

DE LA NECESSITE DU CHRONOMETRE EN MER

Conférence donnée à l'Espace Horloger du Sentier à la Vallée de Joux le 18 janvier 2013, à l'occasion de l'inauguration de l'arrivée d'un chronomètre de marine faisant depuis partie des pièces de ce musée

P.-A. Reymond

Table des matières

La notion de temps

La notion du Milliard

La Terre

L'homme

Le gnomon

L'heure et son évolution

Les calendriers

Les éphémérides

Le moyen âge

La navigation

- Les cartes
- La notion de méridien d'origine
- L'image du ciel
- Détermination de la méridienne
- Détermination de la longitude

L'état des connaissances au 18^e siècle

Les deux solutions principales pour résoudre le problème de la longitude

- Les méthodes de distances lunaires
- Le garde-temps

Bibliographie

Notion de temps

Chronos était le dieu du temps, mais qu'est-ce que le temps ? Sans entrer dans des notions philosophiques, il semble évident que le temps est une notion totalement liée à l'homme.

Pour Aristote, le temps est le nombre du mouvement, selon l'antérieur et le postérieur. Une notion de la chronologie, selon le vocabulaire d'aujourd'hui.

Pour d'autres, le temps est un éternel recommencement cyclique et répétitif : passé, présent, futur, nouvelle lune, pleine lune, printemps, été, automne et hiver par exemple. Une notion de cycles, de rythme, de cadence ou de fréquence.

Pour Pierre Corneille « le temps est un trésor plus grand qu'on ne peut croire ».

Pour Newton, c'est un flux continu, une analogie avec le mouvement.

Pour Einstein, le temps est relatif et sa théorie de la relativité nous dit aussi que les notions de temps et d'espace sont inséparables.

Le temps est ainsi un concept développé par l'être humain pour appréhender le changement dans le moment.

On voit que la notion du temps a pour corollaire la notion du mouvement, lequel se fait dans la durée. Par ailleurs, le temps n'a plus de sens quand l'idée de mouvement disparaît, car le temps suppose la variation.

Enfin, le temps implique la présence de matière. Dans un vide absolu, il n'y a ni mouvement ni variation et la notion du temps semble ainsi absente. Mais le vide absolu existe-t-il ?

Et puis, il est difficile de ne pas penser à ce magnifique mot prononcé par un habitant d'un de ces pays équatoriaux et qui disait à un voyageur européen :
Vous avez l'heure avec vos montres, mais nous, nous avons le temps !

Notion du Milliard

Difficilement appréhensible pour beaucoup d'entre nous, la notion du milliard peut s'illustrer par un exemple consistant à se demander combien de milliards de secondes chacun de nous a vécu.

Un milliard de secondes, représentent 31.7 années. En pièces de 1/2 €, empilées et d'un millimètre d'épais, cela représente des rondelles de saucisson serrées sur 2000 kilomètres. Une vie entière avec un salaire mensuel de 1.5 million serait juste suffisante pour faire de nous un milliardaire. Le Big Bang a eu lieu il y a environ 15 milliards d'années. Je vous laisse faire le calcul en secondes...

La Terre

Cette dernière, selon les scientifiques d'aujourd'hui, daterait de 4.6 milliards d'années ou 4600 millions d'années si l'on préfère. Pour mieux appréhender la dimension, on peut proposer de réduire cette valeur à une de nos années actuelles de 365 jours.

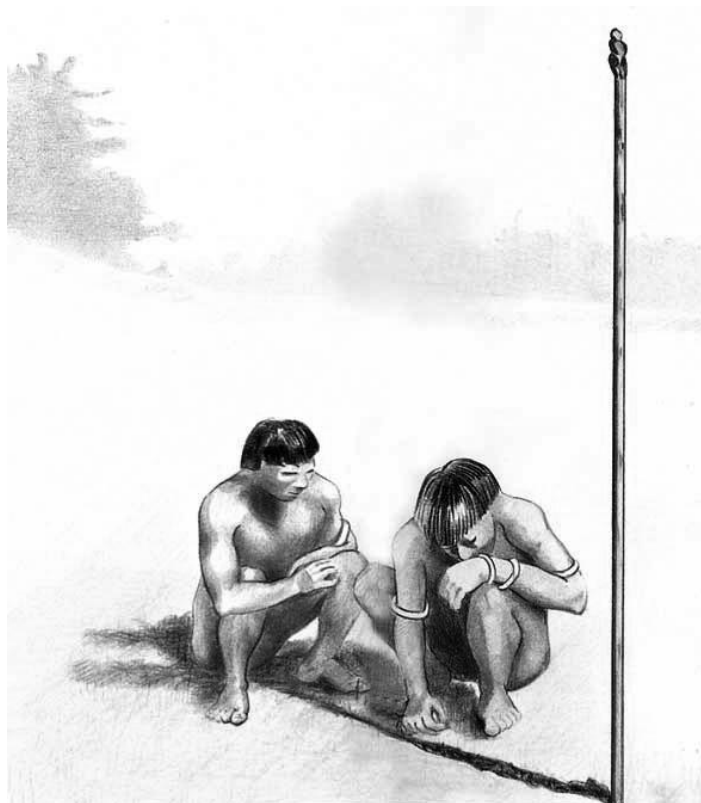
La Terre est donc née il y a un an, un premier janvier. Il nous faut attendre que passe l'hiver, tout le printemps, tout l'été, l'automne entier et les tous premiers jours de l'hiver suivant pour qu'apparaissent, le 26 décembre, les premiers bipèdes et ce n'est qu'hier, dernier jour de l'année, que ces primates ont adopté la position verticale.

L'homme

Ainsi, il y a quelque 4.6 millions d'années le singe s'est levé sur ses pattes arrière et il faudra attendre encore 4 millions d'années pour qu'arrive l'Homo Sapiens, soit il y a 22 minutes à l'échelle que nous avons choisie.

Il y a environ 500'000 ans, ou 57 minutes, a eu lieu la maîtrise du feu.

Le Cro-Magnon, dont nous descendons, a planté il y a quelques minutes à peine sa lance dans le sol devant sa caverne et a observé petit à petit divers phénomènes:



L'intrigue de l'ombre du gnomon

- le jour et la nuit, le jour la chasse, la nuit la cro mignonne
- le lever, le midi, le coucher, la notion de méridienne et de culmination du soleil
- les saisons, les périodes de récoltes de fruits, le retour du printemps, etc.
- les cycles de l'année, la division en ce que nous appelons aujourd'hui le mois solaire

Il observe aussi d'autres cycles :

- la Lune avec ses périodes de
 - 27 jours, 07 heures, 43 minutes et 12 secondes, soit la période sidérale de rotation autour de la Terre passant par toutes les constellations
 - 29 jours, 12 heures, 44 minutes et 03 secondes, soit la période synodique, phases Pleine Lune à la Pleine Lune suivante
- les marées qui sont liées aux mouvements de la Lune,
 - l'âge de la marée, soit le retard entre syzygie et la vive eau
 - l'établissement, soit le retard spécifique de la pleine mer de vive eau à un port par rapport au passage de la Lune sur le méridien local (environ 36h en Bretagne).

L'homme des cavernes aurait même remarqué la précession des équinoxes, soit une période de 23'000 ans !

La transmission du savoir se fait par voie orale, chants et jeux des initiés, comme cela se pratiquait à l'île de Pâques encore au siècle dernier. Des chants rythmés avec des cailloux et des ficelles entre les doigts pour dessiner des figures sont une manière de mémoriser des phrases.

On ne sait pas avec exactitude quand est apparu le langage chez l'humain, mais on sait que cette évolution de la nature est en relation étroite avec deux nécessités :

- Celle de disposer des organes adéquats, en particulier un système vocal approprié et un cerveau assez développé.
- La nécessité absolue de disposer d'une capacité de pensée symbolique.

Pour parler, on a besoin de bouger la musculature du visage, de mouvoir la langue, d'actionner les cordes vocales, mais aussi de distinguer et émettre des sons, de construire des significations, ainsi que d'un développement de la mémoire permettant d'associer et de mettre les choses en relation.

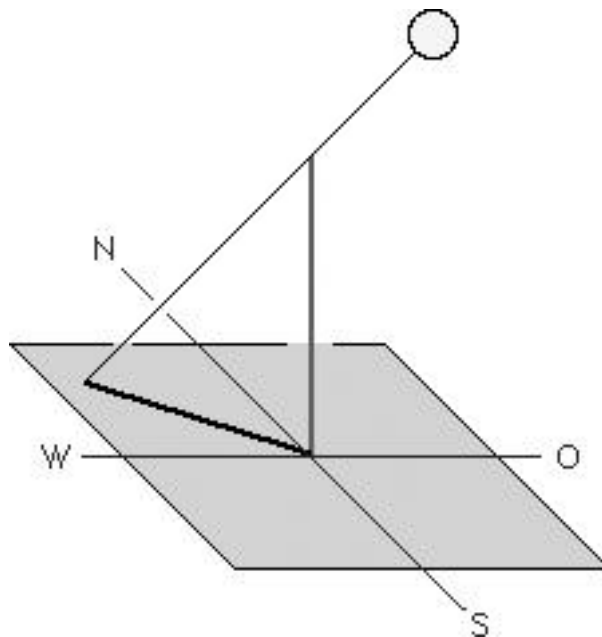
Chez la plupart des humains ce sont des zones cérébrales de l'hémisphère gauche du cerveau qui sont utilisées pour parler.

La communication existe dès que le comportement des autres êtres vivants se modifie par le comportement d'un autre. La communication entre espèces vivantes se retrouve très tôt, déjà parmi les organismes unicellulaires. Les communications les plus essentielles sont celles des choses simples comme la fertilité, la peur ou la territorialité.

Le gnomon

Il s'agit d'un simple bâton planté en terre, un instrument primitif qui permet d'observer son ombre projetée sur le sol. Le mot qui vient du grec signifie « l'indicateur ». Les obélisques sont souvent des gnomons.

- Le gnomon permet de mesurer la latitude. Pour ce faire, il suffit de mesurer le rapport entre la dimension de l'objet et celle de son ombre un jour de solstice. Par exemple, Vitruve nous indique que Rome se trouve à une latitude correspondant à 8/9 de rapport d'ombre, soit $41^{\circ} 38'$.
- Le bâton peut aussi indiquer le jour de l'année, ou les saisons.
- Il nous indique également la notion de méridienne.
- Ce même gnomon engendre la notion d'axe nord-sud, soit celle du méridien.
- Enfin, le gnomon peut nous indiquer l'heure, tout comme le polos ou scaphé, deux évolutions de ce bâton basique.



Principe de l'ombre du gnomon

L'heure et son évolution

Il est encore d'usage dans certaines tribus d'indiquer l'heure d'un rendez-vous en élevant le bras à la hauteur souhaitée du soleil.

Cependant, la subdivision de la journée est une notion que l'on retrouve chez les Chaldéens déjà. On est guidé par le Soleil et les heures prennent diverses formes :

- La division par douze ou par dix :

Il y a plus de 7000 ans, les Sumériens comptaient non pas sur les doigts de la main, mais sur les douze phalanges des doigts opposés au pouce, signe particulier de l'être humain. Cette approche a été gardée pendant longtemps et par de nombreux pays, ceci dans des domaines variés, tels les signes du zodiaque, les pouces des pieds anglais et leurs shillings, la gamme musicale chinoise, les mois, etc.

C'est aux Egyptiens qu'on doit la division par dix de leurs mois, alors de 30 jours : trois décades de dix jours, correspondant chaque fois à une étoile qui marquait la dernière heure de la nuit.

- Heures d'obscurité :

Cette durée variable du jour, donc de la nuit, fait qu'il n'y a au plus que 12 étoiles de décan dont on peut observer l'apparition au cours d'une même nuit. Nous avons là l'origine de cette division par 12 de la nuit, et par conséquence celle du jour.

- Heures de lumière :

Le jour est divisé en 12 heures par ces mêmes Egyptiens, des heures qui n'avaient donc pas la même durée tout au long de l'année.

