

2 - la naissance de l'hydrographie

L'art de la navigation, pratiqué depuis l'antiquité, évolue avec l'apparition de la boussole et de la carte marine. Des foyers de production de cartes marines émergent en Italie et en Espagne. Au XV^e siècle, le Portugal met en place ce que l'on peut considérer comme le premier service hydrographique, pour faciliter ses voyages d'exploration et de commerce. Il est imité par l'Espagne au début du XVI^e siècle.

L'art de la navigation

Naviguer c'est diriger la marche de son navire en vue d'atteindre une destination précise. Le pilote, tel qu'on appelait dans le passé celui qui était chargé de la navigation, devait en particulier déterminer la direction à suivre, en tenant compte du vent, car la plupart des navires se déplaçaient alors à la voile.

Navigation en vue de côte

Lorsque le navire était en vue de la côte, le pilote déterminait grâce à elle la direction à suivre, à condition de pouvoir situer l'endroit où il se trouvait. Si la navigation consistait à aller d'un port à un autre en longeant la côte, ce qu'on appelle le cabotage, il suffisait de suivre la côte toujours dans le même sens. Lorsque au contraire le navire arrivait en vue de la côte en provenance du large, ce qu'on appelle l'atterrissage, le pilote en était réduit à faire des suppositions sur l'endroit où il venait d'arriver pour déterminer dans quelle direction longer la côte.

Navigation au large

Lorsque la navigation consistait à prendre le large pour atteindre un point situé de l'autre côté de la mer, le pilote, une fois la côte hors de vue, essayait de conserver sa direction en s'aidant des astres, l'étoile polaire la nuit et le soleil le jour, mais aussi de la direction du vent dans les voiles, de celle des nuages ou de celle de la houle.

La boussole

L'aiguille aimantée, apparue en Méditerranée au début du XIII^e siècle, a grandement facilité le travail des pilotes qui disposaient là d'un moyen simple, fiable et toujours disponible pour déterminer la direction du navire par rapport au nord.

L'aiguille aimantée, au début flottante, a par la suite été mise sur pivot dans une petite boîte, prenant le nom de boussole (au XIII^e siècle). Au début du XIV^e siècle on l'a rendue encore plus pratique en fixant sur l'aiguille une rose des vents

Encadré n°1 : la rose des vents

Dans l'antiquité, les directions que nous connaissons aujourd'hui : nord, est, sud, ouest, ainsi que les directions intermédiaires, portaient le nom des vents qui soufflaient de cette direction. Un système de directions utilisait 12 vents correspondant chacun à 30°, un autre 8 vents de 45°.

Au moyen-âge, les pilotes utilisaient un système de direction à 8 vents principaux, nommés, en partant du nord et dans le sens des aiguilles d'une montre : *tramontana*, *greco*, *levante*, *sirocco*, *mezzodi*, *libeccio*, *ponente* et *maestro*. Ces vents étaient ensuite divisés en deux pour obtenir 16 vents de 22° 1/2, puis éventuellement encore en deux pour obtenir un total de 32 vents de 11° 1/4.

Les noms des vents furent remplacés par la suite par les noms que nous connaissons aujourd'hui. Sur une rose à 32 vents on trouve ainsi :

Nord
Nord quart nord-est
Nord nord-est
Nord-est quart nord
Nord-est
Nord-est quart est
Est nord-est
Est quart nord-est
Est
Est quart sud-est
...

(voir encadré n°1), l'ensemble prenant alors le nom de compas.

On croyait à l'époque que la boussole indiquait le nord vrai ou la direction de l'étoile polaire. La variation, ou déclinaison magnétique, ne fut mise en évidence que vers le milieu du XVe siècle. Dans son journal du 13 septembre 1492, Christophe Colomb, qui devait penser que l'aiguille aimantée était attirée par l'étoile polaire, note que « au commencement de la nuit, les boussoles marquèrent le nord-ouest, et au matin légèrement le nord-est. » Le 30 septembre il conclut que les aiguilles « disent toujours la vérité » et que l'étoile polaire se déplaçait autour du nord vrai comme les autres étoiles, un fait qui était cependant déjà connu.

Les documents de navigation

Depuis des temps anciens les navigateurs ont pu s'aider de documents décrivant leur environnement : tout d'abord des textes, les instructions nautiques et plus tard des cartes.

Les instructions nautiques

Dès l'antiquité on trouvait des textes décrivant des

navigations en vue de côte : les périples. Ces textes étaient peut-être plus des récits de voyages que des instructions servant à guider les pilotes, que l'on appelle aujourd'hui des instructions nautiques.

Au moyen-âge les pilotes utilisaient des livres appelés *portulans*, ou livre des ports. Le plus ancien portulan connu est *lo compasso de navigare*, composé vers 1250 (l'édition conservée date de 1295).

Dans son ouvrage *Carte marine et portulan au XIIIe siècle...* A. Dalché décrit ainsi *lo compasso de navigare*, divisé en trois parties : « la première est une description des côtes de l'Atlantique et de la Méditerranée indiquant, à partir du cap Saint-Vincent jusqu'à Ceuta, les distances entre différentes localités, toujours associées aux directions de la rose des vents qu'il convient de suivre pour aller de l'une à l'autre. S'ajoutent à cela des renseignements sur les écueils et les hauts-fonds, la qualité des fonds marins, les courants et les vents dominants, et sur les procédés d'atterrissage dans un port donné. »

« La seconde partie a un double objet ... elle rassemble un grand nombre de traversées d'un point à l'autre, généralement éloigné, avec mention de la



1 - carte pisane fin XIIIe siècle - extrait centré sur la Sardaigne /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France - cote Ge.B. 1118

distance et de la direction; elle décrit d'autre part le pourtour des grandes îles. »

« La dernière partie, description de la mer Noire, est un ajout... »

Au XV^e siècle les portulans prirent le nom de *rou-tiers*.

Les cartes marines

Les premières cartes marines ont été appelées par les historiens *cartes-portulans* ou même *portulans* car il a été supposé qu'elles étaient dessinées à partir d'informations contenues dans ces documents. La plus ancienne carte conservée, la *carte Pisane*, est datée de la fin du XIII^e siècle.

Des témoignages d'époque attestent la présence de cartes à bord des navires à la fin du XIII^e siècle (un récit de Guillaume de Nangis en 1269-1270, un inventaire de navire capturé de 1293-1294 et un texte de Raymond Lulle vers 1295).

