthodes mathématiques employées du XVIIIe au XXe siècle* – Collection du Bureau des longitudes volume 13 (en ligne).
- BOISTEL, Guy – *L'astronomie nautique au XVIIIe siècle en France : tables de la Lune et longitudes en mer* – Université de Nantes, Faculté des sciences et des techniques, Centre François Viète, 2001 (en ligne).
- BOISTEL, Guy – *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)* – Revue Histoire & mesure, XXI-2 | 2006, Mesurer le ciel et la Terre (en ligne).
- BOISTEL, Guy – *Du service de l'heure à l'océanographie : unité et diversité des observatoires navals en Europe (et ailleurs) au XIXe siècle*, dans *Entre Ciel et Mer : des observatoires pour l'enseignement de l'astronomie, des sciences maritimes et le service de l'heure en France et en Europe, de la fin du XVIIIe au début du XXe siècle : institutions, pratiques et cultures*, Nantes 2016 (en ligne).
- CHALINE, Olivier – *Apprendre la mer - Au temps de la voile en France XVIIe-XVIIIe S.* – Flammarion 2022.
- CHAPUIS, Olivier – *À la mer comme au ciel, Beautemps-Beaupré & la naissance de l'hydrographie moderne* – Presses de l'Université de Paris Sorbonne 1999.
- DESPOIX, Philippe – *Mesure du monde et représentation européenne au XVIIIe siècle : le programme britannique de détermination de la longitude en mer*, Revue d'histoire des sciences, 2000 (en ligne).
- DUBOIS, Edmond – *Cours de navigation et d'hydrographie* – 1869 – Gallica.
- GRANES, Pierre – *Chabert de Cogolin, de l'écume aux étoiles* – 2019.

- LAMONTAGNE, Roland – *L'expédition hydrographique de Chabert au Canada*, dans *Revue d'histoire des sciences*, année 1964 (en ligne).
- LAMY, Jérôme – *Le problème des longitudes en mer dans les traités d'hydrographie des Jésuites aux XVIIe et XVIIIe siècles. Choix méthodologiques et pratiques instrumentales* (en ligne).
- NOË, Jérôme de La – *Des systèmes de signalement du temps aux navires dans les ports français, dans les années 1880* dans *Entre Ciel et Mer : des observatoires pour l'enseignement de l'astronomie, des sciences maritimes et le service de l'heure en France et en Europe, de la fin du XVIIIe au début du XXe siècle : institutions, pratiques et cultures*, Nantes 2016 (en ligne).
- RICHARD, Hélène – *Le voyage d'Entrecasteaux à la recherche de Lapérouse. Une grande expédition scientifique au temps de la Révolution française*, CTHS 1986.
- SAUZEREAU, Olivier – *Les signaux horaires français : la quête d'un système uniformisé*, dans *Entre Ciel et Mer : des observatoires pour l'enseignement de l'astronomie, des sciences maritimes et le service de l'heure en France et en Europe, de la fin du XVIIIe au début du XXe siècle : institutions, pratiques et cultures*, Nantes 2016 (en ligne).

Droits photographiques

- Bibliothèque nationale de France – Gallica : pages 9 ; 12 ; 14 ; 15 ; 16 ; 17 ; 20 ; 21 ; 22 ; 23 ; 25 ; 35 ; 36 ; 37 ; 40 ; 41 ; 42 ; 52 ; 53 ; 54 ; 58 ; 59.
- Archives nationales – Documents numérisés accessibles en ligne : pages 1 ; 39 ; 43 ; 44 ; 45 ; 46 ; 47 ; 48 ; 49 ; 50 ; 51.
- Collection nationale de cartes et plans – Gouvernement du Canada (en ligne) : page 11.
- Photos des auteurs : Musée des Arts et Métiers Paris, pages 13 ; 26 ; 27 ; Musée national de la Marine Paris et Toulon, pages 7 ; 8 ; 24 ; 38 ; 56 ; Archives nationales Paris, pages 29 ; 30 ; 32 ; 33 ; Service historique de la défense Toulon, pages 34 ; 54 ; 56 ; Observatoire de Paris, page 19 ; Observatoire de Greenwich, page 14 ; Château d'Entrecasteaux, page 34 ; carte postale ancienne de Toulon, page 57.

Table des matières

Résumé.....	2
Plan	2
1. Le problème des longitudes	3
1.1 Se repérer en mer	3
1.2 Les méthodes	5
2. Chabert de Cogolin, du quart de cercle à l'horloge de marine	7
2.1 Un navigateur savant toulonnais	7
2.2 Voyage au Canada 1750-1751.....	9
Préparation du voyage	9
Les objectifs de la mission	10
De Brest à Louisbourg à bord de La Mutine	11
Les instruments scientifiques à bord de La Mutine	11
L'observatoire de Louisbourg	16
Longitude de Louisbourg par les satellites de Jupiter le 20 décembre 1750 ..	18
Longitude par les distances lunaires le 17 juin 1751	20
Retour à Toulon à bord du Triton	23
2.3 Longitude par les horloges marines en 1778-1779 et en 1781-1782	23
Longitude à l'entrée de la Delaware (cap Henlopen) avec l'horloge marine n° 3 le 7 juillet 1778.....	28
Longitude à la baie de la Chesapeake le 22 septembre 1781	29
3. D'Entrecasteaux à l'âge d'or du cercle à réflexion	34
3.1 À la recherche de Lapérouse	34
3.2 Les instruments de l'expédition.....	37
3.3 Longitude de l'île de la Recherche (Vanikoro)	44
Avantage aux distances lunaires sur les montres	52
4. Dumont d'Urville, quand les chronomètres s'imposent.....	53
4.1 Le voyage de l'astrolabe : 1826-1829.....	53
4.2 Les montres sur l'Astrolabe	55
4.3 Longitude de Vanikoro.....	58
Conclusion	60
Sources primaires	61
Sources secondaires.....	61
Droits photographiques	62
Table des matières	63