- Heures babyloniennes :

On appelle ainsi les heures comptées depuis le lever du soleil (du côté de Babylone). En latin « Horae ab ortu ».

- Heures italiques :

Ce sont les heures comptées à partir du coucher du soleil (du côté de l'Italie). En latin « Horae ab ocasu ».

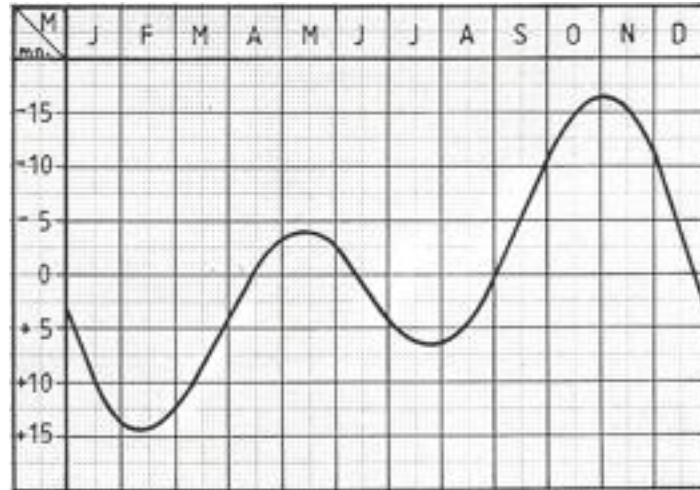
Toutes ces heures solaires sont liées au lieu, donc à la longitude.

- L'heure locale :

L'heure solaire n'est pas la même à Rome ou à Paris: le Soleil ne passe pas au méridien de ces deux localités en même temps, car elles ne se situent pas

à la même longitude. L'heure solaire est en avance à Rome, qui se situe plus à l'est que Paris.

A remarquer aussi que l'heure solaire varie au cours de l'année, selon la position de la Terre sur son orbite elliptique. C'est l'équation du temps.



Equation du Temps

Nous voyons donc qu'au début, il n'y a aucune nécessité d'une heure commune ou de référence. Chaque lieu a son heure et tout le monde est en mesure de prendre son apéro à la sixième heure babylonienne par exemple, mais, sur nos montres actuelles, on sera plus vite servi à Rome que ces messieurs de Paris.

- L'heure dite civile :

Des nouveautés et le côté pratique nous ont amené à chercher la solution d'une heure similaire pour une région concernée. On l'appelle l'heure civile. L'unification de l'heure est en fait venue par les chemins de fer, au XIXe siècle.

L'heure civile est destinée à permettre aux gens d'une même région d'avoir un midi légal qui ne soit pas trop éloigné du midi solaire. En 1858, mais pas avant, Filopanti Quirico, un Italien de Rome propose l'idée. Elle ne sera cependant adoptée qu'en 1876, sous l'égide du Britannique Danford Fleming.

Adieu donc aux seuls cadrans solaires qui se faisaient le plaisir de nous rappeler de sages conseils dont on retiendra volontiers le spécimen qui dit :

Le temps passe
Passe-le bien

Les calendriers

Il est difficile de parler des heures sans dériver sur les calendriers. Le rythme des jours et des saisons fait partie du rythme de la vie des humains. On peut même débiter sur ce sujet avec un sourire et constater que la période de gestation d'un humain s'apprécie pour certains de 10 lunaisons, pour d'autres de 9 mois solaires. L'un comme l'autre représentent pratiquement 274 jours, blanc bonnet et bonnet blanc.

On ne va pas entrer dans le détail, mais juste survoler les points qui semblent le plus toucher l'approche de notre calendrier.

Les Chaldéens se basaient sur la Lune et les jours débutaient au lever du Soleil, se divisant en heures égales.

Les Egyptiens ont des calendriers depuis plus de 10'000 ans. Diverses formes ont été utilisées dont le calendrier vague d'exactly 365.25 jours comme l'année julienne.

Le calendrier grec était lunaire de 354 jours au début, ce qui impliquait des corrections fréquentes. La journée commençait au coucher du Soleil chez les Grecs. Pour la marquer, ils utilisaient le cadran solaire et plus tard la clepsydre comme horloge.

Impossible de ne pas citer ici Méton qui introduisit la notion d'un cycle de 19 années, représentant les 239 lunaisons nécessaires pour retomber sur une même image Terre-Lune-Soleil. On y reviendra.

En ce qui concerne les Romains, le jour commençait aussi au coucher du Soleil. Les Romains utilisent aussi la clepsydre comme garde-temps de même que les horloges à sable. Pour cette civilisation, la durée de l'année va augmentant, passant de 304 jours à 355 jours, ce qui nécessitait des mois intercalaires. Rien ne va plus et Jules César en 45 av. JC impose l'année tropique qui représente 365.25 jours. Il introduit aussi la date du 25 mars comme étant celle de l'équinoxe de printemps, ainsi que le début de l'année au 1^{er} janvier, sans oublier l'année bissextile.

L'origine de ce mot « bissextile » est assez souriante. Les Romains ne comptaient pas les jours comme nous, mais ils indiquaient les jours manquant pour arriver au mois suivant. C'est un peu comme de dire midi moins une au lieu de 11h59. Quand il s'est agi d'introduire un jour supplémentaire, il a été mis entre le 6^e et le 7^e avant de passer aux calendes de mars, le début de l'année romaine. Par simple superstition et pour ne pas parler d'un huitième jour à la semaine, on l'a appelé le deuxième sixième, bis-sextus qui est devenu en vieux français bissestre ou besistre.

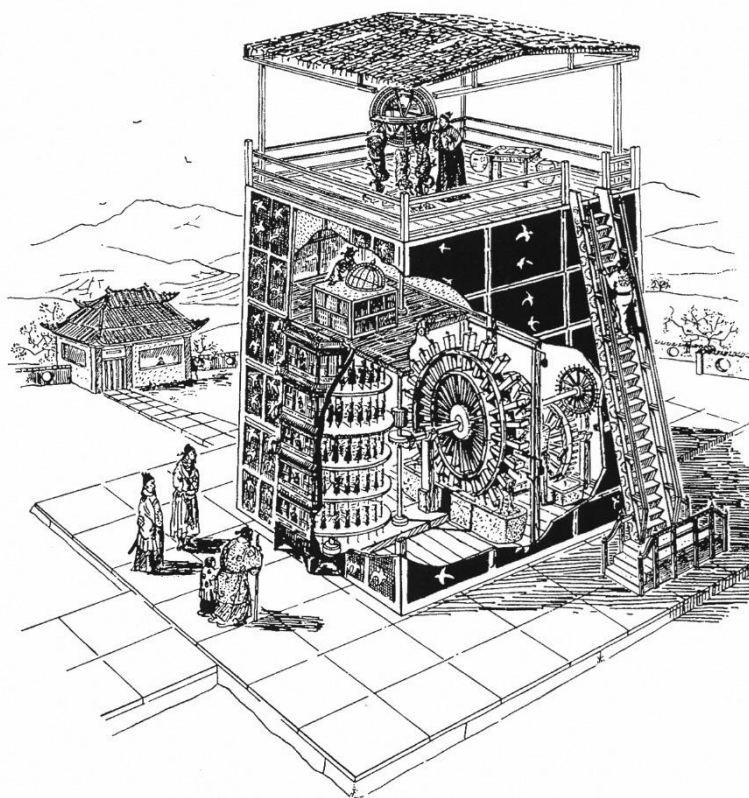
Le calendrier grégorien, notre calendrier, a été introduit par le pape Grégoire XIII en 1582 (soit près de cent ans après Colomb), après avoir constaté que l'équinoxe de printemps ne venait plus à sa place avec le calendrier de Jules César. Une nécessité que l'on peut considérer comme religieuse, pour fixer la fête de Pâques.

Les Hébreux avaient un calendrier très proche de celui des Chaldéens.

Quand au calendrier juif actuel, il est de la pure essence du cycle Méton, avec des années de 13 mois, sur une base lunaire.

Les musulmans utilisent un calendrier exclusivement lunaire avec 12 mois de 29 et 30 jours alternativement. On relève que 34 années musulmanes valent 33 de nos années.

Les Chinois semblent avoir calculé de leur côté avec beaucoup d'exactitude la durée d'une année, mais un empereur fit brûler tous les livres de science en l'an 213 de notre ère. Il est par contre certain qu'ils utilisaient un calendrier lunaire avec des mois de 29 et 30 jours respectivement, mais on parle aussi d'un cycle de 19 années qui, comme le proposait Méton, va en accord avec le fameux nombre d'or utilisé longtemps encore en Europe, reflétant le nombre d'années nécessaire à retrouver une même position Terre-Lune-Soleil.



Clepsydre Song

Pour mesurer le temps qui s'écoule, les Chinois disposaient aussi de clepsydres, telle l'horloge astronomique (X^e siècle) imagée ci-dessus.

Pour cette civilisation, le pôle céleste était le lien entre les hommes et les dieux. Il était donc très important de pouvoir le situer. Dans ce dessin, on utilisait un instrument appelé Pi. Ledit instrument existe encore de nos jours, mais sous forme de bijou.

Ephémérides

On voit que l'homme a petit à petit découvert pratiquement tout pour un méridien précis. Depuis la Grèce antique et sans attendre Galilée, certains savent que la terre est ronde. On connaît même son diamètre et on trouve des méthodes pour calculer la distance à la Lune et au Soleil. L'évolution des instruments et de la technologie permet d'aller de plus en plus loin dans la précision.

On arrive à comprendre les rythmes des astres et à prédire des évènements simples (heure du coucher) comme des évènements plus complexes (éclipse de Lune).

On appelle éphémérides les tables de prédiction des évènements célestes. Aujourd'hui on peut acheter facilement de tels documents, pour divers types d'usage. Ce qui nous intéresse dans le cadre de cette approche, ce sont les tables destinées aux navigateurs.

Parte.
Tabla del verdadero.

Abc. les.	Enero.		Febrero.		Março.		Abril.		Mayo.		Junio.	
Sig. noz.	Capricor.		Aquarius		Piscis.		Aries.		Taurus.		Gemini.	
N. D.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	20	22	21	53	20	55	21	24	20	21	19	55
2	21	24	22	54	21	55	22	22	21	18	20	52
3	22	25	23	54	22	54	23	21	22	16	21	49
4	23	26	24	55	23	54	24	19	23	13	22	46
5	24	27	25	55	24	53	25	17	24	11	23	43
6	25	28	26	56	25	53	26	16	25	8	24	40
7	26	30	27	56	26	52	27	14	26	6	25	37
8	27	31	28	56	27	52	28	12	27	5	26	34
9	28	32	29	57	28	51	29	10	28	0	27	31
10	29	33	0	57	29	50	0	8	28	58	28	28
11	0	35	1	57	0	49	1	6	29	55	29	25
12	1	36	2	58	1	48	2	4	0	52	0	22
13	2	37	3	58	2	47	3	2	1	50	1	19
14	3	38	4	58	3	46	4	0	2	47	2	16
15	4	39	5	58	4	45	4	58	3	44	3	13
16	5	40	6	58	5	44	5	56	4	41	4	10
17	6	41	7	58	6	43	6	54	5	38	5	7
18	7	42	8	58	7	42	7	52	6	36	6	4
19	8	43	9	58	8	41	8	49	7	33	7	1
20	9	44	10	58	9	39	9	47	8	30	7	58
21	10	45	11	58	10	38	10	45	9	27	8	55
22	11	46	12	58	11	37	11	43	10	24	9	52
23	12	47	13	57	12	36	12	40	11	21	10	49
24	13	48	14	57	13	34	13	38	12	18	11	46
25	14	48	15	57	14	33	14	36	13	15	12	43
26	15	49	16	56	15	32	15	33	14	12	13	40
27	16	50	17	56	16	30	16	31	15	10	14	37
28	17	51	18	56	17	29	17	28	16	7	15	34
29	18	51	19	56	18	28	18	26	17	4	16	31
30	19	52			19	27	19	25	18	1	17	29
31	20	52			20	25			18	58		

Ephémérides de Martin Cortés, 1551

Des éphémérides nautiques sont établies très tôt dans l'histoire de l'homme et sont d'une précision redoutable, au vu des instruments et de la technologie existants de l'époque.

