

Le cercle de Borda et la carte des îles Canaries

Sylvie Provost

Les îles Canaries, conquises en 1402 par le Normand Jean IV de Béthencourt, au service du roi d'Espagne, ont servi pendant longtemps de bornes infranchissables et de limite géographique des eaux. Bornes infranchissables au-delà desquelles les courants violents faisaient naufrager, sur les bancs d'Arguin, les vaisseaux imprudents. Limite géographique des eaux où Louis XIII définissait, en 1634, le dernier espace au-delà duquel les relations de courtoisie avec les sujets d'Espagne et du Portugal pouvaient ne plus s'exercer et où il choisissait, pour la plus occidentale de ces îles, la référence du premier méridien géographique du monde. La navigation hauturière y trouva un repère exceptionnel avec le plus haut volcan connu à l'époque, dominant la mer à 3718 mètres. Aujourd'hui, l'Europe s'intéresse à nouveau à ces îles : elle vient d'inaugurer, le 30 juin dernier, le télescope solaire Thémis qui permettra de mieux connaître l'astre solaire et son champ magnétique en confrontant les mesures au sol avec celles fournies par le satellite SOHO. L'observatoire, situé à 2400 mètres d'altitude, surplombe la mer au pied du Pain de Sucre, sommet du pic de Tenerife.

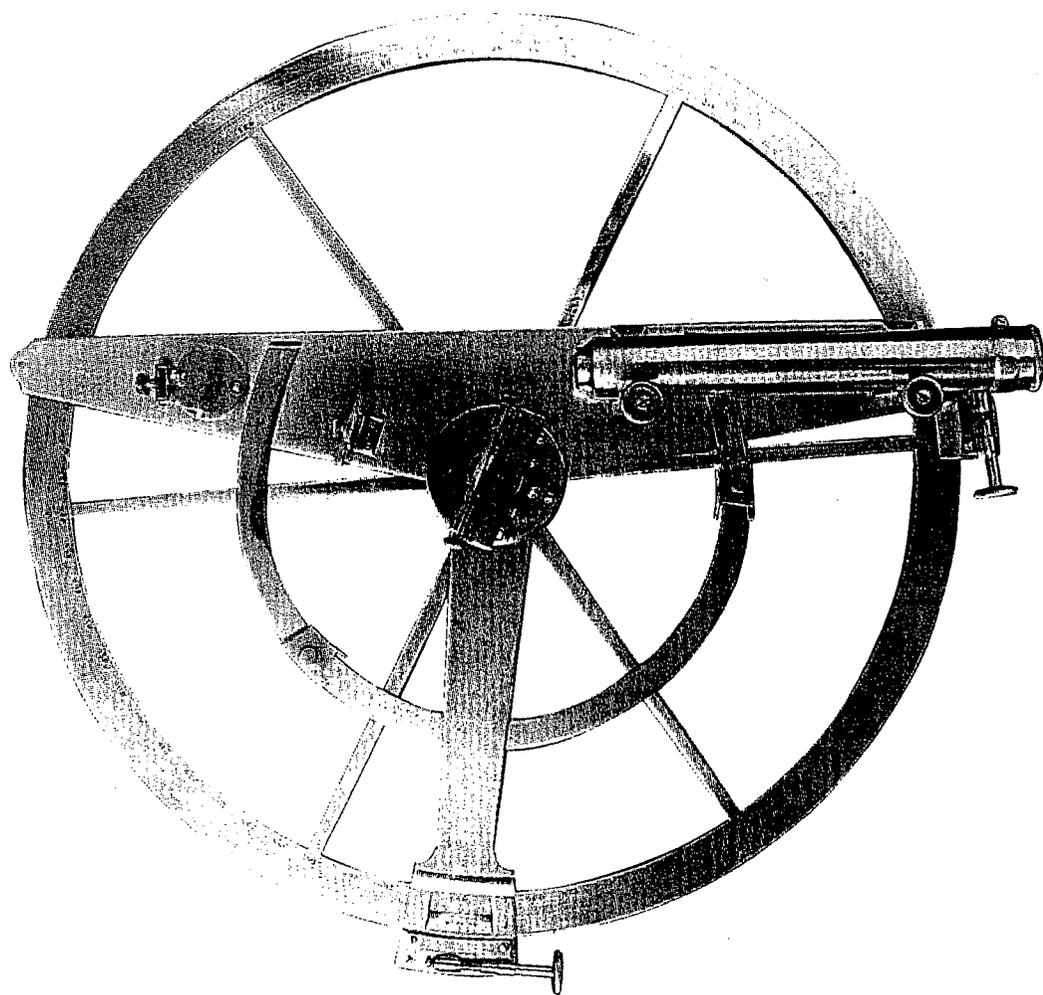
Les îles Fortunées.