Les cartes marines que l'on trouvait du XIII^e au XV^e siècle comportaient trois dessins :

- un référentiel de directions, le *marteloire*, composé d'un réseau de roses des vents dont les lignes de direction, ou *rumbes*, étaient prolongées et se croisaient sur toute la carte (voir encadré n°2),
- un tracé de la côte et des îles avec le nom des ports inscrit à l'intérieur des terres, perpendiculairement à la côte,
- une échelle des distances en milles ou en lieues marines.

Un ouvrage tardif, le *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navigar* de M. Cortès (1551), indique que pour construire une carte il fallait d'abord se procurer un bon modèle de trait de côte comportant le dessin des lieux, des ports et des îles, en fonction de leurs distances respectives. On ne sait pas quand, comment et par qui a été produit le premier modèle de trait de côte, mais il montre une côte, en particulier en Méditerranée, assez réaliste (voir encadré n°3).

Le cartographe traçait d'abord sur un parchemin ou un papier le marteloire, puis il reportait le trait de côte en veillant à ce que le nord du trait de côte coïncide avec celui du marteloire. Enfin il calculait et ajoutait l'échelle.

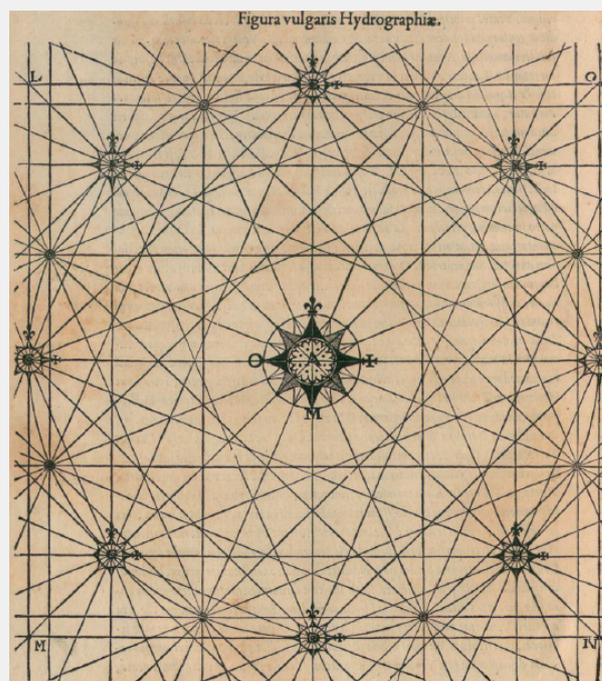
M. Cortès décrit également l'utilisation de la carte marine pour déterminer la position du navire (voir encadré n°4).

Encadré n°2 : le marteloire

Le réseau des directions porté sur les cartes marines porte le nom de marteloire. Il est constitué d'un ou parfois de deux cercles de roses des vents à 16 et plus tard 32 directions.

M. Cortès indique qu'il faut d'abord tracer une ligne nord - sud et une ligne est - ouest qui se coupent au centre de la carte. Ce point sert de centre à un cercle que l'on fera le plus grand possible. Le cercle étant déjà divisé en quatre par les lignes nord - sud et est - ouest, on ajoutera des lignes nord-est - sud-ouest et nord-ouest - sud-est pour obtenir les 8 vents, qui seront tracés en noir. Puis une nouvelle division permettra d'obtenir les demi-vents, tracés en vert ou en bleu. Une dernière division donnera les quarts de vents, tracés avec une autre couleur (souvent le rouge). On complète ensuite le tracé de façon à obtenir sur le cercle 16 aiguilles, ou roses. On embellit ensuite ces roses avec en particulier une fleur de lys pour indiquer le nord et une croix pour indiquer l'est.

Cet enchevêtrement de lignes peut sembler n'être qu'un grand désordre mais un examen attentif permet d'y déceler l'ordre sous-jacent sous la forme de grilles superposées (4 pour les roses à 16 vents et 8 pour les roses à 32 vents), dont le centre correspond à la rose centrale de la carte, décalées chacune par rapport à la précédente de l'écart entre deux vents ($22^{\circ} 1/2$ ou $11^{\circ} 1/4$).



2 - marteloire à 16 vents d'Oronce Fine (De Mundi sphaera...)

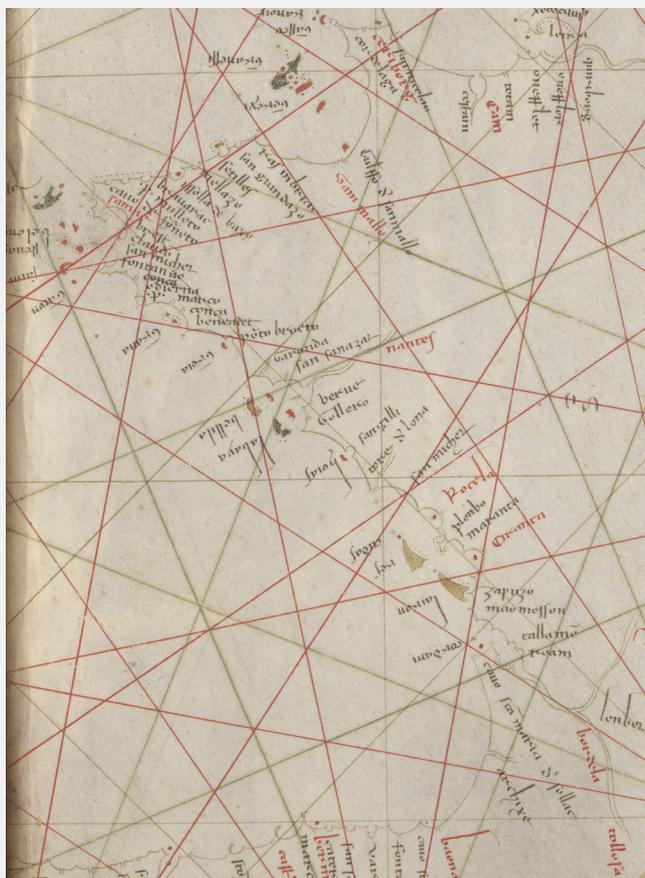
Encadré n°3 : représentation de la côte sur les cartes marines

Les plus anciennes cartes marines présentent un trait de côte qui paraît réaliste au moins dans certaines régions : Méditerranée, Mer noire et Atlantique nord-ouest. Par contre les détails sont mauvais et la représentation des baies, des caps et des embouchures de rivières est schématique et exagérée. Avec le temps la côte est de plus en plus stylisée. L'orientation est mauvaise, sans doute parce que les cartes étaient orientées sur le nord de la boussole, supposé à l'époque être le nord vrai.

