

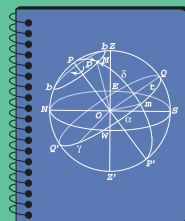
HISTOIRE DE LA NAVIGATION

Louis CAMPION

Ce fascicule retrace l'évolution de la navigation depuis les temps préhistoriques jusqu'au XIXème siècle. Les premiers hommes naviguaient à vue, en longeant les côtes avec des embarcations rudimentaires. Progressivement, l'observation des astres, notamment l'étoile polaire, leur permit de s'orienter et de naviguer plus loin. Les civilisations antiques, comme les Égyptiens et les Grecs, utilisèrent les étoiles pour se repérer, avant d'inventer des instruments comme le kamal, l'astrolabe ou l'arbalestrille.

L'introduction de la boussole fut une révolution, surtout pour les navigateurs du Nord. La latitude devint facile à déterminer grâce à l'observation du Soleil ou des étoiles, mais la longitude resta un problème majeur jusqu'à l'invention des chronomètres précis au XIXème siècle.

C'est à cette période que Marc de Saint Hilaire publia une méthode, aujourd'hui universellement adoptée comme théorie du point astronomique, à partir de la 'droite de hauteur' découverte par le capitaine américain Sumner.



N° 17

HISTOIRE DE LA NAVIGATION

Louis CAMPION



Les Cahiers de la SAN



**SOCIÉTÉ
d'ASTRONOMIE
de NANTES**

Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports
35, boulevard Louis Millet - 44300 NANTES - Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23
Internet : www.san.asso.fr - E-mail : san@san-fr.com

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

La Société d'Astronomie de Nantes est une association fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.

Il y a loin des argonautes aux astronautes, l'histoire de la navigation astronomique est terminée, une nouvelle navigation commence, la navigation spatiale, qui utilise elle aussi les étoiles pour se guider et sans doute plus tard aussi pour se situer dans l'immensité des espaces interstellaires, là où la radionavigation spatiale, ou le radioguidage n'aura plus accès depuis la Terre, lorsqu'il faudra se diriger *bors de vue de Terre*.

Louis CAMPION, mai 1988

HISTOIRE DE LA NAVIGATION

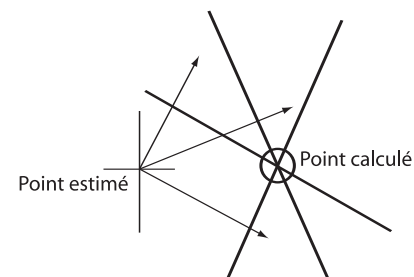
Notions sommaires

Louis CAMPION

Capitaine au long cours

Édition 2011

En examinant de plus près le système de point élaboré par SUMNER, un amiral français MARCQ DE SAINT-HILAIRE remarqua que les lignes de SUMNER, relatives à chaque astre utilisé, étaient perpendiculaires à la direction des astres. Il chercha à simplifier le tracé et le calcul du point et imagina au lieu de calculer des longitudes en partant de latitudes estimées, de partir d'un point estimé (donc latitude + longitude estimées) et de calculer la hauteur de l'astre en ce point, hauteur estimée bien sûr. En comparant cette hauteur estimée à la hauteur réelle mesurée au sextant on pouvait en déduire le tracé de la droite MARCQ DE SAINT-HILAIRE, ou droite de hauteur à l'aide d'un seul calcul (Fig. 6).



Le même point tracé selon la méthode actuelle
de l'Amiral Marcq de Saint-Hilaire

Figure 6

Je ne veux pas rentrer dans le détail du calcul de la droite de hauteur, ni dans la théorie pourtant merveilleuse des cercles de hauteurs, ceci fera l'objet d'un autre exposé.

Que l'on sache qu'en cette fin du ^{xx}e siècle, avec les montres que l'on possède, la radio permettant d'écouter les tops horaires, les sextants et les tables dont nous disposons, on utilise pour faire le point en mer cette dernière méthode de MARCQ DE SAINT-HILAIRE qui ne semble pas pouvoir être remplacée car elle répond à tous les souhaits. Les calculs en sont améliorés par des tables pré-calculées, ou des calechettes programmées cela va de soi, mais la théorie du point astronomique restera celle de notre compatriote, universellement adoptée.

Les « **Cabiers de la SAN** » sont édités par la Société d'Astronomie de Nantes,
Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports.

35, boulevard Louis-Millet
44300 NANTES

Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23 - E-mail : san@san-fr.com

© Toute reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit,
sans l'autorisation de la Société d'Astronomie de Nantes, est interdite.

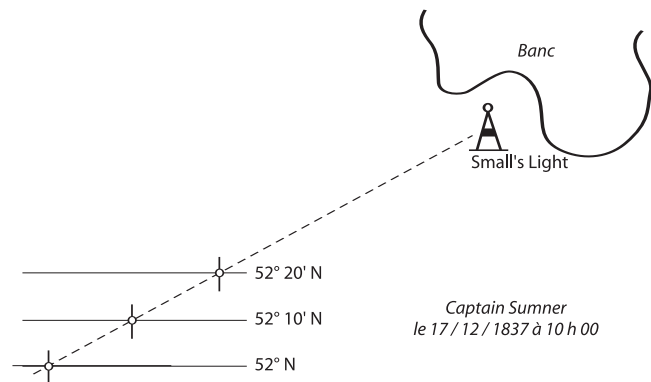
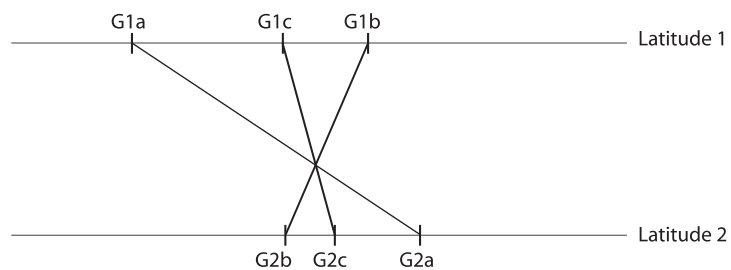


Figure 4

La connaissance précise de la latitude avait moins d'importance, il suffisait de choisir deux latitudes encadrant le point estimé.

