

# CADRANS A MAREES

(1ère partie)

Par Denis Schneider

Mon parcours à travers les cadrans solaires me fit faire un singulier détour par les cadrans lunaires; leurs créateurs voulaient, de nuit, par d'ingénieux moyens, approcher la connaissance de l'heure solaire (table de correction, graphiques, divisions de la table du cadran en droites parallèles ou en cercles concentriques correspondant aux 2 fois 15 jours des demi-lunaisons avec courbes horaires s'inversant ou spiralées, rouelle horaire pivotant sur un disque fixe comportant les âges de la lune graduée en sens inverse de celui des heures...). Après avoir essayé d'épuiser toutes les solutions de ce problème d'un autre âge, me vint l'idée toute simple de ne pas trafiquer cette heure lunaire, de ne pas l'asservir au soleil, mais qu'elle enseigne celle des marées qu'elle commande au premier chef. Je n'étais pas le premier à l'envisager!

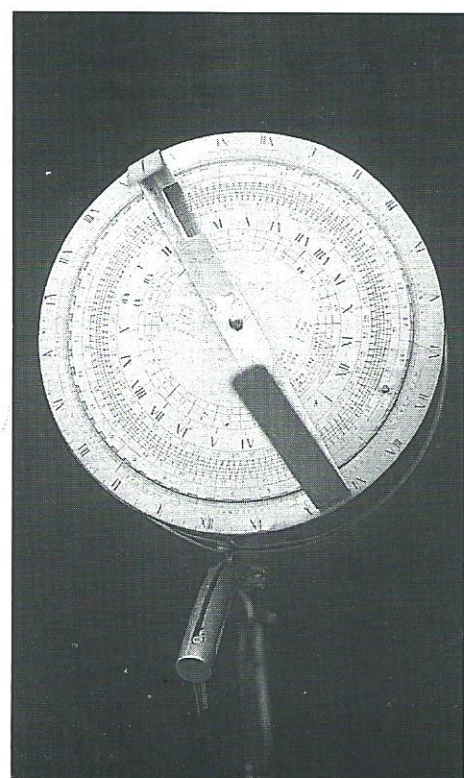
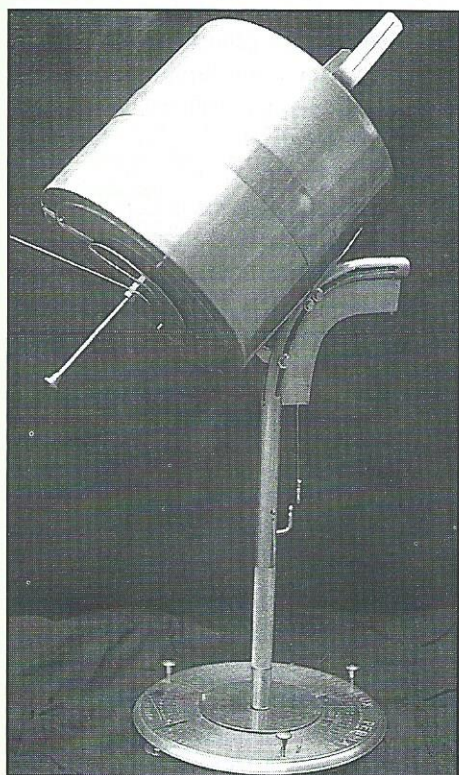
Si la vie sociale des hommes se déroule conformément au défilé des fuseaux horaires devant le soleil, les marées ne saluent pas la lune selon l'ordre des méridiens; les continents composent avec la mer pour l'empêcher de s'y soumettre. La marée est un phénomène périodique d'origine