Dans sa thèse, C. Passerat, qui fait une description de la côte française de Saint-Nazaire à la Gironde d'après la carte de Petrus Vesconte de 1313 (l'illustration ci-dessous correspond à la carte de 1320, plus lisible), constate que « la France y apparaît avec sa forme et ses proportions réelles, et malgré l'exigüité de l'échelle, nombre de détails y sont consignés. » A la pointe bretonne la carte marque bien la rade de Brest et la baie de Douarnenez mais représente mal la presqu'île de Crozon qui les sépare. Les cartes suivantes ne montreront plus qu'une seule baie. Les dangers sont représentés par des petits points (bancs de sable) ou par des

croix (hauts-fonds), les petites îles par des points rouges. Poursuivant l'étude des anciennes cartes marines C. Passerat constate que, à mesure que l'on avance dans le temps (jusqu'au XVIIe siècle), « la cartographie des côtes, au lieu de se perfectionner, devient de plus en plus mauvaise ». Aucun levé du trait de côte n'est effectué dans les zones connues et les copies successives déforment le modèle original. Par contre la liste des noms de lieux s'enrichit, malgré les corruptions dues aux recopies. Le mystère de la création du modèle de trait côte initial reste entier.

Au fur et à mesure des explorations, le trait de côte s'enrichit des terres découvertes. La forme générale est bonne mais les terres sont mal situées entre-elles. Dans le planisphère de Caverio de 1506 (voir chapitre 1) le fond du golfe de Guinée se trouve sur un méridien passant par la Grèce alors que son méridien passe en réalité par la Corse. La pointe Sud de la Floride est au niveau du parallèle de Lisbonne alors qu'en réalité sa latitude est celle des Canaries. Il faudra attendre les levés du XVIIe siècle pour voir une amélioration de la précision des côtes sur les cartes.



4 - comparaison du trait de côte de la Corse : en haut à gauche carte de Petrus Vesconte, en haut à droite carte pisane, en bas trait de côte moderne - © IGN-Shom 2009 - data.shom.fr

3 - extrait de l'Atlas de la Méditerranée et des côtes atlantiques de l'Europe de Petrus Vesconte de Ianua, 1320 /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France - f. 15-16

Encadré n°4 : utilisation de la carte marine

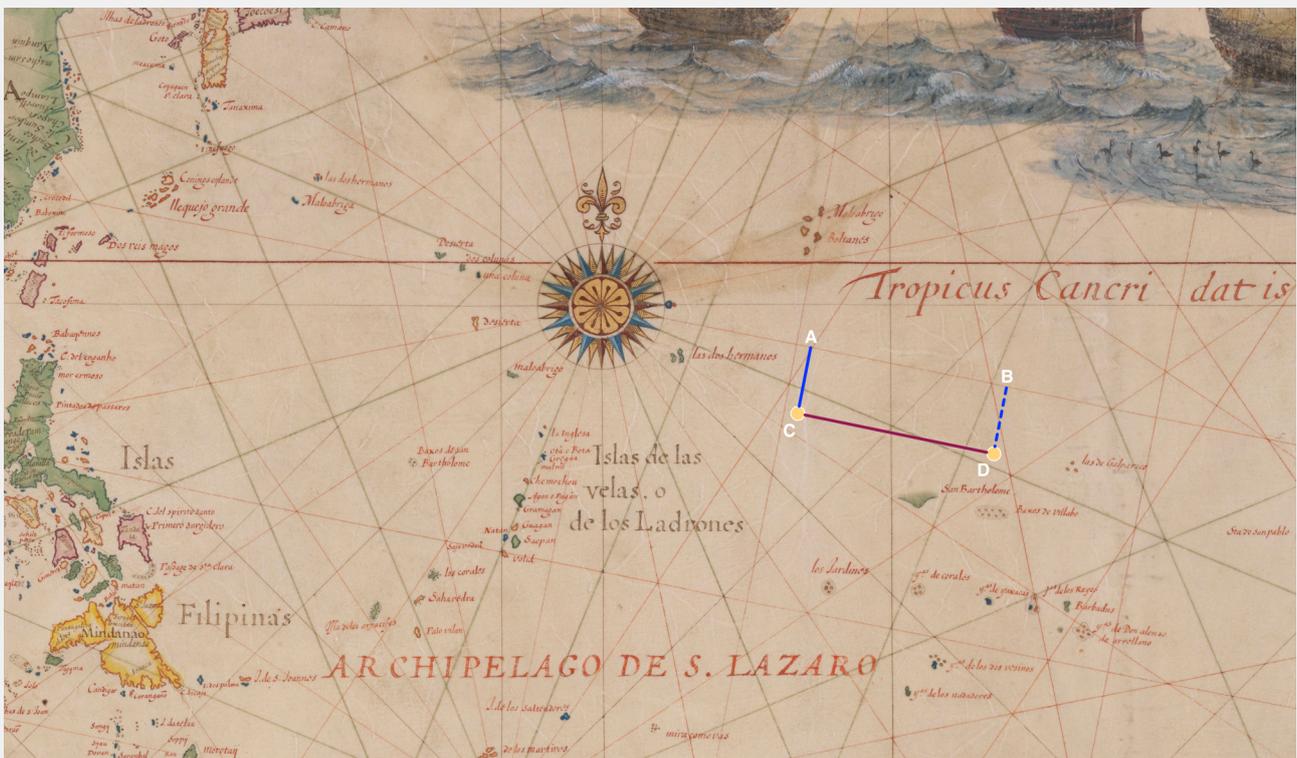
La carte marine permet de déterminer la direction à suivre pour atteindre sa destination. Au début du voyage le pilote sait dans quel port il se trouve. En observant la carte il trouve quelle direction suivre pour atteindre soit son port de destination, soit un point intermédiaire si le port de destination ne peut être atteint par une route directe.