Il serait bon de mentionner ici une découverte faite dans une épave retrouvée au début du 20^e siècle en Grèce, près de l'île d'Anticythère, non loin de la Crète.

Il s'agit d'un instrument extraordinaire et très complexe qui permet de visualiser tout le système solaire ainsi que le ciel. Il est composé de plus de 80 pièces, dont une trentaine d'engrenages et de roues dentées. Cette mécanique a été entièrement reconstruite sur la base du modèle retrouvé dans l'épave.

Par ailleurs, l'entreprise horlogère Hublot l'a miniaturisée en en faisant un bijou extraordinaire. Un magnifique témoignage d'admiration, à l'honneur des scientifiques grecs de l'époque.

Comme l'ont dit ceux qui ont reconstruit le cosmographe d'Anticythère, il s'agit d'une véritable machine à décrire le cosmos, un mécanisme de très haute précision, pouvant indiquer de multiples cycles astronomiques et servant ainsi d'éphémérides.

En particulier, on y retrouve le fameux cycle métonique (du nom de l'astronome athénien Méton, 5^e av. JC) déjà mentionné précédemment: il s'agit donc de la période nécessaire à ce que la Lune se retrouve exactement dans les mêmes conditions astrales par rapport à la Terre et au Soleil, soit un cycle de près 19 ans, plus exactement 235 lunaisons (soit 6939.69 jours). Un chiffre qu'on a parfois aussi appelé le nombre d'or qui semblait être « l'unité » cyclique de la Lune. L'année vaut $365 \frac{5}{19}$ jours, ce qui est presque parfait. Nous sommes en 433 av JC, au siècle de Périclès.

On a aussi le cycle callipique (du nom d'un autre l'astronome grec, Callipe) : il compte 76 ans, soit 940 lunaisons ou quatre cycles métoniques, corrigeant ces derniers de leurs petites imprécisions.

Plus connus, on compte également le cycle de Saros (223 lunaisons sur un peu plus de 18 ans), ainsi que le cycle Exeligmos, équivalent à trois cycles de Saros, soit 54 ans, une valeur qui servait notamment à prédire les éclipses.

Et pendant ce temps, notre bonne vieille Terre ralentit sa période de rotation et fausse encore une fois tous ces cycles, une autre affaire.

Pour revenir au mécanisme d'Anticythère, ne perdons pas de vue que tout cela a été pensé et réalisé il y a quelque 2000 ans, sans les machines-outils d'aujourd'hui. On voit la somme de connaissances qu'il y avait à cette époque qui est celle d'Archimède, le fameux scientifique de Syracuse (287 à 212 av. J.C.).

Les autres civilisations ne sont pas en retard du reste, tant en Chine qu'en Amérique : il y a par exemple le fameux calendrier Aztèque appelé « Piedra del Sol » par les conquistadores.

Aujourd'hui, les ordinateurs nous permettent d'obtenir des données extraordinairement fiables, ce qui ne peut que donner plus de force aux éléments établis il y a de nombreux siècles par diverses civilisations avec des moyens très primitifs.

Le Moyen Âge

La chute de l'empire de Rome suite aux invasions barbares, la séparation entre l'orient et l'occident vont fortement ralentir l'avancement des sciences. Ainsi, durant cette sombre période du moyen âge occidental, les connaissances se perdent et la cartographie recule sensiblement. Par exemple, la carte de Denys d'Alexandrie (2^e siècle) indiquait la Caspienne et le Pont-Euxin, mais les documents du 14^e siècle ne mentionnent plus la Mer Noire, comme on peut le voir sur la carte Hyggeden.

A relever au passage que, selon les règles de l'époque, le nord se situe sur le bord gauche du document, le haut étant réservé à l'est, la direction du paradis, une influence manifestement religieuse.

Par contre, fort heureusement pour la science, l'Empire de Constantinople puis de Byzance conserve les acquis. Par la suite les savants arabes développent ces connaissances, en particulier celles de Ptolémée ainsi que de ses contemporains. Les mêmes Maures traduisent aussi les livres et autres documents pour leur propre compte. C'est donc grâce aux Arabes que toutes ces connaissances de l'époque seront conservées et approfondies.

L'Espagne faisait partie de l'immense Califat de Damas qui s'étendait donc jusqu'à El Andalous. Puis il y a eu la sécession et la création du Califat de Cordoue, mais le savoir et les connaissances étaient toujours présents.

En résumé, toutes ces sciences seront ainsi retrouvées en Occident à partir du 15^e siècle, principalement par l'Espagne, terre creuset de trois cultures (arabe, chrétienne et juive).

A relever aussi que le recul des sciences en Occident a aussi été fortement marqué par la mainmise de l'église qui a été un frein considérable au développement des connaissances durant bien des siècles.

La navigation

La navigation et le transport aquatique sont une activité humaine qui se perd dans la nuit des temps. L'homme ne se limite pas aux eaux côtières, mais s'élance assez rapidement à travers les mers. Les Phéniciens sont parmi les premiers qui se rendaient de Tyr aux colonnes d'Hercule. Pratiquement toutes les civilisations méditerranéennes ont appris à naviguer et à construire des bateaux sur la base de la science des Phéniciens.

Ces mêmes navigateurs se transmettent des instructions nautiques, aide précieuse pour les voyages entrepris. On les nomme en grec « Periplos », dont nous avons hérité le mot « périple ». Le périple le plus connu serait celui de Scylax de Caryanda, un navigateur grec qui aurait exploré également l'océan indien à la demande des Perses. Le périple en question date de 520 av. J.C. et décrit toute la Méditerranée, suivant les côtes dans le sens des aiguilles de la montre, depuis Gibraltar jusqu'à la Mer Noire, continuant sur la côte nord africaine, pour se terminer

à la hauteur de la Maurétanie, sur la face atlantique. Pour certains, la fameuse "odyssée" d'Ulysse serait aussi un périple.

Les Polynésiens, Australiens et autres navigateurs du Pacifique pratiquent les mers et océans depuis très longtemps aussi, puisque ces îles et continents n'ont pu être peuplés qu'en bateau et ce il y a 40'000 ans selon les scientifiques les plus renommés.

On se doit aussi de rappeler que les Vikings avaient inventé des méthodes de navigation utilisées avec succès sur leurs drakkars : en particulier, on pensera ici au compas solaire qui leur permettait de situer le Nord ainsi que le cap de leurs drakkars lorsqu'ils naviguaient avec le soleil.

Mais les Vikings disposent aussi de la pierre magique qui leur permettait de retrouver le Nord par brume ou absence de visibilité du soleil... Une forme de polarisation de la lumière. Effectivement, selon la légende, quand les Vikings naviguaient sans soleil, ils utilisaient pour les diriger "la pierre de soleil", qui leur permettait de connaître la position du soleil dissimulé derrière les nuages. Ceci grâce à la particularité de cette Héliotite, commune en Scandinavie, mais on parle aussi du « Sparth islandais ». Cette roche (la calcite transparente) polarise la lumière. Ainsi, lorsqu'on la fait tourner sur elle-même, elle montre une variation de l'intensité lumineuse jusqu'à un maximum, indiquant de ce fait la position du soleil, un peu comme un goniomètre radio.

Au début, le navigateur de Méditerranée suit les côtes. Puis il prend de l'initiative et effectue des traversées hors de vue des terres. Prudent, il ne se déplace que lorsque le vent est favorable. Les bateaux de l'époque ne permettent pas de remonter contre le vent. Pour se situer, il utilise principalement des instruments simples : le loch pour mesurer la distance et la vitesse, la sonde pour mesurer la profondeur, les étoiles pour se guider au cours de la nuit et le soleil pendant le jour.

C'est ce que l'on appelle la navigation à l'estime et elle n'est pas toujours aisée, car de nombreux facteurs impalpables viennent troubler les certitudes du navigateur. Les courants, la dérive, l'imprécision des instruments etc., tout ceci rend délicate l'appréciation de la route effectivement suivie.

On apprend à naviguer hors de vue des côtes à latitude constante, ce qui autorise des voyages de plusieurs jours en mer avant de retrouver terre. On navigue aussi sur des routes fictives connues sous le nom de « rumbs », soit les vents de la rose, car, comme déjà relevé, on navigue généralement vent portant avec les voiliers de l'époque. Mais les cartes et les instructions nautiques ne sont pas toujours précises ni exactes sur le plan des longitudes. Les distances sont difficiles à apprécier ou à mesurer.

La navigation à latitude constante s'utilisera longtemps et on est souvent émerveillé de voir que les galions des conquistadores retrouvaient leurs ports avec une facilité déconcertante, tel Colomb, pour prendre un exemple bien connu. Si on est dérouté pendant quelques jours par des vents peu favorables, il suffit de reprendre sa latitude, facilement mesurable, et de continuer plein est ou plein ouest. On arrive ainsi forcément à bon port.

La technologie avance avec les connaissances et avec le développement de la science. On développera bientôt le compas magnétique venu de si loin dans le temps et que dans les sources on nomme « Pœi-wen-yun », l'indicateur du Sud. Effectivement, pour les Chinois, c'était l'indication du sud qui était importante. Mais l'aiguille n'indique que le nord magnétique, lequel ne se situe pas au pôle terrestre et change au cours des ans. Cette différence, appelée la déclinaison magnétique, ne sera bien connue et quantifiée que beaucoup plus tard.

Lorsque les navigateurs sont sortis de la Méditerranée, il n'y a point eu de gros problèmes pour naviguer le long des côtes, jusqu'au nord de l'Europe, ni vers le sud, même si la houle de l'Atlantique les a surpris par sa force et son ampleur qui n'a rien à voir avec ce que l'on trouve sur le Mare Nostrum. Par contre, les rumbes ne sont pas connus pour ces régions généralement non cartographiées. Rappelons que les distances sont difficilement appréciées. Les courants de marée ne facilitent pas la chose.

Une fois arrivés sur une nouvelle terre comme une île, les navigateurs peuvent par contre aisément en quantifier la latitude avec une exactitude largement suffisante. Mais la longitude reste estimée, faute de moyen de pouvoir la relever ou la calculer. Le problème tardera longtemps à trouver une solution.

Les cartes

Les cartes se développent, parfois maladroites au début, puis de plus en plus précises et ressemblant à ce que nous connaissons aujourd'hui. A relever cependant que déjà du temps d'Erastothène, au III^e av. J.C., on utilisait un système de coordonnées sous forme de grille.

Claude Ptolémée, qui vivait au II^e siècle après J.C. (100 – 180), a largement contribué au développement des cartes terrestres, mais également nautiques.



Carte basée sur les données de Claude Ptolémée

En plus de toutes les cartes que nous lui connaissons, Ptolémée a cherché à représenter non pas une mappemonde, mais une image des régions habitées, soit l'écoumène (ou terres anthropisées). La zone couverte s'étend sur environ 80 degrés de haut et quelque 180 degrés de large. La carte est ainsi plus petite en latitude qu'en longitude. On a ici l'origine de deux mots : longitude (longueur) et latitude (largeur).

Il est évident que la conception d'une carte implique l'idée de la projection. Il y a ici aussi une évolution très intéressante et des Anciens tel Claude Ptolémée utilisaient des règles fort intéressantes qui ne seront définitivement améliorées que par les travaux de Gerhard Kramer en 1569. Ce cartographe flamand est plus connu sous le nom de Mercator et sa technique est toujours utilisée actuellement, principalement en marine.

On doit encore une fois à Ptolémée l'utilisation d'un méridien d'origine. Il aurait choisi celui qui passe aux îles Fortunées (ou îles des Bienheureux), qui sont les îles du Cap-Vert pour les uns ou les Canaries pour d'autres. A relever que plus tard il y aura des cartes où le méridien d'origine était celui qui passe par l'île de Hierro, l'île de Fer (Canaries).