astronomique qui participe de la mécanique céleste et de la mécanique des fluides. L'astre de la nuit (qu'on voit autant de jour!) compense la faiblesse de sa réflexion lumineuse par sa force d'attraction due à sa proximité. Bien avant qu'on attribue à la lune l'attraction des océans, l'opinion était répandue que la lune était l'astre femelle de la nuit et de l'humidité, par opposition au soleil, astre diurne de la chaleur sèche. Dans l'iconographie astrologique, alors que le soleil trône dans le Lion, signe mâle, la lune règne dans le Cancer, signe femelle. Il y avait dans ces correspondances entre ciel et terre une application de la théorie stoïcienne de la sympathie ou interdépendance cosmique. Des auteurs antiques ont vu le rôle de la lune quant aux marées mais le bassin méditerranéen se prêtait mal à leur bonne compréhension. Au XIVème siècle l'Atlas Catalan, certains portulans portent une Rose des Vents avec, sur les rhumbs, le nom des ports pour lesquels la Pleine Mer a lieu (confusion entre azimuth et angle horaire). Au XVème siècle, les Hollandais et les Espagnols savaient que les étales des courants de la Manche se produisaient en chaque lieu quand la lune se trouve dans un méridien faisant toujours le même angle, qu'ils appelaient situation lunaire, avec le méridien du lieu.

Guillaume Brouscon, cartographe conquetois, vers 1543, a dessiné dans ses guides nautiques des cadrans-marées; ce sont des diagrammes circulaires de 2 fois 12 heures où l'heure de la Pleine Mer d'un port les jours de syzygies est pointée sur la nouvelle lune intégrée à ses 30 jours de lunaison. A chaque jour de lune, correspond l'heure solaire de la Pleine Mer pour les ports ayant cette situation lunaire. Sur les cartes côtières, il figurait des Roses des Vents d'où partent, d'un certain nombre de points du compas, des lignes fourchues allant jusqu'aux ports dont la Pleine Mer était soumise à cette aire de vent. Un diagramme circulaire semblable à ceux décrits plus haut récapitulait l'ensemble des situations lunaires des ports de l'Europe. Il s'agissait là de calculateurs, non de cadrans destinés à être exposés aux astres.

John Bonar, masterschool of Ayr, fut, à ma connaissance, le premier connu à fabriquer de tels instruments. Trois cadrans équatoriaux sont signés de lui, un autre de Jacobum Broun, sans doute un de ses élèves. Sur la face supérieure sont gravés sur chacun des 32 rhumbs des noms de ports dont la situation lunaire correspond. Il s'agit là d'heures locales de la Pleine Mer le jour des syzygies pour des ports compris entre Ouessant et Amsterdam. Ces cadrans étant destinés à rester à terre dans un lieu fixe, on négligeait la différence en longitude, le temps universel n'étant pas encore inventé!... L'âge de la lune étant gravé, l'écartement entre deux bras, dont l'un portait une alidade, représentait la différence d'ascension droite entre la lune et le soleil (l'élongation comme on disait alors). En pointant le bon bras sur le rhumb où se trouvait le soleil, on pouvait lire, en face de l'autre bras, l'heure solaire de la Pleine Mer du port dont la situation lunaire correspond à cette aire de vent. En cas de lune visible, on la visait directement pour savoir où se faisait la Pleine Mer.

Les dyptiques portatifs de Charles Bloud (1670) et de son frère Gabriel procèdent du même principe bien qu'en mettant l'âge de la lune sur l'ombre solaire, on puisse avoir ici l'heure lunaire en face de N.L. (Nouvelle Lune), cela uniquement en automne et en hiver puisque la volvelle lunaire figure sur la face inférieure du couvercle ouvert selon la colatitude. En été et au printemps, cette face pourrait servir de calculateur en plaçant l'âge de la lune sur l'heure solaire trouvée sur une autre face du cadran. La lecture directe de l'ombre lunaire était, elle, plutôt illusoire et





théoriquement possible que lorsque la lune était dans l'hémisphère céleste austral, ce qui est vrai à la fin du printemps et au début de l'été au voisinage des Pleines Lunes.

Le cadran horizontal du domaine de Clairmont possède un calculateur à marées pour Saint Malo.