Si on agissait ainsi simultanément avec trois étoiles on obtenait trois lignes. Le navire se trouvait sur les trois lignes en même temps, donc à leur intersection (Fig. 5).



La détermination du point d'après Sumner

Figure 5

Pour avoir une position, par trois étoiles, il fallait deux calculs par étoile pour trouver deux points de chaque ligne afin de la tracer.

Quel progrès depuis l'antiquité en passant par les distances lunaires. Mais les progrès n'étaient pas terminés !

Préface



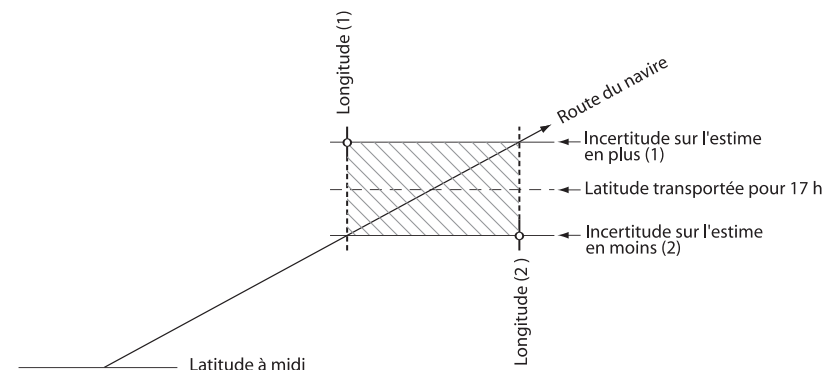


Figure 3

Son estime lui donnait comme latitude 52° Nord. Il supposa qu'il avait peut-être dérivé de $10'$ vers le Nord et fit donc un calcul de longitude pour 52° N et $52^{\circ} 10'$ N, il obtint ainsi deux points extrêmes et un quadrilatère de position. Sensibilisé par la présence de la côte dangereuse, il surestima encore par prudence sa dérive jusqu'à $20'$ vers le Nord et refit un troisième calcul de longitude avec cette fois pour latitude estimée : $52^{\circ} 20'$ N. Il porta le nouveau point obtenu sur la carte, ce qui allait lui agrandir sa zone de position. Contemplant son œuvre pour en tirer toutes les conclusions qui s'imposaient, il eut la surprise de voir que les trois points calculés étaient en ligne droite, ce qui n'était pas encore trop extraordinaire en soi, mais qu'ils étaient alignés avec la bouée « Small's light », marquant un banc à l'entrée de la Mer d'Irlande.

SUMNER eut une idée judicieuse, il fit suivre à son navire la direction marquée par cette ligne qu'il venait de découvrir, et moins d'une heure après il apercevait la bouée droit devant. (Fig. 4)

Il venait de découvrir que la ligne joignant les points calculés de la façon ci-dessus exposée était un lieu géométrique sur lequel se trouvait le navire.

Après lui, on joignit les points, calculés par latitude et longitude, et on se considéra sur cette ligne, on l'appela « Sumner's line ».

(= 50'), à 17 heures donc j'estimerai ma latitude à :

$$24^{\circ} 34' \text{ N} - 50' = 23^{\circ} 44' \text{ N}$$

je la tracerai sur la carte pour 17 heures et je ferai mon calcul de longitude à cette heure en prenant $L = 23^{\circ} 44' \text{ N}$

Pour toute autre direction j'aurai agit de même.

On voit aisément d'après cela que toute erreur sur l'estime se répercutera sur la latitude transportée et par conséquent sur la longitude calculée.

Les choses ne vont pas toujours aussi aisément que ce que je viens d'exposer. Les causes d'erreur sur un transport sont nombreuses et souvent pas faciles à évaluer. Car on peut ne pas avoir de Soleil ni d'étoiles au moment choisi à cause du ciel couvert ou du mauvais temps. On traîne une latitude observée derrière soi pendant des jours et des jours avant de pouvoir observer une longitude qui sera d'autant plus inexacte que la latitude le sera.

Pour limiter les dégâts, on tient compte en navigation de ce que l'on appelle l'incertitude de l'estime. On met dans un même panier toutes les erreurs possibles sur le transport, en plus ou en moins, en long ou en large, et l'on en tire les deux points, ou les deux lignes extrêmes en dehors desquelles on ne peut pas se trouver.