De l'autre côté de la carte, vers l'Est, on retrouve des terres s'étendant jusqu'en Chine actuelle, merci à Alexandre le Grand et Marco Polo.

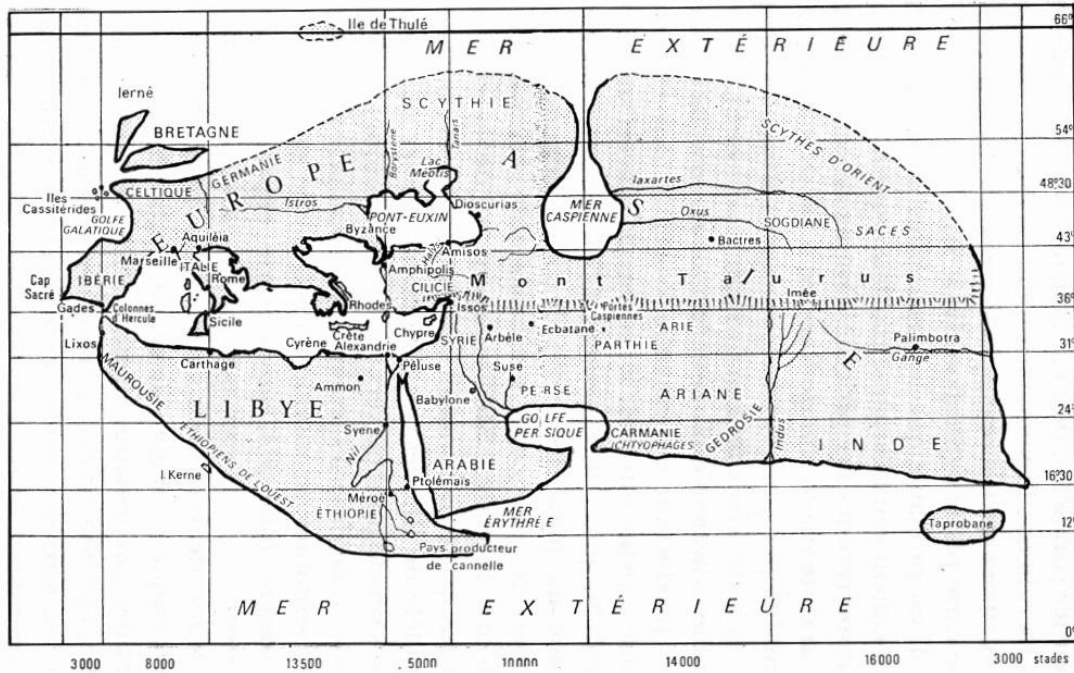
C'étaient les limites du monde connu à l'époque... tout en sachant et en affirmant que la terre était ronde. Tout autour de cet écoumène dans lequel vit la civilisation humaine connue dans nos régions, il y a un immense océan. Les civilisations méditerranéennes ignoraient l'existence des autres continents, tels l'Amérique et l'Océanie, pourtant déjà habités.

L'équateur s'impose comme base de mesures de latitude à quasi toutes les cultures. Effectivement, on constate que cette ligne est un arc de grand cercle qui sépare la surface du globe terrestre en deux hémisphères. C'est donc le soleil qui nous dicte l'emploi de l'équateur comme base des latitudes.

Pour la longitude, chaque civilisation utilise par contre un méridien d'origine qui lui est propre : Rhodes, les Iles Fortunées, bref là où il y a un observatoire.

Mais revenons à la carte d'Erastothène. La limite septentrionale du monde habité est celle de l'île de Thulé (63° N, peut-être l'Islande), partant du principe que plus au nord, il ne pouvait plus y avoir de vie. La limite sud nous est fixée par l'anti-Méroé, un parallèle situé à environ 17° au Sud de l'équateur.

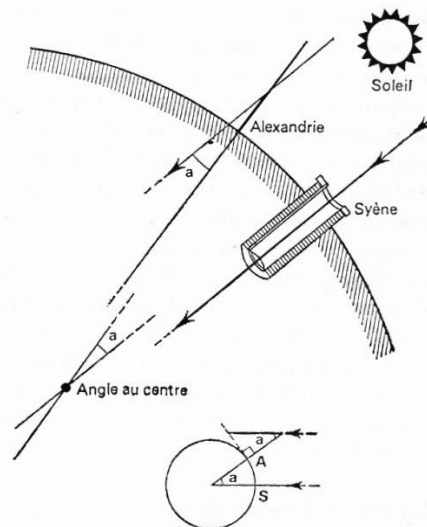
Méroé était un royaume au sud d'Alexandrie, par une latitude de quelques 17 ° au Nord de l'équateur, actuellement au Soudan, un peu au Nord de la capitale, Khartoum. Des pyramides admirables y subsistent.



Carte d'Eratosthène

Remarquons les données de longitude qui sont données en stades, au niveau de la latitude de Rhodes (36° N). En longitude, le monde habité représentait quelques 180 de nos degrés, une mesure qui s'exprimait en stades, soit en distance et non en mesure angulaire : un stade romain = 185.25 m ou 625 pieds, soit 125 pas. On notera avec intérêt qu'un mille nautique, soit une minute d'arc de grand cercle représente 1852.5 m, soit 10 stades). Un stade représente donc pratiquement une encablure actuelle (1/10 de mille).

Entre Alexandria et Méroé il y avait Syène (non loin d'Assouan, soit pratiquement sous le tropique du cancer) et son puits qui a permis de mesurer le diamètre de la terre.



Principe de la mesure du diamètre de la Terre

Au cours des siècles, la latitude s'exprimera d'abord en ombres de gnomon, puis en portion de cercle (1/8, 1/24, etc.) et enfin en degrés.

Il en est de même avec la longitude qui s'exprime petit à petit aussi en degrés. On a appris à transformer ces degrés en distance et vice versa.

On sait que la distance en lieues (ou km, ou autres) entre deux méridiens va en diminuant de l'équateur vers le pôle. On sait faire le calcul, en fait une simple fonction trigonométrique, le cosinus.

Il y a cependant un manque physique de pouvoir mesurer ces écarts de distance ou ces écarts angulaires en longitude. Il faut essayer de préciser la dimension de l'équateur ou une minute d'arc correspond à un mille nautique.

Après la découverte des Amériques, il y aura une expédition franco-espagnole qui s'est dédiée à mesurer avec toute la précision possible cette valeur de la minute d'un arc de grand cercle, physiquement sur l'équateur terrestre. En 1735, les Français Condamine et Bouger, en compagnie des Espagnols Ulloa et Santacilia, ont effectué des mesures au Pérou. Ils se sont battus finalement pour quelques centièmes de millimètre, soit la distance qui sépare l'amour entre ces pays, pas forcément toujours des meilleurs et souvent en lutte pour le pouvoir.

Enfin, on ne saurait parler des cartes sans mentionner celle de Piri Reis. Cet amiral et cartographe turc aurait établi en 1513, sur la base de milliers de documents, un résultat qui laisse perplexe. Sa carte fait penser que la notion de l'éloignement, proche de celle des longitudes, ne lui était pas inconnue. S'étant amusé avec des moyens très primitifs à chercher le type de projection qu'a pu utiliser l'amiral Piri Reis, l'auteur de ce texte arrive à la conclusion qu'il pourrait s'agir d'une projection azimutale gnomonique. Chaque point du globe se trouve à une distance déterminée d'un point d'origine et ce dans une direction bien précise, celle que prendrait par exemple un avion pour s'y rendre au plus court, sur un arc de grand cercle. Le point d'origine pourrait être celui du puits de Syène, censé être juste sous le tropique du cancer, au sud du Caire.



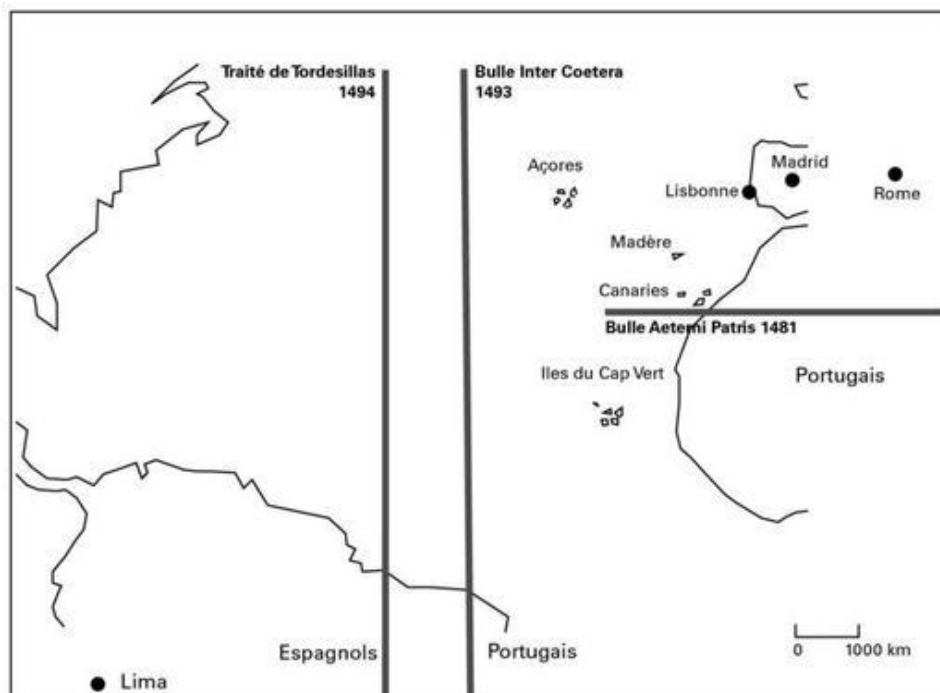
Carte de l'Amiral Piri Reis, 1513

La notion de méridien d'origine

On a vu que la notion générale de méridien est des plus anciennes et que ces axes nord-sud de chaque lieu se divisent facilement. On peut par ailleurs se situer en latitude avec une facilité qui va grandissant, principalement dans l'hémisphère nord où nous disposons, en plus du Soleil, de l'étoile polaire pour nous situer sur un méridien.

La gravité nous a apporté la verticalité et en corollaire l'horizontalité. Connaissant la hauteur de la polaire sur l'horizon, on connaît notre latitude. En effet, cette hauteur est de 90° au pôle et de zéro degrés à l'équateur. A une latitude de 46° , la hauteur de cette étoile est de 46° . En réalité, il y a une erreur, actuellement de l'ordre du degré. On a un subtil instrument pour corriger cette erreur, de même que des tables provenant des siècles d'observation de cet astre.

En ce qui touche le méridien de référence, après son adoption par Ptolémée, celui des Iles Fortunées a longtemps été retenu, même après les voyages de Colomb et la fameuse bulle du Pape destinée à partager les conquêtes entre Portugais et Espagnols.



Partage du monde

En deux mots, il y a tout d'abord une première bulle papale, « Aeterni Patris » du 21 juin 1481 (Sixtus IV), attribuant les Canaries aux Espagnols et ce qui est à l'Est ainsi qu'au Sud aux Portugais. C'est en fait une confirmation du traité d'Alcáçouas entre les deux pays concernés. Puis vient en 1493 (au retour de Colomb) une nouvelle bulle qui donne aux Espagnols tout ce qui est à 100 lieues à l'ouest du Cap-Vert. Une lieue représente $1/20^e$ de degré de latitude, soit 3 milles = 5.556 kilomètres. Enfin, en 1494 il y a le traité de Tordesillas qui fixe la distance à 370 lieues, confirmé en 1506 par une nouvelle bulle papale.

On voit ici à nouveau l'importance de pouvoir se situer en longitude, une nécessité économique-politique, basement dictée par le pouvoir et l'argent, ainsi que la nécessité de domination des nations maritimes (l'Angleterre n'était pourtant pas encore en lice).