C'est aux confins de la mémoire humaine, quelque six mille ans avant le déluge de Noé, qu'aurait pu s'effondrer la partie occidentale de la terre d'Atlantide avec rupture des colonnes d'Hercule. Seules auraient émergé les îles des Açores, Madère, Canaries et du Cap-Vert¹. Platon nous le rappelle dans ses dialogues le *Timée* et le *Critias* mais, par les caprices de son imagination, il moralise cet éventuel bouleversement géologique en une vengeance des Dieux qui aurait fait perdre aux Atlantes la paix et le bonheur, car ils n'avaient pas respecté la Loi. Ces îles, dites Fortunées depuis que les « Grecs avaient fait de leur âme heureuse le séjour enchanté² », sont aussi sur le trajet des vents alizés, et deviennent des sites stratégiques de la navigation à voile.

En 1776, Jean-Charles de Borda réalise la carte de ces îles, liées aux côtes marocaines proches, pour les gens de mer « dont la vie et la fortune dépendent en grande partie de la bonté des cartes marines³ », et parce que ce voyage aux Canaries est « utile à la géographie, au commerce et aux arts⁴ ». L'utilité est ici obtenue par une mise en ordre du spectacle de la nature, pour le bien des sujets du roi de France, avec un espoir d'échange. Lors de ce voyage aux Canaries, le chevalier de Borda est confronté à l'irrégularité des vents, des courants et des lignes de la côte. Dans cette grande dispersion spatiale, il doit faire le choix de quelques rares objets remarquables pour se repérer et réaliser la carte géographique. Ce lien entre l'observation singulière et la représentation plane élaborée, plus générale, fait l'intérêt de l'expédition scientifique de 1776. Dans sa relation de voyage, rédigée en sept cahiers, Borda note chaque jour les trajets, les atterrages, les relèvements et les observations astronomiques nombreuses où pour la première fois, de manière officielle, il met son cercle à réflexion à l'épreuve des sextants ou octants.

Le cercle de Borda

Ce n'est que vers la fin du XVIII^e siècle que les Français Picard et Auzout substituent aux alidades à pinnules des lunettes munies de réticules à fils d'araignée. La précision, qui était de l'ordre de 1' à 2' d'angle, augmente alors d'un facteur dix à quinze. Vingt ans plus tard, Newton remarque que la double réflexion, contrairement à la simple réflexion, rend la direction du rayon émergent indépendante de celle des deux miroirs. Si ceux-ci ne changent pas, on peut faire tourner l'ensemble sans modifier la direction du rayon de sortie. Cette idée, rendant inutile l'installation fixe, sera appliquée pour l'observation en mer. En 1757, Tobie Mayer propose de remplacer l'octant ou quart de cercle de Newton, perfectionné par Hadley, par le cercle à réflexion qui a « cet avantage singulier, qu'en multipliant les observations [...] on diminue toujours de plus en plus les erreurs [...] du défaut de division et qu'il ne tient pour ainsi dire qu'à la patience de l'observateur que ces erreurs ne soient à la fin presque totalement détruites⁵ ».



Borda sait la nécessité devenue essentielle d'avoir plus de précision dans les observations depuis que l'on détermine les longitudes par les mesures de distance de la lune au soleil et aux étoiles. Il a senti que, pour profiter de tous les avantages de cette méthode, il est nécessaire de perfectionner les moyens employés jusqu'alors.

