LES PROGRÈS DE L'ESTIME ET LA MÉCOMÉTRIE DE L'AIMANT

Au XVIII[e] siècle surtout on fit des tentatives pour améliorer les instruments de l'estime et même quelques efforts pour l'étude des courants.

Quelques-uns cherchèrent à obtenir une précision illusoire avec le loch ordinaire. Goimpy, en 1766, pour assurer la navigation côtière, signale quantité de précautions à prendre dans son emploi. Le sablier doit avoir de 29 sec. 1/3 à 29 sec. 1/2 seulement, parce que les commandements, pendant qu'on lance le loch, ne sont pas exécutés instantanément. Il veut qu'on tienne compte de la variation de longueur de la ligne à l'usage, de l'erreur de « $\frac{1}{300}$ » provenant de ce que le touret n'est pas au niveau de l'eau, d'où formation de chaînette ; de la différence à 24 heures du jour du bâtiment qui change de longitude : elle est de + 20 minutes pour un bâtiment qui fait 70 lieues à l'ouest en un jour, sur le parallèle de 45° ; qu'on ne néglige pas l'ellipticité de la terre. Enfin, il fait remarquer que le vent donne une vitesse aux eaux superficielles et que celles-ci, dès lors, entraînent le loch. Il estime cette vitesse à $\frac{1}{29}$ de la vitesse du vent. Il n'oublie que le principal : de dire que c'est auprès des côtes qu'on trouve les courants les plus violents et les plus variables.

En 1732, l'académicien Pitot, futur directeur du canal du Languedoc, propose « une machine approuvée par l'Académie pour mesurer la vitesse des eaux et des bateaux ». C'est déjà le loch connu aujourd'hui sous le nom de loch de pression et l'origine du tube de Darcy. L'instrument était composé de deux tubes

verticaux. L'un d'eux était simplement recourbé horizontalement sur une petite longueur, à son extrémité immergée; et cette partie horizontale devait être orientée en sens inverse de la marche du navire. Il est clair que dans ces conditions la différence des niveaux de l'eau dans les tubes est fonction de la vitesse. Pitot recommandait de placer la machine à bord dans le milieu du vaisseau, sous le maître bau afin de la soustraire autant que possible aux agitations de la mer. A leur extrémité inférieure, les tuyaux pouvaient être faits de plomb, de cuivre ou d'étain; ils avaient de 3 à 4 lignes (7 à 9 mm.) de diamètre, et ils étaient surmontés de tubes de verre. Enfin, l'inventeur donnait une table propre à l'usage de l'instrument. On y voit que lorsque la vitesse varie de 2,5 à 3 lieues (7,5 à 9 nœuds) la différence des niveaux varie de 31 à 41 pouces (84 à 110 cm.) (1).

Bouguer, qui avait étudié quelques questions de navigation pendant son voyage en Amérique, avait cherché à améliorer le loch ordinaire. On voit, par son mémoire de 1747, qu'il voulait surtout trouver un moyen de le soustraire au courant, afin de mesurer non pas la vitesse du bâtiment par rapport à la masse d'eau dans laquelle il flotte, mais sa vitesse réelle sur le fond de la mer. On croyait généralement à cette époque que les courants étaient dus uniquement aux vents et qu'ils étaient tout à fait superficiels. Le moyen de Bouguer consistait alors à construire le loch d'un flotteur de surface, de faible dimension, et ayant une flottabilité juste suffisante pour soutenir un corps à grande surface, immergé à 50 pieds (16^{m},20) sous lui. Il pensait que ce loch ne prendrait par le flotteur superficiel qu'un cinquième de la vitesse du courant, et qu'on pourrait mesurer la vitesse de celui-ci en comparant les indications de son appareil à celles d'un loch du type ordinaire. Le capitaine anglais Phipps, dans un voyage au Spitzberg, en 1773, essaya ce système de Bouguer. Il s'en servit pendant cinq jours à l'aller et pendant treize au retour. La première fois il trouva une différence de 2′ seulement entre sa latitude estimée et sa latitude observée, la deuxième

(1) La table répond à la formule : $v^2 = 2 \times 9{,}05\ h$; v et h étant des mètres.

fois une différence de 31′. Il en conclut que le loch proposé lui avait donné de meilleurs résultats que le loch classique. Il faisait remarquer que le loch essayé était mieux que l'ancien à l'abri des inégalités provenant des agitations de la surface de la mer; que le frottement de la ligne sur le dévidoir avait moins d'effet sur lui, parce qu'il était plus stable dans l'eau; mais il ajoutait qu'on ne saurait tirer aucune conclusion de ses expériences trop peu nombreuses pour comporter un jugement certain.

Bouguer a aussi proposé un second système de loch dans lequel la vitesse était mesurée par le choc ou impulsion de l'eau sur un corps immergé. Ce nouveau loch se trouve encore décrit dans l'édition de 1781 de sa *Navigation*. Un boulet de 1 pied

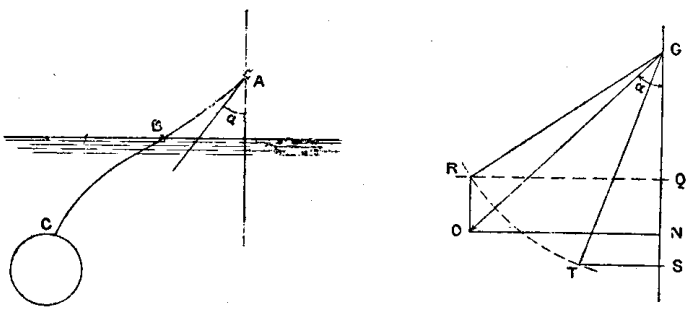

Fig. 8.