Si l'on a observé une latitude le lundi, et qu'on la traîne jusqu'au samedi matin sans avoir pu faire de longitude, on va s'estimer sur deux latitudes encadrant la latitude supposée et l'on va faire deux calculs, un avec chaque latitude, nous aurons deux longitudes extrêmes. Les deux latitudes estimées et les deux longitudes trouvées forment un quadrilatère dans lequel nous sommes à peu près sûr de nous trouver (Fig.3)

C'est ainsi que naviguait dans l'Atlantique Nord, en route de Charleston (USA) vers la Mer d'Irlande le 17 décembre 1837 le Capitaine américain SUMNER, lorsqu'à 10 heures le matin il put enfin faire une observation de Soleil, la première depuis plusieurs jours, alors qu'il allait atterrir sans tarder (et sans point) sur l'Irlande.

Table des Matières

Texte.....X

et l'on en déduisait la latitude. Cinq ou six heures plus tard selon la saison, on observait une hauteur de Soleil tout en notant l'heure de Greenwich au chronomètre.

Le navigateur avait comme données à son calcul :

- la latitude qu'il avait observée à midi et « transportée » pour l'heure de l'observation du soir,
- la déclinaison du Soleil pour la date et l'heure Greenwich de l'observation du soir,
- la hauteur du Soleil qu'il vient d'observer à cette heure Greenwich précise.

Avec la relation du triangle de position que je vous ai exposée il y a peu de temps :

$$\sin H = \sin L \times \sin D + \cos L \times \cos D \times \cos AH$$

on trouve AH en faisant :

$$\cos AH = \frac{\sin H - \sin L \times \sin D}{\cos L \times \cos D}$$

AH étant l'angle horaire local de l'astre (du Soleil ici), soit l'heure solaire du lieu, en la soustrayant de l'heure Greenwich notée au moment de l'observation on obtient la longitude.

La latitude « transportée » pour l'heure de la deuxième observation étant tracée, il suffit de tracer la longitude trouvée pour avoir le point. Voilà en gros comment cela se passait.

Il pouvait y avoir cependant une source d'erreur, elle était due au « transport » de la latitude.

On transporte la latitude lorsque l'observateur s'est déplacé entre les deux observations. En somme on estime la distance parcourue et la direction du déplacement et on ajuste sa nouvelle latitude en fonction de ces éléments estimés.

Si j'ai trouvé une latitude de 24° 34' Nord à midi et que j'ai fait route au Sud pendant 5 heures à 10 nœuds, soit 50 milles

avait l'heure de Greenwich (ou de Paris selon l'époque).

En réalité le calcul de longitude par ce procédé était lourd, long et compliqué, mais il n'y avait aucun autre moyen en l'absence de garde-temps fiable !

Le perfectionnement du chronomètre et l'abaissement de son coût de revient ont permis à la navigation astronomique de s'affranchir de ces calculs fastidieux de distances lunaires.

Nous arrivons au milieu du XIX^e siècle.

Une bonne partie des navires est équipée de chronomètres, plusieurs par navire pour pouvoir les comparer et mieux surveiller et suivre leur marche. Ils sont choyés, bichonnés et confiés à « l'officier des montres ». Celui-ci les remonte tous les jours à la même heure, en douceur. Ils sont conservés dans un endroit à l'abri des courants d'air, des changements brusques de température. On a la chance de posséder « l'heure », comme les hommes de la préhistoire « le feu ». Malheur si les montres s'arrêtent par négligence ou par accident.

Avec l'heure à bord, on va pouvoir effectuer des calculs plus précis et plus rapides.

Le point s'obtenait par observation de la hauteur méridienne pour avoir la latitude, et par une hauteur du soir pour la longitude.

En effet, si l'observation méridienne est une circonstance favorable pour obtenir la latitude, par relevé de la hauteur de l'astre à un moment où sa hauteur ne varie plus, le moment exact du passage au méridien est de ce fait difficile à apprécier. Sans vouloir m'étendre, que l'on sache que certaines circonstances sont favorables à certains calculs et d'autres à d'autres. Pour calculer l'heure locale par la hauteur d'un astre, et donc la longitude, il est préférable de le faire lorsque la hauteur de l'astre varie vite (le matin ou le soir), car le résultat est plus précis, et pour une latitude qui demande à figurer l'observation d'une hauteur, lorsque cette hauteur ne varie quasiment plus, donc vers midi pour le Soleil et au passage méridien pour tout autre astre.

Au début du XIX^e siècle pour faire le point à l'aide de la montre, on observait le passage méridien du Soleil (à midi local)

HISTOIRE DE LA NAVIGATION

Notions sommaires

Quels ont été les premiers navigateurs ?

Pourquoi, quand et comment les hommes ont-ils eu besoin de « naviguer », c'est à dire de quitter leur domicile pour un autre endroit de la Terre, et ensuite revenir chez eux ?

Nous ne saurions répondre avec certitude à cette question !

Besoin économique, pour retrouver des terrains de chasse ou de cueillette d'abord, pour transporter leurs troupeaux d'un pâturage à l'autre suivant la saison ensuite ; ou curiosité humaine de l'aventurier primitif qui voulut savoir et se rendre compte de visu de ce qu'il y avait au-delà de l'horizon. Autant de questions qui pouvaient venir à l'esprit de nos lointains ancêtres. Où pouvaient bien aller les fleuves ? En les suivant on aboutit à la mer : immensité effrayante qui remplit d'inquiétude et inconnu qui terrorise.

Il faut reconnaître que toute expédition vers cet inconnu demande une dose de courage, et rien ne garantit un retour certain.