Le cadran du Musée archéologique de Vannes possède une rouelle de correction lunaire ayant pu faire office de cadran à marées. Dans les deux cas, existent un disque extérieur fixe sur lequel sont inscrits les jours de la lunaison et un disque interne, mobile, où sont graduées les heures dans le même sens avec des écarts équiangulaires. On pouvait savoir le retard de la lune sur le soleil en fonction de l'âge de la Lune, l'ajouter à l'heure lunaire pour connaître l'heure solaire ou, en pointant la situation lunaire sur N.L., lire l'heure solaire de la Pleine mer du jour en regard de l'âge de la lune.

Pour permettre mon projet, les ingénieurs du S.H.O.M. ont "concocté" une formule permettant de calculer les valeurs d'établissement ou situation lunaire, notion abandonnée aujourd'hui par eux:

$$Em = \frac{SM2 + 2 \times G}{29} - n$$

29

Em: établissement moyen

SM2 est la situation relative de l'onde M2 fournie par la table 540 du S.H.O.M. correspondant au retard moyen de la pleine mer semi-diurne, sur le passage de la lune moyenne au méridien du fuseau horaire correspondant au temps en usage.

G est la longitude (positive vers l'Est).

n est le système horaire (temps en usage T.U. + n).

29 correspond à 29°/heure (28,9841°/heure) qui est la vitesse angulaire de la composante lunaire principale M2.

Avec ces données contemporaines concernant les ports du globe ramenées au temps du méridien international et l'ajout, par rapport aux cadrans de Bonar, d'une lecture stellaire en cas d'absence de lune la nuit, me vint l'idée de créer un cadran à marées universel, non seulement par rapport à l'ensemble des grands ports du monde mais aussi quel que soit le lieu d'observation.

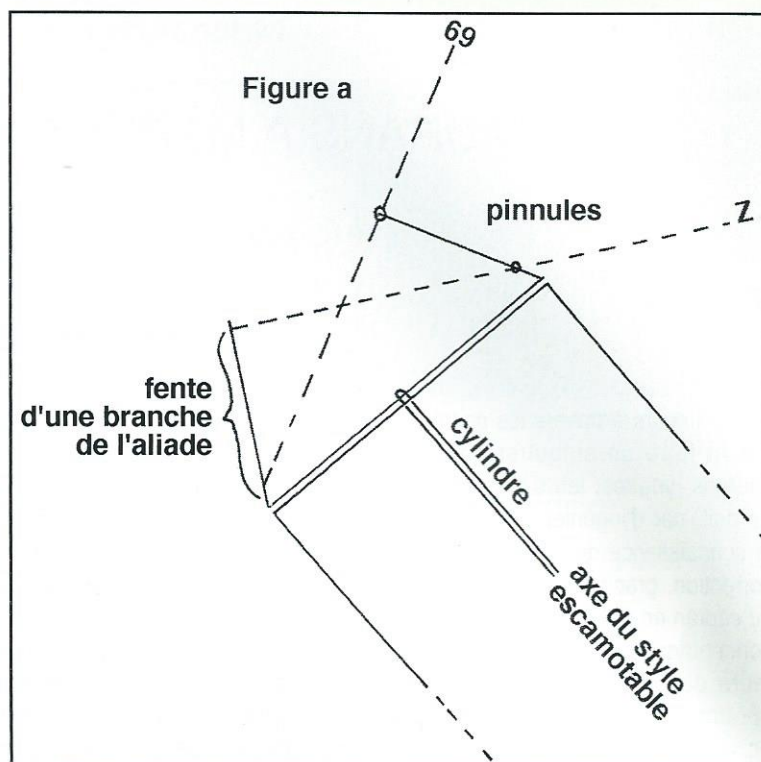
Dans mon cadran, les angles horaires de la lune, du soleil et des étoiles sont donc rapportés au méridien de Greenwich. Il n'y a aucune lecture directe de l'heure locale de la marée si ce n'est pour les ports situés sur ou à proximité de ce méridien ou de son méridien opposé. Par contre, cette conversion permet de connaître, à tout instant, depuis n'importe quel point du globe, quelle que soit sa longitude, les ports où la

marée haute est en train de se produire; cela est possible par la lecture du temps lunaire vrai de Greenwich (par l'ombre lunaire du style ou la visée par l'alidade) ou celle d'un temps qui se rapproche du temps lunaire civil de Greenwich déduit de la position du soleil et parfois celle-ci de celle des étoiles.