(0 m. 32) de diamètre, immergé à 40 ou 50 pieds de profondeur, est remorqué par le bâtiment. Il s'agit d'abord de déduire la résistance de l'eau à la propulsion du boulet, de la mesure de l'angle α formé entre la verticale et la remorque au point d'attache, et de celle de la tension de la remorque en ce point. Prenons GO égal à la tension en A et faisant l'angle α (fig. 8) avec GN. En retranchant de GN, composante verticale de GO, le poids QN de la partie AB de la remorque qui est au-dessus de l'eau, on trouve en GR la tension en B. Supposons la corde de même densité que l'eau. Négligeons la résistance de la corde (nous donnons la méthode proposée aux pilotes), les tensions en B et C sont alors les mêmes. Or la tension en C est la résultante du poids du boulet dans l'eau et de la résistance de l'eau. Prenons par suite GS égal au poids du globe dans l'eau. Si GT = GR, TS représente l'impulsion cherchée. Pour avoir la tension en A, il propo-

sait d'attacher la remorque à un fléau de balance ou à un peson allemand. D'autre part, le poids dans l'eau est de 64 livres. Enfin il faut relier la vitesse à l'impulsion. Cela était facile grâce à des expériences, dues en partie à Newton, qui avaient montré que si Z est la hauteur de chute nécessaire à un corps libre pour atteindre la vitesse du boulet, l'impulsion est égale au poids d'une colonne d'eau dont la base est le grand cercle du boulet et la hauteur $\frac{1}{2}$ Z. Mais ce principe est très erroné quand la vitesse devient grande. Il n'est pas non plus très exact aux très petites vitesses. Nous ne savons pas si ce loch a été employé. Il donnerait peut-être de bons résultats, à condition de dresser une table empirique reliant la tension au point d'attache à la vitesse. Bouguer dit que pour une vitesse de deux lieues, l'impulsion est de 42 livres 8 onces.

De Gaulle, plus tard, imagina de relier un cône de bois à base de plomb, de 6 pouces (16 cm.) de diamètre, à une ligne de 25 brasses (46 m.) attachée à un ressort recourbé dont le déplacement sous l'effet de l'impulsion de l'eau sur le cône était apprécié par une aiguille.

Dans le voyage de l'*Enjouée*, en 1768, un jeune Allemand, du nom de Wallot, amateur d'astronomie, se fit embarquer sur la corvette pour essayer un loch à moulinet dont les tours s'enregistraient sur un cadran à bord. Deux lancements eurent lieu ; mais à chacun d'eux un cylindre dans lequel tournait le moulinet fut arraché et les expériences ne purent être poursuivies. Nous usons aujourd'hui d'instruments basés sur le même principe.

Les courants, dont Bouguer essayait de s'affranchir, étaient profondément méconnus au XVIII^e^ siècle encore. On en jugera par les quelques opinions qui suivent extraites de l'*Hydrographie* du P. Fournier.

L'auteur croyait à l'existence d'un mouvement de la mer qui se faisait du nord au sud et du sud au nord, et qu'il expliquait en disant, ce qui était un commencement de vue sur l'influence de l'évaporation, que le Soleil « battant à plomb sur la zone torride... consommait quantité de vapeurs et exhalaisons qui s'évaporaient des mers, pour auxquelles suppléer accouraient et tombaient les eaux des pôles... le Soleil toujours chassant vers

les pôles ces vapeurs et exhalaisons lesquelles s'y épaississaient et, par la rigueur du froid, se changeaient en pluie ». Il croit aussi à l'existence d'un mouvement d'orient en occident, dû également au Soleil qui « est toujours à plomb sur quelque partie de la zone torride ».

Or des idées analogues mais relatives à la Lune, servaient au stoïcien Posidonius, à rendre compte des marées, « le mystère le plus grand qui soit dans la marine » (Fournier), dont il connaissait les périodes diurne, mensuelle et annuelle : « la Lune, disait-il, soulève les choses humides et les éléments ». Et le P. Fournier, avec beaucoup d'autres, comme ce Guillaume de Conches pour qui « la Lune... échauffe la substance humide, qui entrant en ébullition se gonfle », les applique aussi à ce dernier phénomène. Il semble parfois confondre marée et courants généraux et il met la marée sous la dépendance de l'astre qui a « une vertu spécialement sur toutes les choses humides ». La marée dépend probablement, explique-t-il, de deux facteurs... D'abord d'un « amas de vapeurs et exhalaisons qui s'élèvent du fond des eaux, se pourrissent, s'enflent et causent cette humeur de bouillonnement que nous voyons », ce qui est comme une « fièvre de la Terre » ; ensuite d'une vertu et force qui procèdent, partie de la chaleur de la Terre, partie des influences du Soleil, des astres et spécialement de la Lune qui « excite, attire, fait pourrir et enfler telles exhalaisons ». Et il croit les marées plus grandes en été qu'en hiver, parce que l'hiver l'air froid empêche les exhalaisons de quitter la mer et de se dissiper. (On nous a tenu tout récemment des propos analogues pour rendre compte de la variation du débit des sources.) Enfin pour expliquer comment une haute mer peut correspondre au passage de la Lune au méridien inférieur, il assimile la Terre à une lentille qui concentre la vertu de la Lune à son opposé.

Depuis Médina et Cortes d'ailleurs on déterminait grossièrement les heures des pleines mers en ajoutant l'établissement, ou « situation », à l'heure du passage de la Lune au méridien et on cherchait cette dernière au moyen de l'âge de la Lune et des épactes. Les résultats devaient être singulièrement erronés à cause des inégalités lunaires et parce que jusqu'à Pierre Bouguer, en 1753, on se servait de l'épacte vulgaire qui augmente

de 11 jours par an et non de l'épacte astronomique qui n'augmente que de 10 jours 15 heures 10 minutes. On sait d'ailleurs que la théorie des marées date vraiment de Newton, de Bernouilli et surtout de Laplace.

L'établissement, dont nous venons de parler, chose curieuse, était enfin exprimé en « aires de vent ». On supposait une rose couchée sur l'équateur de la sphère locale, le sud étant le midi, et pour partager la rose en vingt-quatre heures, on attribuait une valeur de 45 m. à chaque aire de vent puisque 45×32 m. : 24 h. Ainsi une marée de syzgie était dite S. W. quand elle arrivait à 3 heures de l'après-midi ; S. E. quand c'était à 9 heures du matin.

Rappelons que l'*Annuaire des marées* date de 1839.