Le pilote entretient ensuite régulièrement l'estime, en général une fois par jour : il connaît la direction qu'il a suivie depuis le point de départ ou depuis le plus récent point intermédiaire et il fait une estimation de la distance parcourue depuis, en fonction du vent, des caractéristiques de son navire et des perturbations dues à l'effet des marées et des courants. Il écarte les deux pointes d'un compas à pointe sèche pour que leur écartement cor-

responde à cette distance parcourue lue sur l'échelle des distances de la carte. Il écarte ensuite les deux pointes d'un autres compas à pointe sèche de la distance perpendiculaire lue entre la ligne de rumb la plus proche qui correspond à la direction suivie et le dernier point connu. En plaçant une des pointes du premier compas sur ce point, et à l'aide du second compas, il détermine un nouveau point situé à la même distance de la ligne de rumb que le dernier point connu et distant de celui-ci de la distance parcourue. Il est alors en mesure de corriger si nécessaire la route à suivre pour atteindre sa destination.

Les Portugais appelaient le point estimé *punto de fantasia*. Plus tard ils l'ajustèrent avec la latitude observée pour obtenir le *punto d'esquadria*.

Sur la carte ci-dessous le navire suit une route à l'est quart sud-est, parallèlement au rumb A B. Le dernier point connu est le point C. Le pilote écarte le premier compas à pointe sèche de la distance parcourue à l'échelle de la carte (trait bordeaux CD). Puis il écarte le second compas à pointe sèche de l'écart entre le dernier point et la ligne de rumb (trait bleu AC). Il fait glisser ensuite ce compas le long du rumb jusqu'à rencontrer l'autre extrémité du premier compas (trait bleu en pointillés BD). L'intersection des deux compas indique où se trouve le nouveau point, D.



5 - extrait d'une carte du Pacifique de Hessel Gerritsz, 1622
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France - cote GE SH ARCH-30

Les premiers hydrographes

Les cartes marines qui sont parvenues jusqu'à nous sont le plus souvent très décorées. Il s'agit probablement de versions de prestige destinées à une riche clientèle plutôt que d'outils de travail quotidiens des pilotes.

Quelle était la profession des hommes qui dessinaient ces cartes ? On les appelle aujourd'hui des cartographes, mais ce mot n'est apparu qu'au XIXe siècle. Ces hommes, que l'on peut qualifier d'hydrographes, dessinaient sur parchemin des cartes de compilation obtenues par copie et assemblage de dessins de traits de côtes, en y apportant essentiellement des modifications aux noms des ports et aux royaumes qui les contrôlaient.

En étudiant le dessin des cartes, le choix des couleurs et la manière de représenter certains objets, les historiens ont identifié plusieurs « écoles » de cartographie.

Les écoles du XIIIe au XVe siècle

L'ouvrage *les portulans*, de M. de la Roncière et M. Mollat du Jourdin, consacré aux cartes marines du XIIIe au XVIIe siècle, mentionne la filiation des écoles hydrographiques.

On trouve tout d'abord au XIIIe siècle l'école pisane, à l'origine semble-t-il des écoles génoise et catalane (à Majorque).

Au XIVe siècle apparaît une école vénitienne fortement influencée par l'école génoise.

Au XVe siècle une école se constitue au Portugal, s'appuyant sur les écoles catalane et génoise.

Les voyages d'exploration

Les limites du monde connu des marins occidentaux sont repoussées à partir du XIVe siècle. Les navigateurs découvrent ou redécouvrent les îles de l'Atlantique nord ; des îles des Canaries et peut-être des Açores figurent sur une carte d'Angelino Dulcert de 1339 ; l'atlas catalan de 1375 les complète et ajoute Madère.

En 1415 le Portugal prend pied en Afrique, à Ceuta. Sous l'impulsion du prince Henri (dit *le Navigateur*) les navires portugais explorent la côte occidentale de l'Afrique pour contourner les territoires occupés par les Maures et accéder directement aux richesses de l'Afrique. Plus tard l'exploration vise à contourner l'Afrique pour atteindre les Indes. Les Portugais sont au niveau du cap Bojador, une limite symbolique, en 1434.

Les pilotes se heurtent à des vents contraires lors des voyages retour et vers 1446 ils font pour rentrer à Lisbonne un large détour par les Açores (la Volte des Açores) qui, grâce à des vents favorables, leur fait gagner du temps. Ils recalent leur estime en prenant la hauteur de l'étoile polaire (ils ne raisonnent pas encore en latitude mais en différences de hauteur). Ce n'est que vers 1460 qu'ils commencent à déterminer les latitudes, d'abord au moyen de l'étoile polaire puis, dans la décennie 1480, par le soleil (voir encadré n°5).

En 1492 l'Espagne achève la libération de son territoire occupé par les Maures et lance une exploration maritime pour atteindre les Indes par la route directe de l'ouest. L'exploration réussit apparemment et ce n'est que plus tard que l'on saura que Christophe Colomb avait en fait découvert l'Amérique.

Afin d'éviter tout conflit, l'Espagne et le Portugal se partagent le monde en 1494 (traité de Tordesillas) selon une ligne correspondant à un méridien et à son opposé. Opportunément repoussé vers l'Ouest, ce méridien permet au Portugais de prendre possession du Brésil en 1500.

Navigation par latitude

Les voyages d'exploration ouvrent la voie à des voyages d'exploitation des richesses découvertes. La capacité à déterminer la hauteur (ou latitude) donne naissance à un nouveau mode de navigation qui permet d'atteindre une île ou une terre lointaine même lorsque sa longitude est mal déterminée : le navire se place rapidement à la bonne hauteur (ou latitude) puis navigue vers l'ouest ou vers l'est jusqu'à rencontrer l'île ou la terre à atteindre. Au début du XVIe siècle on voit apparaître des échelles des latitudes sur les cartes marines.

Premiers services hydrographiques

Pour faciliter leurs explorations et l'exploitation commerciale des terres qu'ils découvraient, l'Espagne et le Portugal mirent en place des organisations qui comportaient un service hydrographique. Les compagnies des Indes anglaise, françaises et néerlandaises les imitèrent aux XVIIe et XVIIIe siècles.