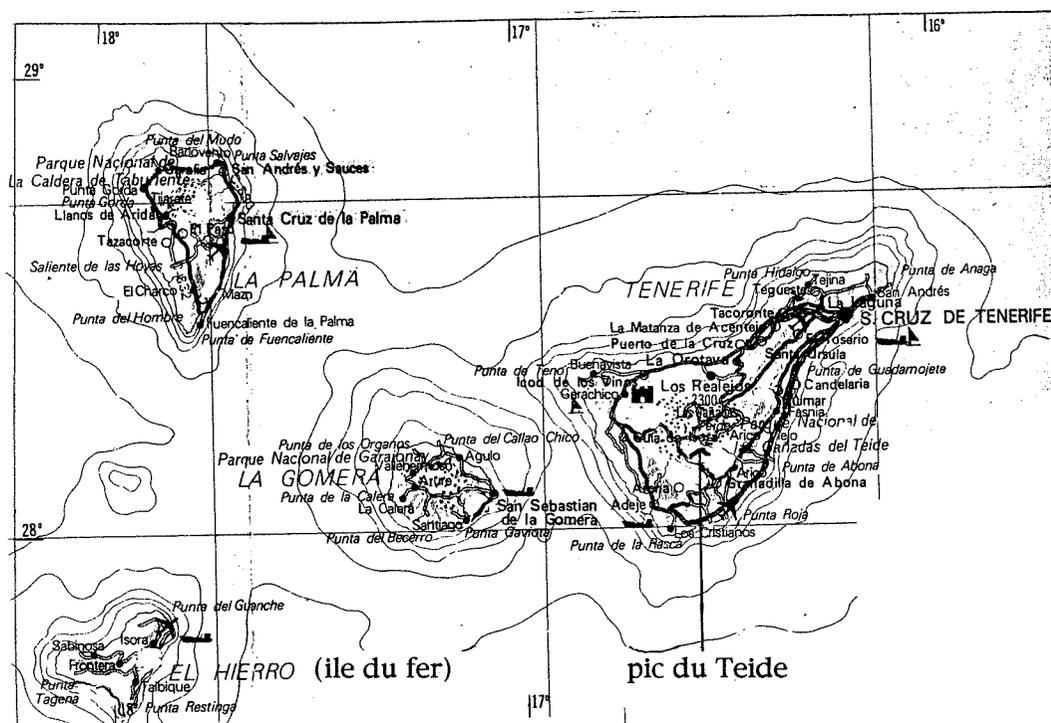
Le cercle de Mayer, tel qu'il a été réalisé, présente des défauts de parallélisme des deux miroirs qui produisent des erreurs plus grandes que celles des imperfections de la division. Deux secondes de différence dans les distances occasionnent une erreur de soixante secondes sur les longitudes soit trente fois plus. « L'exactitude à laquelle il fallait parvenir pour avoir un résultat certain, paraissait donc si difficile que l'on désespérait de pouvoir y atteindre par les soins que l'on mettait à construire toutes les parties des instruments qui servent à observer les distances, uniquement à cause des bornes que la nature a mises à la perfection des ouvrages humains. Borda a reculé ces bornes et même a donné le moyen de les franchir, en rendant la construction du cercle à réflexion propre à atténuer, à la volonté de l'observateur, les défauts d'exécution. [...] Par un de ces moyens simples qui caractérisent le génie, Borda, en construisant l'instrument de manière que les rayons visuels de l'image vue par réflexion puissent parvenir au grand miroir en passant à la droite et à la gauche de la lunette, a rendu inutile la vérification du parallélisme des deux miroirs⁶. » Du coup, la précision des observations en mer des distances, de 30'' avec le cercle de Mayer, peut atteindre 5'' au plus, avec le cercle de Borda. Cet instrument, le plus parfait en cette fin du XVIII^e siècle, sera perfectionné au début du XIX^e siècle en plaçant deux verniers aux extrémités de l'alidade qui porte la lunette afin de supprimer le défaut de centrage.

En libérant l'espace entre la lunette et le petit miroir pour croiser les observations, en rendant indépendants du corps de l'instrument et libres de mouvement la lunette, le petit miroir et les verres colorés qui égalisent l'intensité des images de la lune et du soleil, Tobie Mayer et Jean-Charles de Borda atteignent l'idéal, une mesure d'angle presque sans défaut, par les observations elles-mêmes. Cet instrument si singulier et si particulier est le mieux adapté pour la méthode des longitudes en mer — la plus performante à l'époque — par la distance de la lune au soleil.

La course à la précision, trait d'union entre théorie et pratique ou réalité du terrain, n'a d'autre but que l'exactitude. Elle trouve ici une solution presque idéale, au moyen d'une lente et difficile recherche d'indépendance d'un paramètre par rapport à un autre mais au prix de la complexité, de la délicatesse et du coût.

En 1780, Jean Hyacinthe de Magellan⁷, constructeur à Londres, juge alors que « le bon marché de certains instruments les rend réellement chers ce qui paraît un paradoxe [...] car il faut acheter dans la suite, un autre qui soit bon. ». Il conseille à ses clients d'avoir un « soin extrême d'emballer les instruments [...] mais sans les forcer jamais [...]. S'il y a la moindre pièce en liberté [...] elle gâtera tout. Enfin il est absolument nécessaire de ne pas laisser noircir les instruments. Lorsqu'il s'agit de passer l'huile [d'olive] dans les endroits où le petit linge ne peut toucher, on emploiera un pinceau de poils de chameau bien doux. » Et si une « rouille cuivreuse verdâtre foncée [...] vient à se couvrir, il faudra employer de la poudre très fine émeri, fleur de potée, ou chaux d'étain, crocus martial [...] avec de l'huile frais⁸ ».

Le 3 mars 1777, le chevalier de Borda, dans un courrier à Sartine, secrétaire d'état au département de la Marine, rend compte de son voyage sur la frégate La Boussole, pour déterminer la position exacte des îles Canaries. Il lui semble « utile que cet instrument [le cercle] dont [il] a fait usage pendant la campagne et qui [lui] paraît supérieur au sextant, soit connu dans la Marine », et il propose d'en faire une copie pour Puységur qui a appris à s'en servir pendant ce voyage.



