

Des Cartes-Portulans à la formule d'Edward WRIGHT : l'histoire des cartes à "rums"

Marie-Thérèse GAMBIN

Université de Paris VII

Parmi les cartes anciennes un ensemble de représentations se détache par son intérêt cartographique et sa grande qualité esthétique : il s'agit des cartes-portulans, souvent nommées aussi "cartes à rums". Elles se reconnaissent au semis plus ou moins dense de Roses des Vents qui rythme leur fond. Du centre de ces Roses partent des rayons formant de fines lignes de couleurs qui s'entrecroisent sur l'ensemble de la carte ; régulièrement espacés autour de chaque centre ils définissent des directions - huit à trente-deux directions selon les cartes - entre lesquelles s'étaient des "aires de vents".

Ces cartes sont nombreuses à nous être parvenues, pour avoir été exécutées sur des parchemins ou des vélins ; conservées dans les bibliothèques, beaucoup d'entre elles ont été publiées¹. Elles ont été l'objet d'analyses², notamment pour l'organisation spatiale particulière qu'elles offrent au regard et pour les caractères originaux que crée leur maillage spécifique. On remarque à la fois l'universalité de leur réalisation sur fond de rayons entrecroisés, et la diversité de leur facture, cadres, traits, couleurs, écritures. La première connue est la carte dite "pisane" de 1290 ; d'origine génoise, elle doit son nom à la ville où elle fut achetée au XIX^{ème} siècle. Elle est aujourd'hui à la Bibliothèque Nationale de France. Au XIV^{ème} siècle des cartographes célèbres tels le Génois PETRUS VESCONTE ou le Majorquin ANGELINO DULCERT, et d'autres, moins connus ou anonymes, réalisent des planches au dessin minutieux (fig.1). Deux points retiennent l'attention : dans une première période, les Roses des Vents sont souvent réduites au point de concours des rayons, qui forment le centre de la Rose ; et les directions Nord-Sud et Est-Ouest sont rarement marquées, la direction privilégiée des lignes semblant être Ouest-Nord-Ouest / Est-Sud-Est, ce qui donne une apparence basculée au canevas d'ensemble. Apparemment, le Nord ne fait pas encore partie des concepts autour desquels s'articule la pensée géographique. Au XVI^{ème} siècle, des cartes ottomanes de PIRI REIS aux planches du splendide Atlas MILLER, des documents nautiques sont réalisés dans tous les pays du bassin méditerranéen. L'exécution en est parfaitement maîtrisée, les Roses des Vents somptueusement ornées selon l'iconographie de l'époque. Transformation capitale, les tracés horizontaux de l'équateur et des tropiques sont souvent ajoutés au réseau des Roses des Vents (fig.2).

Ces cartes sont utilisées jusqu'au XVII^{ème} siècle, mais en quatre siècles leur nature s'est transformée derrière leur apparente uniformité. Elles étaient faites pour la navigation côtière : elles deviennent insuffisantes quand la navigation se fait plus lointaine ; des anomalies se manifestent. On croit supprimer

¹ Par exemple : M. de la RONCIERE et M. MOLLAT du JOURDIN "Les Portulans" Paris, Nathan, 1984. Les cartes citées sont pour la plupart reproduites dans ce livre où elles sont commentées.

² cf. notamment C. JACOB "L'empire des cartes" Paris, Bibl. Albin Michel, 1992 - chap. 1, p.166-174



fig.2 : carte portulan du XVI^e siècle -Diego Homem, 1559)
on voit la gradation des latitudes sur le bord du cadre, à droite

celles-ci en ajoutant le réseau des méridiens et des parallèles que les cosmographes ont adopté pour leurs cartes; le résultat est plus décevant encore. On s'interroge alors sur la nature rectiligne des rayons issus des Roses des Vents ; apparaît l'idée qu'ils pourraient être des courbes ! Cette recherche progresse au XVII^{ème} siècle en même temps qu'une branche des mathématiques, la trigonométrie. Les nouvelles appellations de ces lignes : "rumb", puis "loxodromie" témoignent de ces travaux grâce auxquels une formulation mathématique devient possible. La solution définitive ne sera trouvée qu'avec le calcul différentiel. Ces cartes et les erreurs qui les accompagnent permettent de montrer comment interfèrent dans l'histoire de la cartographie. L'art nautique, l'histoire du magnétisme, celle de la trigonométrie....Les conditions techniques, qui tiennent une grande place dans l'étude des rumb, ne peuvent être dissociées du milieu culturel qui a permis une approche scientifique renouvelée des problèmes, et leur résolution en termes mathématiques. L'étude mathématique détaillée en a été faite par M. l'Ingénieur Général Géographe R. D'HOLLANDER³. Nous le remercions de nous avoir autorisée à reproduire en annexe les principaux développements de cette étude.

LES PREMIERES CARTES-PORTULANS

Ces cartes qui sont faites par des marins, pour servir à des marins créent une rupture avec la tradition médiévale de la cartographie. Celle-ci consistait depuis plusieurs siècles⁴ en des mappemondes faites par les moines, destinées plutôt à l'éducation de l'homme en vue de son salut qu'à la représentation géographique des territoires connus. Dans ces mappemondes l'image de la terre offerte aux regards était souvent élaborée à partir des commentaires de la Sainte Bible et des textes médiévaux issus de traités sur la Figure de la Terre, la Description du Monde comme on la concevait alors dans l'isolement des monastères ; une géographie sacrée avec Jérusalem au centre et le Paradis Terrestre à l'Est, qui était située en haut de la carte (on dira que la carte est alors "orientée") ; des tracés topographiques d'itinéraires romains, des emplacements de pays de légendes y figuraient aussi.

Les cartes-portulans apportent une autre vision du Monde, que les progrès de la navigation grâce à la boussole⁵ dès le XIII^{ème} siècle avaient rendue nécessaire. Les pays sont présentés dans leurs positions respectives, les contours des côtes sont dessinés avec soin et la position des villes portuaires, étapes d'une navigation qui ne s'éloigne jamais beaucoup des rivages, y est indiquée. Il existait alors des catalogues de ports et promontoires dressés lors des voyages ; ces livrets sont appelés des "portulans" ou "livres de pilotes" du mot italien "portolano" qui signifie "pilote". Les nouvelles cartes suivent le contenu de ces livrets, se limitant à leur

³R. D'HOLLANDER "Historique de la loxodromie" in Géographie du Monde au Moyen-Age. et à la Renaissance Paris, C.T.H.S. 1989 p.135-148 et in Mare Liberum n°1, Lisbonne, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 1990

⁴ Nous simplifions beaucoup et renvoyons le lecteur aux ouvrages et travaux suivants :

- "Géographie du Monde au Moyen-Age et à la Renaissance" Paris, C.T.H.S., 1989, 1ère partie

- D. LECOQ "La mappemonde du Liber Floridus ou la vision du Monde de LAMBERT DE SAINT OMER" in Imago Mundi Londres, Kings College, 1987

- M. DESTOMBES "Mappemondes (ad. 1200-1500) - catalogues" Amsterdam, N. Israël, 1964

- K. MILLER "Die ältesten Weltkarten" Stuttgart, J. Roth'sche Verl. 1895

Parmi les auteurs médiévaux on peut citer : ISIDORE de SEVILLE et ses "Etymologiae" (7^{ème} siècle), HONORIUS d'AUTUN et son "De Imagine Mundi" vers 1100, LAMBERT DE SAINT OMER et son "Liber Floridus" également du début du XII^{ème} siècle etc...

⁵ Le rôle joué par la boussole dans l'apparition des portulans est minimisé par certains auteurs. Sur cette controverse, voir l'article de W.G.L.RANDLES "de la carte-portulan méditerranéenne à la carte marine du Monde des Grandes Découvertes : la crise de la cartographie au XVI^{ème} siècle" in Géographie du Monde au Moyen-Age et à la Renaissance Paris, C.T.H.S., 1989 p. 125-126

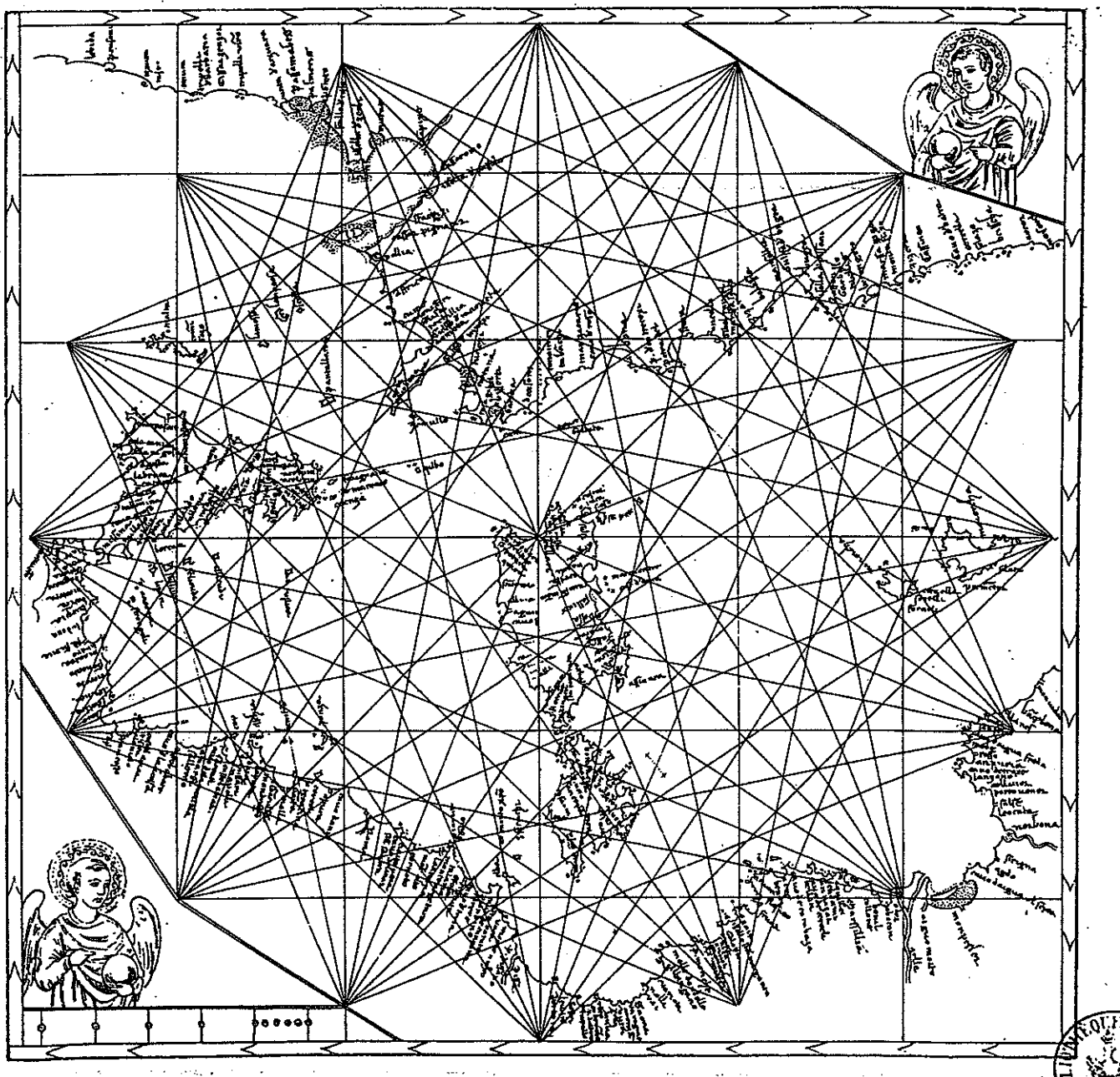


fig.3 : le "marteloire" - portulan de Petrus Vesconte, 1318 (extrait de l'Atlas de Santarem pl. n°3)

domaine d'extension, c'est à dire les pourtours de la Mer Méditerranée et de la Mer Noire. Pour cette raison elles ont reçu le nom de "cartes-portulans". On n'en connaît pas d'ébauches ni de modèle préexistant. D'après une étude récente sur la cartographie de MARIN de TYR⁶, il est possible que les cartes dressées par celui-ci aient été transmises par les Arabes aux navigateurs catalans et génois et utilisées par ceux-ci comme base de leurs portulans.

Aucun texte, aucun manuel n'indique comment elles étaient réalisées. On pense que les contours côtiers étaient tracés par des visées successives, reportées d'après les distances estimées, et assemblées de façon à reproduire le plus fidèlement possible l'articulation des bassins maritimes et de leurs régions littorales. Ces visées reposaient sur des estimations d'angles, que la boussole rendait possibles. Le dessin de ces contours est souvent remarquablement exact. Les Roses étaient dessinées ensuite ; l'une au centre, d'autres s'égrenant en cercles ou en semis à l'intérieur de la carte, indifféremment dans les mers et sur les terres, sans que l'on sache si ces positions étaient seulement dictées par la place dont disposait le dessinateur. On a dit que les rayons partaient du centre, séparés par des angles d'intervalles égaux, et que leurs lignes en s'entrecroisant constituaient un canevas ; sur les premières cartes ce canevas formait une sorte de polygone régulier bordé sur le pourtour par des Roses incomplètes disposées en cercle (fig.3), il est nommé à l'époque le "marteloire", sans doute d'après l'italien "mar-telaio" qui signifie "canevas marin" évoquant l'idée d'un tissage⁷, et transcrit en latin par "martelogium". Ce dessin particulier avait une utilité pratique ; il matérialisait les angles de cap et permettait au marin de connaître le cap qu'il devait suivre pour aller d'un point à un autre ; il servait aussi à mesurer sur les rayons des Roses la distance approximative à parcourir en conservant ce cap.

Les noms des ports étaient inscrits le long de la côte et une échelle des distances complétait le tout. Au contraire des mappemondes qui étaient "orientées", elles avaient le Nord en haut ; cette direction du Nord était donnée par la boussole. On croyait alors qu'il n'existait qu'une seule direction du Nord - celle que donnait précisément la boussole - et elle était considérée comme toujours parallèle à elle-même ; lorsque cette direction était dessinée elle se répétait à partir de chaque rose, formant un balayage de lignes verticales. On a démontré que ces lignes étaient équivalentes à des méridiens magnétiques⁸.