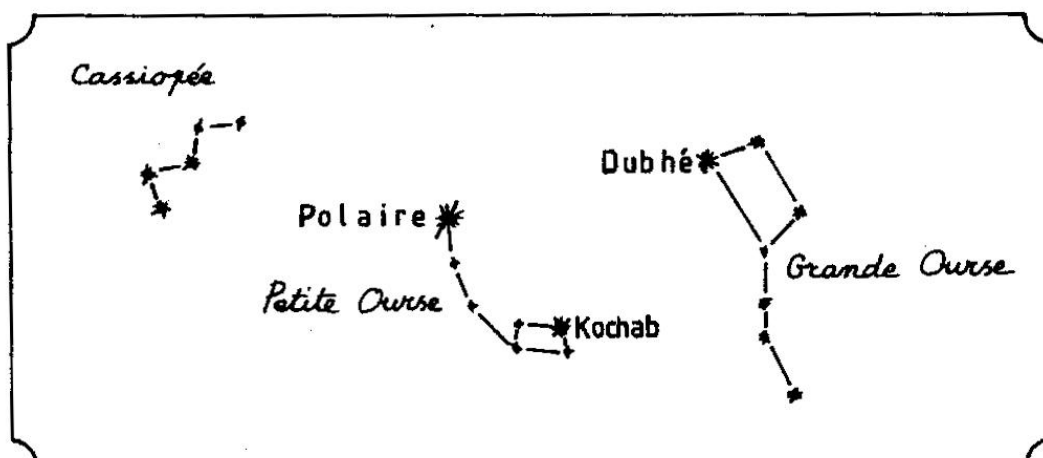
Puis les pays qui disposaient d'un observatoire astronomique officiel ont souhaité établir des documents et éphémérides pour leur propre besoin, donc ont pris comme référence le méridien de leur observatoire. Il faudra attendre 1883 pour que d'une manière internationale il soit retenu le méridien de Greenwich comme méridien d'origine, une décision qui ne plut guère aux Français qui continuèrent encore quelques années à garder celui de Paris, mais en 1911 (9 mars) le coq gaulois chante à l'unisson du reste de la planète.

La science avance donc pendant la Renaissance, mais il y a le frein de l'église qui, simple exemple, mettra 400 ans non pas pour admettre son erreur, mais pour accepter les évidences de Galilée et redonner à ce savant la place qu'il mérite. La connaissance, c'est le pouvoir et Rome, pour sa survie, ne veut pas d'un peuple qui ait droit à la science sans passer par son filtre. C'est un contrôle absolu du pouvoir par l'asservissement et la censure.

L'image du ciel

L'image du ciel peut se comparer à celle d'une immense horloge, avec comme aiguilles le Soleil, la Lune ou les étoiles. Petit à petit l'homme apprend à utiliser ces éléments pour se situer sur la sphère terrestre, à terre comme en mer.

A relever cependant que les constellations de la voûte céleste n'ont pas toujours eu la même forme et que selon les civilisations, on voyait des images différentes dans le ciel.



Autour du pôle céleste

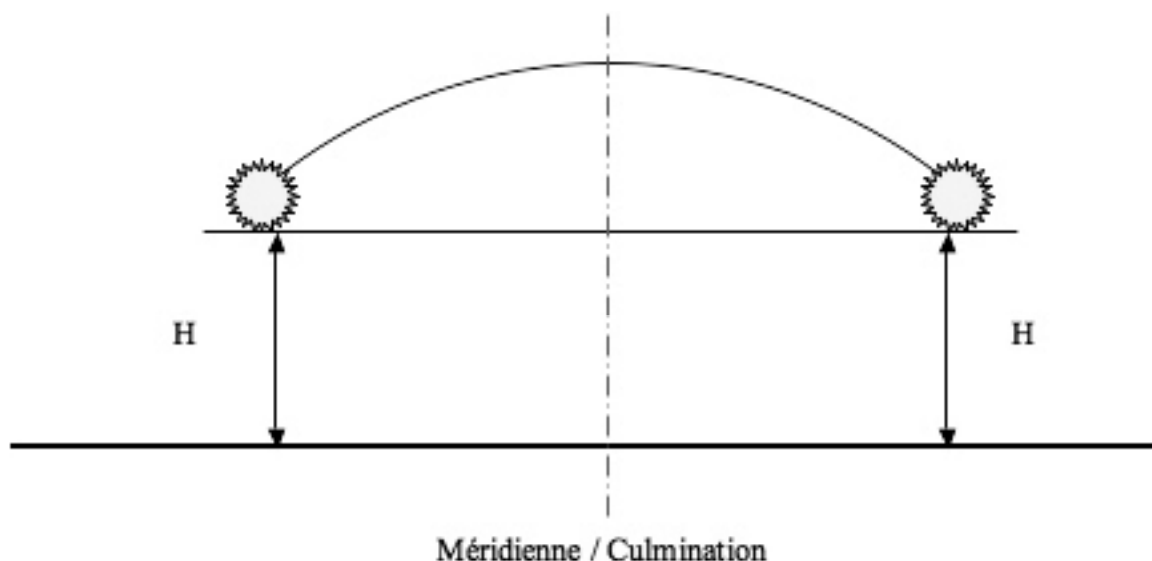
Si nous prenons l'image de la célèbre Grande Ourse comme exemple, on sait que les Egyptiens y voyaient le taureau Apis, alors que les Arabes avaient l'image de trois pleureuses derrière un cercueil. Les Américains imaginaient un grizzli poursuivi par trois chasseurs et les Romains décrivaient sept bœufs labourant le ciel autour de la Polaire. Petit regard étymologique, ours se dit « arctos » en grec, ce qui deviendra arctique par la suite dans notre langue. La mythologie nous parle d'une femme, la fameuse Callisto amante de Zeus, qui a été changée en ours céleste alors que son fils subissait le même sort, devenant la Petite Ourse. On ne saurait résister à rappeler que la dernière étoile de la queue de l'ourse est Alkaida, dans son entier Al Ka'ld Banat Al'At Na'ash, le gouverneur des jeunes filles qui pleurent. Toute une aventure !

Détermination de la méridienne

Il peut sembler difficile de déterminer la hauteur méridienne d'un astre comme le Soleil. Nous savons que cette méridienne correspond assez exactement à la culmination de l'astre sur le méridien, soit plein sud pour nous.

Cependant, en mer, il ne serait pas aisé de déterminer avec assez de précision l'instant auquel le Soleil est exactement au sud. La culmination peut durer jusqu'à une minute avant que l'on constate que la hauteur du soleil diminue. On n'a donc qu'une approximation du midi solaire local, donc de la longitude du lieu, même avec un chronomètre. On ne peut pas dire « top ! », on est en culmination : le moment est trop imprécis et on ne peut comparer l'heure du prétendu passage avec les éphémérides du méridien d'origine pour dire à quelle longitude on se situe. Ce serait par contre faisable en observant un phénomène ponctuel comme déjà mentionné, par exemple un transit, etc.

Rappelons que 4 secondes de temps représentent 1' d'erreur en longitude. Rappelons aussi, si besoin est, que le navire tangue et roule et que la meilleure boussole a de la peine à suivre et compenser ces mouvements.



La solution la plus simple, c'est de prendre une mesure au moins une heure avant la méridienne supputée et de reprendre cette même mesure une bonne heure après la méridienne. Et puis on fait la moyenne.

Il faut par contre avoir la chance de voir le Soleil au moment voulu, ce que le ciel et les nuages ne permettent pas toujours. On fait donc une série de mesures avant et après la méridienne et il est possible de dessiner un graphique.

A terre, on peut plus simplement mesurer la longueur de l'ombre d'un gnomon avant et après le midi local. En unissant les droites qui joignent les points de même longueur d'ombre, on obtient une série de parallèles et le méridien est, par définition, perpendiculaire à ces lignes. C'est la méthode qu'utilisent par exemple les poseurs de cadrans solaires.

Accessoirement, cela permet aussi de mesurer l'ombre la plus courte et de calculer la latitude, comme le fait le marin. Rappelons que le rapport entre la longueur de l'ombre et la hauteur du gnomon indique l'angle de la hauteur du Soleil en dessus de l'horizon.

Sous forme de mesure angulaire, la formule est simple : latitude = Dz +/- Décl.

Détermination de la longitude

L'être humain a compris que l'image du ciel change selon la longitude. On a effectivement remarqué que quand le Soleil se lève pour nous, il est déjà en culmination à Bangkok alors que les Tahitiens vont se coucher, tandis que l'Amérique dort.

Il est également compris que comme corollaire, à une même date et sur une même latitude, l'aspect du ciel est pratiquement identique. Par exemple, si le Soleil se couche 5 heures après le midi local de Tokyo, au SW, il en sera pratiquement de même à Gibraltar, puis à Washington et à San Francisco qui se situent sensiblement à la même latitude.

De là à en déduire que la différence de temps entre ces mêmes événements (coucher du Soleil dans notre exemple) correspond à la différence de longitude, il n'y a qu'un pas qui se franchit aisément.

Cela implique de savoir ce qui se passe, astronomiquement parlant, sur un méridien de référence et de voir à quelle heure de ce méridien origine se constate le même événement sur le méridien de l'observateur.

En d'autres termes et comme exemple, si on voit le Soleil qui se couche au SW et que la montre dit qu'au méridien d'origine il a deux heures que l'astre s'est couché, on se situe donc à deux heures du méridien de référence, soit $2 \times 15 = 30^\circ$ à l'ouest. En autre exemple, si on voit culminer le Soleil et que la montre réglée sur le méridien d'origine nous dit qu'il est 14 heures, nous nous situons 30° degrés plus à l'ouest.

On voit donc que si les astronomes sont capables de nous prédire des événements pour un méridien précis, on serait ainsi en mesure de connaître notre longitude en comparant notre vision locale avec celle des éphémérides.

En termes plus simples, on dispose par les éphémérides d'un catalogue de clichés (ou photos) montrant l'état du ciel à chaque seconde de chaque jour. L'observateur cherche quelle est l'image qui correspond à ce qu'il voit. Il la compare avec celle du catalogue et détermine sa longitude en calculant la différence de temps au moyen du chronomètre ou garde-temps.

Il nous faut donc le moyen de calculer l'heure qu'il est sur le méridien d'origine ou un instrument garde-temps.

« Donnez-moi un point d'appui et un levier, je soulèverai le monde » a dit Archimède.
« Donnez-moi un peu d'appuis et un horloger, je révélerai la longitude » aurait dit un Pair de l'Amirauté d'Ouchy qui connaissait les qualités des gens de ce pays.

La raison principale et déterminante pour le développement de l'horlogerie ne fut donc ni un besoin monastique (religieux), ni la physique de l'époque, mais le besoin qu'avaient les commerçants, les militaires et les navigateurs de pouvoir se déplacer en ligne droite à travers les mers, sachant leur position et évitant de ce fait de se perdre ou de perdre leur bateau, leur cargaison et leur équipage.

Ce fut donc une décision commerciale et politique et non un simple avancement de la science.

Etat des connaissances au 18^e siècle

On a appris à connaître la sphère céleste et son fonctionnement. Il y a des sphères armillaires et des astrolabes qui sont devenus redoutables de précision.

Parallèlement on s'est rendu compte que tout n'est de loin pas héliocentrique ou tournant sur un cercle parfait. Les théories s'affinent et se perfectionnent.

On sait aussi que l'image du ciel va en se modifiant d'est en ouest et on comprend aussi qu'un phénomène céleste lointain (coucher/lever, passage au méridien, éclipse, passage d'un satellite sur Jupiter, etc.), visible de deux endroits distincts se voit au même instant, mais ne se voit pas à la même heure solaire.

Les éphémérides se font plus précises et portent sur des événements astronomiques toujours en augmentation.