CARTE DES CANARIES OCCIDENTALES

Étude comparative des trois instruments à réflexion :

	Octant, sextant d'Hadley	Cercle de Tobie Mayer	Cercle de Borda
Centre de gravité	Il n'est pas au centre de la figure. Cet instrument devient très incommode pour la mesure des longitudes par la distance lune-soleil ou étoiles, faite hors du plan vertical.	Il n'est pas au centre de la figure.	G passe au centre de la figure du cercle. En tenant le manche, on peut tourner le cercle en tous sens : les plans des positions communes des astres sont extrêmement variés.
Masse volume	Diamètre plus grand que les cercles à réflexion (précision) donc instrument plus pesant et volumineux	Léger, mais petit rayon. Peu de volume	1,1 kg environ. On le tient sans fatigue à bout de bras. Peu de volume
Ajustement (vrai zéro du limbe)	Nécessaire, ce qui cause en mer des erreurs de 20'' à 30'', soit 10' de longitude, si l'horizon est mal déterminé	Inutile (répétition)	Inutile (répétition)
Défaut de parallélisme entre les deux miroirs	À rectifier	À rectifier	Inutile (observations croisées)
Défaut de parallélisme du grand miroir	À rectifier	À rectifier	À rectifier mais espérance d'un miroir de platine parfaitement plan.
Erreur de coup d'œil de l'observateur	Oui	Non (répétition)	Non (répétition)
Durée de l'observation	Elle est ralentie par la multiplicité des opérations préliminaires	Assez rapide	Rapidité d'exécution : huit minutes pour la distance des astres, mais quelques difficultés à jouxter les deux images.
Précision en angle observé	6'' à 7''	30''	5'' (Rossel 1808)

Au début du XIX^e siècle, Bohnenberger propose de mesurer la colatitude d'Altona, près de Hambourg, par l'observation de la hauteur maximale du soleil à midi, à l'aide de sextants et cercles à réflexion. Cette colatitude est connue par les astronomes de l'observatoire (36° 27' 14, 4''), ce qui permet de mettre les instruments à l'épreuve. Le sextant de six pouces de rayon comme le cercle de cinq pouces donnent une moyenne identique, sans erreur, de 36° 27' 14''.

Les mesures ont été faites à terre, et dans un plan vertical, ce qui ne met pas en valeur l'un des avantages du cercle de pouvoir faire des mesures dans des plans très variés. Pour égaler les performances du cercle de Borda, le nombre des observations au sextant doit cependant être plus important. En 1883, Hervé Faye, dans son cours d'astronomie de l'École polytechnique, affirme que le cercle de Borda est bien supérieur au sextant « quand il s'agit de mesures délicates. On préfère néanmoins le sextant parce que la manœuvre est plus simple et qu'il coûte moins cher. »

Comment calculer les longitudes en mer

La question que doit résoudre le navigateur pour « ne pas errer des mois entiers entre la mer et le ciel entre la mort et la vie⁹ », est de déterminer le lieu où il se trouve par les deux coordonnées géographiques, la longitude L et la latitude l (ou, selon les origines, colatitude). Ptolémée avait choisi les îles Fortunées comme limite occidentale du monde habité pour le calcul des longitudes et Louis XIII le réaffirmera en souvenir des Anciens. Mais les nations préfèrent choisir leur propre origine comme Paris, pour la France, à quelque 20,5° à l'est de l'île de Fer (Hiero).

Dès lors que la latitude est déterminée par la mesure, à l'octant ou au cercle à réflexion, de la hauteur du bord du soleil à midi, corrigée de la réfraction, de la parallaxe, et du demi-diamètre apparent du soleil, résultat retranché de la distance polaire, il y a trois possibilités pour aborder la question des longitudes : soit par l'estimation de la route du vaisseau avec la boussole et le loch, soit par la lecture du temps moyen donné par une horloge disposée à bord, soit par la mesure de distance angulaire lune-soleil ou étoiles, méthode astronomique autre que celle des éclipses.

La première méthode consiste à définir la direction de l'axe du vaisseau par rapport au méridien magnétique, par la lecture du cap (A) sur la boussole fixée près de la barre, et à obtenir l'angle de route V, somme de l'azimut A du soleil et du cap (A) du navire. Le chemin parcouru s, s'obtient en dévidant de 300 mètres le loch dont les nœuds se ponctuent pendant un laps de temps de 30 secondes, tous les 15,43 mètres. Pour une latitude ou colatitude fixe, la variation de longitude est $\Delta L.k = -s \cdot \sin V$, k(l,l') constante.

La deuxième méthode consiste à lire le temps moyen d'une horloge calée sur l'heure de Paris Hp, et à déterminer l'heure locale du bateau par la hauteur de l'astre solaire. C'est à Gemma Frisius, en 1530, que l'on doit cette idée de déterminer la longitude d'un vaisseau par la mesure du temps par les horloges, H étant l'heure locale du navire, Hp l'heure de Paris au même instant. La différence (H - Hp) donne la longitude. La mesure de l'angle horaire, par les instruments à réflexion AH dans le méridien local, permet d'obtenir l'heure locale directement et, par les coordonnées des astres compilées dans la connaissance des temps, on vérifie l'horloge calée sur l'heure de Paris.