Naviguer consistait à tenir un cap magnétique constant, à l'aide de la boussole et du marteloire, celui-ci permettait d'obtenir d'un méridien à l'autre la distance parcourue en longitude. La direction était donnée par l'angle de cap. La distance parcourue servait à déterminer la position du navire en mer. Lorsqu'un cap n'avait pas été tenu, sous l'influence de vents ou de courants par exemple, on pouvait consulter les Tables "de martelogio"⁹ qui donnaient les valeurs pour effectuer la rectification des trajets. Ces tables existent dès le début du XIV^{ème} siècle puisque RAYMOND LULLE écrit en 1305 : "Quand un navire chemine 8 milles vers le Sud-Est., ces 8 milles n'en valent que 6 vers l'Est.". Elles devaient être tenues secrètes par les pilotes, car on n'en connaît que peu d'exemples ; l'une d'elles figure dans l'Atlas d'ANDREA BIANCO de 1446. Elle contient des valeurs d'angles, donnant notamment pour chaque quart de vent (soit 22°1/2) le sinus et le cosinus de l'angle de

⁶ R. D'HOLLANDER "Sciences Géographiques, connaissance du Monde et conception de l'Univers dans l'Antiquité" - (ch.13) in Revue de l'Association Française de Topographie, Paris, I.G.N. 1995 n°65

⁷ Voir M. de la RONCIERE et M. MOLLAT du JOURDIN "Les Portulans", p.12

⁸ A. CLOS ARCEDUC "L'énigme des portulans" Paris, imprimerie de l'I.G.N. 1962

⁹ cf. G. BEAUJOUAN "Les origines de la navigation astronomique aux XIV^{ème} et XV^{ème} siècles" in Colloque d'Histoire Maritime, "Le Navire et l'Economie Maritime du XV^{ème} au XVIII^{ème} siècles, Paris, S.E.V.P.E.N., 1957. Dans cet article se trouve la citation qui suit, de RAYMOND LULLE.

cap et permet d'estimer les distances restant à parcourir selon le cap initialement choisi (fig.4)

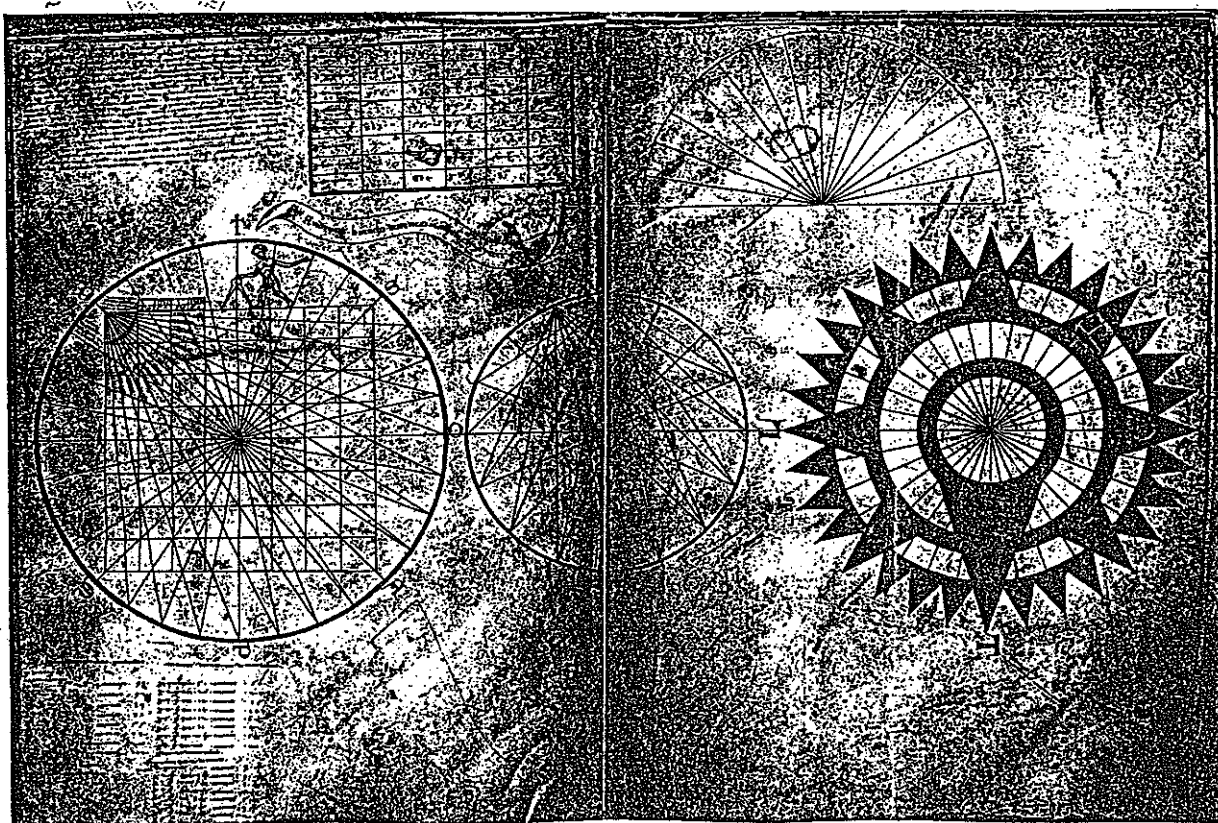


fig.4 : exemple d'une table de marteloire - : photocopie d'une ancienne reproduction d'une planche de l'Atlas d'ANDREA BIANCO (1436). Elle donne pour chaque aire de vent du quadrant la valeur du sinus et du cosinus. - à gauche, construction des lignes de cap dans un quadrant ; en haut, table détaillée ; à droite construction d'une rose des vents détaillée

LA QUESTION DU NORD ET DE L'AIMANT

Ces cartes-portulans avec leurs Tables complémentaires convenaient bien à un art nautique basé sur les directions et les distances, malgré tout très empirique puisque la précision reposait sur l'expérience des marins évaluant dérive et vitesse avec des instruments rudimentaires ; d'autant plus que les zones cartographiées, en Méditerranée et en Mer Noire, se trouvaient dans une région terrestre où la déviation de l'aiguille aimantée varie peu tant selon la longitude que selon la latitude. Les choses changent avec les progrès de l'art nautique ; la navigation ne tarde pas à déborder le cadre de la Méditerranée. Avec la traversée de l'Atlantique, avec l'exploration de la Côte Occidentale de l'Afrique, il faut désormais s'éloigner davantage des côtes ou des régions connues ; on transpose alors les cartes-portulans à ces nouveaux espaces. Mais les anomalies magnétiques deviennent sensibles, donnant des déviations importantes de la direction du Nord magnétique. CHRISTOPHE COLOMB fait l'expérience de ces anomalies. Voici ce qu'il écrit dans le récit de son 3ème voyage (1498) : "dans mes navigations d'Espagne aux Indes, au moment de dépasser une ligne située à une centaine de lieues à l'ouest des Açores, j'ai toujours observé un grand changement dans le ciel et dans les étoiles, dans l'état de l'atmosphère et dans l'eau de la mer. J'ai étudié attentivement ce phénomène. J'ai constaté qu'au delà d'une ligne

allant du Nord au Sud à une centaine de lieux des dites îles, l'aiguille de la boussole qui auparavant déclinait au Nord-Est, décline au Nord-Ouest d'un quart entier..."¹⁰

CHRISTOPHE COLOMB avait sans le savoir traversé le méridien commun au pôle géographique et au pôle magnétique^{*}, ce qui avait changé le sens de la déclinaison de l'aiguille. Ces anomalies constatées vont mettre les "problèmes de l'aimant" au premier plan de la réflexion scientifique. Au XIII^{ème} siècle P. de MARICOURT avait esquissé une théorie de l'aimant montrant que celui-ci "porte la ressemblance du ciel". Il avait remarqué en effet l'analogie entre les cercles qu'il dessine sur son aimant sphérique en suivant la direction donnée par l'aiguille, et les cercles méridiens de la sphère du Monde. Le point d'intersection de chaque famille de cercles constitue un pôle et à l'imitation des Pôles célestes, il donne le nom de "pôle" à ce point de l'aimant. Sa "Lettre sur l'aimant" sera éditée trop tardivement (1558) pour éclairer les recherches. L'expérience ne tarde pas à montrer, on l'a vu avec le témoignage de CHRISTOPHE COLOMB, qu'il y a une "déclinaison" variable, tantôt orientale, tantôt occidentale et qu'elle varie dans l'espace sous l'effet d'une influence terrestre ; on constatera plus tard qu'elle varie aussi avec le temps. Les travaux sur le magnétisme progresseront avec l'Allemand G. HARTMANN (1544) qui découvre l'inclinaison magnétique et affirme que le pôle magnétique est un point terrestre. Le pôle du Monde, point où l'axe du Monde perce la sphère du Cosmos, reste localisé au ciel. En 1546, dans une lettre à l'Evêque d'Arras - son protecteur et mécène - MERCATOR informé de ces particularités, écrit: "...l'aiguille qui est frottée par l'aimant ne se tourne pas toujours vers le même point des terres, comme le croient les capitaines et les hydrographes mais à chaque changement de latitude ou de longitude elle donne une autre direction puis une autre, ce qui fait qu'une course, qui par exemple se dirige vers le Couchant ou vers le Levant tantôt dévie insensiblement et de plus en plus de son itinéraire réel vers le sud, ce qui fait les côtes plus septentrionales qu'elles ne devraient l'être, comme on peut le voir pour les côtes d'Afrique du détroit de Gadès jusqu'à Carthage, tantôt dévie vers le Nord, faisant que la côte s'écarte vers le sud plus /qu'il ne faudrait/, ce qui arrive aux navigateurs qui reviennent de Carthage à Gadès..". Il ajoute, au sujet d'une carte représentant le Canada : "comme l'hydrographe, - peu importe lequel - a représenté le Canada d'après les itinéraires effectués à partir de l'Europe, les degrés de latitude étant établis à proximité de l'Europe, il a été contraint d'ajouter pour son Canada une autre échelle de latitude, car l'aiguille de la boussole, ayant dévié du Nord vers le Couchant, les latitudes des lieux ont été majorées par rapport à l'expérience"¹¹. La figure 5 donne un exemple de carte avec deux échelles de latitude pour l'Océan Atlantique Nord.

LA CARTOGRAPHIE DES COSMOGRAPHES

Les "cosmographes" de leur côté, ceux qui établissent la cartographie du Monde terrestre, confrontés au problème de la terre sphérique et à la figuration de territoires de plus en plus étendus à mesure qu'ils sont découverts, doivent trouver de nouveaux modes de représentation ; ils prennent pour modèle la

¹⁰Cette phrase est citée dans : P. RADELET DE GRAVE "Les lignes magnétiques du XIII^{ème} au XVIII^{ème} siècles, in Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences Paris, C.N.R.S., 1981 p. 53. Voir cette publication pour tout ce qui concerne l'histoire du magnétisme

^{*} les mots soulignés sont expliqués dans le glossaire p. 62

¹¹VAN DURME "Correspondance Mercatorienne" Anvers, De Nederlandsche Boekhandel 1959 - lettre à A. PERRENOT du 23 fév. 1546, p.32 à 34

cartographie grecque que les cartes de PTOLEMEE ont permis de redécouvrir¹². Ces cartes sont faites à partir de listes de coordonnées ; certaines ont un réseau orthogonal de méridiens et de parallèles orienté vers le Nord géographique (fig.6) dessiné à l'imitation du réseau des méridiens et des parallèles célestes. En même temps s'impose l'idée qu'une représentation cartographique doit s'appuyer sur une représentation plane de la sphère dont la construction permettra l'établissement de ce réseau de base.

Avec les travaux de JOHANN WERNER (1468-1525), un nouveau pas est franchi dans le sens de la rigueur cartographique quand ce mathématicien, versé dans les problèmes de la géométrie grecque, énonce qu'il faut conserver sur la carte un rapport exact entre les parallèles et les méridiens, c'est à dire reproduire sur la carte le rapport que ces deux réseaux ont sur la sphère. En 1514 dans son "Libellus", traitant de quatre représentations planes du globe terrestre¹³ il écrit : "Avec l'aide d'une table des sinus donner le rapport des longueurs à celle de n'importe quel parallèle dont on connaît la distance à l'équateur" c'est à dire la latitude (proposition 1). Il ajoute que pour l'équateur et les parallèles, le rapport des circonférences est comme celui de leurs diamètres, et il dresse la table qui servira à ses calculs.

Le besoin de nouvelles cartes est ressenti par tous. La nécessité d'avoir des mesures de directions précises pour naviguer, correspondant en topographie à la nécessité de distances exactes, la volonté de donner une image appropriée des mers et des terres du globe terrestre, convergent pour former une exigence commune.

Encore faut-il que les concepts mathématiques existent. Certes la Renaissance a permis la traduction et la diffusion des ouvrages d'EUCLIDE, APOLLONIUS, ARCHIMEDE, mais les livres de mathématiques ne sont encore que des livres de calcul ou d'abaques, en vue d'applications pratiques à l'usage des marchands. La science arabe qui avait reçu des sciences indienne et persane les bases d'une trigonométrie assez efficace reste peu connue. WERNER lui aussi est freiné dans ses recherches parce que le cosinus lui faisant défaut aussi, il prend dans ses tables le sinus du complément à 90° de ses angles, ce qui lui impose de longs calculs pour lesquels lui manque aussi le concept de "nombre décimal", les chiffres inférieurs à 1 étant exprimés par des fractions.

D'AUTRES ERREURS SUR LES CARTES

Les cartes de navigation bénéficient des travaux sur la géométrie de la sphère ; en particulier, l'équateur et les tropiques, accompagnés d'une échelle des latitudes vont figurer sur toutes les cartes même les cartes marines. En outre est indiqué dans les planisphères réalisés par les Portugais dès le début du XVI^{ème}

¹²La "Géographie" de PTOLEMEE écrite en grec au 2^{ème} siècle de notre ère donne trois méthodes pour représenter les méridiens et les parallèles de la sphère sur un plan, ainsi que les listes de coordonnées de 8000 points connus (villes, montagnes, embouchure et sources de fleuves etc...) Le manuscrit était ignoré du monde occidental jusqu'à ce qu'il soit apporté de Byzance à Florence au début du quinzième siècle. Premières éditions avec les cartes : Ulm 1482 et 1486

Traduction française de l'Abbé HALMA, Paris, Henri Grand, 1822

voir aussi la traduction partielle de G. AUJAC dans : "CLAUDE PTOLEMEE astronome, astrologue, géographe" Paris, éd. du C.T.H.S., 1993

¹³WERNER "Libellus de quatuor terrarum orbis in planofigurationibus ab eodem IOANNE VERNERO novissime compertis et enarratis" Nuremberg, 1514

et : "Introductio Geographica PETRI APIANI in doctissimas VERNERI Annotationes continens plenum intellectum et iudicium operationis, quae per sinus et chordas in Geographia confici potest, adjuncto Radio astronomico cum quadrante novo meteoroscopii loco longe utilissimo" Ingolstadt, 1533