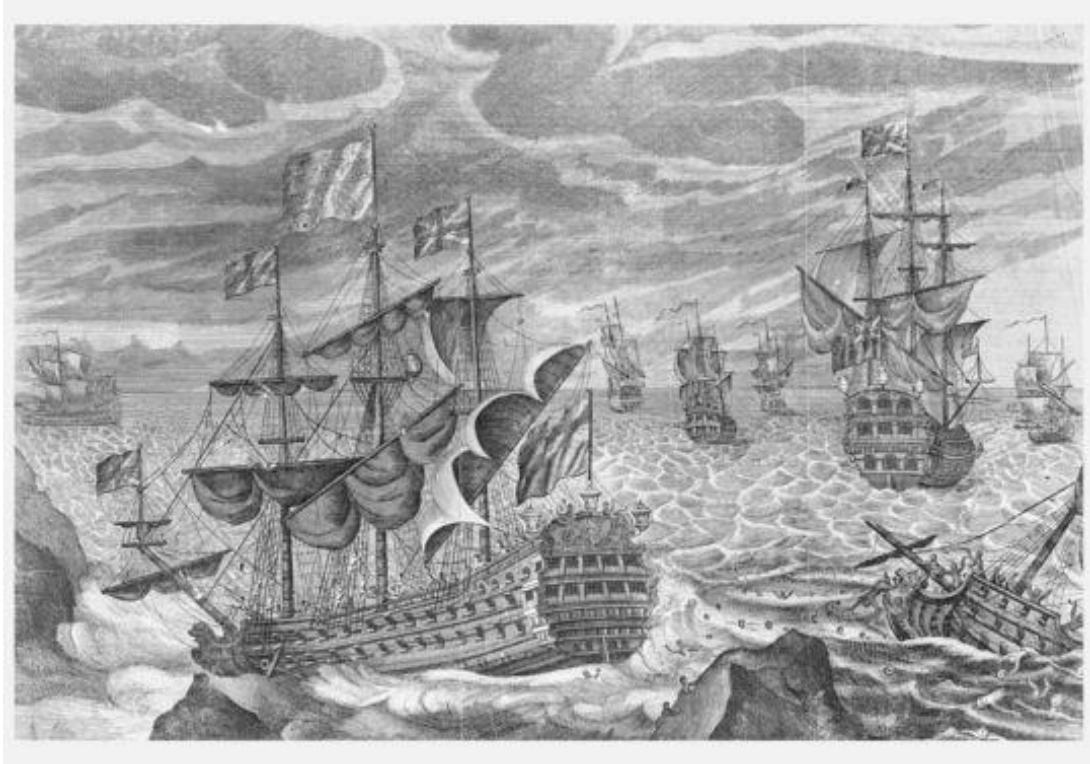
Parallèlement, le besoin de pouvoir déterminer une longitude, principalement en mer, se fait chaque jour plus pressant.

On a donc à la fois des connaissances et des instruments de mesure de plus en plus précis, mais ce qui manque, c'est la possibilité de pouvoir situer dans le temps qui s'écoule les événements précités.

Pour ce faire, il a été proposé de nombreux systèmes ou solutions parmi lesquelles on peut retenir quelques idées ne manquant pas d'intérêt :

- Galilée a découvert dans sa lunette les satellites de Jupiter ainsi que leur rythme d'apparition sur l'image de l'astre. On peut donc avoir l'heure au moyen de ce « top » horaire... sauf sur un navire roulant et tanguant sur les océans. L'idée fut vite oubliée de par son impossibilité d'application en mer.
- Des bateaux-canon ancrés sur l'Atlantique tireraient des coups de canon pour annoncer l'heure exacte...!
- Les compas ou boussoles indiquent le nord magnétique et la différence avec la direction du nord vrai (à l'époque la Polaire) s'appelle la déclinaison. On peut tracer sur une carte ou une mappemonde des lignes isoclines et en observant le ciel on peut déterminer sur laquelle de ces lignes on se trouve... d'où une indication de longitude. La méthode est très approximative et peu sûre.
- En 1687 existait la poudre sympathique d'un certain Docteur Kenlem Digby. Il suffisait de mettre un peu de cette poudre sur la blessure ou sur un objet appartenant au blessé pour que la plaie guérisse. L'action était cependant très douloureuse, mais la particularité était que cette poudre guérissait aussi à distance. Il a donc été proposé d'embarquer sur le navire un chien que l'on blessait volontairement auparavant. Le navire partait naviguer et pendant ce temps, à terre, une personne était chargée chaque jour à midi précis de mettre de la fameuse poudre sur un bandage ayant appartenu au pauvre animal, lequel était supposé hurler à la réaction, à distance, donnant ainsi au Capitaine l'heure du midi au méridien d'origine. Si la blessure du chien venait par malheur à se cicatriser, on l'ouvrait à nouveau avec le couteau pour que l'animal puisse continuer à nous situer en longitude. Heureusement la SPA (Société Protectrice de l'Amirauté) n'a pas approuvé cette méthode et il fallut trouver autre chose.

Diverses tragédies marquent le monde maritime de l'époque, dont la plus importante est survenue le 22 octobre 1707, le nommé « Désastre naval des Sorlingues ». L'amiral Cloudesley Shovell à bord du HMS Association s'échoue avec sa flotte de quatre navires aux Scilly (les Sorlingues en français), suite à une mauvaise appréciation de la longitude. Plus de 1400 marins périssent dans l'aventure. Ce désastre fit beaucoup de bruit dans le Royaume.



Le désastre des Sorlingues

Nous sommes au début du 18^e soit à l'époque de savants comme Newton, celui de la pomme, presque aussi célèbre que Guillaume Tell et MacIntosh. De nombreux capitaines et armateurs portent devant le Parlement de sa Gracieuse Majesté la nécessité de faire des recherches pour une vraie solution au problème. Les militaires sont également demandeurs.

Déjà en 1600, PHILIPPE III d'Espagne avait déjà été le premier à proposer une prime à celui qui trouverait une solution pratique au problème de la détermination de la longitude en mer. Il fut suivi par la Hollande, la France et surtout la Grande Bretagne.

Tout ceci débouche en 1714 sur le « Longitude Act » signé de la blanche main de la reine Anne d'Angleterre : 20'000£, soit environ près de quatre millions d'euros, pour une méthode permettant de se situer à $\frac{1}{2}^{\circ}$ près de longitude, 15'000£ pour une précision de $\frac{2}{3}^{\circ}$, 10'000£ pour une méthode au degré près. Soit 120 secondes sur une traversée estimée à 20 jours, donc 6 secondes par jour au maximum.

Détail intéressant, une nouvelle impulsion a été donnée aux recherches en 1741. Suite à une tempête de 58 jours (!), le HMS Centurion commandé par Georges Anson se perd dans le Pacifique sud, ne réussissant pas à se positionner en longitude. De nombreux marins meurent du scorbut avant qu'enfin l'île de Juan Fernandez ne soit enfin retrouvée et que de l'eau et de la nourriture ne puissent être embarqués. Autre détail curieux de l'histoire, ce même navire, le HMS Centurion, avait transporté quelques années avant, en 1736, la première montre de Harrison, H1, pour des essais de fiabilité.

Deux solutions s'affrontent

En ce 18^e siècle, deux solutions principales semblent pouvoir sérieusement résoudre le problème de la longitude :

- A) Créer une machine capable de garder le temps avec une grande précision (Solution Harrison)
- B) Calculer cette notion d'heure au moyen d'observations astronomiques (Solution Maskelin).

Solution « Maskelin »

L'idée que l'on peut appeler « Maskelin » est loin d'être sottise, même si finalement la technologie de « Harrison » l'emportera. Maskelin a contribué au développement d'une solution qui ne nécessitait aucune mécanique autre que celle du ciel.

La méthode est cependant un peu longue et les mesures sont délicates à relever avec précision. N'oublions pas que quatre petites secondes de temps représentent une minute d'arc, soit un mille nautique, 1852 m.

Christophe Colomb et les astronomes navigateurs qui l'accompagnaient auraient pu fixer avec précision leur longitude en cours de navigation et encore mieux une fois à terre, avec l'énorme astrolabe qu'avait emporté Juan de la Cosa de son village de Santoña. Mais en 1492, il n'y avait pas d'instrument de mesure des distances entre les astres (nécessité d'instruments optiques) et les éphémérides n'offraient pas encore la précision des tables développées plus tard, à l'époque où le fameux Maskelin en question dirigeait l'observatoire de Greenwich.

Solution « Harrison »

Par contre, la solution « Harrison », consistant à pouvoir conserver à bord l'heure du méridien d'origine, simplifie largement le calcul et permet de déterminer la longitude avec passablement de facilité.

La conjugaison de l'heure exacte au méridien d'origine avec les données des éphémérides permet au marin de faire un calcul qui est la « simple » résolution d'un triangle sphérique. Il obtient ainsi sa longitude qu'il lui reste à juxtaposer à sa latitude pour obtenir un positionnement en mer, ce que certains appellent « l'astrométrie ».

Le pari de la réalisation d'un chronomètre n'est pas facile pour une utilisation dans un environnement aussi hostile qu'un navire de l'époque : tangage, roulis, secousses, humidité, température, etc.

La vie complète d'un homme, John Harrison, est arrivée au bout d'un tel défi technologique. Il est vrai que la concurrence n'y a pas été de main morte pour évincer ce qui était manifestement une des plus belles prouesses de l'époque.

Une victoire sur le temps !

Développement de la solution des distances lunaires

Il a été dit que Maskelin a contribué au développement d'une solution qui ne nécessitait aucune mécanique de garde-temps mais uniquement celle du ciel. Avec notre approche d'aujourd'hui on pourrait essayer d'illustrer cette méthode par un exemple simple :

Les éphémérides me disent que la distance angulaire entre deux astres (p. ex. la Lune et le Soleil) est de DD degrés à midi solaire au méridien d'origine, pratiquement à l'heure de manger.

Sur mon navire, j'observe cette même distance angulaire de DD degrés, mais une heure avant le passage du Soleil sur mon méridien. Je suis encore à l'apéro et ne mangerai que dans une heure. Je peux en conclure que je me situe une heure avant, donc à 15° à l'ouest du méridien d'origine, puisque j'observe l'évènement lors de mon apéro, donc plus tôt que ceux qui sont sur le méridien d'origine en train d'attaquer le menu du jour.

Bien entendu il me faut déterminer cette heure de soixante minutes, mais cela peut se faire avec un sablier, par exemple.

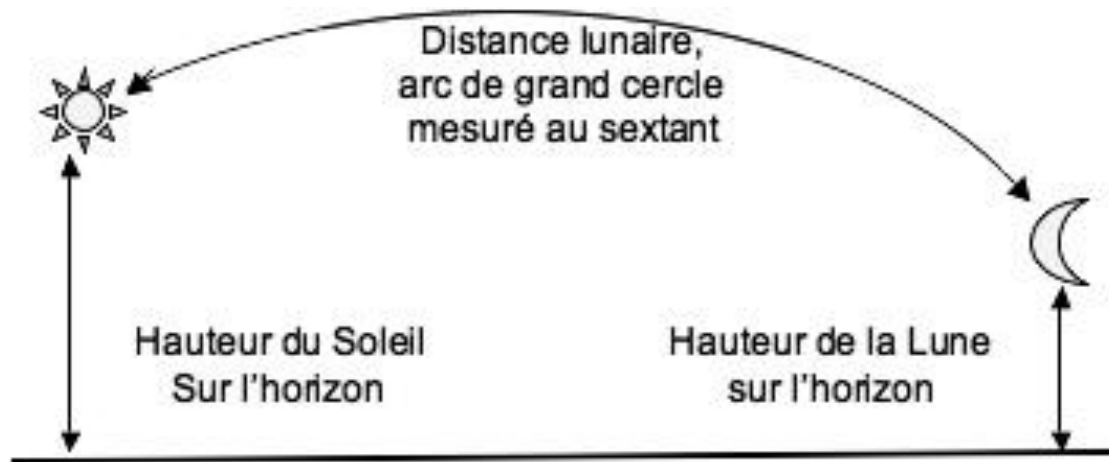
La technique dite des distances lunaires m'ayant personnellement beaucoup intéressé, j'ai poussé un peu plus en avant son étude. Ma recherche fut évidemment largement facilitée par les tables astronomiques (informatiques) actuelles. Par chance j'ai eu une porte largement ouverte à la bibliothèque du musée de la marine à Madrid.