Si la composante lunaire existait seule, l'intervalle de temps entre deux pleines mers consécutives serait de 12h 25 (12 h lunaires) mais d'une pleine mer à l'autre, l'influence solaire s'est décalée d'une certaine valeur par rapport à l'influence lunaire pendant ces 12 h 25 (augmentation de l'ascension droite entre ces deux corps célestes). Par ailleurs, toutes les inégalités du mouvement de la Lune autour de la terre et de la terre autour du soleil entraînent des inégalités correspondantes dans la force génératrice des marées: inégalités déclinaisonnelles, inégalités parallaxiques. Pendant des siècles, après qu'on ait découvert que les marées étaient sous la dépendance essentielle de la lune, les marins, comme on l'a dit, se sont contentés dans leurs prévisions de n'envisager que l'influence de celle-ci, avec une approximation suffisante. Ainsi, on pourra avec mon cadran, obtenir très facilement une approximation de l'heure solaire T.U. de la marée haute d'un port en plaçant le plot N.L. sur la valeur de "E" en lisant en face de l'âge de la lune sur la partie horaire fixe. Par ailleurs, ce cadran présente différents dispositifs susceptibles de corriger les effets des principales inégalités.

A l'époque des ordinateurs, il semblera anachronique d'avoir réalisé cet appareil. S'il n'a pas leur précision, il aura permis à son auteur et, espère-t-il à d'autres personnes d'approcher la compréhension du phénomène aussi universel et grandiose que sont les marées.

Outre le message d'espoir que contient la devise, HORA TRANSIT, LUX PERMANET, elle évoque la permanence de la lumière en provenance de corps célestes différents, tous



soumis au mouvement gravitationnel et grâce auxquels il est possible de connaître par chacun la position des autres. Le sous-titre "DE AESTU MOTI" inspiré du "DE AESTU OCEANI" de Bède le Vénérable révèle la fonction tidale du cadran.

#### **DONNÉES ASTRONOMIQUES CONCERNANT LES PRINCIPALES ONDES DE LA MARÉE SEMI-DIURNE**

Si la terre, tournant autour de son axe, était isolée dans l'espace, chacune de ses particules prendrait une position d'équilibre et cet équilibre persisterait indéfiniment. L'expérience des marées prouve qu'il n'en est rien du fait même que la terre n'est pas isolée. Dépendant de la présence de la lune et du Soleil, la force génératrice des marées, en raison de la rotation terrestre, admet une périodicité semi-diurne, dont nous allons voir les principales ondes M2, S2, K2, N2, leurs influences étant prises en compte dans le cadran. L'angle horaire de la Lune ne varie pas d'une façon tout à fait proportionnelle au temps: la durée moyenne du jour lunaire est de: 24 h 50 + 10 mn. L'angle horaire de la lune est en moyenne de 14°, 5/heure de temps moyen.

$$\frac{dAH}{dt} = 14,5 (14,492)$$

dt

L'angle horaire de la lune au moment de la Pleine Mer est donné par  $AH = u + p_1$ .

En l'absence de  $p_1$  (composante solaire semi-diurne), u est l'heure, en temps vrai local, de la Pleine Mer lunaire du soir les jours de syzygies moyennes qui correspondent au passage simultané de la Lune et du Soleil au méridien. Lors de ces syzygies, la Pleine Mer correspond à des angles horaires constants de la lune (A.H.=



centrent le tube à l'intérieur duquel coulissera le style, ou même, ce dernier retiré, l'étoile polaire sera visée.