Revenons aux courants proprement dits. Ils furent l'objet d'un prix proposé par l'Académie, pour 1751. Daniel Bernouilli envoya une pièce. Il ne rapportait aucun fait précis mais il faisait preuve d'imagination. Au point de vue des connaissances géographiques sur les courants, il se bornait à peu près à dire qu' « on ne savait presque rien de la direction et de la vitesse des courants réels ». Il proposa, pour les mesurer, la machine à impulsion de Bouguer; et, à défaut de faits, il proposa des théories sur la nature et la cause des courants. Voici le résumé de ses idées. L'atmosphère terrestre ne peut être enveloppée de vide (Descartes mourut en 1650). Dès lors, le corps qui l'entoure doit retarder sa rotation, et, de proche en proche, la rotation des couches atmosphériques voisines de la surface de la Terre. Celles-ci ont donc, par rapport à la Terre, une vitesse relative dirigée d'est en ouest. A leur tour, elles entraînent vers l'ouest les couches superficielles des océans. Il croyait expliquer ainsi les alisés et les courants intertropicaux dirigés vers l'ouest. Il se demande quel va être l'effet d'un barrage continental dirigé du nord au sud, comme celui que réalise le continent américain. Et voici sa singulière réponse : le mouvement des eaux vers l'ouest doit entraîner une surélévation du niveau de la mer sur les côtes orientales du barrage; un abaissement de ce niveau sur les côtes occidentales. Ainsi les eaux doivent être plus hautes sur les côtes Atlantiques de l'Amérique, que sur les côtes Pacifiques du même continent; et le baromètre doit être plus bas à

Cayenne qu'à l'équateur. En effet, dit Bernouilli, Bouguer a trouvé à l'équateur une hauteur barométrique de 28 pouces 1 ligne, tandis que Richer n'a mesuré à Cayenne que 27 pouces 1 ligne, soit un pouce (27 mm.) de moins. Il en conclut que la différence des niveaux doit être de 152 toises (300 m.). Il est vrai que cela ne paraissait pas avoir lieu des deux côtés du canal de Panama, c'est que, pensait-il, des circonstances particulières devaient intervenir. On voit tout ce qu'il y a de fantaisiste dans ces vues; mais c'était aussi le temps où d'Alembert expliquait les vents alisés par l'attraction du Soleil et de la Lune sur l'atmosphère; tout cela parce que la mécanique céleste tendait alors à dominer la science et à l'envahir partout. Et il faut peut-être rapprocher cette idée de Bernouilli de cette hypothèse bizarre de Colomb suivant laquelle la « côte de Paria est plus voisine de la voûte céleste que l'Espagne » par suite d'un renflement de la Terre vers l'W., renflement qui lui donne la forme d'une poire, plus haute là où est la queue, et que Colomb compare encore au « tétin d'une femme »; de sorte que les navires, à l'W. des Açores, s'élèvent doucement vers le ciel. Cette idée paraît lui être venue à la suite d'anciennes traditions païennes et chrétiennes et pour rendre compte d'observations erronées qu'il avait faites sur la Polaire. C'est en conséquence aux sources de l'Orénoque, d'ailleurs inaccessibles aux humains, qu'il place le Paradis terrestre. Les champs d'Ialou de l'antique Égypte étaient déjà à l'extrémité de l'ouest.

Ainsi Bernouilli s'est trompé en étudiant l'action de la rotation de la Terre. Cette rotation ne produit pas de courant; elle dévie seulement les courants qui existent par d'autres causes. Mais son étude contient encore d'autres idées, quelquefois plus heureuses. Il admet par exemple qu'il y a des courants *doubles,* les eaux se mouvant en un sens à la surface et en sens opposé dans les profondeurs. Il se forme un contre-courant entre autres, lorsque le courant général d'E. en W. rencontre l'Amérique; et ce contre-courant (notre courant de compensation) peut apparaître à la surface; comme c'est le cas dans le golfe de Guinée. Il pense encore que les courants sont limités à 50 ou 60 toises (100 à 120 mètres) de profondeur.

Reprenant les exhalaisons du XVII^e^ siècle, il croit expliquer les

courants alternatifs qui changent tous les six mois, par l'action de l'échauffement solaire. Le Soleil étant à l'équateur, cet échauffement aurait pour effet, dit-il, d'élever de 10 toises (20 mètres) les eaux de l'équateur par rapport à celles des latitudes de 60°. D'où résulterait :

1° un courant vertical de bas en haut à l'équateur;

2° un courant horizontal de surface dirigé vers le N. dans l'hémisphère N., vers le sud dans l'hémisphère S. et qui serait maximum vers les latitudes de 25 à 30°;

3° un courant vertical de haut en bas vers 50, 60°;

4° un contre-courant profond ramenant les eaux vers l'équateur. Il passe sans peine au cas où le Soleil n'est plus à l'équateur. Il pense de plus qu'il y a une circulation atmosphérique analogue; et il énonce que les vents produisent aussi des courants, comme on le sait aujourd'hui; mais il croit que c'est là une cause de peu d'importance; ce en quoi il se trompe, comme le prouve le cas des moussons par exemple; de même il ne fait jamais appel à l'évaporation. Il signale enfin l'action du flux et du reflux et dit que les variations barométriques peuvent occasionner des courants accidentels; ce qui a lieu effectivement dans les petits bras de mer et les lacs, si les seiches peuvent être invoquées ici.

Cette question des courants n'avança pas tant qu'on ne fut pas en mesure de pouvoir déterminer la longitude. Rochon, dans ses *Opuscules mathématiques,* parus à Brest en 1768, proposa, pour les mesurer, d'observer des angles horaires distants de quelques heures et de se munir d'une bonne montre, capable de conserver le temps local dans l'intervalle des deux observations. On pourra ainsi, dit-il, avoir le changement exact en longitude, donc le point, au moment de la deuxième observation, rapporté au lieu du navire au moment du premier angle horaire. Mais ce procédé ne pouvait avoir aucune précision. Supposons 4 heures entre les observations des hauteurs, sur lesquelles nous n'admettrons qu'une erreur de 2′. Dans les circonstances les meilleures, l'erreur sur l'angle horaire est égale à l'erreur sur la hauteur; soit, ici, à 8 secondes. L'erreur moyenne de la différence des angles horaires est donc de $8\sqrt{2}$, soit de 11 secondes environ. Si la montre ne varie que de 1 minute par

jour, cela fait, en 4 heures, une nouvelle erreur de 10 secondes. Au total, on a donc à craindre une erreur de 20 secondes à peu près, soit à l'équateur, de 5 milles, ce qui fait, pour 24 heures, 30 milles. Mais les courants du large restent généralement au-dessous de cette valeur; ils font 10 milles par jour environ pour la plupart, 25 milles s'il s'agit des courants équatoriaux de l'Atlantique, d'ailleurs très différents suivant les régions; d'où on voit que les erreurs de la méthode dépassent les valeurs de la quantité à mesurer.