Avec l'avancement des mathématiques et des instruments de mesure actuels, on peut effectivement assez facilement déterminer sa position en mer sans chronomètre, mais avec l'aide d'un simple garde-temps pour éviter de compter les secondes entre les diverses mesures.

Je suis arrivé à la conclusion que la précision est assez moyenne, mais suffisante pour se positionner en mer.

Voyons les choses un peu plus dans le détail dans les pages qui suivent.

PRINCIPE DE LA POSITION PAR DISTANCE LUNAIRE



Parmi les méthodes de détermination de la longitude sans chronomètre, celle qui a été le plus poussée et a fait le plus couler d'encre est certainement celle des distances lunaires. Il semble que le premier qui eut l'idée de cette méthode fut AMERIGO VESPUCCI. D'autres s'y sont attelés tels FRISUS, KEPLER, MORIN, HALLEY, LA LANDE, sans oublier MASKELYNE qui fut pratiquement son dernier défenseur acharné, luttant contre l'arrivée du chronomètre proposé par HARRISON. Il est également connu aujourd'hui que les Chinois comme les Égyptiens connaissaient et utilisaient la méthode, bien avant que l'Europe ne la « redécouvre ».

Nous ne développerons pas ici l'évolution de la méthode au cours des siècles, mais nous contenterons d'en enregistrer le principe et la possibilité d'une application plus aisée, au regard des méthodes de calcul actuelles.

Notre approche se limitera aussi à ne relater que les distances lunaires, mais le principe reste le même si d'autres astres sont utilisés.

N'oublions pas que cette méthode a permis au circumnavigateur Joshua SLOCUM comme à Bernard MOITESSIER de réussir de parfaits atterrissages, sans disposer d'un chronomètre. Globalement, les distances lunaires ont été utilisées jusqu'au XX^e siècle avec succès.

Un peu de théorie

La Lune est l'astre le plus rapproché de notre Terre. La position de notre satellite change de ce fait rapidement par rapport aux étoiles, planètes ou au Soleil.

Nous savons en effet que dame la Lune parcourt la voûte céleste en un petit mois. La distance entre la Lune et une étoile varie ainsi de manière remarquable et significative dans le temps.

En moyenne, la Lune avance de quelque 12° par jour par rapport aux étoiles, soit environ 30' par heure, pratiquement la valeur de son diamètre. Il y a des éphémérides spécifiques, mais nous pouvons aussi facilement calculer à l'avance la distance Soleil - Lune pour différentes heures au méridien d'origine (Greenwich actuellement). Les tables de navigation HO sont les plus simples.

En comparant la distance lunaire ainsi calculée avec celle que l'on mesure sur le navire, on obtient la différence en temps d'avec la mesure au méridien d'origine, donc la longitude. Autrement dit, sachant que la distance lunaire mesurée correspond à une heure UT bien précise, on peut obtenir l'heure du bord et résoudre par les méthodes usuelles la position correspondant aux hauteurs respectives des astres concernés, dans notre exemple la Lune et le Soleil.

Pratique

On doit donc relever à la fois la hauteur du Soleil, celle de la Lune et en plus la distance entre les deux astres. Cela fait beaucoup de mesures à la fois, mais si on ne dispose pas de chronomètre, il faut savoir accepter quelques difficultés supplémentaires. Il est cependant nécessaire d'avoir la possibilité de mesurer des différences de temps (p.ex. avec une montre-bracelet, un sablier, etc. A défaut, on peut compter les secondes, ça marche très bien !).

Les difficultés

Aujourd'hui, il n'existe plus de tables éphémérides donnant les distances lunaires de 3 heures en 3 heures, ou les tables du BRITISH MARINER'S GUIDE que proposait MASKELINE à l'Amirauté de sa Gracieuse Majesté. Les CONNAISSANCES DU TEMPS françaises ou espagnoles, tout comme le BOWDITCH outre-atlantique ont également cessé de donner aux marins ce type de renseignements.

Vient ensuite la difficulté des mesures en elles-mêmes. La précision étant de mise, on s'appliquera à corriger les relevés au maximum des données astronomiques qui figurent dans les éphémérides nautiques.

Idéalement, il faudrait prendre une distance lunaire qui soit sur le chemin céleste de notre satellite. C'est en effet là que le mouvement horaire est le plus rapide, donc la précision la plus grande. On peut apprécier la trajectoire de la Lune dans le ciel en prenant la bissectrice de l'angle que marque le croissant de l'astre.

Globalement, il est conseillé de prendre une série de mesures et de les porter sur un graphique, pour chacun des relevés effectués. On éliminera ainsi les mesures erronées et on pourra procéder facilement à des interpolations.

L'expérience montre qu'il est préférable de prendre dans l'ordre :

- hauteur de la Lune,
- hauteur du Soleil et
- distance Lune-Soleil.

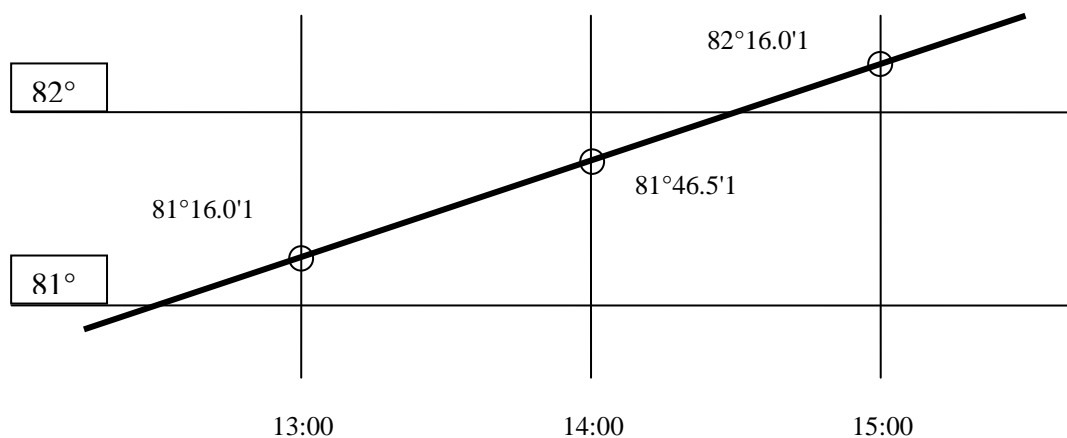
Il n'était cependant pas inhabituel de prendre toutes ces mesures en même temps, par trois observateurs pourvus chacun d'un sextant ! Pour la méthode proposée, cela signifie, comme déjà relevé, qu'on dispose à bord d'un moyen de mesurer non pas l'heure, mais le temps écoulé entre les mesures. Même un mauvais réveille-matin peut faire l'affaire. A défaut, il faudra compter les secondes entre les mesures, un peu comme on fait pour vérifier la période d'un feu. Le résultat sera légèrement moins précis et nous verrons quelles sont les limites de la méthode.

De même, il va de soi que l'on a toujours une idée de la position estimée, comme pour l'approche des autres calculs d'astronavigation.

Recherche de la distance lunaire calculée (éphéméride)

Les tables de distances lunaires n'existant plus, on les reconstituera au moyen des tables HO ; je n'entre pas dans le détail. En effectuant une démarche assez simple, on obtient les valeurs pour les heures UT qui nous intéressent, résultats que l'on peut aisément porter sur un graphique.

En admettant que la progression est linéaire, on peut alors indiquer pour chaque instant entre ces deux heures quelle est la valeur de la distance lunaire et vice versa. Mathématiquement et pratiquement, il est démontré que l'on peut considérer que cette progression est linéaire, avec une précision bien suffisante.



C'est pratiquement un horaire de chemin de fer :

- Connaissant l'heure, on sait où on est,
- Sachant où on est, on peut connaître l'heure.

Corrections des mesures prises au sextant

Comme toujours, il faut tout d'abord commencer par corriger le sextant de ses erreurs instrumentales. Puis il faut tenir compte des demi-diamètres respectifs, selon les éphémérides, mais pas de la dépression due à la hauteur de l'œil, l'horizon n'intervenant pas dans cette mesure. On doit ensuite prendre en compte la correction pour la réfraction et pour la parallaxe.

Nous savons que la parallaxe est la correction à apporter pour que nos mesures soient rapportées en un point au centre de la Terre. L'angle correspond au rayon que représenterait la Terre depuis l'astre observé (Soleil, Lune, etc.). Cette valeur dépend de la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon, maximale à une hauteur nulle, nulle lorsque l'astre est au zénith.

On peut rappeler ici que la correction pour la réfraction est toujours négative, la réfraction des rayons lumineux à travers les couches de l'atmosphère faisant que l'astre semble toujours plus haut qu'il n'est en réalité. Pensez au coucher du Soleil dont le centre se trouve sur l'horizon alors que l'astre est encore approximativement avec un tiers de son diamètre au-dessus de l'horizon. La parallaxe, elle, est toujours positive et peut atteindre jusqu'à 1° pour la Lune.

Par une simple règle de trois, ou au moyen d'un graphique, on est maintenant en mesure de déterminer l'heure UT à laquelle correspond la distance lunaire D_l mesurée et corrigée. On peut alors passer à l'astro conventionnelle et déterminer la position en utilisant les hauteurs relevées pour la Lune et pour le Soleil et en déterminant les deux droites de hauteur concernées.

Ne croyez effectivement pas qu'une seule et simple observation d'un astre soit suffisante pour déterminer un point précis en longitude et en latitude. Il faut plusieurs mesures pour ce faire. Une unique observation nous donnera un lieu de position sous forme d'un cercle dit d'égaux hauteurs. Deux observations nous donneront deux intersections de cercles, soit deux positions possibles, dont une peut être abandonnée par simple logique.

Exemple de distance lunaire

Pour illustrer la méthode, reprenons ici une situation dans laquelle nous disposons des éléments suivants :

En date du 23 avril 2007, un peu après la méridienne, nous nous situons en une position estimée de $L_e = 49^\circ$ N, avec une longitude supposée d'environ $G_e = 008^\circ$ W, sans chronomètre.