Enfin, la troisième méthode, indépendante des deux premières, est celle de la mesure angulaire des distances lunaires. En 1750, La Caille expérimente cette nouvelle théorie astronomique autre que celle des éclipses mais ne bénéficie pas d'instruments suffisamment précis. Cette méthode est vérifiée depuis 1514 par Jean Werner, astronome géomètre à Nuremberg ; elle pose le problème ardu de la théorie du mouvement de la lune, imparfaitement connu du fait de la complexité des interactions gravitationnelles des trois corps Soleil, Lune et Terre. Cette question d'astronomie a mis en avant, au XVIII^e siècle, les noms de Bradley, Simpson, Euler, Mayer pour ses tables, Clairaut, d'Alembert et Laplace. La France, avec ces trois derniers savants, offre une connaissance presque parfaite du mouvement de l'astre lunaire.

En 1755, Mayer propose à l'Angleterre son cercle à réflexion mais la comparaison de celui-ci avec l'octant d'Hadley, faite à trois reprises par Bradley et Campbell en 1757, 1758 et 1759, n'est pas convaincante. Cette méthode s'impose grâce au succès de Maskelyne qui, en 1761, observe à l'île de Sainte-Hélène le passage de Vénus sur le disque solaire. Maskelyne prend le temps de convaincre les officiers des différents vaisseaux sur lesquels il navigue de la simplicité et de l'exactitude de cette

procédure. En effet, les marins regardent la question des longitudes comme inutile à la pratique quotidienne du pilotage.

Depuis la disparition de l'astronome La Caille, les progrès en France sont rares car les bons instruments n'existent pas. C'est à ce moment-là que Borda entre dans le corps de la Marine. Plus tard Pierre Lévêque, en 1802, ne tarira pas d'éloges envers cet ingénieur et savant devenu navigant : « Il en [la Marine] embrassa toutes les parties. Par son exemple et par ses travaux, il a contribué [...] à répandre dans la Marine le goût des observations. Il donna naissance à l'instrument circulaire qui porte son nom et perfectionna et simplifia les méthodes de calcul¹⁰. » En effet, au XVIII^e siècle, la difficulté principale des opérations consiste à transformer la distance angulaire dite apparente, centrée au sol, à celle dite vraie géocentrique, parce que comparable aux données des éphémérides. C'est alors que Borda modifie ses transformations d'origine dans le triangle sphérique — soit deux relations — en une seule égalité beaucoup plus simple d'utilisation et plus rapide. La méthode de Borda qui, de toutes les méthodes directes, est la plus courte et la plus précise, est concurrencée vers 1790 par celle de Mendoza Y Rios dont l'addition de cinq sinus verses¹¹ donne la distance vraie. Dès le début du XIX^e siècle, l'horlogerie fait de réels progrès et devient le meilleur moyen de trouver les longitudes, procédé que l'on substitue aux observations de distances de la lune au soleil pour vérifier ces garde-temps, et qui sert à réaliser les cartes marines. C'est Fleurieu qui, le premier en France, l'expérimente.

Ces trois méthodes magnétique, chronométrique et astronomique se soutiennent, pour la réalisation des cartes hydrographiques, selon la perfection des théories astronomiques et des instruments d'observation. La première peut donner une solution approchée et indirecte à la troisième et peut suffire pour la description des côtes. Elle donne à « très peu près » la longitude du vaisseau. Et, si la méthode des distances lunaires a son heure de gloire au XVIII^e siècle et au début du XIX^e siècle, c'est par conjonction en France de l'excellence de la théorie et de la pratique et aussi parce que Borda a pu convaincre les intéressés de la pertinence du résultat, à l'occasion de son voyage aux Canaries.

Relation de voyage de Borda, la carte comme art de la synthèse

Pendant son voyage de près de deux mille kilomètres, Borda n'a pas besoin, comme le père Feuillée, d'esquiver les redoutables corsaires marocains de Salé, à l'affût de la moindre faiblesse, ni d'attendre le crépuscule pour appareiller dans des ports. Dix jours sont nécessaires pour aller de Brest, le 23 mai 1776, à Cadix, après un repérage fin des îles Barlingues, au nord de Lisbonne, et deux mouillages, l'un à l'entrée du Tage et l'autre au creux du cap Saint-Vincent, au port de Lagôa.

Borda y rencontre le général d'escadre Duchaffaut, revenant des côtes d'Afrique, pour lui remettre un courrier. Les douze jours de relâche à Cadix sont utilisés pour vérifier, par l'horloge à pendule de l'observatoire de la ville, les deux horloges à poids n° 18 et n° 10 offertes par l'Espagne ainsi que la montre à ressort, toutes trois construites par Ferdinand Berthoud. Le chevalier de Borda prend à son bord deux officiers espagnols, don Joseph Varala, et don Louis d'Agadas, qui l'aideront dans son travail.