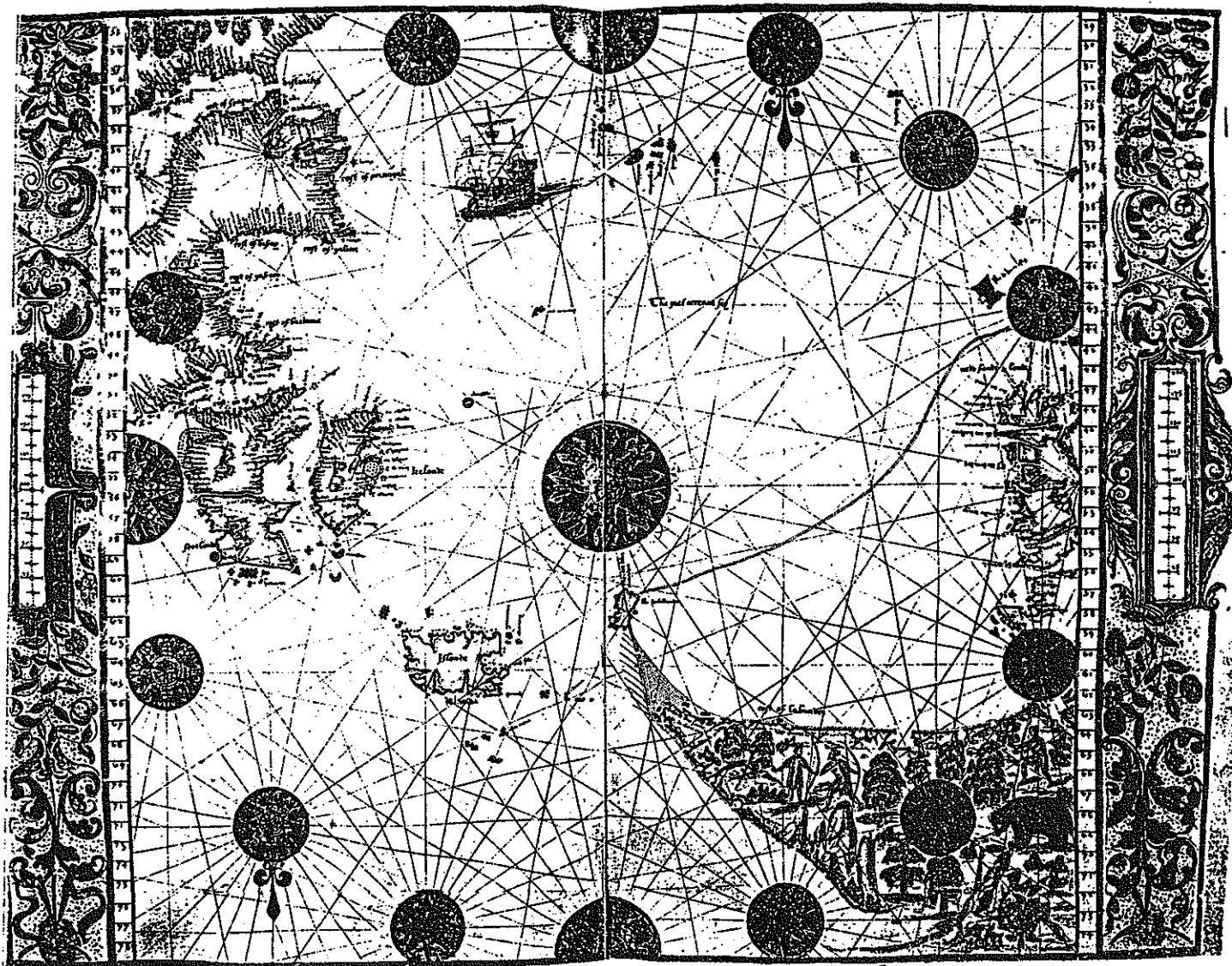


fig.5 : extrait d'une carte de l'Atlantique Nord de JEAN ROTZ (1542) montrant une double échelle de latitudes : 33° à 78° près de l'Europe et 29° à 76° près du pays de Labrador (la lecture de la carte se fait Sud en haut)

siècle pour retracer leurs navigations et leurs découvertes notamment dans l'Océan Indien, le fameux méridien dit "de Tordesillas"¹⁴ qui partage le monde en deux zones de domination espagnole et portugaise. Mais, ajouté sur le réseau de rumb rectilignes dirigé vers le Nord magnétique, ce quadrillage de méridiens et parallèles établi à partir du Nord géographique crée un singulier mélange. La figure 7 montre une "orbis typus universalis" à petite échelle, la figure 9 une "tabula hydrographica...maris Balticae" à plus grande échelle. Certes, ces nouvelles cartes nommées "de type hydrographique" vont plaire, pour être bien en accord avec les idées du temps, où se mêlent l'esprit nouveau des conquêtes maritimes, les représentations traditionnelles, des survivances de la cartographie ptoléméenne...mais les navigateurs ne peuvent s'en servir.

En effet, si le canevas orthogonal de méridiens et parallèles qui constitue la "projection plate carrée" répond bien à la volonté de conserver un rapport d'égalité entre les degrés des parallèles et les degrés des méridiens à chaque latitude sur la carte, la longueur du degré de parallèle s'allongeant sur la carte à mesure que les cercles de latitudes s'éloignent de l'équateur, le rapport avec les longueurs qui représentent les méridiens n'est pas respecté. Il en résulte que sur ces cartes les directions sont faussées, à l'exception des directions N/S et E/W. PTOLEMEE dans sa critique des cartes marines de MARIN de TYR avait bien vu le défaut de cette projection qu'il réservait à ses cartes terrestres. Ces cartes ne peuvent donc pas être utilisées par les pilotes navigant sous un même direction de vent et coupant tous les méridiens sous un même angle. Le problème des cartes de navigation est toujours sans solution satisfaisante, et les cartes de "type hydrographique" ne serviront qu'aux "géographes de cabinet" et aux amateurs de jolies images (fig. 8).

RUMBS COURBES, RUMBS RECTILIGNES

Deux savants vont trouver, par deux approches différentes mais simultanées, la voie d'accès à la solution ; ils viennent de deux pays qui ont la navigation pour vocation, le Portugal et la Flandre maritime. Au Portugal le mathématicien PEDROS NUNES (1502-1578) étudie le problème en théoricien. En Flandre GERARD MERCATOR (1512-1594) cherche, lui, à inventer un autre modèle de carte pour les pilotes. Son approche est plus pragmatique : c'est celle d'un réalisateur d'instruments, d'un constructeur de globes, d'un dessinateur de cartes.

NUNES - connu également sous le nom de NONIUS - écrit un traité sur la sphère dans lequel il clarifie les données du problème : " la direction du cercle méridien est celle du Septentrion et de l'Auster ; la direction du cercle équinoxial est celle de l'Est et de l'Ouest. Les autres directions, que les Espagnols nomment "rumb" ne sont pas des cercles mais sont formées de petits segments de grands cercles,...¹⁵ "Le mot "rumb" qui vient de l'espagnol "rumbo" signifie en effet "cap", "route" ; NUNEZ l'étudie et reconnaît la propriété qu'en chacun des points du rumb la tangente fait un angle invariable avec les méridiens. Il écrit : "les rumb ne sont pas des cercles mais des lignes courbes irrégulières qui vont, faisant des angles égaux avec tous les méridiens

¹⁴Tordesillas, ville d'Espagne où fut signé le 7 juin 1494 entre les Rois Catholiques et Jean de Portugal un traité qui plaçait à 370 lieues à l'Ouest des Iles du Cap Vert la ligne de partage entre leurs possessions (traité confirmé par le Pape Jules II en 1506) cf dans ce numéro l'article "Latitude longitude et géopolitique" (G. VINDT)

¹⁵ PETRI NONII Salaciensis de arte atque ratione navigandi (libri duo) - Conimbricæ, 1573
cf. aussi R. D'HOLLANDER "Historique de la loxodromie" in Géographie du Monde au Moyen-Age... p.135

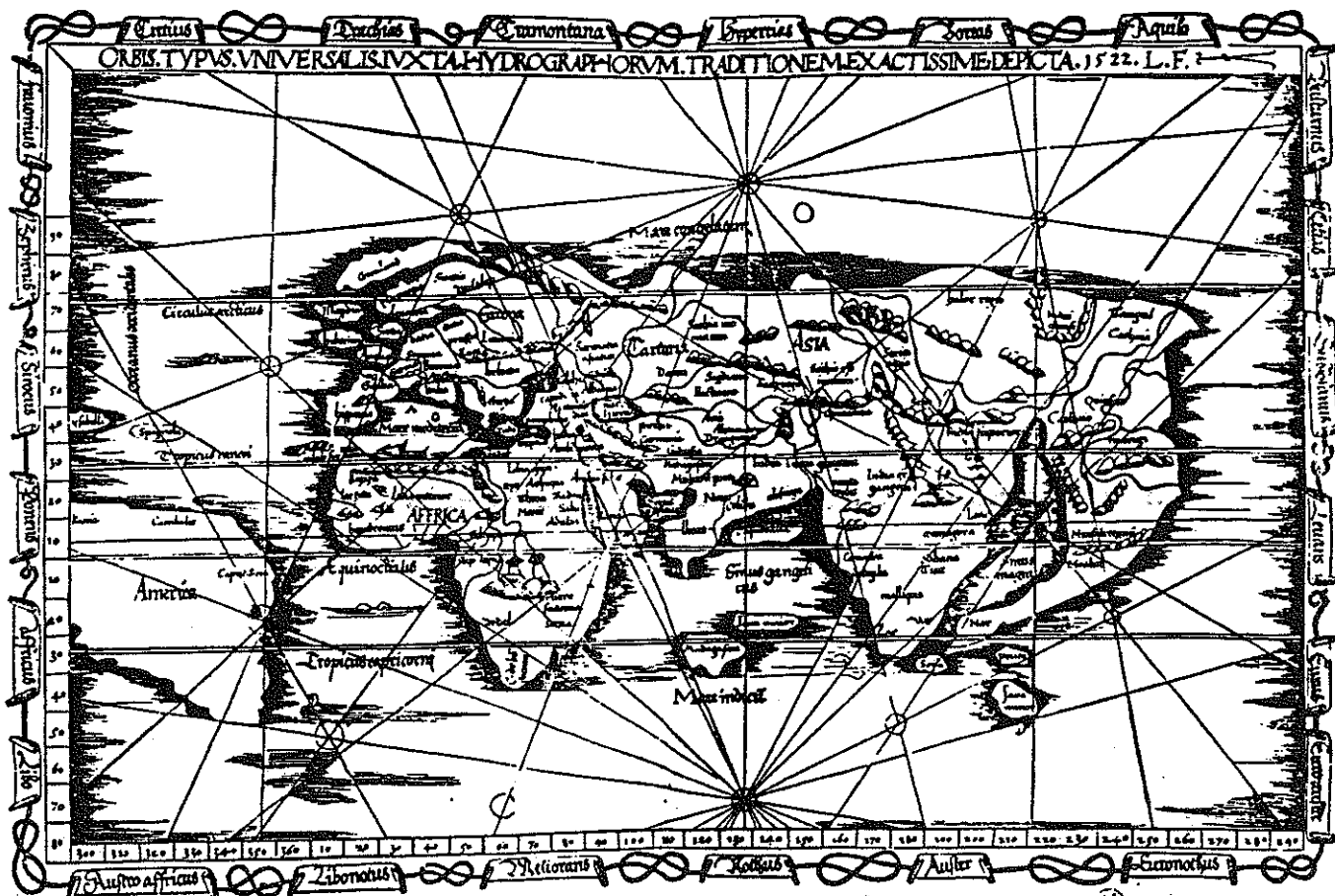


fig.7 : "Orbis Typus Universalis juxta hydrographorum traditionem exactissime depicta" de Laurent Fries (1522) :
 "carte hydrographique" à petite échelle au dessin assez approximatif, (comme c'est souvent le cas au XVI^e s)
 Des cartes de ce genre se trouvent souvent dans les éditions de "la Géographie" de C. PTOLEMEE
 comme mise à jour de sa grande carte de l'oecumène .-réseau de roses des vents et de rumb, avec l'équateur, les tropiques
 et un cadre gradué en longitude et latitude

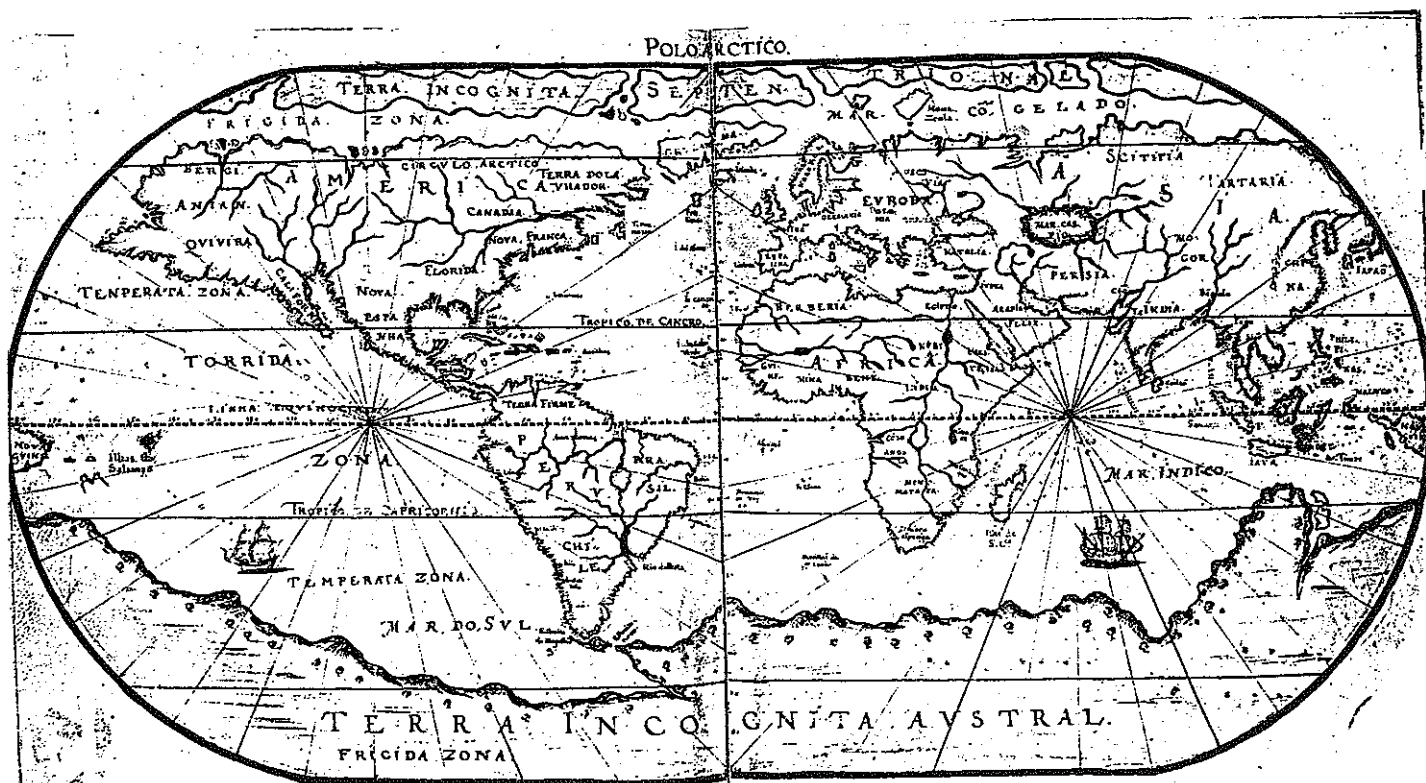


fig.8 : Carte "Typus Orbis Terrarum" tirée de l'Atlas de la Duchesse de BERRY (1628)- rumb rectilignes et équateur gradué