Beaucoup de marins s'entêtaient du reste à nier les courants les plus probables, et dont les savants ne doutaient plus. Dans la zone torride, dit Bouguer, les courants portent à l'ouest et font 2 ou 3 lieues (6 à 9 milles) par jour. Il a vu des pilotes qui n'y portaient pas attention. Seulement, ils se trouvaient alors trop avancés à l'atterrissage, ils accusaient leur loch ou leur sablier et ils en altéraient les valeurs. « Ils ignoraient les mouvements secrets que la mer leur communiquait. » Et comme ils revenaient par le nord de l'Atlantique, ils n'étaient pas avertis par l'erreur énorme qu'ils auraient commise s'ils avaient pris au retour la même route qu'à l'aller.

On trouve plusieurs fois, dans le journal de Suffren, des observations analogues à la suivante : « Ayant le canot à la mer, nous avons profité du calme (ils sont entre les Mascareignes et la côte de Coromandel) pour observer la direction des courants, et nous avons trouvé qu'ils nous portaient à l'E. N. E., faisant environ 2 nœuds. » D'après l'*Encyclopédie Méthodique,* on rendait alors la chaloupe fixe « au moyen de quelque corps pesant qu'on faisait descendre dans l'eau, jusqu'à atteindre la région des eaux calmes ». Le loch donnait ainsi la vitesse et la direction du courant. La région des eaux calmes, d'ailleurs, était estimée très proche : c'était une idée tenace. Dès 1492, le 29 septembre, Colomb, par calme plat, sonda à 200 brasses de profondeur sans trouver le fond; mais, dit-il, on reconnut que les courants portaient au S. W. Dans nos voyages hollandais, souvent cités, on voit, vers 1600, qu'on mettait « la chaloupe sur le grapin pour reconnaître le courant ». Or on admet que la profondeur des courants de surface atteint 500 mètres. Colomb au moins allait jusqu'à 200 brasses. Quant au P. Fournier il dit que « pour con-

naître les mouvements secrets de la mer il y en a qui se servent d'une petite nacelle d'un pied et demi (50 cm.) de long et large de 2 ou 3 pouces (5 à 8 cm.) attachée à l'arrière en sorte qu'elle soit portée sur la trace navale que fait la quille, que s'ils voient qu'il (sic) s'en écarte cela leur fait douter ou connaître quelle part tend la marée ». Rochon encore raconte dans ses *Opuscules* qu'il essaya, mais sans plein succès, d'apprécier à la mer le courant superficiel, au moyen de deux morceaux de liège réunis par une corde de 10 brasses (16m,20) de long, dont l'un était lesté de manière à rester suspendu dans la *zone des eaux tranquilles*. Le loch de Bouguer lui avait donné cette idée. On conçoit quelles erreurs pouvaient résulter de semblables interprétations. La seule manière d'apprécier le courant en haute mer consiste à comparer le point estimé du bâtiment au point observé. C'est ce que fit, en 1769, l'enseigne de vaisseau Grenier. Au moyen des observations de longitudes de Rochon, il mit nettement en relief le parallélisme des courants du nord de la mer des Indes et des moussons. Plus tard, vers 1780, Chabert, dans l'Atlantique nord, observa des longitudes, afin de déterminer les courants. Il trouva entre autres que, de l'entrée sud du canal de Bahama jusqu'à la latitude de 30°, la vitesse du Gulf Stream allait de 3 à 3,5 milles à l'heure. D'ailleurs à la fin du siècle les principaux courants intertropicaux et ceux qui sont parallèles aux côtes : Guinée, Pérou, Mozambique, commençaient à être bien connus. Mais nulle question ne fut longtemps plus confuse.

Les problèmes que posait la boussole furent l'objet de travaux plus considérables que ceux qui étaient relatifs au loch. L'Académie avait proposé l'aimant comme sujet de prix en 1744; et ce prix, qui fut remis à 1746, fut l'objet de quatre études dues à l'écuyer du Tour, Euler, Daniel et Jean Bernouilli. Il n'y est pas, à proprement parler, question de boussole marine. Les auteurs s'occupent presque exclusivement du magnétisme terrestre en général, et surtout de son explication et des propriétés de l'aimant. Les passages qui suivent donnent une idée des théories alors à la mode. Pour du Tour, lorsqu'un morceau de fer est aimanté, « les petits poils dont ses pores sont hérissés sont tous ou presque tous couchés dans le même sens, en sorte que la matière magnétique ne peut s'y introduire que par un

seul bout ». Pour les Bernouilli, l'aimant est composé de fibres parallèles agitées d'un mouvement ondoyant, comme des cordes en vibrations, et leurs intervalles sont remplis de fluide magnétique que le mouvement ondoyant fait progresser dans un seul sens, grâce à un système de valvules analogues aux valvules sigmoïdes qu'on venait de découvrir dans les vaisseaux des animaux. Ils expliquaient l'existence des deux pôles par les deux courants qui résultaient de deux séries supposées de valvules opposées; et ils ne négligeaient pas de conclure en écrivant qu' « il n'y avait rien là qu'on ne conçût avec la dernière facilité ». Après tout, nos conceptions modernes sont dérivées de celles qui précèdent, seulement nous les considérons comme des images et nos tendances vont vers la considération de forces pures, sans supports matériels ou mécanismes pour les produire.

Dans un mémoire de 1750, Duhamel, moins imaginatif et plus pratique, cherchait des moyens de perfectionner la boussole, si imparfaite que quelquefois les pôles s'y trouvaient multipliés, Knight en ayant trouvé jusqu'à 6 à 8. Pour cela il proposait d'augmenter la force directrice, de diminuer les frottements et d'éviter la mobilité des aiguilles à bord afin de ne pas avoir d'aiguilles « volages ». Le docteur Knight avait inventé « les moyens de donner le plus grand accroissement aux aimants artificiels » et Duhamel parvint, avec de très bons aimants artificiels substitués à l'antique pierre d'aimant, à faire des aiguilles quatre fois plus aimantées que les aiguilles ordinaires. Il leur donna la forme d'un parallélogramme terminé par deux pointes fort « obtuses », et une épaisseur de 1/2 ligne (1^mm^,125). Pour diminuer les frottements, il employa le système imaginé par d'Anthaume. Le pivot était formé d'un fuseau de cuivre dont un des bouts était ajusté dans une chape d'agate ou de verre fixée à la rose, et l'autre dans une chape semblable fixée au pilier de la boussole. Du milieu du fuseau partait une verge qui portait trois petits poids capables de ramener à la verticale le fuseau et la rose. Il obtenait ainsi des aiguilles dont l'angle mort, quand on les écartait de leur position d'équilibre, n'était que de 0°5, quantité 6 à 12 plus petite que l'angle mort des anciennes aiguilles. Enfin, pour les empêcher d'être volages, il collait sous la rose de petites ailes de papier qui diminuaient

beaucoup les oscillations. C'était déjà l'amortisseur barbelé de nos jours.