Sur le fond supérieur (pour l'hémisphère nord), les heures sont graduées dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse pour celles du fond inférieur. Sur chaque fond, concentriquement au cercle des heures lunaires, sont inscrits les mois de l'année dans le sens inverse de ces heures avec une graduation tous les deux jours et des secteurs angulaires mensuels qui tiennent compte non seulement bien sûr de la longueur des mois mais aussi de la vitesse orbitale de la Terre (conformément à la deuxième loi de Képler relative aux aires). Sur le fond inférieur, toujours pour l'hémisphère nord, les dates correspondant aux XIIh sont le 6 septembre, en haut, et le 4 mars en bas. Sur le fond inférieur du cylindre (cylindre retourné) pour l'hémisphère sud, les dates correspondant aux XIIh sont le 28 juillet en haut et le 26 janvier pour le XIIh inférieur quand on est situé sur le méridien de Greenwich, (dates où les étoiles nommées plus loin ont même ascension droite que le soleil).

Sur chacun des fonds tourne un disque sur lequel sont inscrits les jours d'une lunaison, de la Nouvelle Lune (N.L.) à 29,5 jours dans le même sens de rotation que celui des heures du fond fixe du cylindre auquel il appartient. Dans ce même sens également, sont gravées deux

fois 12 heures lunaires telles que cette fois le soleil le balaie en 24h 50 (conversion solilunaire avec échelle de Lambert inversée); le soleil doit balayer  $15^{\circ} 30'$  dans le plan équatorial pour que la Lune balaie celui-ci de  $15^{\circ} 30'$ , un des XIIh étant calé sur N.L.

A l'intérieur du cercle des heures rondes, 5 cercles concentriques sont disposés et des lignes brisées relient les minutes de 5 en 5, permettant en théorie une précision de lecture de l'ordre de la minute à l'intersection de l'ombre du soleil avec une ligne brisée divisée en 5 parties égales (précision purement spéculative dans le cas d'un cadran à marées!).

Plus à l'intérieur du disque mobile de la face supérieure du cylindre (hémisphère nord), trois anneaux concentriques contiennent les valeurs du cycle de Méton (Nombre d'Or de 1 à 19) avec en regard les valeurs des épactes grégoriennes valables pour les XX, XXI et XXII siècles et celles des épactes juliennes qui, elles, sont perpétuelles.

Au centre du disque mobile, les noms des mois sont inscrits avec un chiffre à côté correspondant chacun à sa clé lunaire. (J'ai corrigé la valeur de la clé lunaire du mois d'août en l'augmentant d'une unité par rapport à celle que fournit Paul Couderc dans le "Que Sais-Je?" "Le Calendrier" n. 203 p.108 ). Coulissant à travers un tube aligné selon l'axe du cylindre, un style dépasse des fonds pour faire ombre sur

l'un ou l'autre selon la période de l'année. Au bout supérieur du style, une alidade est vissée. L'une des branches est perforée de deux trous tandis que l'autre est fendue. L'écart entre les trous, la longueur de la fente comme l'inclinaison des branches sont calculés de telle sorte que, lors des déclinaisons extrêmes de la Lune ( $28^{\circ}30'$ , l'orbite lunaire pouvant s'éloigner de  $+/-5^{\circ}$  de l'écliptique), le rayon vecteur Terre-Lune arrive perpendiculairement sur l'une ou l'autre branche afin que celles-ci soient le plus court possible. Les branches font donc un angle de  $90^{\circ} - 28^{\circ} 30' = 61^{\circ} 30'$  par rapport au plan équatorial.

Sur la face interne de la branche perforée, figurent des traits correspondant à l'entrée du soleil dans les signes du Zodiaque. Sur la face interne de la branche fendue, sont inscrites les valeurs des déclinaisons de la Lune ou du Soleil.