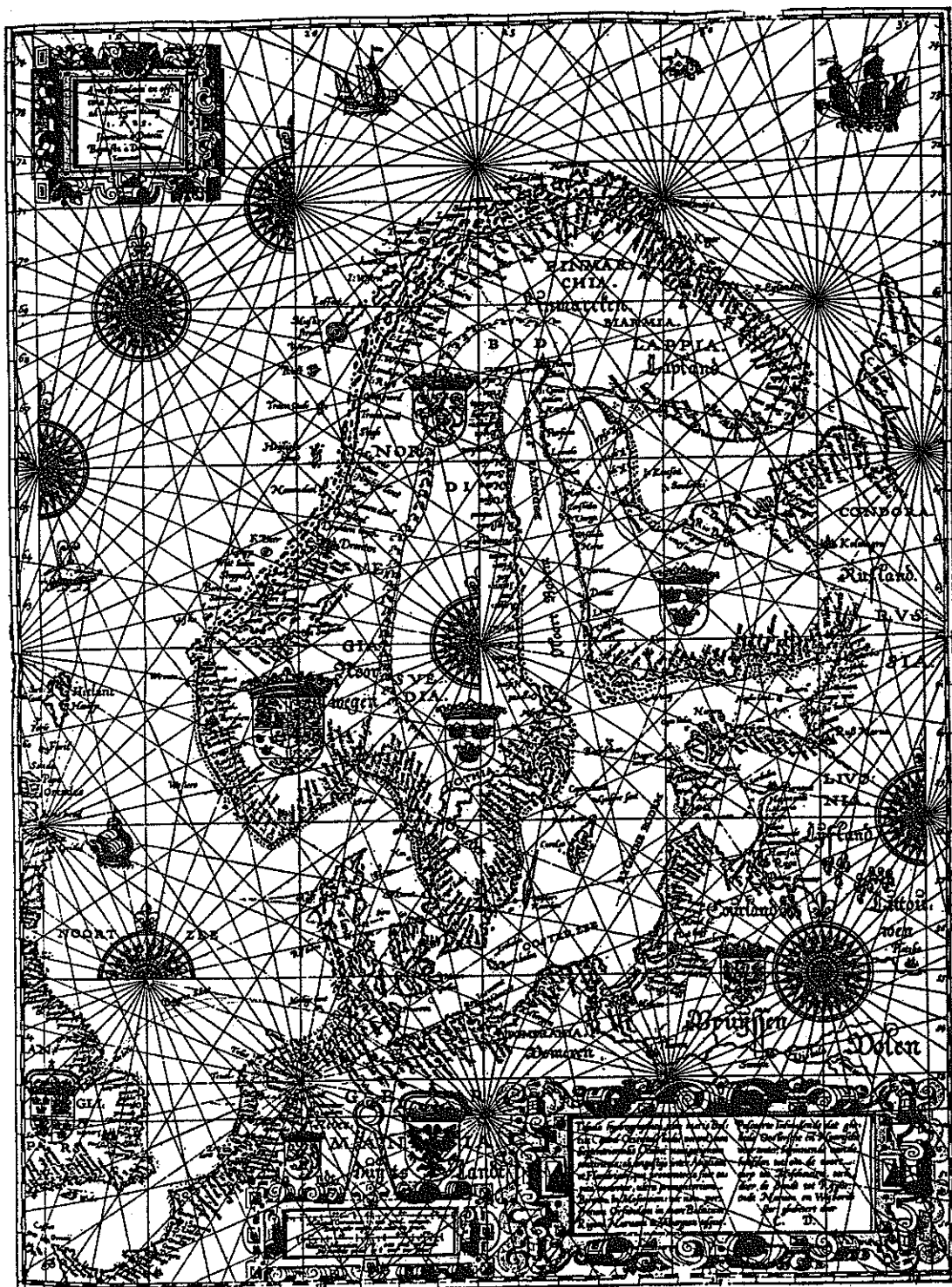


fig.9 : "Tabula hydrographica sive maris Baltici..." Carte de Scandinavie à moyenne échelle de CORNELIS DOEDTSZ - 1589 - on note la courbure de certains rumbs

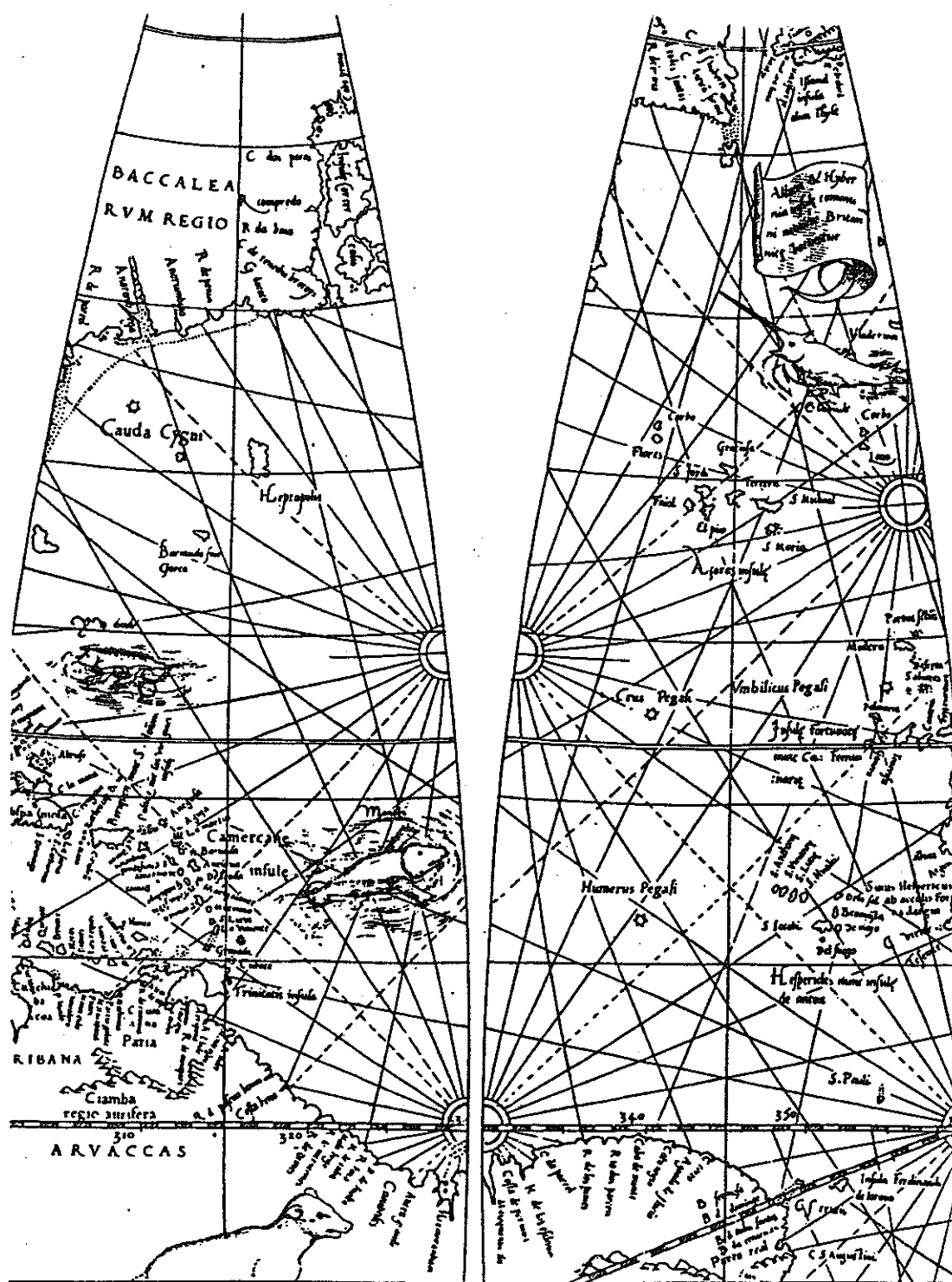


fig.10 : Globe de MERCATOR (1541) : partie de deux fuseaux représentant l'Atlantique Nord où figurent l'équateur, les tropiques et les rumbs en trait légèrement courbe

qu'ils traversent"¹⁶. Voilà donc trouvée la nature de la courbe qui correspond sur le globe aux rayons de la Rose des Vents sur la carte-portulan ; sa forme est celle d'une sorte de spirale sur la sphère, une courbe à double courbure et il verra plus tard qu'elle s'approche du pôle sans l'atteindre. Il dessine ces rumb courbes sur une carte en projection polaire de l'hémisphère Nord (1537). Puis il distingue les deux grandes modalités de l'art nautique : la navigation par arc de grand cercle (la plus courte distance entre deux points) où il faut changer sans cesse son angle de route, et la navigation par ces rumb où l'on maintient toujours le même azimut.

En Europe du Nord, MERCATOR par son maître GEMMA FRISIUS n'ignore pas les travaux de NUNES. Lorsqu'il entreprend en 1541 la réalisation d'un globe terrestre, sur les 12 fuseaux de papier (fig.10) destinés à être collés sur le support en forme de sphère de son futur globe, il place avec l'équateur, les méridiens et des parallèles le réseau des rumb courbes, accompagné de ces mots : "si un vaisseau se dirige constamment vers le même point du compas, ce point n'étant pas un des 4 cardinaux, il décrira sur le globe une courbe qui tourne en spirale à l'infini en s'approchant toujours du pôle sans jamais y arriver". MERCATOR distingue "plaga" et "directio" : la première est "la ligne de visée menée de notre lieu vers un autre, définie par l'inclinaison du grand cercle passant par les deux lieux....Nous appelons "direction" la ligne menée d'un lieu vers un autre de telle manière qu'elle fasse des angles égaux avec n'importe quel méridien...."¹⁷. Notons que le mot "direction" est celui qu'employait REGIOMONTANUS au siècle précédent. Le changement de vocabulaire témoigne du changement qui a eu lieu dans le domaine conceptuel.

Comment dessiner ces courbes inhabituelles ? Au Portugal NUNES poursuit ses recherches en travaillant à l'établissement d'une table numérique permettant d'effectuer le dessin de point en point. MERCATOR de son côté, pour réaliser le tracé des rumb sur son globe, adopte une solution qu'il n'explique pas mais qui semble être un procédé de construction graphique, lequel a été reconstitué ainsi : on utilise "une équerre métallique en métal souple dont les deux bras forment entre eux un angle égal à celui du rumb. On place le bras vertical de l'équerre le long du méridien du point de départ de l'équateur et on trace un élément de rumb le long de l'autre bras jusqu'au méridien suivant"¹⁸. Le tracé ainsi obtenu étonne par sa précision.

Après avoir résolu la question sur le globe, MERCATOR se penche sur le problème des cartes où ces "rumb", ces "directions", doivent être rectilignes pour pouvoir servir à la navigation ; c'est donc le canevas géographique qu'il faut changer. Et il travaille à donner "une nouvelle proportion et une nouvelle disposition des méridiens par rapport aux parallèles." Il avoue, nous dit son biographe "qu'il manque d'une démonstration....mais qu'il a entendu parler de quelque chose"¹⁹. En effet une idée circule, depuis ETZLAUB, qui la met en pratique sur le cadre d'un cadran solaire de poche²⁰, et PIRCKHEIMER, qui écrit en 1524 : "...j'ai le projet d'étudier un jour de nouvelles cartes avec méridiens parallèles....en telle façon qu'à chaque extrémité de la carte, la longitude fasse un angle droit avec la latitude ; je conserverai en outre un rapport exact non

¹⁶ "nam serem os rumos circulos ; mas linhas curvas irregulares : que vam fazendo com todos os meridianos que passamos angulos iguaes" (cité par GERNEZ "Quel procédé MERCATOR employa pour tracer le canevas de sa carte de 1569 à l'usage des marins" *Académie de Marine de Belgique*, Communications 1936-1937, t. 1, p.10 note 3)

¹⁷ Texte et traduction des légendes de la mappemonde originale de G. MERCATOR, Bureau Hydrographique International, Monaco 1932.

Le mot "directio" était utilisé par REGIOMONTANUS.
¹⁸cf. R. D'HOLLANDER "Historique de la loxodromie" in *Géographie du Monde au Moyen-Age*... p.135

¹⁹Lettre à GHYMNUS, cité par J. VAN RAEMDONCK, "GERARD MERCATOR - Sa vie et ses oeuvres" Saint Nicolas, Dalschaert, 1869

²⁰ sur ETZLAUB voir notamment : F. SCHNELBÖGL "Life and work of the Nuremberger Cartographer ERHARD ETZLAUB" in *Imago Mundi* LXX 1966 p.11



fig.11 : Extrait de la grande carte de MERCATOR dite "en latitudes croissantes" (1569) montrant l'espace croissant des parallèles - côte orientale de l'Asie et Japon - en trait double, le tropique ; en trait épais (au bas de la page) l'équateur

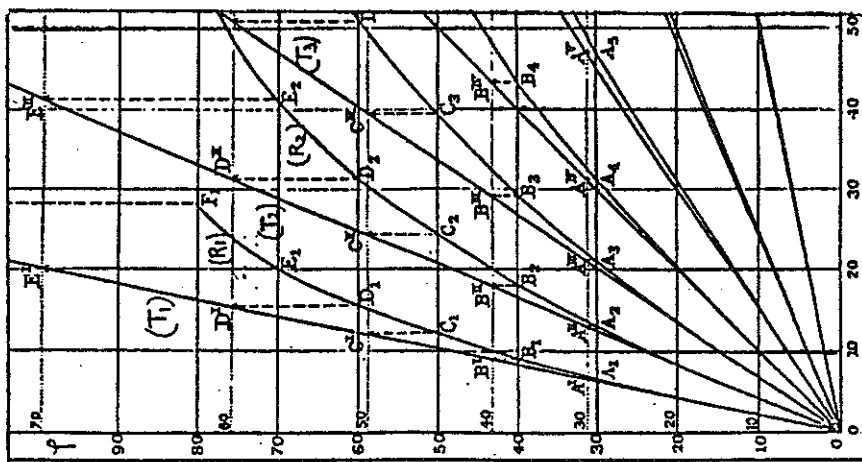


fig. 13 : figure accompagnant l'hypothèse du Dr WAGNER

/Mercator/: "après avoir construit ses rumbes sur une carte plate selon les courbes (R1) (R2)...aurait pris leurs intersections avec les parallèles en traits pleins de la figure /ci-dessus/: E1 et E2 avec le parallèle 70°. Ayant tracé les rumbes rectilignes d'azimut 11° 25, 22° 50...tangents en 0 aux courbes (R1) (R2)...Mercator aurait procédé à une anamorphose pour passer des rumbes courbes aux rumbes rectilignes.

Par E1 et E2 il aurait mené des parallèles aux méridiens rencontrant les rumbes rectilignes en E1, E2, dont l'alignement représente le parallèle 70° en projection de Mercator. Dans cette méthode, l'accumulation de 3 sortes d'erreurs : l'erreur de tracé sur le globe, l'erreur de report du globe sur la carte plate, l'erreur résultant de l'anamorphose, peut expliquer la faible précision du canevas" (R. D'HOLLANDER

"Historique de la loxodromie..." p.143)

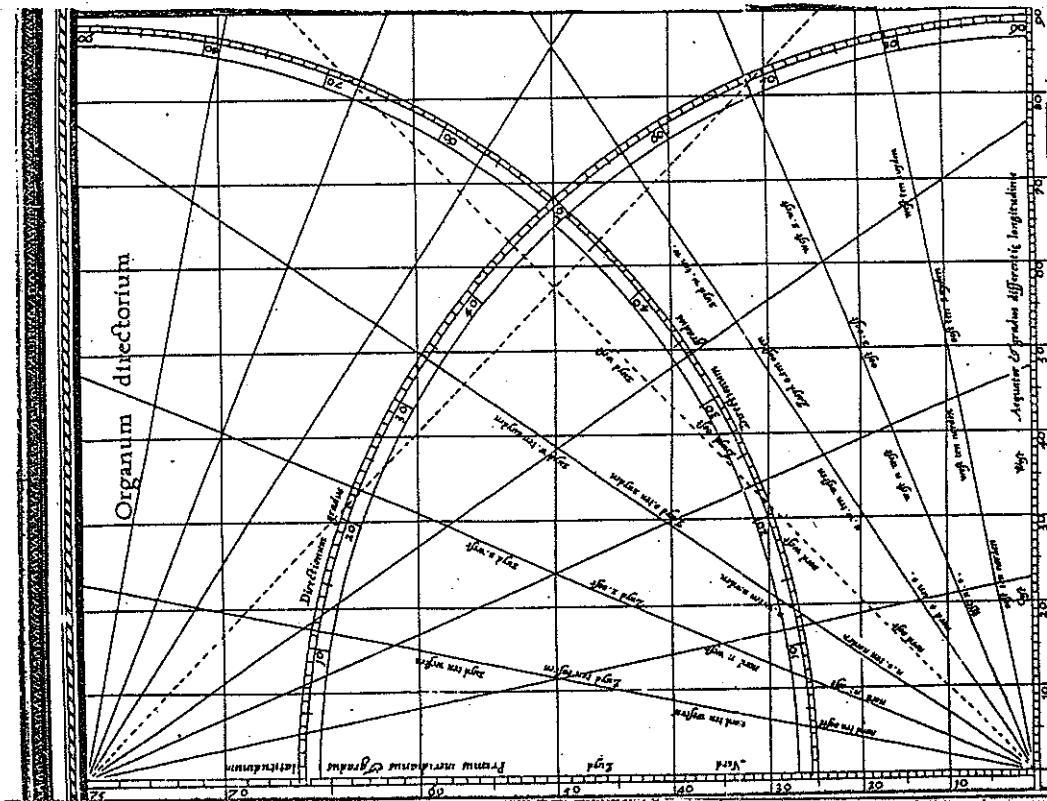


fig. 14 : "organum directorium" ou abaque des distances pour la carte en latitudes croissantes de MERCATOR

seulement entre les parallèles et les méridiens, mais aussi entre les premiers et leur distance réelle à l'équateur..."²¹. Déjà dans la "Suma de Geographia" de ENCISO au début du XVI^e siècle on trouvait cette phrase : "Les écartements des parallèles ne sont pas tous égaux sur une bonne carte marine mais doivent croître avec la latitude"²².