L'Académie, après la réussite des horloges de Le Roy et Berthoud, choisit de nouveau pour sujet du prix de 1777 les boussoles de déclinaison et les lois de leurs variations. Le prix fut partagé entre Van Swinden, professeur de philosophie à Franeker, en Frise, et Coulomb, capitaine au corps royal du génie. Le travail de Van Swinden est très étendu. Il contient des études historiques et critiques, en particulier sur la meilleure forme à donner aux aiguilles de bord, question très débattue. On y voit la plupart des renseignements qui suivent. En 1705, La Hire avait rejeté les aiguilles en forme d'anneau, qui donnaient des déclinaisons différentes entre elles et aussi celles qui avaient la forme d'une navette ou d'une flèche. Les aiguilles en losange à quatre côtés ne valaient pas mieux, parce que « quand un des côtés perdait de sa force, le losange prenait une autre direction ». Cela pouvait arriver, dira plus tard Blondeau, à la suite d'une aurore boréale, d'un orage, d'un grand froid ou d'une exposition au Soleil. Van Swinden donne la préférence à celles qui sont faites d'un fil d'acier bien droit et un peu aplati. Fleurieu de même conseillait un barreau aplati taillé en pointe, de 6 pouces (16 cm.) de long, 3 à 4 lignes (6 mm. 7 à 9 mm.) de large et d'une demi-ligne d'épaisseur. En 1772, Borda avait proposé des aiguilles composées de quatre barres d'acier; mais nous n'avons trouvé rien de précis ni de détaillé sur leur construction et il semble qu'on doive faire remonter l'origine véritable des roses à aiguilles multiples au danois Lous, officier de marine et hydrographe, qui préconisa, dans un traité publié à Copenhague en 1773, des aiguilles composées de plusieurs barreaux placés parallèlement les uns aux autres de part et d'autre du centre du mouvement, et à égale distance de ce centre. Tel est, en 1783, l'avis de l'*Encyclopédie Méthodique*. Lous proposait de fixer les barreaux sur une latte de bois ou de cuivre perpendiculaire aux barreaux et portant la chape. Les aiguilles ainsi composées se dirigent vers le Nord avec plus de force, dit-il, car « la somme des forces y accroit en plus grande raison que celle des masses ». Le Monnier, en 1776, parle de cette invention en décrivant une nouvelle boussole à quatre aiguilles,

construite à Paris en 1775 « suivant la méthode pratiquée par quelques artistes du Danemark et, vraisemblablement, par ceux de Londres ». Elle lui paraît trop lourde et il semble, d'ailleurs, n'y voir que l'avantage de ne pas créer des pôles multiples dans les aimants employés, ce que l'on craignait de faire quand on perçait l'aiguille au milieu, pour y ajuster la chape. Voici d'après Blondeau les dimensions d'une rose par lui « disposée à la manière de Lous » : 4 aiguilles formées de lames minces de 5 pouces 8 lignes (153 mm.) de long; 2 lignes (4 mm.) de large, 2/3 de ligne (1^mm,5) d'épaisseur. Ces aiguilles sont également espacées et elles tiennent une largeur totale de 26 lignes 1/2 (62 mm.). Elles sont faites d'un fleuret d'Allemagne trempé dur. L'ensemble aiguilles, rose, chape d'agate montée en cuivre pesait 12 gros 60 grains (48 gr.). Mise sur un pivot d'acier et détournée de 90° de sa position d'équilibre, la première oscillation totale se faisait en 7^s 5. Coulomb proposait de réduire le poids total à 32 gr. Blondeau ajoute que les roses très perfectionnées que l'Académie de Marine fait employer à l'atelier des boussoles pèsent au total 6 gros et 13 grains (23 gr.), que les aiguilles de l'atelier sont du poids de 109 grains (5^gr 8). Rappelons que la rose Thomson de 25 cm. pèse 12 gr. et qu'écartée de 30 à 35° de sa position d'équilibre, ses premières oscillations se font en 4^s environ.

Dans son travail, qui est très attachant, Coulomb étudia longuement, par la méthode des oscillations, l'influence de la forme et des dimensions de l'aiguille sur l'intensité de l'aimantation. Il trouva aussi que pour un poids donné d'une rose, il valait mieux répartir ce poids entre plusieurs aiguilles séparées et parallèles; parce que les petites aiguilles étaient plus fortement magnétiques que les grandes. Mais les roses à aiguilles multiples n'ont été employées que longtemps après, tard dans le XIX^e siècle. Enfin, Coulomb termine par d'excellents conseils pour la construction d'une boussole marine. Il recommande de la composer de lames légères et pointues parallèles et espacées de 4 à 5 lignes, de faire une rose légère, un pivot et une chape très durs. Il démontra qu'en perçant l'aiguille on n'altérait pas ses propriétés magnétiques à condition que le trou ne dépassât pas la moitié de la largeur de l'aiguille. Les chapes étaient alors

en verre ou en agate. Quant au style, on le faisait d'une aiguille à coudre ou bien d'argent ou d'or, très poli et « fort pointu ». Ajoutons que l'hypothèse du fluide magnétique s'écoulant le long des méridiens magnétiques perdit à cette époque de ses partisans. Coulomb ne croyait pas à cette image, suggérée par le spectre magnétique dessiné par la limaille de fer s'orientant le long des lignes de forces de l'aimant. Il la rejetait, parce que si le torrent de fluide eût été réel, les forces qui agissent sur l'aiguille ne devaient pas rester les mêmes, quelle que soit sa direction, ce qui avait lieu, et parce que ces forces étaient égales et opposées.