La traversée de Cadix à Sainte-Croix-de-Tenerife (Santa Cruz de Tenerife) est ponctuée de quelque dix-huit arrêts à quelques kilomètres des côtes du Maroc pour que M. Ozanne, professeur de dessin des gardes de la Marine à Brest puisse en représenter l'aspect particulier et pour permettre au chevalier de Borda, utilisant son cercle à réflexion, de déterminer les coordonnées géographiques des points les

plus remarquables. La Boussole et L'Espiegle arrivent à Sainte-Croix-de-Tenerife le 22 juillet 1776 et, le 1^{er} août, Borda voit le célèbre navigateur anglais Cook, sur La Résolution, mouiller au port. Cook reste trois jours pour relâche et profite de cette rencontre pour comparer les garde-temps et instruments de précision. Son départ se fait le 4 août vers le cap de Bonne-Espérance, pour son troisième tour du monde.

Enfin il faudra près de deux mois sur place pour collationner les mesures de latitude et de longitude des différents points remarquables de ces sept îles et la hauteur du pic de Teide, nécessaires à la réalisation de sa carte.

Les cartes sont réalisées en tenant compte de la nécessité de conserver la continuité des trajets maritimes courbes sur le plan de la carte et par compilation du journal de voyage rédigé par des savants comme le père Feuillée, aux îles Canaries, en 1724, Fleurieu en 1772 ou Borda en 1776. Les cartes, dessinées sommairement à la plume dans le manuscrit du père Feuillée, s'élaborent et se complexifient : le maillage des méridiens est équidistant en 1724 et ne l'est plus avec Fleurieu ou Borda. Le canevas vertical et horizontal des latitudes est non équidistant parce que relié aux douze roses des vents alignées sur un cercle dont le centre, celui de l'espace marin, est la rose principale qui indique le nord par une fleur de lys. Cette irrégularité des espaces se retrouve sur la carte de Borda par un réseau de droites inclinées à 45° formant des lignes polygonales assez belles et régulières.

Pour la carte de 1772, la rose des vents principale est entourée de quatre roses secondaires. Cet enchevêtrement des trente-deux lignes radiales, ou rhumbs, et des lignes orthogonales, occupe tout l'espace maritime de manière plus construite. Ces lignes viennent s'éteindre en de multiples points du contour chaotique des rivages, créant un ordre par création de symétries, de points centraux, de lignes polygonales, d'harmonies apaisantes.

Le repérage de l'extrémité ouest de l'île de Fer, principal objet du voyage aux Canaries du père Feuillée, est à 20° de longitude ouest de Paris. Comme l'est celui représenté par Fleurieu qui s'intéresse davantage aux côtes d'Afrique, assez mal repérées, et à l'île de Tenerife, pour son pic volcanique. Borda corrige la position de cette île fameuse à 20° 30' de longitude ouest. Les corrections y atteignent près d'un degré de latitude en huit ans pour ce qui concerne les côtes du Maroc entre la rivière du cap Non et Boca del Rio, soit près de cent kilomètres de côte sous-estimés. La forme, l'orientation, l'aire des îles sont fortement modifiées par Borda pour l'île de Fer ou de Fortaventure (Fuerteventura). Le pic de Teide (3 718 m) est repéré à 18° 50' de longitude en 1724, puis à peine 19° en 1772, et exactement 19° en 1780.

Le père Feuillée utilisait un quart de cercle dont la sensibilité ne dépassait pas 4' alors que celle du cercle de Borda est de 5'', ce qui donne soixante fois plus de précision. Le repérage du fameux pic de Teide se corrige par changement d'origine uniquement par la trigonométrie plane, alors que la méthode astronomique utilisée jusqu'en 1767, les éclipses des satellites de Jupiter, produit jusqu'à dix lieues d'erreur soit 40 km environ. À cette époque, les calculs faits par le père Pingré, après une seule observation au quart de cercle de la hauteur de la lune, lui demandent au bas mot au moins trois heures de travail. La vision extérieure de cette carte ne rappelle pas tout ce temps passé, cette patience, cette accumulation de connaissances de tous ordres. Dans ce domaine, Borda excelle : « il a joint à beaucoup de connaissances une grande facilité et un goût naturel à les communiquer, qualités d'autant plus rares et utiles qu'il ne pense pas, comme la plupart des savants, que les connaissances qu'il a acquises soient un patrimoine qui

ne doive pas circuler¹². » Jean-Charles de Borda passe « subitement d'une condition méditative et retirée [...] — l'étude des mathématiques suppose une vie sédentaire [...] — au métier actif, pénible, errant et dissipé de voyageur¹³ ». Il s'applique à rendre géographiquement plus exacte, avec son cercle à réflexion, la carte des îles Fortunées, lieux de passage et d'oubli de leur histoire, comme les lignes et les soupirs. La froideur apparente de la ligne, ou trait de frontière entre l'eau et la terre, que la science a imposée, l'exactitude du contour, répondent à l'espoir de clémence du voyage par la bonté des cartes marines ; car « la carte repose sur un faire croire : la géométrie rigoureuse des lignes de rhumb et la promesse d'atteindre sa destination, l'autre rive de l'océan, avant même d'avoir quitté le port »..., comme les huit paysages côtiers disposés en ordre, horizontalement dans l'espace terrestre des royaumes redoutés de Fez et du Maroc, « conjurent les angoisses du vide et de l'inconnu... par un jeu savant de réminiscence¹⁴ ».