La mer a ses légendes : serpents de mer, pieuvres géantes et autres *kraken*, tourbillons terribles (*Charybde*, *Maelström*), monstres marins de tous poils (ou de toutes écailles !), triangle des Bermudes ou d'ailleurs qui suffisent à prouver la peur que la mer a généralement inspirée aux hommes de toutes les époques.

On peut penser que les premiers qui s'aventurèrent sur la mer utilisèrent des corps flottants qu'ils connaissaient déjà : troncs creusés, radeaux, outres ou paniers enduits de gomme ou d'asphalte. Ils naviguèrent à vue le long de la côte, s'éloignant de plus en plus loin, prenant des repères qu'ils se transmièrent de générations en générations et que chaque tribu, ou cité gardait jalousement.

Si l'on devait quitter la Terre de vue, pour traverser un bras de mer, on s'orientait selon le vent et c'est ici que mon propos rejoint son objet, on découvrit très vite le moyen de s'orienter selon les astres.

Nécessairement si l'on utilise les astres pour quelque raison que ce soit, on apprend bien vite à les connaître, à connaître leurs mouvements les plus simples et à les prévoir.

De nos jours encore, l'image du marin au long cours est associée à « la petite étoile » comme chantait Théodore BOTREL dans *la Paimpolaise*, et en tous cas à l'étoile polaire « qui guide le marin ». On ne sait pas comment fait le marin, mais dans l'esprit du public il observe l'étoile polaire et peut ainsi suivre la route qui le mènera à bon port. C'est une idée un peu simpliste de la navigation astronomique, mais lorsque l'on sait comme moi, par expérience, ce que le fait de déterminer sa position en mer, de corriger sa route au besoin, et d'arriver au point exact voulu à l'aide des étoiles représente de merveilleux aux yeux du public, il n'y a pas à s'étonner.

Donc les premiers navigateurs voyageaient sans perdre la côte de vue lorsque la nécessité ne le leur imposait pas. L'observation des étoiles leur permettait surtout de situer cette côte par rapport à leurs points de départ et de destination.

La littérature antique abonde en récits de voyages et d'expéditions maritimes.

Six cents ans avant notre ère, le pharaon NECHAO II organise une expédition autour de l'Afrique. Partant de la Mer Rouge en longeant les côtes, les navigateurs mirent trois ans à revenir vers le delta du Nil en passant par Le Cap et Gibraltar. Un bel exploit maritime pour l'époque !

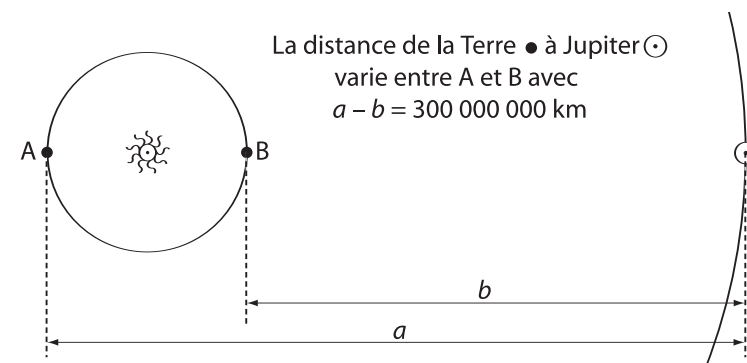


Figure 2

Occultations d'étoiles par des planètes

Observables à Terre, mais pas à bord à cause de la faiblesse des instruments et des mouvements du navire.

Conjonctions de planètes

Rares.

Observations des mouvements de la Lune

La Lune est l'astre qui se déplace le plus rapidement dans le ciel, vu depuis la Terre. L'idée est donc venue d'utiliser ces déplacements, repérés à l'avance sur des tables, pour déterminer l'heure de Greenwich.

Différentes méthodes ont été expérimentées, mais celle qui a prévalu est celle dite des « distances lunaires ». Elle a été utilisée jusqu'au début du ^{xx}e siècle.

La Lune se déplace sur le champ des étoiles à la vitesse d'environ 12° par jour, soit 30' à l'heure (son diamètre !). Il n'était pas difficile à des observatoires bien équipés de fournir des tables lunaires indiquant de trois en trois heures les distances angulaires séparant notre satellite des principales étoiles qu'il allait rencontrer, frôler ou avoisiner au cours de son déplacement. En observant la distance lunaire d'une étoile au voisinage de la Lune au moment d'un calcul de point, et en interpolant, on

avec eux, avec carte détaillée de la Lune et précision sur le moment exact où, l'ombre atteindrait tel ou tel relief remarquable de notre satellite, moment exprimé en heure de Greenwich il va de soit.

Mais il n'y a pas d'éclipse tous les jours !

De plus, une éclipse n'est pas visible de toute la surface de la Terre, il faut que l'astre éclipsé soit visible au-dessus de l'horizon.

Ce procédé est très limité et n'a pas eu de suite.

Éclipses des satellites de Jupiter, Io et Europe:

Le phénomène se produit assez souvent car Io tourne en 1 jour $3/4$ et Europe en 3 jours $1/2$ autour de Jupiter. L'immersion et l'émergence se font brutalement. En observant ces phénomènes il était facile d'obtenir avec précision l'heure de Greenwich de cet instant, lue dans une table. Le temps obtenu était conservé avec une bonne précision à l'aide de sabliers pendant plusieurs heures (sabliers de différentes tailles et durées d'écoulement).