Origines

Peu après la conquête de Ceuta en 1415 par le Portugal, les activités commerciales étaient régies par la *Casa da Ceuta* (ou *Casa da Africa*) à Lagos. Par la suite cet établissement s'installa à Lisbonne et changea de nom en fonction de l'avancée des dé-

Encadré n°5 : latitude et longitude

Pour les besoins de la navigation on assimile la terre à une sphère. Cette sphère possède un axe pôle nord, centre de la terre, pôle sud, noté **N O S** sur la figure 1. Le plan passant par le centre de la terre perpendiculairement à son axe est le plan de l'équateur, noté **E O E'** sur la figure. Pour la science de l'époque, bien que la terre possède un axe, elle ne tournait pas sur elle-même. Placée au centre du monde et immobile, ce sont les objets permanents du ciel : lune, planètes, soleil et étoiles qui tournaient autour de cet axe.

Chaque point situé à la surface de la sphère terrestre peut être défini par deux coordonnées : la latitude et la longitude.

La latitude est l'angle formé par le plan de l'équateur **O E'** et la demi-droite **O Z** joignant le centre de la terre au point **P** situé à la surface de la terre et prolongée dans l'espace vers le zénith **Z**. Tous les points ayant la même latitude sont situés sur un cercle parallèle à l'équateur, appelé « parallèle ». Les latitudes vont de 0° , lorsque le point est situé sur l'équateur, à 90° , lorsque le point est situé au pôle. L'amplitude de la latitude est de 180° , de -90° (ou 90° sud) à $+90^\circ$ (ou 90° nord).

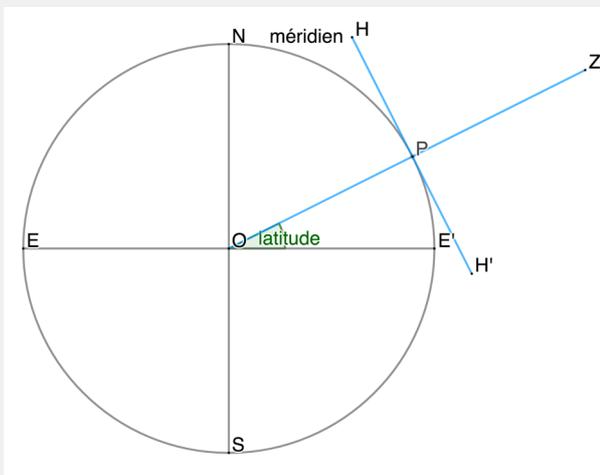


figure 1 - la latitude

Pour définir la longitude il faut d'abord introduire les méridiens qui sont des demi-cercles passant par le pôle nord et le pôle sud. Chaque point situé à la surface de la terre se trouve à la fois sur un parallèle et sur un méridien qui définissent en ce point les quatre directions principales est-ouest et nord-sud. La longitude est l'angle formé par le méridien du point avec un méridien arbitraire servant d'origine. Les longitudes ont une amplitude de 360° . Elles vont de -180° (ou 180° ouest) à $+180^\circ$ (ou 180° est). Un des méridiens servant d'origine était, pour des raisons pratiques, le méridien choisi

par Ptolémée, qui passait par la terre connue située le plus à l'ouest : l'île de fer, dans les Canaries.

Détermination de la latitude

De manière théorique, on peut déterminer la latitude d'un point en mesurant la hauteur angulaire d'un astre particulier au dessus de l'horizon. Le plan de l'horizon **H H'** est tangent à la surface de la terre et perpendiculaire à la demi-droite **O Z** ; il délimite ce que nous pouvons voir, en un lieu donné, du ciel.

Le cas le plus simple est celui d'un astre situé dans le prolongement de l'axe de la terre **N O S**. Etant donné la petitesse du rayon de la terre par rapport à la distance de la terre à cet astre, on peut confondre le centre de la terre **O** et le point situé à sa surface **P**, avec une erreur négligeable (voir figure 2).

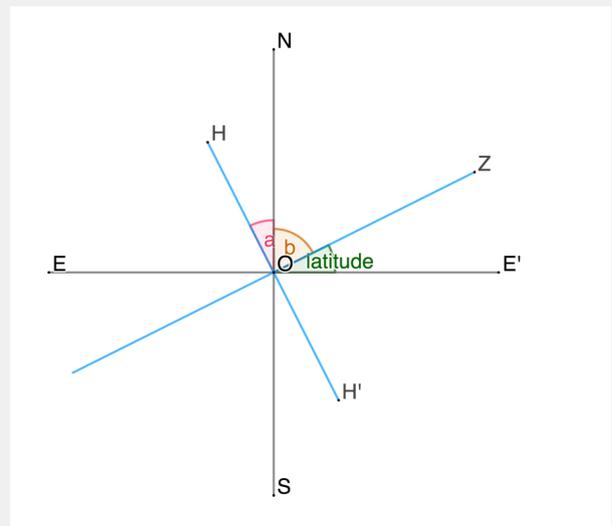
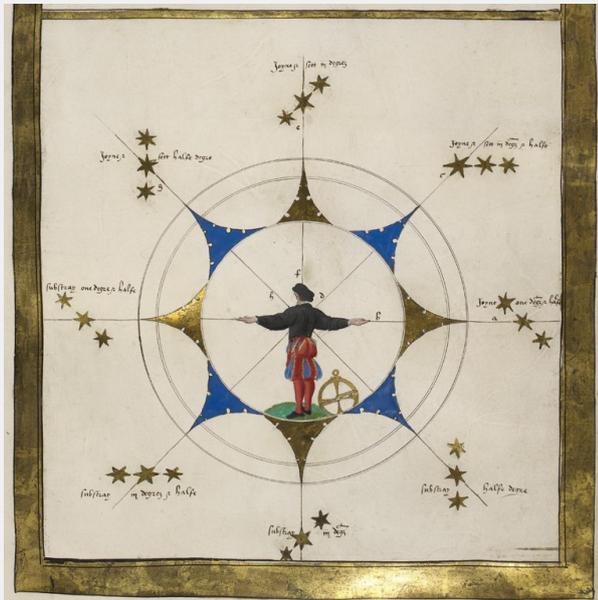


figure 2 - détermination de la latitude par le pôle

Le repère terrestre **N O E'** et le repère local **H P Z**, ou **H O Z**, forment par définition deux angles droits. L'angle **N O E'** est la somme des deux angles : **b** et **latitude**. L'angle **H O Z** est la somme de deux angles : **b** et **a**, qui représente la hauteur angulaire au dessus de l'horizon de l'astre situé dans le prolongement de l'axe de la terre. On en déduit que les angles **a** et **latitude** sont égaux. La mesure de la hauteur angulaire au-dessus de l'horizon donne donc directement la latitude du point **P**.