On s'occupait aussi d'améliorer les procédés employés pour observer la variation à la mer. Le prix de 1731, pour « observer la déclinaison en mer », fut décerné à Bouguer, alors hydrographe du roi au Havre de Grâce. Il voulait donner le moyen de trouver cet élément en dehors des moments où le Soleil est à son lever ou à son coucher, alors les seuls instants utilisés. Or, avec le compas azimutal à pinnules, le relèvement du Soleil, lorsqu'il était un peu haut au-dessus de l'horizon, était à peu près impossible à prendre. On ne pouvait le faire, en effet, qu'en projetant l'ombre du fil tendu entre les pinnules sur la chape du centre du compas. Mais comme le fil n'était qu'à un demi-pouce (14 mm.) au-dessus de la rose, on était exposé à commettre des erreurs de 3 à 4° ou même davantage. Il vaut mieux, dit Bouguer, se servir d'un compas muni d'un style surmontant l'une des pinnules. Et pour faire l'observation, il recommandait de tourner le dos au Soleil et de projeter l'ombre de ce style sur la chape de la rose, tout en visant l'horizon à travers la pinnule portant le style, de manière à voir cet horizon par la tranche opposée à l'œil de la boîte de la boussole. Ainsi on était sûr, disait-il, de maintenir la rose horizontale. Il proposait même d'ajuster la boîte de la rose sous l'un des côtés d'un quart de cercle, ce qui permettrait de prendre à la fois la hauteur et l'azimut, en tenant tout l'ensemble à la main. Cela avait du reste été déjà proposé en 1599 dans le *Haven finding art* de Simon Stevin, opuscule qui contient une petite table des coordonnées géographiques et des déclinaisons magnétiques relatives à différents lieux. Par son instrument Stevin, d'ailleurs, avait en vue la détermination de la

variation par l'observation de deux hauteurs égales de Soleil. Et nous ajouterons que le Sea rings de Wright, dont il sera question plus tard, portait également une rose à sa partie inférieure dans le même but. Pour relever le Soleil au moment du coucher ou du lever vrais, instants pour lesquels les amplitudes sont données dans les tables, Bouguer prescrivait l'observation quand le bord inférieur du Soleil était élevé de la moitié de son diamètre apparent au-dessus de l'horizon, règle à peine modifiée de nos jours, depuis Verdun. Il proposa encore de recouvrir la rose d'une double glace formant toit, munie d'un fil perpendiculaire au faîte et appliqué sur les glaces, de manière à former un plan vertical. En ajoutant un miroir incliné sous une extrémité du fil, on facilitait l'observation. Mais Verdun, qui essaya ce compas sur la *Flore,* ne lui donna pas la préférence sur le compas de variation ordinaire. Bouguer avait joint à son travail des tables qui indiquaient : les unes la hauteur et l'azimut du Soleil quand son angle horaire était de six heures; d'autres, sa hauteur quand il était au premier vertical, ce qui donnait le moyen, en mesurant sa hauteur, de le relever aux instants précités et d'en conclure la déclinaison, alors identique à la variation, et l'heure locale. Mais on cherchait quelquefois aussi la déclinaison en déterminant la direction du méridien par deux hauteurs égales d'une même étoile.

Il est curieux de retrouver encore un instrument propre à mesurer la hauteur relié à la boussole, beaucoup plus tard, en 1777, chez un autre hydrographe du Havre : de Gaulle. Il présenta alors, en effet, un instrument qui, réunissant l'octant et la boussole, permettait d'observer la variation avec un seul observateur et, prétendait-il, d'avoir en même temps la hauteur à 3 ou 4′ près, même sans horizon. La boîte de rose suspendue à la Cardan et lestée par un poids de 15 livres (fig. 9) maintenait, pensait-il, la glace supérieure horizontale. Le miroir *m,* jouant le rôle de petit miroir, était fixé à l'intérieur. Le grand miroir M était au dessus. Il était monté sur un axe solidaire d'une alidade se déplaçant sur un limbe plaqué contre un des côtés de la boîte. La boîte extérieure, dans laquelle l'appareil était suspendu, reposait sur un double fond par l'intermédiaire de roulettes, ce qui permettait d'orienter le tout facilement. Tout

cela, cet octant en plusieurs morceaux surtout, était étrangement compliqué et peu précis.

L'Académie de Marine ne restait pas inactive et elle obtenait des résultats. En 1772, elle demanda que les compas soient faits sur les modèles qu'elle proposait. En 1773, elle prit la résolution d'écrire au ministre pour obtenir la direction et la surveillance de la construction des boussoles. Les aiguilles, à ce moment, étaient encore faites hors du port, par un coutelier; les autres pièces n'importe où. L'autorisation fut accordée et l'atelier de cadrannerie se trouva dès lors installé à Brest, sous le contrôle direct de l'Académie. En 1777, un secrétaire, Marguerie, était chargé de l'atelier.

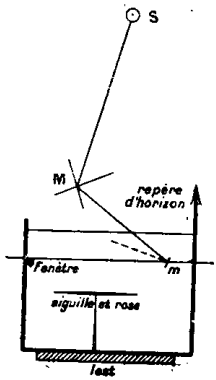

Fig. 9.

Ces questions n'intéressaient pas seulement l'estime. Elles étaient directement reliées à un procédé de la détermination de la longitude, sur lequel, pendant près de deux siècles, on a fondé de sérieuses espérances. La déclinaison ayant, à un instant donné, une valeur déterminée en chaque lieu de la Terre, son observation permettrait, pensait-on, de situer le navire sur une des lignes joignant tous les lieux d'égale déclinaison, c'est-à-dire sur un méridien magnétique; par suite de fixer sa longitude par l'observation simultanée d'une latitude. Ainsi on songea à se servir de la déclinaison et de sa variation dans l'espace qui, cependant, avaient été, au moment de leur découverte, un scandale pour l'esprit, car « ces nouveautés avaient révolté les philosophes, dont elles avaient dérangé trop les idées »; et ils les avaient niées fièrement. Nous avons vu les origines de la méthode. Elle fut l'objet de travaux poursuivis dans toutes les nations maritimes ou qui s'intéressaient à la mer. En Espagne, un des buts du voyage de Gali dans les mers du sud, en 1582, était d'observer les déclinaisons magnétiques. De même Don Pedro de Sarmiento de Gamba multiplia de telles observations dans les mêmes parages et Diego Ramirez de Arellano construisit une carte des variations de l'aiguille en 1618 et 1619 à l'occasion de la relation d'un voyage à la reconnaissance du détroit de Magellan. Enfin une nouvelle carte des variations de