CALCULS, TRACES

NUNES publie à Bâle en 1566 le résultat de ses calculs : un traité dans lequel il indique le mode de calcul des tables cherchées par la résolution de triangles sphériques, qui donne la longitude et la latitude d'un certain nombre de points d'un rumb à partir d'un point de l'équateur²³. Cependant sa table, composée de 7 colonnes reste vide, le soin étant laissé au lecteur de la remplir. (voir l'annexe n°1). Il ajoute à ses calculs deux méthodes de construction d'un rumb sur un globe, notamment en utilisant un quadrant sphérique dont les 2 côtés sont perpendiculaires et sur lequel sont matérialisés les directions intermédiaires correspondant à 7 rumbs d'une rose de 32 directions.

MERCATOR trois ans plus tard présente sa nouvelle projection cartographique pour sa "nouvelle et plus complète représentation du globe terrestre correctement adaptée à l'usage de la navigation". Il écrit : "nous avons augmenté progressivement les degrés des latitudes vers chaque pôle proportionnellement à l'augmentation des parallèles par rapport à l'équateur" (sur le méridien). Sur la carte le rumb devient alors rectiligne (fig.11) et la carte est dite "en latitudes croissantes."

En haut à droite de la carte MERCATOR a aussi dessiné (fig.12) le pôle magnétique sous forme d'un petit dôme à deux emplacements selon que le premier méridien est choisi situé à l'île Corvo, où il n'y a pas de déclinaison magnétique (en haut), ou aux Iles Canaries, les "Iles Fortunées" de PTOLEMEE (en bas).

Comme MERCATOR n'a pas de formule mathématique pour réaliser le dessin, il se sert de son expérience de tracé sur le globe mais il ne révèle pas son procédé. Huit hypothèses ont tenté de reconstituer celui-ci²⁴, voici celle de l'historien H. WAGNER (fig.13) : MERCATOR aurait d'abord tracé sur un globe les rumbs, dont il aurait reporté sur une carte plate les intersections avec les méridiens selon les latitudes relevées sur le globe. Ayant pris les intersections de ces rumbs avec les parallèles, il les aurait tracés rectilignes. Puis il serait, par anamorphose, passé des rumbs rectilignes aux rumbs courbes. La carte ne permettant plus de calculer directement des distances, il faut lui adjoindre un abaque de calcul des distances, l'"organum directionum" (fig.14) qu'un texte explicite : on détermine l'angle du rumb ainsi que la différence de latitude entre les deux points considérés, chercher sur une des roses des vents situées sur l'équateur une ligne du même angle que la ligne entre les 2 points fait avec les méridiens de chaque point, on compte autant de degrés de l'équateur qu'on a compté de degrés dans la différence des latitudes ; on fera avec les pointes d'un compas écartées de la différence de latitude autant de révolutions que le permet l'écartement des 2 lieux, sommant les degrés de

²¹ cité par GERNEZ, op. cité, p.24

²² Légende de la carte de 1569 qui commence ainsi : "Au lecteur de cette carte, salut !" La référence à ENCISO (en note) est de l'auteur des traductions des légendes par le Bureau Hydrographique International)

²³ R. D'HOLLANDER "Historique de la loxodromie" in *Géographie du Monde*...p.138 à 141

²⁴ D'après R. D'HOLLANDER l'hypothèse du Docteur WAGNER explique le mieux les approximations du canevas établi par MERCATOR ("Historique de la loxodromie" in *Géographie du Monde*..).

chacune et y ajoutant (éventuellement) la valeur d'une révolution incomplète que l'on aura déterminée.

L'EXPLOSION DES OUTILS DE LA TRIGONOMETRIE

La projection de la nouvelle carte passe à peu près inaperçue et c'est seulement un siècle plus tard que cette cartographie faite pour les marins réalisera son objectif dans un Atlas de cartes marines "le Neptune François". Mais l'étude de MERCATOR a trouvé un écho auprès d'un mathématicien anglais, Edward WRIGHT qui dénonce les erreurs des cartes nautiques ordinaires et présente dans un ouvrage de 1599²⁵ une notion de trigonométrie destinée à répondre au problème de MERCATOR : la notion de *sécante*. C'est que les trente années qui séparent la parution de son ouvrage de celle de la carte de MERCATOR ont vu l'édition de tout un ensemble de travaux concernant la trigonométrie²⁶. Ces ouvrages précisent des notions d'usage jusque là limité : les sinus et les tangentes, les cosinus et les sécantes, enfin les cotangentes et les cosécantes. Grâce à ces outils le problème de l'espacement des parallèles sur le méridien allait être résolu, permettant le tracé rectiligne sur la carte, des rumbes courbes sur la sphère :

- en 1561 paraît à Nuremberg la 2ème édition de l'ouvrage posthume de REGIOMONTANUS "De triangulis omnimodus libri quinque" (écrit en 1464). C'est un traité de trigonométrie plane et sphérique, que WERNER n'avait sans doute pas connu, la première édition étant parue en 1533. Les "Tabulae directionum" comprennent une "Tabula fecunda" (nommée ainsi parce qu'elle porte de nombreux fruits) où REGIOMONTANUS utilise la tangente

- en 1551 dans son "De canone doctrinae de triangulorum", RHETICUS (1514-1574), l'élève de COPERNIC, introduit l'usage de la sécante ; il parle d' "hypotenusa" et réalise une table des sécantes qu'il nomme "hypotenusarum tabula"

- en 1558 dans son "Geometricarum quaestionum", MAUROLICUS (1494-1574) discute de la notion de sécante (question 61). Il se réfère à une "tabula benefica" qui est une table des sécantes

- en 1579 dans son "Canon mathematicus seu ad triangula" VIETE (1540-1603) revient sur la sécante "hypotenusa fecunda". Il emploie les mots de "transsinus" pour cette sécante, de "prosinus" pour la tangente

- THOMAS FINCK (1561-1656) propose deux autres mots : "tangent" et "sécant" dans sa "Geometria rotundi" de 1583 (livre XIV) disant que, si la chose n'est pas nouvelle, ces 2 nouvelles appellations lui paraissent bien appropriées.

LA SOLUTION D'EDWARD WRIGHT

E. WRIGHT (1561-1615) fait partie d'un groupe de savants qui comprend W. GILBERT (lequel reconnaît que le magnétisme est d'origine terrestre et que le pôle géographique n'est pas à considérer au ciel

²⁵ E. WRIGHT "Certaine Errors in Navigation, arising either of the ordinarie erroneous making or using fo the Sea Chart, Compasse, Crosse straffe, and Tables of declination of the Sunne, and fixed Starres detected and corrected" (Erreurs certaines provenant de la réalisation ordinairement erronée ou de l'utilisation de la carte marine, de la boussole, du bâton de Jacob, et des Tables de déclinaison du Soleil et des étoiles fixes, ici détectées et corrigées) Londres, Valentine Sims, 1599 - 2ème et 3ème éditions en 1610 et 1657

²⁶ nous suivons la thèse de M.C. ZELLER "The development of Trigonometry from REGIOMONTANUS to PITISCUS" Université du Michigan 1944

mais en un point terrestre), H. BRIGGS et J. NEPER, l'inventeur des logarithmes (dont WRIGHT traduira en anglais le "Mirifici logarithmorum canonis constructio" de 1614). Il s'intéresse à la navigation mathématique, pour avoir au cours d'une expédition de course (ou de corsaire) aux Açores en 1589 (fig.15) contre les Espagnols eu l'occasion de remarquer la "variation du compas" et d'expérimenter, lui aussi, les erreurs des cartes (annexe II chap.1 et fig.15). Dans sa Préface au lecteur il écrit : "l'art de la Navigation, bien qu'en usage depuis des milliers d'années, comme il est loin de la perfection souhaitée aujourd'hui ! nous pouvons à peine le croire.....Grâce à GERARD MERCATOR et sa carte universelle du Monde.... j'ai pensé à corriger les erreurs et absurdités des cartes marines communes en accroissant les distances des parallèles depuis l'équateur vers les pôles de sorte qu'à chaque lieu de latitude sur la carte un petit segment de méridien puisse avoir quasiment la même proportion que le même segment sur le globe. Mais la façon dont cela doit être fait je ne l'ai appris ni de MERCATOR ni d'aucune autre personne..."²⁷. Puis il consacre tout le début de son ouvrage à l'analyse des "Fautes des Cartes Marines Communes avec les rumbx exprimés par des lignes droites et les degrés de latitude égaux" sur tous les parallèles (voir annexe II, chap.1, et fig.16).

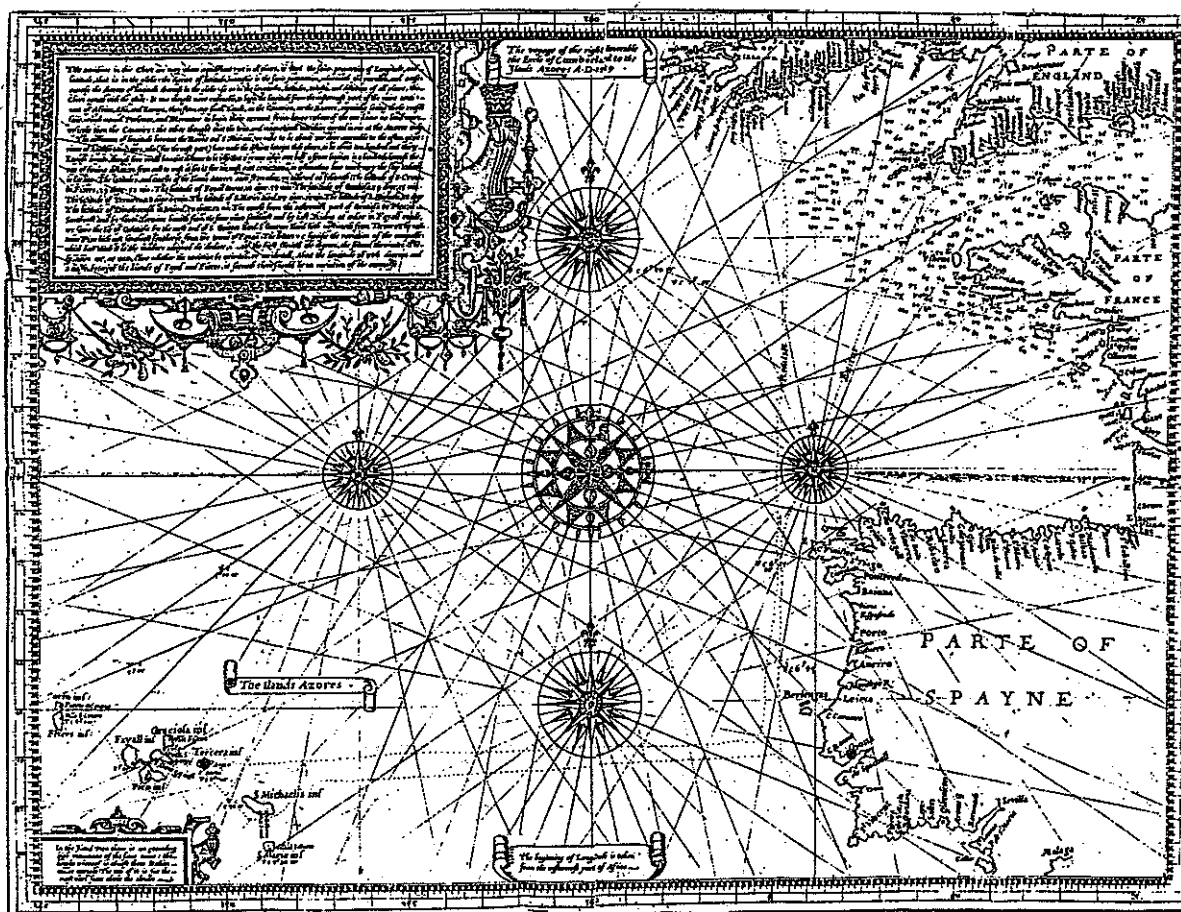


fig.15 : carte de WRIGHT en "latitudes croissantes" (1589) montrant les emplacements de Lisbonne et Tercera (marqués par deux pastilles noires.: Lisbonne à droite, Tercera à gauche. L'île de Madère est située sur le méridien équidistants de ces deux emplacements, à la latitude de 31°1/2 (voir annexe II chap.1)

²⁷WRIGHT "Certaine Errors ..." Préface au lecteur.