Sur la face inférieure du cylindre, un index mobile dépasse le fond du cylindre. Sur chaque face de cet index, sont marqués les noms d'une ou deux étoiles circumpolaires, Méra et Dubé (A.R. = XIIh le 4 mars et le 6 septembre) pour l'hémisphère nord, Pavo-Pavonis (A.R. = XIIh le 26 janvier et le 28 juillet) pour l'hémisphère sud.



**fin au prochain numéro**

(principe et mode d'utilisation; bibliographie)



## CADRANS A MAREES

(fin -voir numéro précédent)

Par Denis Schneider

### PRINCIPE ET MODE D'UTILISATION.

#### -RÉGLAGE DU CYLINDRE EN FONCTION DES COORDONNÉES LOCALES:

##### - en latitude.

L'axe du cylindre doit être orienté parallèlement à l'axe du monde en se servant du rapporteur où sont notées les latitudes, égales à la hauteur de l'étoile polaire sur l'horizon du lieu d'observation. Pour l'hémisphère sud, il suffira de retourner ensemble le cylindre et son collier de serrage de telle sorte que les ports inscrits sur l'aire latérale

se lisent totalement à l'envers quand le cylindre est placé verticalement. On inversera l'ensemble style et alidade ainsi que l'index du nocturlabe afin que l'alidade reste en dessus et l'index en dessous. Ainsi chaque fond du cylindre est un cadran équatorial que l'ombre d'un style ou le suivi d'un corps céleste par une alidade balayera d'un mouvement uniforme (tout mouvement de rotation du cylindre ou des disques respectera les différences angulaires: différence d'ascension droite, conversion soli-lunaire, différence de longitude entre deux lieux d'observation.

##### - en longitude.

Le XII<sup>h</sup> lunaire étant calé sur le méridien de Greenwich, il est indispensable de caler ce méridien par rapport au méridien d'observation afin que les heures soient toutes lues en heures lunaires universelles. Après avoir desserré les boulons du collier de serrage, on tournera le cylindre autour de son axe d'un angle égal à la longitude du lieu en utilisant l'étalement inscrit sur le collier. Il convient dans l'hémisphère nord de tourner le cylindre dans le sens des aiguilles d'une montre en regardant la face supérieure par le haut) si nous sommes à l'Est du méridien de Greenwich. (Si l'on se situe à 15° Est du méridien de Greenwich, la génératrice XII doit se trouver sur le 15° Est). On tournera le cylindre dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour les longitudes Ouest. Pour l'hémisphère sud, non seulement on retournera comme on l'a dit plus haut le cylindre mais en même temps le collier de serrage. Par conséquent, on tournera, selon le côté où on se trouve par rapport au méridien de Greenwich, le cylindre dans le sens inverse de ce que l'on fait pour l'hémisphère Nord. (Pour l'hémisphère Sud on tournera le cylindre en sens inverse des aiguilles d'une montre pour les longitudes Ouest, dans le sens des aiguilles pour les longitudes Est).

Pour que le cylindre soit bien orienté selon l'axe nord-sud, il conviendra que l'aiguille aimantée pivotant sur le socle soit bien orientée compte tenu de la déclinaison magnétique du lieu et de l'époque.

Si on ne dispose pas d'éphémérides pour connaître l'heure du passage de la Lune au méridien ou de calendrier des Postes pour connaître l'âge de la Lune, on pourra avoir une idée approchée à un ou deux jours près de l'âge de la Lune en additionnant au quantième du mois, la valeur de l'épacte de l'année et la clé lunaire du mois en cours. Le résultat sera l'âge approché de la Lune; si celui-ci est supérieur à 30, on retranchera cette valeur du résultat.