On pourrait conclure par le non-dit des cartes qui, lentement, aplatissent tout relief et perdent une certaine esthétique, mais la diffusion a ses lois. Silence aussi sur les enjeux de ces cartes des Canaries qui doivent offrir une escale des plus sûres pour les voyages plus risqués aux Indes, ou le long de la côte de Guinée, que ce soit en temps de guerre ou en temps de paix. Restent en mémoire le naufrage de M. de Brisson rendu captif des Maures, en 1785, et celui de La Méduse, en 1816, sur le banc d'Arguin à quelques centaines de kilomètres plus au sud, par la conscience oubliée du danger des courants violents et de l'importance de la carte comme enjeu d'humanité. M. de Brisson n'avait-il pas observé en vain « que la mer commençait à prendre une teinte plus claire [et] proposé de faire jeter la sonde » ? Le capitaine du navire marchand, « d'amour propre et de confiance démesurés [avait alors] préféré le mal que de le prévenir¹⁵. »

Le voyage, le trajet sur la mer, le pilotage n'étaient-ils pas autrefois l'idéal d'un sage gouvernement, l'expérience comme pédagogie de la sociabilité, puis au sens de l'observation, en installant sur le tillac du vaisseau la tente d'astronomie ouverte sur le ciel pour en scruter les précieux repères ?

(article reproduit avec l'aimable autorisation de la revue du Musée des Arts et Métiers)

Notes

1. Il est préféré actuellement, comme hypothèse de la formation des Canaries, la théorie des « Hot Spots ». Canaries, Stuttgart, Baedeker, 1991, p. 12 (traduit en français).
2. D. Ricard, « Poème de La Sphère », Poème en huit chants, Paris, Le Clerc, 1796, an V, 500 p.
3. Élisabeth-Paul-Édouard de Rossel (1765-1829), contre-amiral, directeur général des Cartes et Plans de la Marine et des Colonies, manuscrit, Archives nationales vers 1804).
4. Élisabeth-Paul-Édouard de Rossel, Voyage du Contre-Amiral Dentrecaesteaux [sept. 1791 ; oct. 1793], Paris, Imprimerie impériale, 1808, t. 1, préface.
5. Jean-Charles de Borda, Description et usage du cercle à réflexion, Paris, Didot, 1787, p. 7.
6. Élisabeth-Paul-Édouard de Rossel, op. cit., t. 2, pp. 7-9.
7. Jean Hyacinthe de Magellan est le frère puîné de Jacques de Magalhães, de la même famille que Fernão de Magalhães que nous appelons Magellan. et qui découvrit, en 1520, le détroit de l'Amérique du Sud qui porte son nom.
8. Jean Hyacinthe de Magellan, Collection de différents traités sur les instruments

d'astronomie, physique..., Londres, Richardson, 1780, pp. 79-81.

9. Denis Diderot, Supplément au Voyage de Bougainville (1777), Paris, éd. Mille et Une Nuits, 1996, p. 9.

10. Pierre Lévêque, Mémoire de l'Institut national, Paris, Baudouin, 1802, p. 480.

11. Sinus verse : « La partie du rayon du diamètre comprise entre l'origine d'un arc et son sinus », soit $R(1 - \cos a) = \text{sinus verse}$; Encyclopédie Méthodique de 1785, t. 3.

12. Rapport du Mémoire de Mr le Chevalier de Borda sur le moyen de perfectionner nos cartes par les montres marines, Paris, 27 mai 1775, Dépôt des plans et journaux de la Marine.

12. Denis Diderot, op. cit., note 8, p. 8.

13. C. Jacob, L'empire des cartes, Paris, Albin Michel, 1992, pp. 242-243.

14. M. de Brisson, Histoire du naufrage et de la captivité de M. de Brisson en 1785, présentée et commentée par A. Gaudio, Paris, NEL, 1984, p. 19.

Un portrait de Borda

« Né avec une franchise austère, fortifié par le genre de vie qu'il avait embrassé, Borda [...] ne prodiguait pas les démonstrations d'amitié ni les offres de service, mais il s'attachait sincèrement à ceux qui lui paraissaient estimables... »

Cet homme pratiquait en silence la philosophie que tant d'autres étalent dans leurs discours et démontent dans leurs actions.

Son intimité était un sanctuaire duquel on ne s'approchait qu'avec réserve, où l'on ne pénétrait que difficilement, mais où l'on trouvait les charmes de la gaieté la plus aimable et la plus piquante, réunis aux vertus les plus austères... Il ne s'est pas marié. La culture des sciences et son attachement pour un petit nombre de parents et d'amis ont captivé toutes les facultés de son âme. »

Éloge historique de Jean-Charles de Borda par Lacroix, Membre de la société philomatique de Paris, Paris, Jacquin, 1800.