Il y a dans le ciel une étoile visible et facile à trouver qui se trouve dans le prolongement de l'axe de

la terre : l'étoile polaire. En réalité elle n'est pas tout fait dans l'axe de la terre : elle tourne selon un petit cercle autour de cet axe. Mais il est possible de déterminer la correction à apporter à la hauteur observée en fonction de l'orientation de sa constellation, la petite ourse. Il existait pour cela le « régiment » (règlement) de l'étoile du nord. A la fin du XVIe siècle la correction pouvait atteindre $3^{\circ} 1/2$.



6 - illustration de la correction à apporter à la hauteur de l'étoile polaire en fonction de l'orientation de certaines étoiles de sa constellation - Booke of Idrography (1542) de Jean Rotz
Source Wikimedia Commons

L'étoile polaire a l'avantage d'être visible toutes les nuits claires, mais l'inconvénient de ne l'être que dans l'hémisphère nord. Lorsque les navigateurs portugais franchirent l'équateur, en 1471, ils ne trouvèrent pas d'étoile équivalente dans l'hémisphère sud. La solution adoptée fut finalement de mesurer la hauteur d'un astre situé dans le plan de l'équateur (voir figure 3).

L'angle a qui mesure la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon correspond cette fois au complément de la latitude ($90^{\circ} - \text{latitude}$). L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut attendre que l'astre passe « au méridien », à midi vrai, pour pouvoir mesurer sa hauteur. Le seul astre visible le jour est le soleil. Malheureusement, il n'est situé dans le plan de l'équateur que deux fois par an. Le reste du temps il faut corriger sa hauteur observée de la latitude d'un observateur qui aurait le soleil au zénith, ce que l'on appelle sa déclinaison. La déclinaison du soleil varie chaque jour. Elle atteint son maximum, actuellement environ $23^{\circ}26'$, les jours de l'hiver et de l'été, symbolisés par les cercles parallèles des tropiques du Cancer et du Capricorne. Il a donc fallu calculer à l'intention des pi-

lotes une table des déclinaisons du soleil pour chaque jour de l'année et leur indiquer les formules permettant de calculer la latitude en fonction de la déclinaison (il faut en effet distinguer plusieurs cas : par hémisphère, nord ou sud et, dans chaque hémisphère, selon que le soleil est au nord ou au sud de l'observateur). Ces formules forment le « régiment » du soleil.

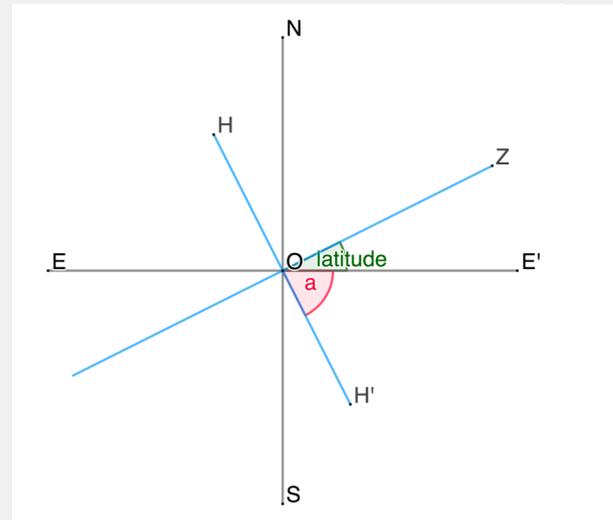


figure 3 - détermination de la latitude par l'équateur

Détermination de la longitude

La longitude étant basée sur une origine arbitraire, il n'est pas possible de s'appuyer sur les hauteurs d'astres pour la déterminer. Sa détermination se fait en comparant l'heure locale du méridien du point avec l'heure locale du méridien d'origine. Un moyen simple est de faire cela à midi vrai, lorsque le soleil est au plus haut dans le ciel. Le soleil faisant le tour de la terre (selon la science de l'époque) en 24 heures, et ce tour faisant 360° , 1 heure de temps correspond à 15° de longitude et une minute de temps correspond à $15'$ de longitude, soit à l'équateur environ 28 kilomètres ; une seconde de temps représente encore près de 500 mètres sur l'équateur. Le moyen le plus simple de connaître l'heure du méridien d'origine était d'embarquer une horloge réglée sur cette heure. Mais ce n'est qu'à la fin du XVIIIe siècle que l'on parvint à construire des horloges ayant la précision nécessaire. L'observation de certains événements célestes permettait cependant de déterminer la longitude : une éclipse (rare), un lever d'une lune de Jupiter (avec un petit télescope, à terre et une bonne table astronomique) et enfin, en mer, par l'observation de la position de la lune par rapport aux étoiles, avec de bons instruments et des tables astronomiques précises (vers le milieu du XVIIIe siècle).

couvertes : *Casa da Guiné* au milieu du XVe siècle puis *Casa da Mina* et, au retour du voyage de Vasco de Gama en 1499, *Casa da Guiné, Mina e Índias*, ou plus simplement *Casa da Índias*. Vers 1480 un *Armazém da Guiné, Mina e Índias* fournissait aux pilotes des instruments nautiques et centralisait les routiers, les cartes et les journaux de bord des pilotes. Un atelier de fabrication des cartes marines lui était annexé.

De son côté, l'Espagne créa la *Casa de la Contratación de las Indias* à Séville en 1503, en s'inspirant probablement de l'établissement portugais.

Personnel

Le Portugal employait des cosmographes et des marins. L'établissement créa en 1547 le poste de grand cosmographe (*cosmógrafo-mor*).

En Espagne l'établissement employait des pilotes, des dessinateurs et des professeurs de cosmographie. Il créa en 1508 le poste de *piloto major* et en 1517 celui de *cosmographo major*.

Formation à la navigation

Au Portugal, au XVe siècle, les cosmographes et les mathématiciens de la *Junta dos Mathematicos* s'occupaient, du temps du Roi Jean II, de cartographie et de navigation. Il ne semble pas qu'il y ait eu au départ une formation organisée des pilotes. Toutefois un document indique que, dans la seconde moitié du XVIe siècle, l'*Armazém da Guiné e Índia* certifiait les pilotes formés par le *cosmógrafo-mor*.