Mais là aussi on était limité car pendant trois mois tous les ans Jupiter est trop près du Soleil pour que l'on puisse observer ses satellites.

Pendant un mois par an encore, lorsque Jupiter est trop éloigné de la Terre, le phénomène est très difficile à voir, l'angle de vision est trop faible et avec du roulis et les faibles appareils dont disposaient les marins, il était inobservable.

Un autre phénomène s'est révélé à la suite de l'utilisation de ces éclipses par les navigateurs. Des erreurs importantes dans les prévisions se révélèrent et demeurèrent inexplicables jusqu'à ce que l'astronome danois ROEMER en trouve la raison. Ces perturbations sont dues à la vitesse de propagation de la lumière qui doit parcourir entre la conjonction Terre / Jupiter et l'opposition des mêmes, une distance supplémentaire égale au diamètre de l'orbite Terrestre (supposée circulaire ici) soit 150 millions de kilomètres multipliés par 2 = 300 millions de kilomètres.

L'erreur, qui est progressive, varie de 17 minutes environ entre le moment où la Terre est le plus près de Jupiter (en *B*) et celui où elle en est le plus éloignée.(en *A*)

HÉRODOTE nous rapporte cette histoire, mais il n'y croit pas car le récit des navigateurs contient des contradictions selon lui : les voyageurs racontèrent que du côté du Cap ils virent le Soleil se lever à leur droite et se coucher à leur gauche, en somme ils virent le Soleil tourner à l'envers ; puis de nouveau revenant au pays, ils le revirent se lever à leur gauche pour se coucher à leur droite.

Impossible rétorque HÉRODOTE, ils racontent des âneries pour nous berner.

Maintenant nous savons que les marins disaient la vérité, et de plus, ce phénomène impossible pour HÉRODOTE, prouve qu'ils avaient bien contourné l'Afrique.

En dehors des récits semi-légendaires de l'antiquité, il y a un grand nombre de voyages accomplis à cette époque qui ont été relatés par les uns et par les autres. PYTHÉAS, marin marseillais, s'aventura vers 330 avant J.C. dans les eaux septentrionales, il doubla la pointe de Bretagne, alla jusqu'aux Îles Féroé au nord de l'Écosse, puis vers l'est peut-être jusqu'en Norvège et revint à Marseille (Phocée). Il fit un récit de ses voyages : les glaces, le jour continu en été, le climat si différent de celui de la Méditerranée, les brumes, etc.

Bien sûr là encore les grands esprits de l'époque n'en voulurent rien croire.

On peut donc s'apercevoir au cours de l'histoire que les voyages par mer s'allongent au fur et à mesure des connaissances et des découvertes des hommes : fixité de l'étoile polaire, mouvement diurne des étoiles, utilisation du Soleil en partant de tables de déclinaisons, perfectionnement des appareils d'observation, invention de la boussole, etc. Quel cheminement a suivi le navigateur depuis les origines jusqu'à nos jours en ce qui concerne l'utilisation des astres pour se diriger et se situer sur la Terre ?

- La fixité de l'étoile polaire a tout d'abord permis de suivre une direction, surtout dans régions où elle se situe vers 30° au dessus de l'horizon.

En la gardant à gauche on avance plein Est, en marchant

vers elle on fait route au Nord, etc. avec toutes les directions possibles selon l'angle de la route et de l'étoile.

- Les déplacements en latitude, vers le Nord ou vers le Sud amenèrent les voyageurs à constater le changement de hauteur de la Polaire. D'où la possibilité de se placer en latitude par rapport à un point, une ville, un port quelconques.

- Mais dans l'hémisphère Sud et même à partir de 15° Nord on ne voit plus la Polaire.

Il faut observer une étoile circumpolaire Sud à ses passages aux méridiens, supérieur et inférieur du lieu. La demi-somme des hauteurs donne la hauteur du pôle Sud au dessus de l'horizon.

C'est ce que firent sans doute il y a 2600 ans les égyptiens de NECHAO II en contournant l'Afrique par le Sud.

- Nous savons que la latitude d'un lieu est encore la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon en ce lieu. Mais on peut trouver la latitude d'un lieu en observant le passage méridien d'un astre dont la distance au pôle nous est connue, (sa distance polaire) : on ajoute la distance polaire à la hauteur méridienne observée et on enlève cette somme de 180° pour avoir la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon et donc la latitude.

Il y a fort à parier que très tôt des catalogues d'étoiles furent établis par les astronomes en différents observatoires, catalogues dans lesquels la hauteur méridienne des principales étoiles à la latitude de l'observatoire étaient notées. Comme ce qui intéressait surtout le voyageur n'était pas une latitude stricte mais une différence de latitude entre deux ports donnés, différence traduite en distance, son problème était bien plus simple que celui exposé plus haut.

Si l'étoile E culmine au Sud dans le port de A à une hauteur H , et que je la vois à une hauteur $H' > H$ je me trouve à une distance $H' - H$ dans le Sud de A . Inversement si je l'observe à une hauteur de culmination de $H'' < H$, je me trouve à une distance $H - H''$ dans le Nord de A .

- Polaire et étoiles ne sont visibles que la nuit.

Comment garder une direction ou calculer une latitude sans étoiles ?

donner ou tout au moins de la leur conserver depuis le départ d'Europe ?

Les perfectionnements de la navigation, de la cartographie, de la géographie sont liés à ceux de l'horlogerie. Il ne faut pas perdre cela de vue en un siècle où l'on change de montre pour un oui ou pour un non, et où l'heure sous toutes ses formes fleurit partout.