Jean-Charles de Borda, en quelques dates

4 mai 1733. Naissance à Dax, de Jean-Antoine de Borda, Seigneur Écuyer, et de Marie-Thérèse de la Croix.

1756. Premier à l'exercice de mathématique de la garde ordinaire du Roi puis adjoint géomètre à l'Académie royale des sciences de Paris.

1758. Sans examen, il entre à l'École du génie de Mézières.

1759. Ingénieur de l'École de Mézières.

1763. Publication de Expériences sur la résistance des fluides, premier mémoire imprimé à l'Académie des sciences.

1764. Séjour de deux mois en Angleterre (perfectionnement de l'anglais, étude des nombreuses machines mécaniques).

1766. Publication d'un mémoire sur l'Écoulement des fluides par l'orifice des vases.

1767. Entrée dans le corps de la Marine. Publication d'un mémoire sur les roues hydrauliques. Il devient membre de l'Académie de Bordeaux.

1768. Associé géomètre de l'Académie des sciences.

1769. Devient membre de l'Académie de marine.

1771-1772. Lieutenant de vaisseau avec le père Pingré, sous le commandement de Verdun de Crenne.

1775-1776. Voyage sur La Boussole et L'Espiègle, commandée par Puységur, en vue de rectifier les cartes des îles Canaries.

1777-1778. Major général dans l'escadron du comte d'Estaing, il participe à la prise de La Grenade sur les Anglais.

1778. Il s'attache à « rectifier les cartes hydrographiques » avec Verdun de Crenne et le père Pingré.

1780. Capitaine de vaisseau sur Le Guerrier.

1780-1781. Publication d'un mémoire sur les élections au scrutin et participation au combat naval contre les Anglais.

1782. Il est fait prisonnier près de la Martinique.

1783. Directeur de l'École des constructions navales à Paris.

1784. Inspecteur des constructions navales.

1785. Pensionnaire de la classe de géométrie de l'Académie des sciences.

1787. Il écrit Description et usage du cercle à réflexion, ouvrage édité en 1802 et 1816.

1790. Membre de la Commission des poids et mesures.

1795. Membre du Bureau des longitudes. Membre résident de la première classe de l'Institut (section de mathématique).

1796. Président de la première classe de l'Institut.

19 février 1799. Il meurt, à Paris.



Portrait de J.-C. de Borda par J. Souvion,

Mathématiques et navigation : le traité de Pierre Bouguer de 1753

Xavier Lefort

"Il est certain qu'on ne nous instruit jamais mieux ni plus aisément que lorsqu'on nous fait au moins entrevoir les raisons des choses qu'on nous explique."
(Préface page VIII)

Sans doute de nouvelles méthodes ont pu reléguer au second plan les techniques traditionnelles de navigation, mais celles-ci sont toujours enseignées, et, si le satellite semble avoir détrôné le sextant, le maniement de ce dernier est toujours au programme des écoles de marine. Si les supports mathématiques sont souvent très élaborés, il arrive aussi qu'ils soient aussi suffisamment simples pour être utilisés dans nos enseignements.

En particulier les navigateurs du XVIIIème siècle usaient de certaines techniques dont l'exposé ferait entrer dans nos cours non seulement le souffle de l'histoire, mais aussi celui de la haute mer ! Cette époque est également celle de la transition entre des techniques artisanales et des méthodes plus scientifiques, et son aspect de charnière n'est pas le dernier de ses intérêts.

BOUGUER

PIERRE BOUGUER est né au Croisic le 10 février 1698. Ce port était à cette époque l'un des plus grands centres européens pour le trafic du sel. Son importance avait conduit à y fonder une école d'hydrographie, c'est-à-dire une école de navigation où exerçait JEAN BOUGUER, le père de notre auteur. Cette filiation conduisit rapidement ce dernier vers des études scientifiques dans lesquelles il se montra suffisamment brillant pour briguer la succession de son père, à la mort de celui-ci, en 1714. Malgré sa jeunesse, sa candidature fut agréée et le nouveau maître se rendit rapidement célèbre.

Ses travaux personnels le firent également connaître de l'Académie Royale des Sciences qui le récompensa en 1727 pour un ouvrage sur la mature des navires, avant de le nommer en 1730 hydrographe royal au Havre. L'année suivante, il entra dans les rangs de l'Académie, et produisit nombres d'ouvrages relatifs à la navigation.

En 1735, PIERRE BOUGUER était envoyé au Pérou avec GODIN et LA CONDAMINE, pour mesurer à l'équateur la longueur d'un degré de méridien. Une polémique était en effet née entre l'Académie Royale des Sciences et son équivalente anglaise sur la forme de la terre. Les travaux de NEWTON conduisaient à concevoir la terre comme aplatie aux pôles, alors que les mesures effectuées par CASSINI pour dresser la carte de France à l'échelle pouvaient laisser croire qu'elle était allongée aux pôles. Deux expéditions étaient alors envoyées par l'Académie, l'une en Laponie, l'autre au Pérou, pour comparer les mesures de degré de méridien.