En Espagne les pilotes étaient formés et évalués par des cosmographes et des pilotes expérimentés. La certification était effectuée par le *piloto major*.

Fourniture d'instruments nautiques

L'établissement portugais fournissait au départ des expéditions les instruments nautiques, règlements, tables, routiers et informations recueillies lors des voyages précédents, ainsi que deux cartes marines. Les pilotes devaient lui remettre au retour ces cartes, annotées, et leurs journaux.

Du côté espagnol les pilotes s'approvisionnaient directement chez les cosmographes qui dessinaient les cartes marines et fabriquaient les instruments nautiques. Ils avaient obligation de remettre leurs journaux à la *Casa* à leur retour.

Carte de référence

Chaque établissement entretenait une carte de référence révisée à partir des informations re-

cueillies par les pilotes lors de leurs voyages et notées sur leurs cartes et dans leurs journaux.

Au Portugal la carte de référence était appelée *padrão de el-Rei* ou *padrão de navegar*.

En Espagne, la carte de référence était appelée *Padron Real*. Elle était mise à jour par une commission de pilotes présidée par le *piloto major*. Le *cosmographo major* intervenait également dans sa mise à jour. La carte de référence était complétée par un livre collationnant les informations recueillies par les pilotes lors des voyages.

Production et validation des cartes marines

Au XIIIe siècle il n'existait pas « d'école » de cartes marines au Portugal. Vers 1420 un certain maître Jacomo, de Majorque, fut engagé pour enseigner, semble-t-il, l'art de dessiner les cartes marines. Des cosmographes se mirent à dessiner des cartes et à fabriquer des instruments nautiques. A la fin du XVe siècle l'établissement employait des cosmographes pour faire, corriger et approuver les cartes et les routiers délivrés aux pilotes.

En Espagne, toutes les cartes utilisées par les pilotes devaient être produites à partir du *Padron*. Elles étaient produites soit par le bureau technique de la *Casa*, soit par des pilotes accrédités (incluant le *piloto major*) et vendues à un tarif réglementé. De nombreuses contrefaçons apparaissant, tous les cartographes professionnels de Séville furent autorisés par la suite à dessiner et à vendre des cartes, sous réserve de les faire approuver par le *piloto major* et les cosmographes de la *Casa*.

Opérations hydrographiques

Lors de leurs voyages les pilotes portugais cartographiaient les côtes nouvelles, par directions et distances et, plus tard par latitude. Ils recueillaient également des informations sur les mouillages, les profondeurs et les marées.

De leur côté, les pilotes espagnols notaient sur leurs cartes pendant leurs voyages les terres, îles, baies, ports et autres informations intéressantes. Plusieurs expéditions destinées à lever systématiquement les côtes lointaines furent organisées mais aucune n'aboutit.

Politique du secret et désinformation

Des interdictions étaient édictées pour préserver le secret des routes commerciales. Le Portugal diffusait également, semble-t-il, des cartes fausses, en particulier pour revendiquer ses droits sur des ter-

ritoires riches situés à proximité de la ligne de partage du monde fixée par le traité de Tordesillas.

Les défauts des cartes marines

En plus de leur imprécision, les premières cartes marines souffraient d'incohérences dans les directions et les distances dues à la projection d'une partie de la sphère terrestre sur un plan.

Imprécision des cartes

On ne sait pas de quelle manière a été déterminé le trait de côte de la Méditerranée, de la Mer noire et de l'Atlantique qui figure sur les premières cartes marines. On sait par contre que le trait de côte de l'Afrique, de l'Amérique et de l'Asie a été déterminé à l'estime, recalée en latitude et avec quelques longitudes mesurées à terre pendant des éclipses. L'estime reposait sur des directions prises au compas magnétique, avec une résolution de quelques degrés et bien souvent sans tenir compte de la variation, et sur une détermination des distances parcourues « au jugé ». Quand à la latitude, elle était mesurée avec une résolution au mieux d'un demi degré, ce qui correspond à une précision d'une cinquantaine de kilomètres.

Les cartes par directions et distances

A côté de cette imprécision, les cartes présentaient des défauts insoupçonnés, au moins au début. Un premier problème venait de l'absence de prise en compte de la variation du compas. Pendant plusieurs siècles les cartes de Méditerranée présentaient un biais d'orientation qui plaçait Gibraltar à la même latitude qu'Alexandrie, alors que son parallèle passe en réalité le long de la côte sud de la Turquie.

Un second problème résultait de la projection des cartes. Lorsque le trait de côte était déterminé par directions et distances, son dessin « conservait » les distances, et les méridiens, bien que non tracés, avaient tendance à converger vers le pôle, comme sur la sphère. Par contre le marteloire dessinait un réseau de directions où les méridiens, qui donnent la direction nord-sud, étaient parallèles entre eux. Les directions relevées sur la carte étaient ainsi déviées au fur et à mesure qu'elles s'éloignaient de l'axe est-ouest. L'ajout d'une échelle des latitudes aux cartes, à partir de 1504-1505 (planisphère de Caverio), ne changea rien au problème.

Les cartes plates carrées

A partir de 1529 des échelles de longitude furent ajoutées aux cartes. Sous réserve de déformer le

trait de côte pour le recalcr sur les quelques points connus, de manière imprécise, en latitude et en longitude, les cosmographes obtenaient alors une carte dite « plate carrée », dans laquelle les méridiens et les parallèles formaient une grille carrée où un degré de latitude avait la même longueur qu'un degré de longitude (ce qui, sur la sphère, n'est vrai qu'à l'équateur).

Ce type de représentation apportait une extension des distances horizontales qui devenait de plus en plus importante en s'éloignant de l'équateur. Les défauts de ces cartes furent rapidement décelés. Une solution trouvée fut de multiplier les échelles de distance sur la carte. Une autre solution consistait à augmenter artificiellement, dans les traversées aux hautes latitudes, la distance quotidienne supposée parcourue par le navire, un paramètre entrant dans le calcul de l'estime. On passait ainsi de 40 à 80 lieues lors de la traversée Brésil – cap de Bonne espérance.