Des montres précises, exactes, sûres, robustes, fidèles et pouvant résister aux mouvements brutaux du navire, à la chaleur et l'humidité du climat, comme au froid et à la sécheresse et en lesquelles le marin pouvait avoir une confiance absolue ne sont pas apparues avant la fin du XIX^e siècle sur les navires.

Et encore coûtaient-elles très cher ! Ce qui limitait leur utilisation aux navires de guerre ou à quelques rares navires marchands d'importance. Jusqu'il y a une centaine d'années, les montres, chronos de marine et garde-temps divers n'étaient pas encore très répandus sur les navires, et il fallait naviguer et faire le point quand même !

Les progrès de l'astronomie, suite à l'invention de la Lunette au début du XVII^e siècle avaient permis de découvrir divers phénomènes insoupçonnés jusqu'alors ou de les préciser. Voici comment ils servirent à la navigation.

Le problème essentiel pour avoir sa longitude était de connaître l'heure de Greenwich au moment de l'observation, nous l'avons vu.

Des esprits éclairés se demandèrent s'il n'aurait pas été possible de se servir de phénomènes extra-Terrestres répétitifs et prévus pour connaître l'heure universelle. Les progrès de l'astronomie, je l'ai dit, amenèrent à dresser des tables prévisionnelles de phénomènes astronomiques périodiques et connus comme le mouvement des planètes, etc. Alors on tenta l'expérience, il le fallait bien puisqu'il n'y avait rien d'autre.

Éclipses du Soleil et de la Lune

L'heure du phénomène était prévue de longue date et figurait dans des catalogues spéciaux que les marins emportaient

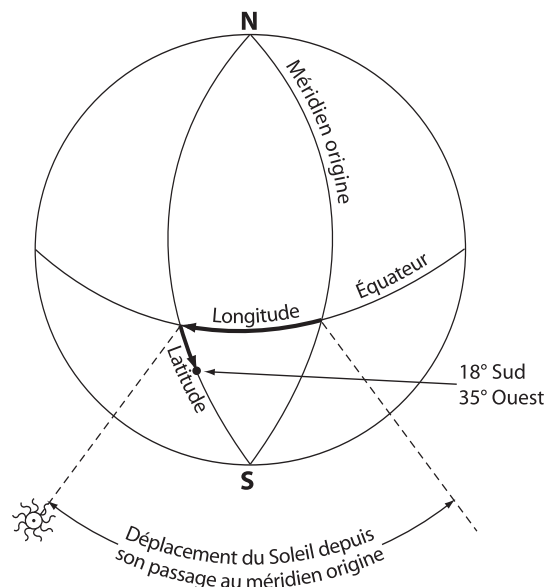


Figure 1

Voilà expliqué d'une façon simple comment on se place sur la Terre en latitude et longitude.

En réalité on n'agit pas du tout comme cela, car nous n'aurions qu'un point par jour (à midi), et les méthodes modernes plus élaborées permettent de faire le point à tout instant, nous le verrons en son temps.

Néanmoins ces méthodes ne sont que des dérivées de celle que je décris ci-dessus.

Le principe pourrait se résumer en :

- le sextant donne la latitude,
- la montre donne la longitude.

Et c'est ici que nous comprenons pourquoi le problème de la longitude a tant attendu pour être résolu, c'est un problème de montre !

Comment nos anciens auraient-ils pu comparer l'heure locale de l'île Bouvet par exemple avec celle de Greenwich qu'ils *ne possédaient pas* faute d'instruments capables de la leur

Nous avons déjà parlé des vents, très utiles dans les régions de vents réguliers : Alizés du Nord-Est ou du Sud-Est et Moussons de Sud-Ouest ou de Nord-Est. On gardait une direction constante par rapport au vent, et l'on suivait ainsi une route régulière.

- L'évolution suivante en navigation astronomique a sans doute été d'utiliser le Soleil pour naviguer de jour.

On détermine la latitude par le Soleil de la même façon que par une étoile quelconque lors de son passage au méridien où elle culmine. Seulement, si la distance angulaire d'une étoile au pôle est constante, celle du Soleil ne l'est pas, elle varie tous les jours. La découverte de cette variation amena les astronomes à établir des tables journalières de hauteurs du Soleil à leur observatoire. Les marins durent emporter ces tables et tenir compte du jour de l'observation pour trouver encore la différence de latitude et par conséquent la distance entre l'observatoire et eux. Il fallait posséder le document et savoir s'en servir, une complication supplémentaire mais qui permettait de faire le point au milieu de la journée. (En cette fin du ^{xx}e siècle on ne fait pas autrement ! Les tables et instruments d'observation sont plus précis, c'est tout !)

- Pendant des siècles, et même des millénaires, on ne fit pas mieux. Les seuls progrès eurent lieu dans les instruments qui se perfectionnèrent et permirent de plus en plus de précision dans les résultats, mais on naviguait *en latitude*.

Les arabes dans l'Océan Indien faisaient route loin des côtes vers le Nord ou vers le Sud. Ils observaient les astres à l'aide du *Kamal*, vulgaire planchette percée, traversée par une ficelle à nœuds. Chaque nœud représentait la latitude d'un port de la côte Est d'Afrique ou de l'Arabie. Lorsque l'astre observé coïncidait avec le nœud voulu, ils faisaient route à l'Ouest vers la Terre, et abordaient dans la région choisie, avec plus ou moins de précision.