l'aiguille dans toutes les mers et contrées connues du globe fut publiée en 1688 par Francisco de Seijas y Lobera. Il faut du reste observer que ces cartes, supposant la connaissance des longitudes, étaient en conséquence très imparfaites; mais elles permettaient de déterminer un lieu. En Angleterre, en 1577, un traité de W. Bourne insiste sur la méthode et demande qu'on tienne compte de toutes les observations qui pourront en permettre l'application. En 1581, le navigateur Norman, dans un petit ouvrage intitulé : *The New Attractive,* ramenait le pôle magnétique du ciel, où beaucoup le plaçaient, sur la Terre, à l'exemple du célèbre Fracastor de Vérone et du Suédois Olaus Magnus qui racontait, à Rome, avoir vu dans le Nord (comme Simbad le marin) des montagnes de fer magnétique dans le voisinage desquelles les clous de fer des navires étaient arrachés des planches de la construction. Cet ouvrage de Norman contient en outre une table des déclinaisons alors connues, due à un célèbre navigateur du nom de William Burrough, qui chercha même à exprimer la déclinaison par une formule. En Italie enfin Porta, en 1589, proposait, pour la découverte des longitudes, une boussole de 10 pieds de diamètre; et en 1688, Livio Sanuto, géographe vénitien, avait situé le pôle magnétique, d'après les découvertes de Cabot, par 67° de latitude et 36° de longitude à l'W. de Tolède : « miracoloso stupendo », ajoutait-il.

En France, en 1603, Guillaume le Nautonier, sieur de Castelfranc-sur-Lot, en Languedoc, dédia à Henri IV un énorme ouvrage intitulé « *La Mécométrie de l'Eymant* ou l'art de trouver la longitude par la déclinaison de l'Eymant ». Il y annonce que « l'eymant sert à la situation des horloges solaires, à représenter le plan des villes et des forteresses, décrire le royaume, conduire les acqueducs sous terre, creuser les mines de guerre et celles des métaux, braquer les pièces d'artillerie et frapper de nuit très obscure. Mais, entre tous, reluit comme un soleil au milieu des autres flambeaux célestes, de montrer le chemin qu'on a à tenir au milieu de la mer ». Comme il avait peu d'observations à utiliser, il trouva naturel et simple de construire à priori la carte de la distribution du magnétisme à la surface de la Terre. La nature devait évidemment se conformer à la

raison humaine, qui était, chez le Nautonier, une raison élémentaire confondant simplicité avec ordre et loi. Ainsi, pour Castelfranc, les méridiens magnétiques sont aussi réguliers que les méridiens terrestres et, pour les figurer, il suffit de déplacer l'axe des pôles de manière que l'équateur de l'eymant qui, dit-il, est un « grand cercle régulier divisant la terre en deux parties égales », passe par la latitude de 23° nord, au premier méridien, fixé du reste aux Açores, afin qu'il soit déterminé par un principe naturel, car la déclinaison y était nulle. C'est sur cette théorie qu'il établit 200 grandes pages de tables donnant les déclinaisons en tous les lieux de la Terre. Il les construit en réduisant le problème à une pure question de géométrie, convaincu que la variation de la déclinaison sur le réseau des méridiens et parallèles magnétiques était uniforme et que, de part et d'autre du méridien origine, elle variait graduellement. Il eût mieux employé son temps à faire des mesures. Il proposait aussi d'employer l'inclinaison et, entre temps, il imaginait de lier un quart de cercle à une boîte de la boussole, comme le firent beaucoup d'autres. On conçoit que le sieur de Castelfranc ne fut pas difficile à réfuter. Il suffisait de quelques observations. C'est ce que fit avec violence, en 1611, Dounod, de Bar-le-Duc, qui malmena durement le Nautonnier « à qui le silence des gens doctes avait fait espérer l'immortalité pour son livre qu'il se préparait à tourner en latin, afin de lui donner une plus grande étendue ».

Au début du XVII^e^ siècle, l'Espagne eut aussi son Castelfranc en Manuel de Figuereido qui avait construit un système analogue à celui du Languedocien. Il comprenait quatre méridiens de variation nulle entre chacun desquels l'aiguille déclinait jusqu'à 22°5. Et il tenait peut-être l'idée de ces quatre méridiens de ce pilote portugais qui aurait appris leur existence en 1589 au Père Acosta.

A la fin du XVII^e^ siècle, la question fut reprise par Halley sur une vaste échelle expérimentale. Cet astronome avait fait beaucoup d'observations magnétiques au cours de voyages dans l'Atlantique, entrepris dans ce but de 1698 à 1700 ; il était passé à Madère, aux Canaries et aux îles du Cap Vert, à Rio de Janeiro, d'où il était descendu jusque vers le parallèle de 53° sud

avant de remonter à Tristan d'Acunha; puis à Sainte-Hélène, à la Trinité, au cap Saint-Roch, aux Petites Antilles, enfin aux Bermudes et à Terre-Neuve. A la suite de cette circumnavigation, il publia une carte sur laquelle étaient tracés les méridiens magnétiques pour l'année 1700. On y voit une ligne sans déclinaison, « courbe assez régulière » qui, d'abord dirigée à peu près suivant un méridien terrestre dans les parages de l'île Bouvet, s'infléchit fortement dans le nord de l'équateur, passe aux Bermudes et atteint l'Amérique un peu au nord de Charleston. Il avait remarqué, et on parut attacher une grande importance à ce fait que, d'un côté à l'autre de cette ligne, la déclinaison changeait de sens. Peut-être ne s'avancerait-on pas beaucoup (c'est une impression que nous avons eue en lisant les mémoires de l'époque) en disant qu'on pensa alors être au seuil d'une grande découverte : celle de la *loi* de la distribution du magnétisme terrestre. La loi de la gravitation, qui venait d'être révélée, pouvait contribuer à entretenir ces illusions. Et après tout, la détermination de la longitude par les observations de la Lune n'était guère plus avancée, en 1700, que la mécométrie de l'aimant. Même, celle-ci était susceptible, en certaines régions, de plus de précision que celle-là; puisque Halley avait trouvé que, parfois, la déclinaison variait de 1° pour une distance de 15 lieues ou 45 milles, et puisque, dans les parages de l'Afrique du sud, vers Bourbon ou l'île Bouvet, elle variait de un peu plus de 1° par degré de longitude.

Quand on fait voile du Cap vers l'Ile de France, disait plus tard Courtanvaux, on se tient par une latitude de 33 à 34° jusqu'au méridien de Rodrigue. Puis, on fait route au nord, et quand on est par la latitude de Rodrigue, la déclinaison apprend si on est à l'est de cette île, ou si on est entre elle et l'Ile de France, ou même, ce qui arrive quelquefois, si on est sous le vent de cette dernière et de Bourbon; et Lemonnier, en 1776, ajoutait qu'il n'était guère possible qu'il y eût des navigateurs bornés au point de nier que la variation de l'aiguille ne pût très bien indiquer la longitude, vers l'île Bouvet, que Cook n'avait pas retrouvée cependant.