Les cartes réduites

Le mathématicien espagnol Pedro Nuñez, à qui les difficultés des pilotes avaient été rapportées, publia le résultat de ses réflexions en 1537. Il indiquait que les méridiens ne pouvaient pas être représentés par des lignes droites sur la carte et il montrait qu'une route à cap constant, appelée loxodromie, ne pouvait pas non plus être représentée par une ligne droite. Les cartes plates carrées ne conservaient donc ni les distances, ni les directions.

Un nouveau type de carte permit de résoudre ce problème. Sur ces cartes, appelées *cartes réduites*, la longueur du degré de latitude augmentait au fur et à mesure qu'on s'éloignait de l'équateur afin de conserver sur toute la carte le rapport entre la longueur du degré de longitude et celle du degré de latitude (rapport fonction du cosinus de la latitude). Les routes à cap constant, les loxodromies, étaient alors représentées par des droites et les distances étaient justes, à condition de les mesurer à la bonne latitude pour les trajets est-ouest ou à la latitude moyenne pour les autres trajets.

Duflot de Maufras indique que le *cosmographo major* Alonzo de Santa Cruz dessinait déjà des cartes réduites en 1539. L'histoire a associé aux cartes réduites le nom de Mercator, auteur d'une carte de ce type en 1569. C'est Edward Wright qui établit en 1593 les tables de calcul permettant de construire les cartes réduites. Il publia son travail en 1599 dans l'ouvrage *Certain errors in navigation*. Malgré leur avantage, ces cartes ne supplantèrent les plates carrées que vers le milieu du XVIIIe siècle.

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	Alegria, Maria Fernanda et al. - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 38 Portuguese Cartography in the Renaissance
2	Anthiaume, Albert - 1916	Cartes marines, constructions navales, voyages de découverte chez les Normands, 1500-1650, tome I
3	Ash, Eric H. - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 20 Navigation Techniques and Practice in the Renaissance
4	Astengo, Corradino - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 7 The Renaissance Chart Tradition in the Mediterranean
5	Balard, M. - 1992	Christophe Colomb - journal de bord 1492 1493
6	Barbosa, Antonio - 1939	L'astronomie nautique au Portugal pendant les découvertes in Revue d'histoire moderne
7	Bellec, François - 2016	Histoire universelle de la navigation, tome 1
8	Bencker, Henri - 1944	Le développement de l'hydrographie maritime et des méthodes de navigation in Revue hydrographique internationale
9	Bensaude, Joaquim - 1912	L'astronomie nautique au Portugal à l'époque des grandes découvertes
10	Campbell, Tony - 1987	The history of cartography, volume 1, chapitre 19 Portolan charts from the late thirteenth century to 1500
11	Cortès, Martin - 1551	Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar, édition de 1990 de l'Editorial Naval en espagnol moderne
12	Cortêsão, Armando - 1969	History of portuguese cartography, volume 1
13	Cortêsão, Armando et (de) Albuquerque, Luís - 1971	History of portuguese cartography, volume 2
14	Cotter, Charles H. - 1977	The development of the mariner chart in Revue hydrographique internationale
15	Dalché, Patrick Gautier - 1995	Carte marine et portulan au XIIIe siècle. Le Liber de Existencia Riveriarum et Forma Maris Nostri Mediterranei (Pise, circa 1200) in Ecole Française de Rome
16	Denuce, Jean - 1908	Les origines de la cartographie portugaise et les cartes des Reinel
17	Duflot de Maufras - 1839	Recherche sur les progrès de l'astronomie et des sciences nautiques en Espagne
18	Fine, Oronce - 1542	De Mundi sphaera, sive Cosmographia, primave Astronomiae parte, Lib. V
19	Fontoura da Costa, A. - 1939	L'art nautique des découvertes in Revue d'histoire moderne
20	Gallois, Lucien - 1914	Les portugais et l'astronomie nautique à l'époque des grandes découvertes in Annales de Géographie
21	Gallois, Lucien - 1925	Cartographie et géographie médiévale. Une carte colombienne in Annales de Géographie
22	Harisse, Henry - 1892	The Discovery of North America; a Critical, Documentary, and Historic Investigation, With an Essay on the Early Cartography of the New World, ... or Lost, Constructed Before the Year 1536
23	Lamb, Ursula - 1995	Cosmographers and Pilots of the Spanish Maritime Empire
24	Le Carrer, O - 2017	Océans de papier: Une histoire des cartes marines
25	Lelewel, Joachim - 1852	Géographie du moyen âge, tomes I et II

26	Lulle, Raymond - 1296	Arbre de science, traduction du catalan en français de 2018
27	Martinière, Guy - 2014	Le Portugal à la rencontre de trois mondes
28	Medina, Pedro - 1569	L'Art de naviguer, de M. Pierre de Medine, traduit de castillan en françois par Nicolas de Nicolai
29	(de) Oliveria Martins, J.-P. - 1893	Les explorations des portugais antérieures à la découverte de l'Amérique
30	Passerat, C - 1910	Etude sur les cartes de Poitou et de Saintonge antérieures aux levés du XIXe siècle, thèse
31	Presciuttini, Paula - 1991	The controversial origins of medieval nautical cartography in Revue hydrographique internationale
32	(de La) Roncière, Monique et Mollat du Jourdin, Michel - 1984	Les portulans
33	Sandman, Alison - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 40 Spanish Nautical Cartography in the Renaissance
34	Santarem, Manuel - 1849	Essai sur l'histoire de la cosmographie et de la cartographie pendant le moyen-âge : et sur les progrès de la géographie après les grandes découvertes du XVe siècle, tome I
35	Stevenson, Edward - 1911	Portolan charts, their origin and characteristics
36	Taylor, E.G.R. - 1956	The haven finding art, édition de 1971
37	Teixeira da Mota, A. - 1976	Some notes on the organisation of hydrographical services in Portugal before the beginning of the nineteenth century in Imago mundi second series, volume 2 n°28
38	Vivien de Saint-Martin, Louis - 1873	Histoire de la géographie et des découvertes géographiques depuis les temps le plus reculés jusqu'a nos jours
39	Waters, David W. - 1958	The art of navigation in England in Elisabethan and early Stuart times
40	Waters, David W. - 1988	Reflections upon some navigational and hydrographic problems of the XVth century related to the voyage of Bartolomeu Dias 1487-88