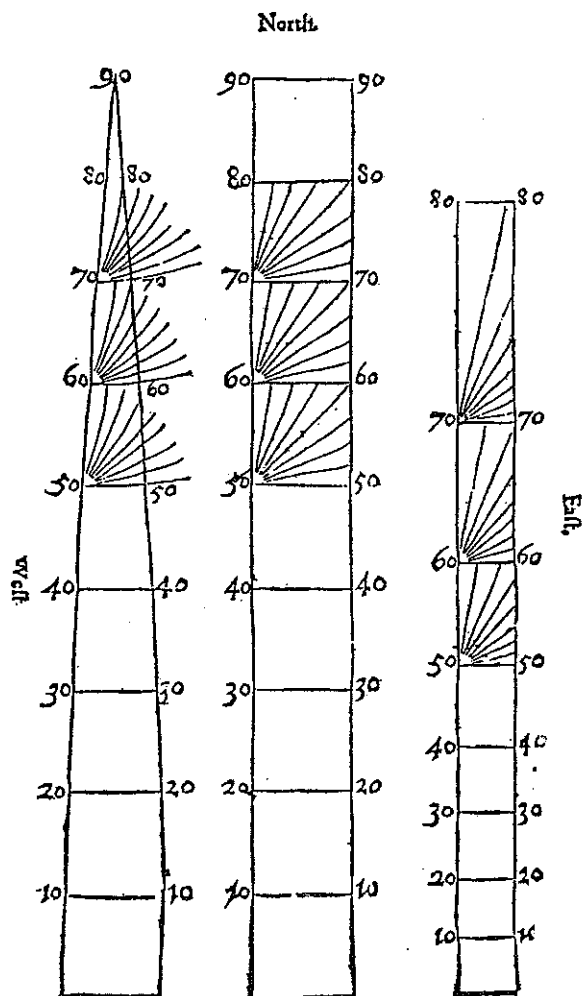


fig.16 : croquis de WRIGHT montrant que le rumb est courbe sur la sphère (à gauche), qu'il est courbe également dans le quadrillage de la carte plate carrée (au centre) et qu'il est rectiligne dans la carte dite en latitudes croissantes (à droite)

Pour expliquer dans quelles proportions les espacements des parallèles sur les méridiens doivent être augmentés, il réalise un "planisphère nautique" (annexe II chap.2 et fig.17). Sur ce planisphère nautique, puisque le demi diamètre du parallèle est proportionnel au cosinus de la latitude (qui est la distance du parallèle à l'Equateur) le demi diamètre du méridien doit être égal au demi-diamètre du parallèle, donc proportionnel à la sécante de chaque latitude. Ce qui revient à écrire²⁸ :

$$\frac{1 \text{ degré de parallèle}}{1 \text{ degré d'équateur}} = \frac{1}{\text{sécante de la latitude}}$$

donc $1 \text{ degré de méridien} = (1 \text{ degré de parallèle}) \cdot (\text{sécante de la latitude.})$

et puisque WRIGHT calcule ses tables en minutes :

$1 \text{ minute de méridien} = (1 \text{ minute de parallèle}) \cdot (\text{sécante latitude}).$

Il faut donc écarter les parallèles selon la valeur calculée de la sécante à chaque latitude. WRIGHT établit sa table des latitudes pour un intervalle de 10 minutes (fig.19), qui sera ramené à 1 minute dans la 2^e édition (dont nous donnons un extrait en annexe). Cette table lui sert à graduer les méridiens pour dessiner les latitudes croissantes. Enfin il calcule l'ensemble des tables des rumb (fig.20) ; enfin, puisque sa carte ne peut donner directement les distances il présente un croquis de géométrie sphérique pour les établir. Comme le contenu des tables est aussitôt plagié, par HONDIUS (lequel aurait pris connaissance du manuscrit de WRIGHT lors d'un voyage en Angleterre), par HAYKLUT, par d'autres contemporains qu'il avait mis dans la confiance de ses travaux²⁹, WRIGHT se décide à les éditer.

²⁸voir A. GERMAIN "Traité des projections" Paris, Arthus Bertrand, p. 205-206

²⁹voir "WRIGHT, EDWARD" in Dictionary of Scientific Biography N-Y, Ch. Scribner's Sons, 1976, T.14, p.513-515

*The draught of the Meridian, Parallels, and Rumbes of the
nautical Planisphere truly made.*

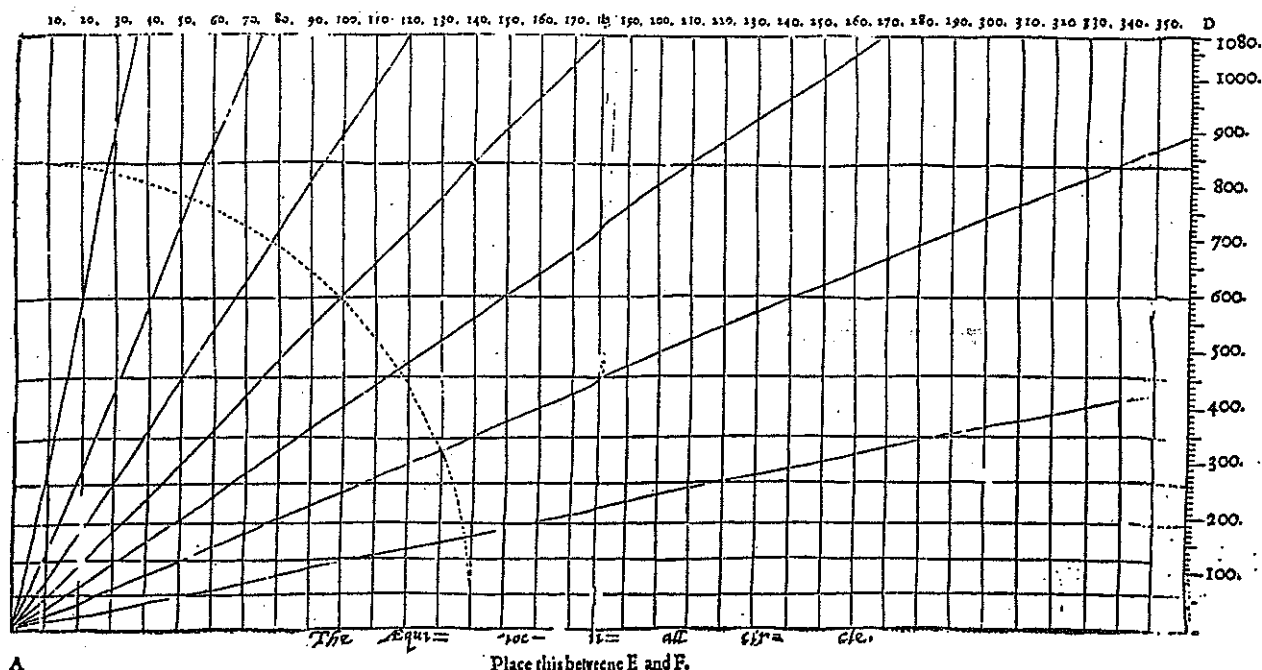


fig. 17 : Mode de tracé du Planisphère Nautique de WRIGHT (voir annexe II chap. 2)

LES LOGARITHMES, LA SOLUTION DEFINITIVE

Au début du XVII^{ème} siècle le flamand S. STEVIN dans ses "Hypomnemata mathematica" introduit le mot de "loxodromie" pour désigner la courbe que trace un navire navigant à cap constant ; il l'oppose à l'orthodromie, navigation par arc de grand cercle. Comme l'écrit M. d'HOLLANDER, *"les définitions mathématiques - de la loxodromie d'une part, - du canevas des parallèles d'une projection cylindrique conforme d'autre part, se déduisent très aisément l'une de l'autre, faisant intervenir toutes les deux l'intégrale*

$$\lambda_c = \int \frac{d\varphi}{\cos \varphi}$$

*(φ désignant la latitude et λ_c la latitude croissante). Alors que la loxodromie s'enroule indéfiniment autour du pôle, on pourrait croire que sa longueur à partir du point initial de l'équateur tende vers l'infini ; on montre que la longueur de la loxodromie tend vers une valeur finie lorsque la courbe s'enroule indéfiniment autour du pôle*³⁰". Un bel exemple de cartographie de ces loxodromies figure dans la carte des terres arctiques en projection stéréographique polaire (fig. 18) éditée par J. BLAEU (1598-1673).

Plus tard, le procédé de calcul de WRIGHT des accroissements des parties du méridien sera critiqué car l'arc d'une minute diffère de sa corde. En 1645 H. BOND montrera que les longueurs des méridiens de la projection croissent comme le logarithme de la tangente de la moitié du complément de la latitude. C'est le calcul intégral qui permettra d'avoir la solution exacte améliorée encore par BERNOULLI et HALLEY à la fin du XVII^{ème} siècle. Aujourd'hui les tables des latitudes croissantes (en minutes d'arc) sont données par le Bureau Hydrographique International (fig. 21).

³⁰R. D'HOLLANDER "Historique de la loxodromie" in *Géographie du Monde* p;135

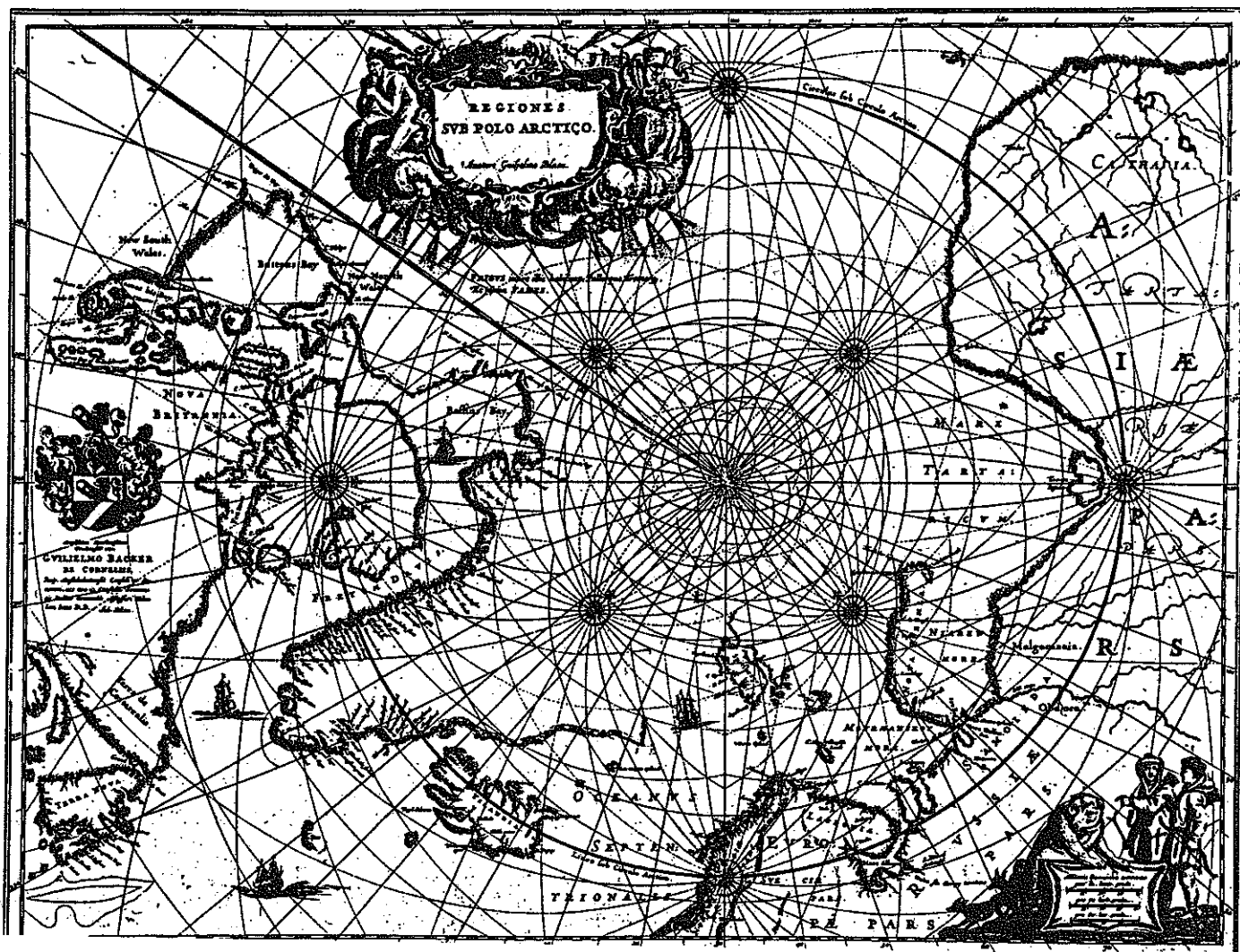


fig. 18 : exemple de rums sur une carte des terres arctiques en projection stéréographique polaire, éditée par J. BLAEU montrant la forme en spirale des loxodromies au voisinage du Pôle

CONCLUSION

Des rayons des cartes-portulans aux formules établies à l'aide des logarithmes, on voit l'histoire d'un tracé, son cheminement à partir d'un dessin empirique jusqu'à la conceptualisation, la découverte de ses modalités de construction, à travers les générations de marins et de savants qui se sont succédés depuis le Moyen-Âge. On a ici, comme dans tant d'autres cas en cartographie, un exemple de l'interaction d'une pensée scientifique qui impose peu à peu une mise en forme rationnelle et d'un savoir-faire qui se traduit par une image d'une grande richesse d'interprétation, mais dont les dessins laissent peu paraître de la construction qui les sous-tend. L'image n'en est que plus précieuse si l'on peut évoquer derrière son élégance, à l'aide d'une lecture approfondie, les recherches et les débats d'idées auxquels elle a donné lieu.

A table for the true dividing

1. Col.	2. Col.	1. Col.	2. Col.	1. Col.	2. Col.
De Mi	De Mi	De Mi	De Mi	De Mi	De Mi
30 10	18999	35 10	22565	40 10	26358
30 20	19115	35 20	22688	40 20	26489
30 30	19231	35 30	22811	40 30	26621
30 40	19347	35 40	22934	40 40	26752
30 50	19464	35 50	23057	40 50	26884
31 0	19580	36 0	23180	41 0	27017
31 10	19697	36 10	23304	41 10	27149
31 20	19814	36 20	23428	41 20	27282
31 30	19931	36 30	23552	41 30	27416
31 40	20048	36 40	23677	41 40	27549
31 50	20166	36 50	23802	41 50	27683
32 0	20284	37 0	23927	42 0	27818
32 10	20402	37 10	24052	42 10	27953
32 20	20520	37 20	24178	42 20	28088
32 30	20639	37 30	24304	42 30	28223
32 40	20757	37 40	24430	42 40	28359
32 50	20876	37 50	24556	42 50	28495
33 0	20995	38 0	24683	43 0	28632
33 10	21113	38 10	24810	43 10	28769
33 20	21234	38 20	24938	43 20	28906
33 30	21354	38 30	25065	43 30	29044
33 40	21474	38 40	25193	43 40	29182
33 50	21594	38 50	25321	43 50	29320
34 0	21715	39 0	25450	44 0	29459
34 10	21836	39 10	25579	44 10	29598
34 20	21957	39 20	25708	44 20	29738
34 30	22078	39 30	25837	44 30	29878
34 40	22199	39 40	25967	44 40	30018
34 50	22321	39 50	26097	44 50	30159
35 0	22443	40 0	26228	45 0	30300
				E 2	

fig. 19 : Extrait de 30° à 45° de la table de WRIGHT de la première édition, donnant les espacements des parallèles de 10 en 10' sur le méridien pour une carte exacte en "latitudes croissantes"

The first rumbe from the Equinoctial.