Ceci explique l'expansion arabe dans l'Océan Indien jusqu'à Zanzibar, les Comores et le Mozambique.

En occident, les portugais faisaient de même. En sortant du

Tage, ils observaient la direction des « gardes » de la Grande Ourse (les deux roues arrière du Grand Chariot) à l'aide du *nocturlabe*, de façon à noter et à retrouver la situation exacte du ciel nocturne au moment de l'observation. À l'aide de l'*arbalestrille* ils prenaient la hauteur exacte de la Polaire à ce moment. Faisant route au Sud, ils observaient la Polaire, avec le ciel en même position qu'au départ, et la différence des hauteurs leur donnait la distance les séparant de Lisbonne.

Ils savaient ainsi quand changer de route vers l'Ouest ou vers l'Est pour retrouver leurs comptoirs et pour en revenir. Ce système de navigation en latitude explique comme pour les arabes, l'expansion portugaise vers le Sud de l'Atlantique : Açores, Iles du Cap Vert, Brésil, tour de l'Afrique.

Peu à peu cependant, les connaissances astronomiques se développant, les documents devenant de plus en plus encombrants, le besoin se fit sentir pour le voyageur de posséder un outil de travail et de recherche qui lui permit d'avoir les éléments du Soleil et des étoiles au jour le jour. Je vais vite passer sur ces instruments qui ne sont pas à proprement parler des instruments de navigation, mais des « bases de données » comme on dirait de nos jours, j'ai nommé l'*astrolabe*.

L'astrolabe permet de connaître, pour un jour donné, la déclinaison et la longitude céleste du Soleil, la position des étoiles, l'âge de la Lune et l'heure de la marée, heures des lever et coucher du Soleil, heure solaire etc. Il existe plusieurs types d'astrolabes en fonction de l'usage que l'on en veut faire. Les astrolabes arabes et persans donnent l'heure de la prière, la direction de La Mèque en différentes villes importantes de l'Islam.

L'exemplaire que je vous présente ici est un astrolabe plan, appelé : astrolabe quadrant de Profatius, il est en état de marche.

NOTA pour le lecteur qui n'était pas à l'exposé du 20 mai 1988 : Les instruments dont je parle ici, kamal, arbalestrille, astrolabe, nocturlabe, etc. ont été présentés au cours de l'exposé.

Une découverte intéressante de la fin du Moyen-Âge en occident, mais connue de longue date par les chinois, est la boussole.

puis aux Açores et enfin à New York. Il fait le tour en 24 heures, 360° en 24 heures, soit en une heure : $360 / 24 = 15^\circ$. En réduisant encore on obtient des précisions de l'ordre de la minute ou de la seconde d'arc. Il n'est pas difficile par le calcul de trouver à telle ou telle latitude la vitesse en kilomètres / heure du Soleil sur la Terre.

Moscou 15 heures, New York 7 heures, cela fait 8 heures de différence, avec un déplacement de 15° par heure, je trouve New York à $8 \text{ h} \times 15' = 120'$ à l'Ouest de Moscou.

De la même façon j'ai Paris à 45° à l'Ouest de Moscou, les Açores à 30° à l'Ouest de Paris etc. De proche en proche on peut trouver tout ce que l'on veut.

Le principe consiste à comparer l'heure locale déterminée par observation du Soleil avec l'heure d'un *méridien origine*. De nos jours le méridien origine est celui de *Greenwich* (Observatoire de Londres), et l'heure de Greenwich est appelée *Temps Universel* (TU).

Le point de départ des longitudes étant également Greenwich, la différence entre l'heure locale et celle de Greenwich me donnera avec précision ma longitude.

Par exemple, étant au milieu de l'Atlantique à midi local j'observe une hauteur de Soleil et je note au même instant l'heure de Greenwich (TU) ; de la façon ancestrale et simple évoquée plus haut, je calcule la latitude, mettons 18° Sud. En soustrayant 12 h 00 (midi local) de l'heure de Greenwich notée au moment de l'observation, par exemple 14 h 20, j'obtiens ma longitude :

$$14 \text{ h } 20 - 12 \text{ h } 00 = 2 \text{ h } 20 \text{ qui à } 15^\circ \text{ de l'heure font } 35^\circ \\ (2 \text{ h } 1/3 \times 15^\circ)$$

Ma longitude est 35° Ouest (Ouest car je suis en retard sur Greenwich, mais ceci est une autre histoire !)

Je puis donc me placer avec précision sur une carte du monde au point de coordonnées :

$$\text{Latitude} = 18^\circ \text{ Sud} \quad \text{Longitude} = 35^\circ \text{ Ouest} \\ \text{Au large des côtes du Brésil (fig.1)}$$

780 mètres d'altitude et de 50 kilomètres carrés de superficie (environ 7 km x 7 km). Il reste dix jours dans le secteur et détermine la position de l'île : 54° 1/2 Sud de latitude, mais longitude « dans le Sud de l'Afrique » car il n'a aucun moyen précis pour la déterminer.

C'est la Terre la plus isolée du monde qui est maintenant norvégienne sous le nom de *Bouvetoya*.