#### USAGE DU CYLINDRE (ONDE M2).

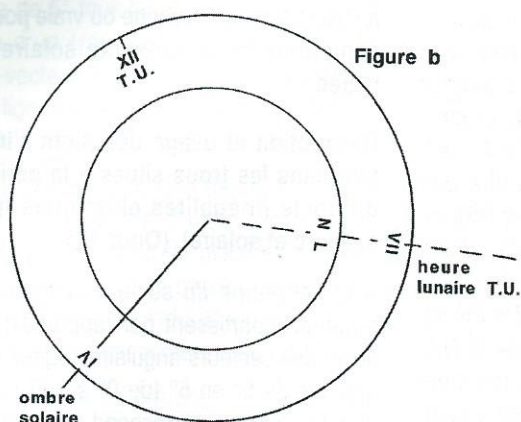
##### - de jour:

- Si la Lune est visible, on vise la Lune avec l'alidade. On lit sur le cylindre en regard de l'alidade, l'heure lunaire de Greenwich et les ports où se fait la pleine mer.

- S'il n'y a pas de Lune, on utilise le style-axe; si le soleil est insuffisant, on localise avec l'alidade. On place le jour de Lune ou mieux le quantième du jour de Lune sur l'ombre solaire du style (ou sur l'alidade arrêtée à la position du Soleil) et on lit sur le cylindre l'heure lunaire de Greenwich en face de N.L.



On a retiré à chaque heure T.U. du Soleil la différence d'ascension droite entre Soleil et Lune correspondant au quantième de l'âge de la Lune sans tenir compte de la variation, incessante quoique lente, de la différence d'ascension droite.



A partir de l'heure T.U. du passage de la Lune au méridien de Greenwich, on calculera son temps vrai de passage (Temps vrai = T.U. - Equation du temps) afin de rechercher la différence d'ascension droite entre Soleil et Lune au moment du passage au méridien du Soleil sur le méridien de Greenwich (il faudra retirer autant de fois 2 mn que cette différence d'ascension droite comprendra d'heures solaires). On obtient alors l'heure lunaire du passage du Soleil au méridien de Greenwich en retirant cet écart de 12h. On place cette heure lunaire T.U. du passage au méridien du Soleil sur XIIh lunaires T.U. et on lit, à l'ombre du style ou à la position de l'alidade, l'heure lunaire T.U. sur l'échelle soli-lunaire mobile, heure à rapporter sur le cylindre.

On décale chaque jour (à chaque nouveau passage au méridien de la Lune) la table de lecture; l'échelle soli-lunaire tient compte de l'augmentation incessante d'ascension droite entre Soleil et Lune. On lit l'heure lunaire sur l'échelle avant de la reporter sur le cylindre.

#### - de nuit.

- Si la Lune est visible, on pointe avec l'alidade. On lit sur le cylindre l'heure lunaire T.U. et les ports correspondant à la pleine mer. On peut utiliser aussi le style s'il fait ombre.

- S'il n'y a pas de Lune, on utilise l'index Mérak et Dubhé et la face inférieure du cylindre pour l'hémisphère nord; on utilise l'index Pavo-Pavonis et la face supérieure pour l'hémisphère sud.

On place N.L. sur la date; on repère sur le cylindre le lieu où se situe le jour de Lune ou mieux son quantième, et on y affiche le plot

N.L. On lit sur l'échelle soli-lunaire T.U. à reporter sur le cylindre. Nota: quand, à l'opposé de N.L., l'index passe pour suivre Mérak et Dubhé, on "avance" de 25 mn en tournant l'échelle soli-lunaire dans le sens direct pour Mérak et Dubhé afin qu'il y ait un continuum dans l'échelle soli-lunaire.

En plaçant l'heure lunaire T.U. du passage du Soleil (voir "Usage de jour") au méridien de Greenwich, on précise davantage la position de la Lune moyenne. On reporte là aussi l'heure lunaire T.U., lue sur l'échelle soli-lunaire en regard de la position de l'index, directement sur le cylindre.

Dans les deux cas, on lit l'heure lunaire T.U. sur l'échelle soli-lunaire avant de la reporter sur le

cylindre.

C'est lorsqu'on cherche à savoir dans combien de temps la pleine mer dans un port se fera et que la position de la Lune ne commande pas immédiatement la marée qu'il faut tenir compte du problème de conversion des heures lunaires en heures solaires (échelle de Lambert).