The rumbe of $\left\{ \begin{array}{l} \text{East and by North, East and by South,} \\ \text{West and by North, West and by South.} \end{array} \right.$											
Lon.	Latit.	Lon.	Latit.	Lon.	Latit.	Lon.	Latit.	Lon.	Latit.	Lon.	Latit.
Deg.	De. Mi.	Deg.	De. Mi.	Deg.	De. Mi.	Deg.	De. Mi.	Deg.	De. Mi.	Deg.	De. Mi.
10	11	316	9	61	12	21	91	17	48	121	23
20	23	326	21	62	12	14	92	17	59	122	23
30	35	335	33	63	12	25	93	18	11	123	23
40	47	345	44	64	12	37	94	18	22	124	23
50	59	356	56	65	12	49	95	18	33	125	24
60	71	367	68	66	13	0	96	18	44	126	24
70	83	377	80	67	13	12	97	18	56	127	24
80	95	387	92	68	13	24	98	19	7	128	24
90	107	397	104	69	13	35	99	19	19	129	24
100	119	407	116	70	13	47	100	19	30	130	25
110	131	418	128	71	13	58	101	19	41	131	25
120	143	428	140	72	14	10	102	19	52	132	25
130	155	438	152	73	14	22	103	20	3	133	25
140	167	448	164	74	14	33	104	20	15	134	25
150	179	458	176	75	14	45	105	20	26	135	25
160	191	469	188	76	14	56	106	20	37	136	26
170	203	479	200	77	15	8	107	20	48	137	26
180	215	489	212	78	15	19	108	20	59	138	26
190	227	499	224	79	15	31	109	21	10	139	26
200	239	509	236	80	15	42	110	21	21	140	26
210	251	5110	25	81	15	54	111	21	33	141	26
220	263	5210	17	82	16	5	112	21	44	142	27
230	275	5310	29	83	16	17	113	21	55	143	27
240	287	5410	40	84	16	28	114	22	6	144	27
250	299	5510	52	85	16	40	115	22	17	145	27
260	311	5611	4	86	16	51	116	22	28	146	27
270	323	5711	15	87	17	2	117	22	39	147	28
280	335	5811	27	88	17	14	118	22	50	148	28
290	347	5911	39	89	17	25	119	23	1	149	28
300	359	6011	50	90	17	37	120	23	12	150	28
										F 3	

fig. 20 : Fac-similé de la table des coordonnées du 1er rumb (loxodromie de 11°15')

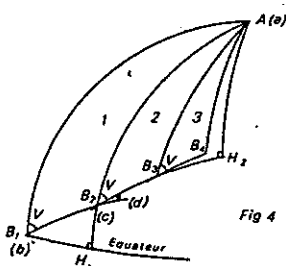
L	L sphère	L Ellipsoïde international	L Ellipsoïde de Clarke 1880	L	L sphère	L Ellipsoïde international	L Ellipsoïde de Clarke 1880	L	L sphère	L Ellipsoïde international	L Ellipsoïde de Clarke 1880
1°	60'0030	59'5997	59'5949	31°	1958'0124	1946'1024	1945'9591	61°	4649'2253	4628'9773	4628'7334
2°	120'0244	119'2178	119'2081	32°	2028'3837	2016'1291	2015'9816	62°	4774'9820	4754'5406	4754'2944
3°	180'0823	178'8728	178'8583	33°	2099'5266	2086'9312	2086'7796	63°	4904'9367	4884'3080	4884'0595
4°	240'1952	238'5830	238'5636	34°	2171'4807	2158'5482	2158'3926	64°	5039'4216	5018'6120	5018'3613
5°	300'3815	298'3672	298'3430	35°	2244'2868	2231'0212	2230'8616	65°	5178'8082	5157'8240	5157'5712
6°	360'6598	358'2440	358'2150	36°	2317'9883	2304'3936	2304'2300	66°	5323'5130	5302'3606	5302'1058
7°	421'0487	418'2322	418'1983	37°	2392'6305	2378'7107	2378'5432	67°	5474'0057	5452'6915	5452'4347
8°	481'5673	478'3507	478'3120	38°	2468'2609	2454'0204	2453'8490	68°	5630'8184	5609'3490	5609'0903
9°	542'2345	538'6189	538'5754	39°	2544'9298	2530'3728	2530'1976	69°	5794'5575	5772'9394	5772'6789
10°	603'0696	599'0562	599'0079	40°	2622'6902	2607'8210	2607'6420	70°	5965'9179	5944'1577	5943'8955
11°	664'0922	659'6821	659'6291	41°	2701'5979	2686'4212	2686'2385	71°	6145'7012	6123'8055	6123'5417
12°	725'3223	720'5168	720'4590	42°	2781'7120	2766'2323	2766'0460	72°	6334'8392	6312'8148	6312'5494
13°	786'7799	781'5805	781'5180	43°	2863'0953	2847'3173	2847'1274	73°	6534'4233	6512'2768	6512'0099
14°	848'4857	842'8939	842'8267	44°	2945'8141	2929'7426	2929'5491	74°	6745'7433	6723'4816	6723'2133
15°	910'4606	904'4782	904'4063	45°	3029'9392	3013'5790	3013'3820	75°	6970'3390	6947'9688	6947'6992
16°	972'7260	966'3547	966'2781	46°	3115'5456	3098'9018	3098'7014	76°	7210'0688	7187'5970	7187'3262
17°	1035'3039	1028'5456	1028'4643	47°	3202'7136	3185'7911	3185'5874	77°	7467'2048	7444'6382	7444'3662
18°	1098'2166	1091'0734	1090'9875	48°	3291'5296	3274'3326	3274'1256	78°	7744'5652	7721'9107	7721'6377
19°	1161'4871	1153'9612	1153'8707	49°	3382'0823	3364'6180	3364'4177	79°	8045'7049	8022'9695	8022'6955
20°	1225'1390	1217'2326	1217'1375	50°	3474'4729	3456'7456	3456'5321	80°	8375'197	8352'388	8352'113
21°	1289'1967	1280'9121	1280'8125	51°	3568'8056	3550'8207	3550'6041	81°	8739'063	8716'187	8715'911
22°	1353'6849	1345'0247	1344'9205	52°	3665'1940	3646'9570	3646'7374	82°	9145'459	9122'523	9122'247
23°	1418'6295	1409'5963	1409'4876	53°	3763'7603	3745'2767	3745'0541	83°	9605'818	9582'829	9582'552
24°	1484'0571	1474'6536	1474'5405	54°	3864'6366	3845'9120	3845'6865	84°	10136'885	10113'85	10113'57
25°	1549'9952	1540'2242	1540'1067	55°	3967'9661	3949'0063	3948'7780	85°	10764'621	10741'54	10741'26
26°	1616'4721	1606'3367	1606'2148	56°	4073'9042	4054'7148	4054'4837	86°	11532'518	11509'41	11509'13
27°	1683'5174	1673'0205	1672'8942	57°	4182'6199	4163'2069	4162'9731	87°	12522'107	12498'98	12498'70
28°	1751'1617	1740'3064	1740'1758	58°	4294'2979	4274'6671	4274'4307	88°	13916'431	13893'28	13893'00
29°	1819'4367	1808'2264	1808'0915	59°	4409'1399	4389'2974	4389'0584	89°	16299'556	16276'40	16276'12
30°	1888'3754	1876'8135	1876'6744	60°	4527'3678	4507'3194	4507'0779	90°	∞	∞	∞

fig.21 : Table des latitudes croissantes d'après les Tables du Bureau Hydrographique, en minutes d'arc
(extrait de l'ouvrage de F. REIGNIER : "Les systèmes de projections et leurs applications "(Paris, Librairie
de l'Enseignement Technique)

ANNEXE I

Méthode de calcul d'une table de rumb par Nunes

Le livre II des *Opera* intitulé « Petri Nonii Salaciensis de regulis et instrumentis » expose dans son chapitre 23 le mode de calcul d'une table de rumb : c'est une table permettant à partir d'un point de l'équateur de définir la longitude et la latitude d'un certain nombre de points du rumb. En fait Nunes est amené à résoudre une série de triangles sphériques ayant tous l'un de leur sommet au pôle : il conserve les longueurs des arcs de méridien des différents triangles, ce qui revient à définir les points par leur colatitude, il ne calcule pas les longitudes cumulées se contentant des différences de longitude entre deux points successifs, enfin — et ceci est important — il calcule les différents arcs de courbe entre deux points consécutifs. Il n'est pas possible dans l'étude que nous avons faite de conserver les notations de Nunes, a, b, c, d... indiquées entre parenthèses, à côté des notations



que nous avons adoptées, pour pouvoir résoudre un nombre élevé de triangles (jusqu'à 178 pour le 7^e rumb). Le rumb d'azimut V partant du point B₁ de l'équateur est décomposé en arcs de grand cercle B₁ B₂, B₂ B₃ de même azimut V, le premier arc issu de B₁ s'arrêtant au point B₂ tel qu'en ce point il ait un azimut V + dV, dV étant pris égal à un degré, un angle plus petit ne pouvant — selon Nunes — être apprécié par les timoniers. Mais sa méthode reste valable quelle que soit la valeur de dV. Soit A le pôle et considérons les triangles AB₁ B₂ (triangle 1), AB₂ B₃ (triangle 2), etc. ; dans chacun des triangles les angles à l'ouest sont égaux à V et les angles à l'est à : $\pi - (V + dV)$. Comme $\sin [\pi - (V + dV)] = \sin (V + dV)$, on peut écrire :

$$\frac{\sin \widehat{AB}_2}{\sin \widehat{AB}_1} = \frac{\sin \widehat{AB}_3}{\sin \widehat{AB}_2} = \dots = \frac{\sin \widehat{AB}_i}{\sin \widehat{AB}_{i-1}} = \frac{\sin V}{\sin (V + dV)} = k$$

k étant une constante. L'arc de départ $\widehat{AB}_1 = 90^\circ$, de sorte qu'on calcule très aisément de proche en proche les arcs $\widehat{AB}_2$, $\widehat{AB}_3$, $\widehat{AB}_4$, etc., que l'on porte dans le 1^{er} « espace » du tableau I. Nous n'écrirons pas les formules qu'utilise ensuite Nunes, mais nous nous contenterons d'indiquer les différentes étapes de son algorithme de calcul, en rappelant qu'un triangle sphérique est déterminé lorsqu'on connaît trois de ses éléments.

- a. Résolution du triangle $B_1 B_2 H_1$. Eléments connus : $\widehat{B_1} = 90^\circ - V$, $\widehat{H_1} B_2 = 90^\circ - \widehat{AB_2}$ où $\widehat{AB_2}$ est tiré de (1), $H_1 = 90^\circ$. Sont calculés $\widehat{B_1} H_1 = \widehat{A_1}$, première différence de longitude, portée dans le 3^e espace du tableau I et $\widehat{B_1} B_2$ porté dans le 2^e espace du tableau I.
- b. Résolution des triangles : 2, $AB_2 B_3$; 3, $AB_3 B_4$; ... i, $AB_i B_{i+1}$; ... par méthode répétitive, en ramenant la résolution de ces triangles à celle de deux triangles sphériques rectangles. Pour résoudre le triangle 2 : $AB_2 B_3$ Nunes construit le point H_2 tel que l'arc de grand cercle AH_2 soit perpendiculaire à l'arc $B_2 B_3$ prolongé et il résout les deux triangles sphériques rectangles $AB_2 H_2$ et $AB_3 H_2$.
- b₁. Résolution du triangle $AB_2 H_2$. Eléments connus : $\widehat{AB_2}$ tiré de (1), $\widehat{B_2} = V$, $\widehat{H_2} = 90^\circ$. Nunes calcule : $\widehat{B_2} H_2$, $\widehat{AH_2}$, mais on peut calculer aussi à titre de contrôle : $\widehat{B_2} AH_2$.
- b₂. Résolution du triangle $AB_3 H_2$. Eléments connus : $\widehat{AB_3}$ tiré de (1), $\widehat{AH_2}$ obtenu en b₁, $\widehat{H_2} = 90^\circ$. Nunes calcule : $\widehat{B_3} H_2$; on peut calculer aussi à titre de contrôle : $\widehat{B_3} AH_2$.
- c. Calcul de l'arc $\widehat{B_2} B_3 = \widehat{B_2} H_2 - \widehat{B_3} H_2$, les valeurs de ces arcs sont tirées de b₁ et de b₂ ; $\widehat{B_2} B_3$ est porté dans le 2^e espace du tableau I.
- d. Résolution du triangle $AB_2 B_3$. Eléments connus : $\widehat{B_2} B_3$ tiré de c), $\widehat{AB_2}$ tiré de (1), $\widehat{B_2} = V$. Nunes calcule $\widehat{A_2}$, 2^e différence de longitude, portée dans le 3^e espace du tableau I. Contrôle du calcul non effectué par Nunes : $\widehat{A_2} = \widehat{B_2} AH_2 - \widehat{B_3} AH_2$, ces deux angles ayant été obtenus en b₁ et b₂.

Nous venons de résumer la méthode de construction d'une table de rumb exposée par Nunes en latin, sans aucune symbolisation mathématique, avec des figures peu suggestives, où l'on trouve une intervention de lettres, avec des notations ambiguës. Tout cela a dû rebuter les lecteurs des « Opera », en particulier Stevin, de sorte que la méthode de Nunes, pourtant ingénieuse et même assez performante, comme nous allons le montrer, ne semble pas avoir eu d'écho au milieu du xvi^e siècle.

Arrivé à la fin du chapitre 24 que nous venons d'étudier, quelle n'est pas la surprise du lecteur de voir Nunes donner une table de rumbus avec 7 colonnes vides, précédée de ces mots : « suit la disposition de la table en sept parties distinctes, les nombres à écrire à l'intérieur de cette table, que les adolescents studieux les calculent selon les précédentes démonstrations et les prolongent autant qu'il leur plaira ». Il s'agit vraisemblablement d'aller au-delà des 19 lignes de la table ; ce n'est qu'au chapitre 26 que Nunes conseille de calculer les tables de rumb jusqu'à la latitude 60°.

Chaque colonne de rumb comprend 3 « espaces » :

- le 1^{er} réservé à la longueur de l'arc de méridien $\widehat{AB}$
- le 2^e réservé à la longueur de chaque arc $\widehat{B_1 B_2}, \widehat{B_2 B_3} \dots \widehat{B_{i-1} B_i}$
- le 3^e réservé à la différence de longitude entre 2 points consécutifs : $A_1, A_2, A_3 \dots$

ANNEXE II

EDWARD WRIGHT :

"Erreurs certaines provenant de la réalisation ordinairement erronée ou de l'utilisation de la Carte Marine, de la boussole, du Bâton de Jacob, et des Tables de déclinaison du soleil et des étoiles fixes, ici détectées et corrigées" Londres, 2me édition 1610 - en vieil anglais (traduction M.T. et M. GAMBIN)

CHAPITRE 1

" Erreurs des Cartes Marines Communes où les rumbes sont des lignes droites et les degrés de latitude égaux /le long du méridien/ "

§2 :

"...Erreur dans le calcul de la longitude entre deux lieux sur la Carte Marine commune

La façon de trouver la différence de longitude sur la carte marine commune n'est valable qu'à l'équateur, et à peu près correcte dans la zone qui lui est proche, parce que c'est seulement là que les /degrés/ des méridiens et des parallèles sont égaux. Au delà ou en de ça l'erreur est proportionnelle à la différence de /longueur/ du méridien et du parallèle ; c'est à dire que cette différence, qui est la différence de longitude trouvée sur la carte est dans le même rapport vis à vis de la différence de longitude réelle, que le parallèle vis à vis du méridien.... Cette erreur concernant la différence de longitude apparaît bien dans l'exemple donné par PETRUS NONIUS : Dans la Carte Marine la distance entre Lisbonne et Tercera est de 262 lieues espagnoles (dont 17 et 1/2 représentent un degré d'équateur ou de n'importe quel autre grand cercle) ; les marins trouvent cette distance non seulement en l'estimant d'après le trajet du navire quand il vogue de l'Est vers l'Ouest jusqu'à cette île, mais d'une autre manière qui est bien plus exacte ; voyons comment.