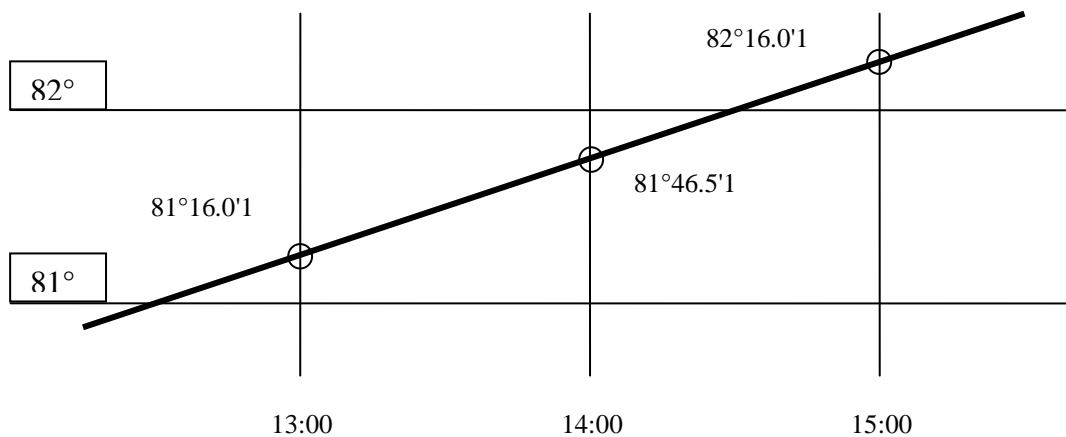
Nous effectuons une série de mesures :

- Soleil H_i	50° 00.5'	temps	00m 00s
- Soleil H_i	49° 56.5'		01m 24s
- Lune H_i	32° 50.0'		02m 50s
- Soleil H_i	49° 42.0'		03m 10s
- Distance lunaire D_l	82° 49.5'		03m 40s
- Lune H_i	33° 06.0'		04m 20s
- Soleil H_i	49° 38.0'		04m 40s
- Lune H_i	33° 13.0'		05m 07s

Dans un premier pas, nous allons calculer les distances Lune-Soleil (D_l) en prenant les éphémérides et en recréant une **table de distances lunaires**. On peut aussi trouver ces distances sur Internet sous www.staf.science.uu.nl/tables_lunar_distance

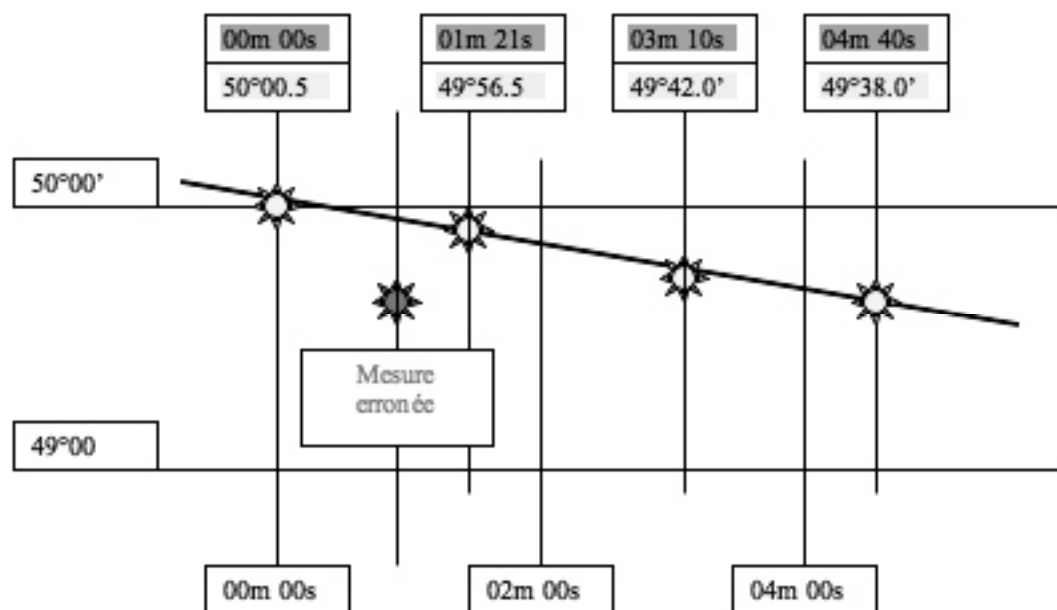
Sur une longitude estimée de 8°W, le Soleil passe sur le méridien un peu plus de 30 minutes après son passage à Greenwich (15° à l'heure). En prenant une bonne marge, on peut estimer qu'on doit être entre 13h et 15h UT.

On peut poser cette évolution de la D_1 sur un graphique qui se présente ainsi :

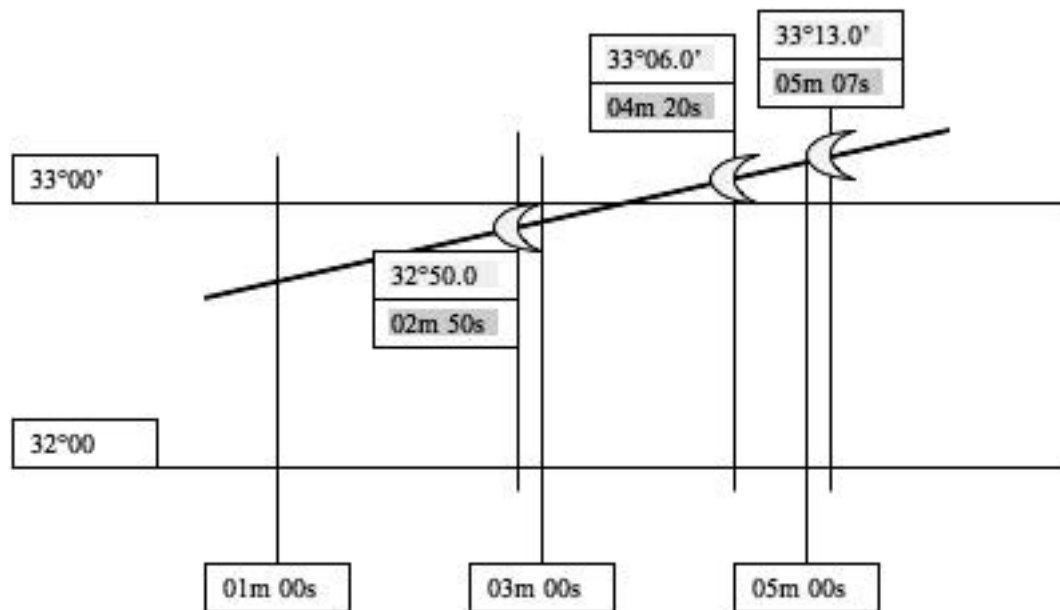


On voit tout de suite que l'augmentation de la D_1 est effectivement linéaire et représente, à la date du 23 avril 2007, une valeur de 30.0' à l'heure.

Les hauteurs relevées de l'astre solaire sont également à reporter sous forme d'un graphique. On constate que la diminution de hauteur du Soleil sur les quelques minutes concernées est elle aussi linéaire. Le cas échéant, on pourra éliminer à vue des mesures manifestement erronées.



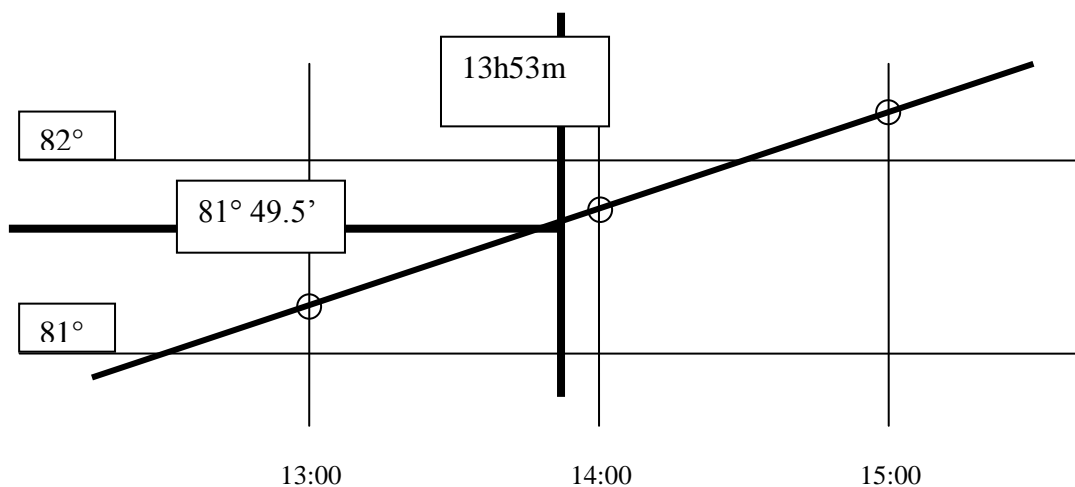
On procède de même avec les **hauteurs de Lune** qui se révèlent, elles aussi, être une progression linéaire.



A ce stade du processus, nous pouvons relever qu'au moment de la mesure de la distance lunaire D_l , soit au temps 03m 40s de notre chrono, sablier ou montre-bracelet, les hauteurs étaient respectivement de: $H_o = 32^\circ 57.0'$ pour la Lune, $H_o = 49^\circ 42.5'$ pour le Soleil, avec $D_o = 81^\circ 49.5'$ pour la distance lunaire

Détermination de l'heure UT

Il nous reste à déterminer à quelle heure UT exacte correspond cette distance lunaire vraie, en reprenant le graphique élaboré au point 4 ci-dessus. Nous sommes un peu avant 14h UT, plus exactement à 13h 53m.



Manifestement la méthode graphique ne permet pas vraiment de préciser les secondes, ce que pourrait faire le calcul.

A relever parallèlement que la précision des tables HO /AP utilisées ne peut excéder la demi-minute, tout comme la performance de l'œil de l'observateur dans sa mesure au sextant. N'essayons donc pas d'aller plus loin dans la précision.

Position

Prenons maintenant les hauteurs Soleil et Lune pour l'heure commune correspondant à la D_1 mesurée, soit 13h 53m, correspondant à 03m 40s de nos mesures.

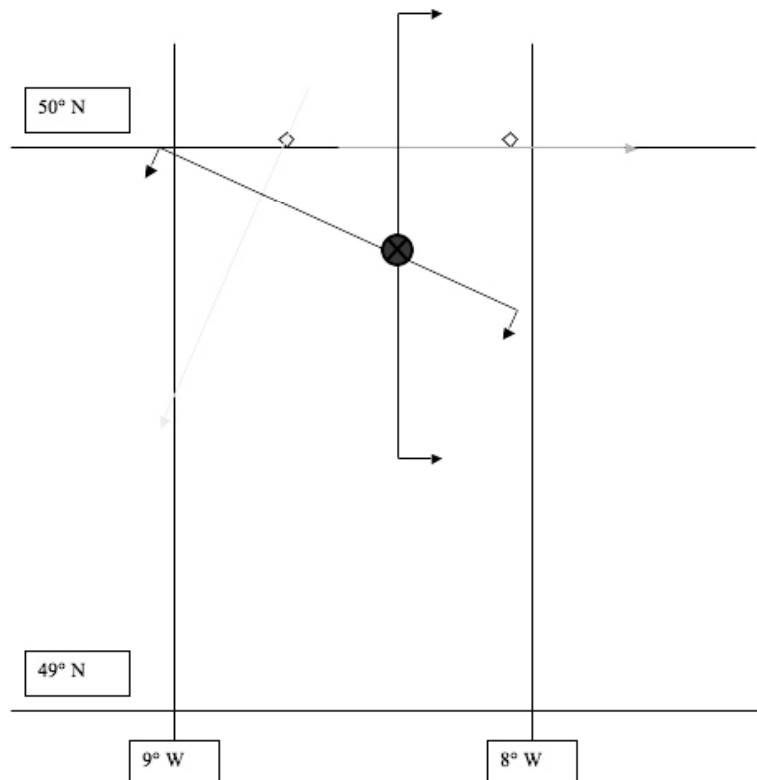
Pour le Soleil, nous avons
 Pour la Lune, la mesure est

$$H_v = 49^\circ 54.0'$$

$$H_v = 33^\circ 55.4'$$

Par les méthodes usuelles, on obtient :

- Pour le Soleil, un intercept de 7.5 M plus près, avec une G_a de $008^\circ 39.3$ et un Z_v de 211° .
- Pour la Lune, un intercept de 14.5 M plus loin, avec une G_a de $008^\circ 02.4$ et un Z_v de 090° .



Bibliographie

- Clés de voûtes, Leïla Haddad et Alain Cirou, Ed, Seuil AFA, Paris 2001
- Regimento de navegación, Pedro de Medina, 1563, Facsimile Instituto de España, 1964
- Nicholl's Concise Guide, Brown & Ferguson, Galsgow, 1961
- La géographie de Ptolémée, Germaine Aujac, Ed. Anthèse, Arcueil, 1998
- Longitude, Dava Sobel, Walker and Compagny, New York 1995
- American Practical Navigator, Nathaniel Bowditch, US Navy Hydrographic Office, Washington, 1962
- Dictionnaire horloger, Edmond Guyot, Chambre suisse d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds, 1953
- Personal notes, Reymond, University of Southampton, 1964
- Cours de navigation astronomique, P.-A. Reymond, CMKCI, Lausanne et Neuchâtel, 1983 et 2007

P.-A. Reymond© 22-04-2013