Même sur les cartes magnétiques de 1905, on trouve que la déclinaison varie de 1° pour une distance en longitude de 20 milles

au sud de l'Australie, par des latitudes de — 60° et des longitudes de 125. Il est vrai que dans le Pacifique, à l'ouest de la Californie, elle reste constante, par une latitude de 25°, sur une distance de 3.250 milles.

Au point de vue de la figuration de la Terre, la carte de Halley était enfin parfois très erronée. Par exemple il mettait le cap de Bonne-Espérance à 16°5 (au lieu de 18°5) à l'E. de Londres et le port Saint-Julien de Patagonie à 76°5 (au lieu de 67°5) à l'W. du même point. Delisle fit remarquer que la distance entre le détroit de Magellan et Le Cap en était très accrue; cela en se basant sur l'estime d'un bâtiment français qui était allé du premier de ces lieux à l'autre. Mais Halley ne voulut pas l'admettre car il avait fixé la longitude de Saint-Julien par une éclipse de Lune de septembre 1670, observée à Dantzig par Hevelins et à Saint-Julien par le capitaine John Wood qui y hivernait. Il se trouvait enfin que la distance orthodromique d'après la carte était égale à la distance loxodromique à peu près correcte donnée par Delisle.

A la mécométrie comme aux méthodes lunaires il fallait deux choses qui leur manquaient également : une théorie permettant la prédiction et un instrument de mesure. Et il n'était pas évident, à l'époque dont nous nous occupons, que c'était par le moyen de la Lune que le mystère des longitudes devait être « prouvé ».

Pound et Cunningham avaient observé, en même temps qu'Halley, dans l'Atlantique et l'Océan Indien. Le P. Feuillée, quelques années plus tard, fit également de nombreuses observations du Pérou en Europe. En 1710, Delisle, qui réunit 8 à 10.000 observations de déclinaison remontant à 1534, trouva une seconde ligne où la déclinaison était nulle. Elle était située dans l'Océan Indien et se distinguait de celle de Halley en ce que la déclinaison était de même sens de part et d'autre. Mais il est plus que probable que cette observation se rapportait à une *étroite* lentille enveloppée par la ligne de déclinaison nulle, comme on en voit une de nos jours dans le nord de la Chine. Il pensait que la ligne zéro de Halley, qui coupait les Bermudes en 1700, était la même que celle qui, en 1600, passait par le cap des Aiguilles, au sud-est du cap de Bonne-Espérance,

observation qui avait fait donner son nom à ce cap célèbre. « Une marque qu'on n'est pas loin du Cap, dit Bontekou allant aux Indes en 1618, c'est quand l'aiguille du compas se trouve justement S. et N. » Il y avait d'ailleurs d'autres marquès ; car le P. Fournier en ajoute une seconde qui consiste dans la vue de « certains oiseaux blancs, grands comme des cygnes mais qui ont le bout des ailes noir (des albatros?) et que les Portugais nomment manches de velours pour cette raison ». Les oiseaux jouaient alors un grand rôle dans les atterrissages, autre moyen d'avoir la longitude.

Mountain et Dodson, de la Société Royale de Londres, refirent la carte de Halley, pour 1744 et 1756. Bouguer, dans son *Traité de Navigation* de 1753, réunit les deux cartes de 1700 et de 1744, pour permettre de lire graphiquement les déplacements des lignes d'égale déclinaison. On y voit qu'en 1700 la ligne de déclinaison zéro coupait le tropique du Capricorne par 10° environ de longitude est, tandis qu'en 1744 elle le coupait par 0°. A cette vitesse elle devait effectivement passer par les Aiguilles en 1600. Bellin, en 1764, joignit la carte de Mountain et Dodson à son *Petit Atlas Maritime,* en accompagnant toutefois les instructions qui y étaient relatives de la grosse inexactitude consistant à dire que, pour passer des déclinaisons de 1756 à celles de 1765, il suffisait d'ajouter indifféremment 1°5 aux premières. Lemonnier écrivit, en 1776, à l'usage des marins, un petit livre sur les *Loix du Magnétisme,* où il critiquait l'hypothèse des quatre pôles magnétiques : deux fixes et deux mobiles, qu'Halley avait formulée, et où on trouve qu'on cherchait alors à séparer les régions terrestres où la déclinaison est NE, de celles où elle est NW, par une ligne unique de déclinaison zéro, traçant sur la surface du globe un contour sinueux et compliqué.

La découverte de la variation de la déclinaison dans un même lieu avec le temps faite par Gellibrand, professeur d'astronomie à Londres en 1635, sur la comparaison d'observations de Burrough et Gunter aux siennes propres, jeta un instant un nouvel émoi parmi les partisans de la méthode, comme avait fait, relativement à l'usage de la boussole, la découverte de la déclinaison et de sa variation dans l'espace. Bond intervint pour les ras-

surer, prétendant en 1650 dans son *Seaman's Kalendar* qu'il avait découvert une formule donnant à l'avance les valeurs de la déclinaison en un lieu. Mais bientôt sa formule ne se montra qu'approchée même pour Londres et à son ouvrage *The Longitude found,* qui est de 1676, répliqua, dès 1678, un autre ouvrage *The Longitude not found,* où Beckborrow n'eut pas de peine à le réfuter.

Enfin Buffon, dans le tome V de son *Histoire des Minéraux,* paru en 1788, revenait avec insistance sur la mécométrie. Il y disait à peu près ce qui suit : « L'inclinaison est plus régulière et plus constante que la déclinaison. On peut donc espérer que l'art de la navigation tirera des observations de l'inclinaison autant et plus d'utilité que de tous les moyens astronomiques et mécaniques employés jusqu'à ce jour à la recherche des longitudes. » Il dresse 362 pages de tables de déclinaisons et d'inclinaisons. Et, pour la commodité des navigateurs, il les établit de deux manières : 1° En rangeant les déclinaisons ou inclinaisons par ordre croissant, afin de pouvoir déduire facilement les lieux des observations qui y étaient faites. 2° En rangeant les mêmes quantités selon les latitudes pour permettre de les trouver tout de suite en un lieu connu. Il joignit à ses tables des cartes magnétiques et, pour les unes et les autres, il avait utilisé les observations des voyageurs les plus récents. Mais nous reviendrons sur l'inclinaison.