En navigant de Lisbonne à Madère, on garde le cap Sud-Ouest, et de cette île à Tercera, on va vers le Nord-Ouest. Puisque Lisbonne et Tercera ont à peu près la même latitude de 39°, en navigant du Nord-Est vers le Sud-Ouest, et de même du Sud-Est vers le Nord-Ouest, on modifie les longitudes de la même grandeur que les latitudes (puisque dans les deux itinéraires l'angle que fait la course du navire avec le méridien égale un demi angle droit : et que l'île de Madère étant à 31°30' de latitude Nord, la différence de latitude entre Lisbonne et Madère comme entre Madère et Tercera est d'environ 7°1/2). Donc la différence de longitude entre Lisbonne et Madère comme entre Madère et Tercera est de 7°1/2, des mêmes degrés de méridien qui, ajoutés ensemble, font toute la différence de longitude entre Lisbonne et Tercera soit 15°, représentant 262 lieues espagnoles. Mais sur le parallèle qui passe par la latitude 39°, où sont à peu près situées Lisbonne et Tercera, il y a davantage de degrés dans le même espace, suivant cette proportion selon laquelle le méridien est plus grand que le parallèle ; donc la vraie différence de longitude entre Lisbonne et Tercera, c'est à dire l'arc de parallèle ou d'équateur contenu entre le méridien de ces lieux doit être trouvé ainsi :

C'est une règle en Géométrie que les diamètres et les circonférences et donc les demi-diamètres et les arcs de cercle sont dans un même rapport. Ainsi, il est manifeste que le sinus du complément de la distance de n'importe quel parallèle, à l'équateur, égale le demi-diamètre de ce parallèle. Maintenant, la distance du parallèle de Lisbonne et Tercera à l'équateur étant de 39°, le complément /à 90°/ est 51°, dont le sinus vaut 777... Par la règle des proportions inverses, si 262 lieues font 15° sur le méridien dont le demi-diamètre vaut mille parties, alors sur le parallèle dont le demi-diamètre vaut 777 des mêmes parties, ces 262 lieues devront faire 19° et 237 / 777 parties d'un degré, c'est à dire un peu plus de 18 minutes, /ces 19°18'/ (s'il est vrai que le trajet entre Lisbonne et Madère va vers le Sud-Ouest, que la latitude de Madère est de 31°30' et celle de Lisbonne et Tercera de 39°) seront la différence de longitude entre Lisbonne et Tercera ; alors que ORTELIUS et MERCATOR, suivant, selon toute apparence, leur cartes marines non corrigées dans leur Carte Universelle, leur donnent pour différence de longitude à peine 15° sur leur parallèle, comme si cette différence égalait celle que l'on trouverait sur l'équateur".....

CHAPITRE 2

"comment les précédentes erreurs peuvent être évitées

...Supposons la surface d'une sphère avec les méridiens, les parallèles et les rumbes, et le dessin de toute l'Hydrographie, destinée à être placée à l'intérieur d'un cylindre concave, leurs axes étant confondus. Faisons, en la gonflant, se dilater cette sphère comme une vessie de manière égale dans chaque direction, (c'est à dire autant dans le sens de la longitude que de la latitude), jusqu'à ce qu'elle s'applique et colle elle-même (sur tout le pourtour et toute la longueur, en allant vers chaque pôle) à toute la surface concave du cylindre, chaque parallèle de la surface sphérique augmentant successivement depuis l'équateur vers l'un et l'autre pôle jusqu'à ce

qu'il soit de diamètre égal à celui du cylindre et, par conséquent, les méridiens s'écartant eux-mêmes jusqu'à devenir aussi espacés les uns par rapport aux autres qu'ils le sont à l'équateur.

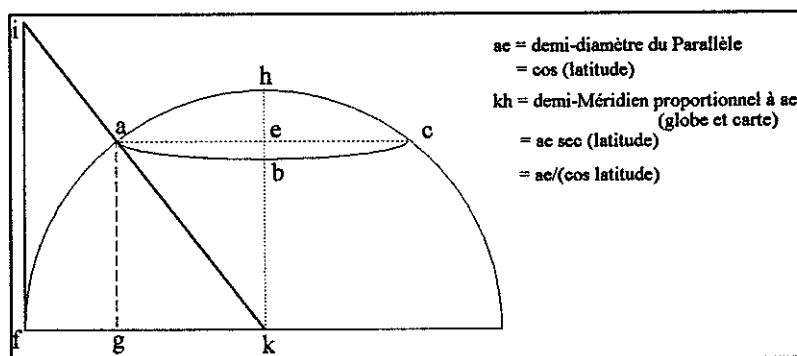
On peut plus facilement comprendre ainsi comment une surface sphérique peut (en se dilatant) devenir une surface de cylindre et par conséquent former la surface d'un simple parallélogramme ; parce que la surface d'un cylindre n'est rien d'autre qu'un simple parallélogramme enroulé autour de deux cercles équidistants égaux ayant un axe commun perpendiculaire aux deux cercles, et que la circonférence de chacun d'eux est égale à la longueur du parallélogramme comme la distance entre ces deux cercles, ou hauteur du cylindre, est égale à la largeur du parallélogramme....

Si nous réalisons de la sorte le Planisphère Nautique, tous les lieux doivent être situés à la même longitude, la même latitude, dans les mêmes directions ou sur les mêmes itinéraires, et sur les mêmes méridiens, parallèles et rumbs que ceux qu'ils avaient sur le globe..

Il ne fait donc aucun doute que nous aurons une cartographie exacte de l'Hydrographie de tous les lieux selon leur longitude, latitude, directions ou dans leurs situations respectives les uns par rapport aux autres, en accord avec les directions de la boussole et en correspondance avec tous les points du globe, et cela sans erreur perceptible ou explicable. Premièrement, parce que dans ce Planisphère, comme les parallèles sont partout égaux les uns par rapport aux autres (car chacun est égal à l'équateur ou à la circonférence du cylindre circonscrit) les méridiens doivent être des lignes parallèles et droites; en conséquence les rumbs (qui font des angles égaux avec chaque méridien) doivent de la même façon être des droites. Deuxièmement, parce que la surface sphérique, dans notre conception du Planisphère, s'est dilatée en toutes parts de façon égale, c'est à dire aussi bien en latitude qu'en longitude jusqu'à s'appliquer parfaitement sur la concavité du cylindre ; donc en chaque point de latitude dans le planisphère un segment de méridien garde la même proportion que le même segment du parallèle, /proportion/ que les mêmes segments du méridien et du parallèle ont sur le globe l'un par rapport à l'autre sans aucune erreur explicable.

....Par exemple, puisque le méridien à 60° est le double /en longueur/ du parallèle, 1° de méridien a /une longueur/ double /de celle/ d'1 degré de parallèle ; même chose pour 1 minute de l'un par rapport à 1' de l'autre, etc... ; et cette proportion du parallèle vis à vis du méridien est la même pour leurs diamètres et demi-diamètres³². Mais le sinus du complément de la latitude du parallèle, ou sa distance à l'équateur, est le demi-diamètre du parallèle. Comme on le voit ici, ae est le sinus de ah, le complément de la latitude ou la distance du parallèle abcd à l'équateur et c'est aussi le demi diamètre du même parallèle abcd.

Le rapport du demi-diamètre du méridien (ou du sinus entier ³³) au demi-diamètre du parallèle est égal à la valeur de la sécante ou à celle du rapport de l'hypoténuse de la latitude du parallèle au demi-diamètre du méridien ou au sinus entier., soit fk ou ak par rapport à ae, soit gk, c'est à dire /le même rapport que/ ik à kf ³⁴



De la sorte dans notre Planisphère Nautique le demi-diamètre de chaque parallèle étant égal au demi-diamètre de l'équateur c'est à dire au sinus entier, les segments de méridien en chaque point de latitude doivent être augmentés dans la même proportion qu'augmente la sécante de l'arc contenu entre ces points de latitude et l'équateur.

³² Ici, WRIGHT renvoie aux travaux d'un célèbre mathématicien et humaniste de l'époque, PIERRE de la RAMEE (nommé aussi RAMUS) 1515-1572

³³ Rappelons que dans le cercle trigonométrique le sinus entier vaut 1 ou une puissance de 10 ; c'est la valeur du demi-diamètre de l'équateur et de tous les méridiens sur la sphère

³⁴ Sur le cercle trigonométrique, c'est la définition géométrique de la sécante

Nous avons maintenant une façon simple pour faire une table (avec l'aide des propriétés des triangles) dans laquelle les méridiens de la Carte Nautique peuvent aisément et fidèlement être divisés en segments selon la bonne proportion de l'équateur jusqu'au pôle. Car (en supposant que chaque distance de chaque point de latitude ou de chaque parallèle à l'autre contient autant de parties que la sécante de la latitude de chaque point ou du parallèle considéré en contient) par addition continue des sécantes correspondant aux latitudes de chaque point ou de chaque parallèle jusqu'à obtenir la somme cumulée de toutes les sécantes précédentes - en commençant avec la sécante de la latitude du premier parallèle, en ajoutant la sécante de la latitude du second parallèle, et en ajoutant à cette somme la sécante de la latitude du troisième parallèle et ainsi de suite pour les parallèles restants - nous pouvons faire une table qui montrera réellement les divisions et les points de latitude sur les méridiens du Planisphère Nautique : divisions par lesquelles on peut tracer ces parallèles.

Comme nous prenons, dans la table suivante, la distance entre chaque parallèle de 1 minute³⁵ et comme nous supposons que l'espacement entre 2 parallèles adjacents quelconques, sur le Planisphère, contient autant de segments que les sécantes correspondant à la distance du parallèle le plus éloigné de l'équateur de ce couple de parallèles, ainsi je fais toute la table par addition successive des sécantes de chaque minute à la somme des sécantes déjà calculées. Par exemple, /posons/ la sécante d'une minute égale à 10 000 000³⁶ qui donne aussi la division d'une minute sur le méridien à partir de l'équateur sur le Planisphère Nautique. Quand on ajoute la sécante de 2 minutes c'est à dire 10 000 002 la somme est de 20 000 002 qui donne la division de la deuxième minute du méridien à partir de l'équateur sur le Planisphère. A cette somme ajoutons la sécante de 3 minutes qui est 10 000 004, la somme devient 30 000 006 qui donne la division de la troisième minute, et ainsi de suite ; à cette réserve près que dans cette table nous avons délibérément omis pour chaque sécante les trois premiers chiffres à droite.... Cette table (servant principalement pour la "vraie division" des méridiens de la Carte Nautique de telle manière qu'en tout point de celle-ci une minute de méridien devra avoir la même proportion qu'une minute de parallèle qui lui est contigue, comme sur le globe) peut être commodément appelée une "Table des Latitudes"...

Cette table est divisée en trois colonnes :

la première colonne indique en tête le degré, puis les minutes d'un méridien du Planisphère Nautique, en commençant à l'équateur

la deuxième contient les parties égales d'un même méridien, comptées à partir de l'équateur (chaque minute d'équateur est supposée contenir 10 000 de ces parties), montrant de combien de ces parties de méridien chaque minute de latitude doit être distante de l'équateur

la troisième donne la différence des valeurs des nombres contenus dans la 2ème colonne /c'est à dire les valeurs non cumulées des sécantes qui ont servi à établir la 2ème colonne/"

CHAPITRE 9

" Usage de la Table des Latitudes pour faire la Table des Rumbs

On réalise très aisément cette table des rumb par addition, en s'aidant seulement de la table des latitudes précédente, de cette façon: multiplier la tangente de l'angle que ce rumb fait avec l'équateur par 60 (parce que chaque degré d'équateur dans cette table est compris comme contenant 60 fois 10 000 parties, chaque minute étant supposée contenir 10 000 parts); le produit devra être le 1^{er} nombre au début de la table de chaque rumb, pour être comparé à un degré de longitude, et tous les autres sont obtenus par addition successive de nombre, d'abord avec lui-même (le nombre de la somme correspond à 2 degrés de longitude) puis à cette somme (le produit correspond à 3 degrés de longitude) et ainsi de suite. Ces valeurs trouvées dans la table des latitudes montrent en quel point de latitude chaque rumb devra couper le méridien de chaque degré de longitude jusqu'à arriver à une minute du pôle. On n'a pas estimé que ces valeurs devaient nécessairement figurer dans la table, puisqu'elles ne servent qu'à trouver la latitude de l'intersection par laquelle doit passer le dessin du rumb pour chaque degré de longitude. Quand la latitude est trouvée, ces nombres n'ont plus d'utilisation.

Prenez par exemple le premier rumb qui fait un angle de 11°15 avec l'équateur, et sa tangente de 1 989 122 (le sinus entier / pour 90°/ étant de 10 000 000) et sa multiplication par 60, ce qui donne 119 347 320; supprimez les trois derniers chiffres à droites; cherchant le reste dans la table des latitudes, vous trouverez le chiffre de 12' pour la latitude de ce rumb à 1° de longitude. Le même nombre, doublé, (ce qui donne 238 694) correspond dans la dite table à presque 24', latitude du même rumb pour 2° de longitude; et ainsi de suite..."

³⁵ Dans la première édition (Londres, 1599) la distance prise est de 10 minutes (table donnée fig.19)

³⁶ Dans la première édition, la valeur de la sécante est posée comme égale à 100 (cf la table donnée fig.19 où le nombre de chiffres significatifs a été ramené à 3, par élision de 3 chiffres à droite dans les nombres obtenus)

/Extrait de la TABLE POUR DIVISER EXACTEMENT LES MERIDIENS de la 2^{ème} édition/

degré	minute	nombre de parties égales du méridien ³⁷	différence des valeurs ³⁸	degré	minute	nombre de parties égales du méridien	différence des valeurs
0	0	00 000		3	0	1 800 749	10 013
0	1	10 000	10 000	.			10 013
			10 000	.			
0	2	20 000	10 000	.			10 024
0	3	30 000	10 000	4	0	2 401 854	10 024
.			10 000	.			
.			10 000	.			10 038
0	48	480 000	10 001	5	0	3 003 694	10 038
0	49	490 001	10 001	.			10 154
0	50	500 002	10 001	10	0	6 030 475	10 154
.			10 001	.			
.				.			10 641
0	59	590 011	10 001	20	0	12 251 292	10 642
1	0	600 012	10 001	.			11 547
1	1	610 013	10 001	30	0	18 883 708	11 548
.			10 001	.			
.			10 001	.			13 054
1	7	670 019	10 001	40	0	26 227 559	13 057
1	8	680 020	10 002	.			15 557
1	9	690 022	10 002	50	0	34 746 045	15 562
1	10	700 024	10 002	.			
.			10 002	.			20 000
.			10 003	.			20 010
1	25	850 055	10 003	.			27 904
.			10 003	70	0	59 660 811	27 925
.				.			
1	38	980 095	10 004	.			57 587
.			10 004	80	0	83 773 416	57 682
.			10 006	.			
2	0	1 200 196	10 006	.			34 377 468
.				89	0	323 485 279	infini

³⁷C'est à dire les valeurs cumulées des sécantes

³⁸C'est à dire les sécantes de la latitude

Glossaire

Azimut:

angle d'un plan vertical avec un autre plan vertical choisi pour plan origine

Inclinaison magnétique:

angle formé par la direction du champ magnétique terrestre avec la plan horizontal en un point quelconque de la terre. Cette direction peut être obtenue en tenant une aiguille aimantée libre autour d'un axe horizontal dans le plan du méridien magnétique (au pôle magnétique, l'inclinaison magnétique est de 90°).

déclinaison magnétique:

angle formé par le méridien magnétique et le méridien géographique en un point de la surface de la terre.

méridien magnétique:

en tout lieu, plan vertical contenant l'axe magnétique d'une aiguille aimantée suspendue librement. Si le magnétisme terrestre n'était pas l'objet de multiples anomalies locales, ce plan vertical devrait passer par les pôles magnétiques.

pôles magnétiques.

on distingue les pôles magnétiques et géomagnétiques qui sont ceux où l'inclinaison magnétique serait rigoureusement de 90° pour le globe terrestre supposé régulièrement aimanté. Les premiers, que l'on peut considérer comme des pôles expérimentaux, sont assez mal définis et peuvent être trouvés en plusieurs points de chacune des zones polaires correspondantes. Les seconds sont uniques pour chaque hémisphère et diamétralement opposés par rapport au centre de la terre, définissant ainsi l'axe géomagnétique du globe.