1774	Capt. FURNEAUX	HMS <i>Adventure</i>	ne trouve rien
1775	Capt James COOK	HMS <i>Resolution</i>	ne trouve rien
1808	Capt. LINSAY	Baleinier <i>Swan</i>	longe le 54° Sud depuis le 10° Ouest et la trouve par 4° 15' Est selon ses calculs
1822	Capt. MORRELL	Baleinier <i>Wasp</i>	la trouve par hasard
1825	Capt. NORRIS	Baleinier <i>Sprightly</i>	la voit 54° 15' S & 5° E
1843	Capt. ROSS	HMS <i>Erebus</i> et <i>Terror</i>	ne trouve rien
1845	Capt. MOORE	<i>Pagoda</i>	ne trouve rien
1878	Capt. WILLIAM		la voit
1882	Capt. CHURCH		la voit
1893	Capt. FULLER		la voit
1898		Navire allemand <i>Valdivia</i>	après de nombreux jours de recherche dans les zones indiquées par BOUVET, LINSAY, MORRELL et NORRIS la trouve par 54° 26' Sud et 3° 24' Est

Cette énumération fastidieuse pour vous montrer comment la détermination de la longitude était peu précise, mais celle de la latitude assez rigoureuse car Bouvet avait trouvé 54° 30' en 1739 et le Valdivia 54° 26' Sud, 159 ans plus tard.

Il n'est pourtant pas difficile de trouver la longitude d'un lieu !

Nous savons tous que lorsqu'il est midi à Paris, il est déjà 15 heures à Moscou, il n'est encore que 10 heures aux Açores et 7 heures à New York. Ceci est dû à la différence de longitude entre ces points, la Terre tournant sur elle-même et le Soleil se déplaçant d'Est en Ouest passera d'abord à Moscou, puis à Paris,

Replaçant cet instrument dans son contexte, il a permis au navigateur de suivre une route et de garder un cap en l'absence d'étoile et de Soleil. Il a connu du succès lorsque les peuples du Nord l'ont découvert. Dans la brume et dans la neige, de nuit comme de jour, la direction du Nord était conservée, et la simplicité de son utilisation en fit son succès. Pour aller de *A* à *B* il faut faire route au NNW pendant un jour et demi, et pour en revenir se diriger au SSE pendant le même temps.

Ce n'était pas toujours juste ni précis, mais on apprit vite à connaître les erreurs de la boussole (le compas, dans la marine) et à les corriger. On découvrit la déclinaison magnétique, avec ses variations dans l'espace et dans le temps, on découvrit les influences dues aux différents fers du bord selon le cap, la gîte, les changements de route (erreur Gaussin = rémanence des aimantations des fers durs du bord par le champ magnétique Terrestre).

Associé à un bon compteur de vitesse, le loch qui se perfectionnait de plus en plus, à une connaissance de plus en plus poussée des courants marins et des différentes dérives dues au vent, le compas fut, et est toujours, un bon appareil de navigation.

Les hommes découvrirent l'Amérique et de nombreuses Terres nouvelles grâce au compas associé à la connaissance de la latitude par les astres.

L'invention de la Lunette au début du XVII^e siècle, si elle permit à l'astronomie de faire un bon extraordinaire en avant, permit également d'améliorer les instruments de navigation (octant, puis sextant toujours en usage).

D'après tout ce que je viens de dire il semblerait que la navigation astronomique était au point au XVII^e siècle : documents précis, instruments précis, technique éprouvée. Il n'en est rien, car le plus important problème subsistait, celui de la longitude.

Ce problème vaudrait un exposé à lui tout seul, je vais tenter de le résumer.

Le problème de la longitude

Ce problème, résolu de nos jours a été un vrai casse-tête pour les astronomes et les navigateurs des siècles qui nous ont précédés.

Le principe de la détermination de la longitude est simple, mais sa réalisation est liée à des problèmes techniques qui n'ont été résolus que dernièrement (xix^e siècle).

Nous avons vu que la latitude s'obtenait aisément depuis l'antiquité par l'observation de la Polaire ou du passage d'un astre (étoile, planète ou Soleil) au méridien. Le calcul est simple, le résultat fiable, et toutes les Terres connues et découvertes depuis les temps les plus anciens ont toujours été bien situées en latitude sur les cartes de géographie de toutes les époques.

Au simple examen d'un portulan ou d'une carte ancienne, on s'aperçoit de l'exagération des distances dans le sens Est/Ouest. Une simple carte de Bretagne parait étirée de l'Est à l'Ouest et le pays semble bien plus long qu'il n'est en réalité (une réalité que nous connaissons maintenant, mais que nos anciens devaient estimer), inversement, dans d'autres cas, le pays parait écrasé entre Est et Ouest mais rarement nous retrouvons « l'allure » que nous lui connaissons actuellement.

La raison de ce phénomène est l'impossibilité de déterminer d'une façon rigoureuse les longitudes.

Un point étant déterminé sur un plan par deux coordonnées, ici sur Terre par la latitude et la longitude, si l'une n'est pas précise, le point ne sera pas précis.

Les marins ont découvert des Terres nouvelles, des îles inconnues et ont tenté de les placer sur la carte du monde. Si la latitude collait à tous les coups, la longitude était fausse dans tous les cas.

Je vais conter brièvement l'histoire de l'île Bouvet située à 2500 kilomètres dans le Sud de l'Afrique, elle est caractéristique.

« Le 1^{er} Janvier 1739, Monsieur BOUVET DE LOZIER, officier de la Marine Royale de France, croisant dans les mers du Sud avec deux navires, l'*Aigle* et la *Marie*, découvrit une île inconnue, de