Pour savoir où en est la marée dans n'importe quel port, il sera commode de se servir du disque des douzièmes. Pour sa description comme pour celle des dispositifs du cadran servant à tenir compte des inégalités, la description et l'usage n'ont pas été dissociés intentionnellement.

Le disque de la "loi des douzièmes" (Fig. d) est un petit disque, sans autre inscription que P.M.

(pleine mer) et un certain quadrillage, qui peut se placer indifféremment sur un fond du cylindre ou sur l'autre. Dans l'hémisphère sud, il vaudra mieux le placer sur le fond supérieur pour qu'il ne cache pas les notions de comput qui se retrouveront sur le fond inférieur. Ce disque possède quatre quadrants égaux (P.M., B.M., P.M., B.M.) représentant l'alternance quotidienne des marées. Ils sont chacun partagés en six secteurs et en leur milieu par un rayon correspondant à la moitié de l'amplitude d'une marée à la fin de sa troisième heure. Pour visualiser l'amplitude à chacune des autres heures, les lignes obliques et non radiales délimitant des secteurs viennent couper l'un ou l'autre bord droit de chaque quadrant. A chaque heure de la marée, l'amplitude de celle-ci à partir de son commencement est égale à la somme des amplitudes pour chaque heure. Il suffira de mettre P.M. sur l'angle horaire de la Lune pour avoir une idée où en est la marée dans les ports inscrits sur d'autres génératrices du cylindre.

On pourrait, si c'était la basse mer qui nous intéressait en premier plan, tourner le cylindre d'un quart de tour, c'est-à-dire de 6h (attention! il faudrait ajouter 6h lunaires à la graduation horaire fixe). On pourrait mettre le rayon perpendiculaire à P.M. sur l'angle horaire de la Lune et on aurait également

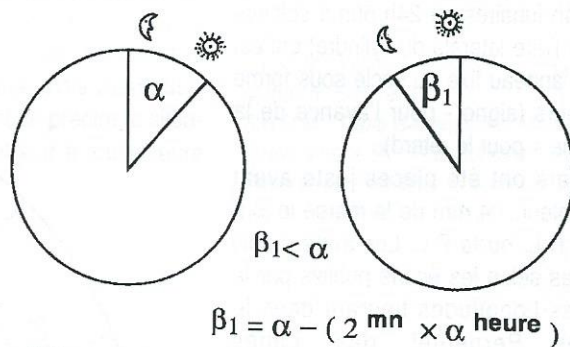
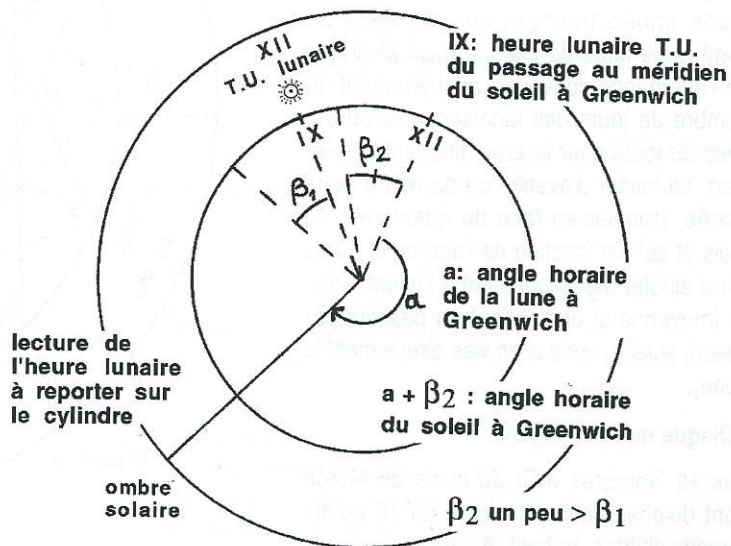


Figure c





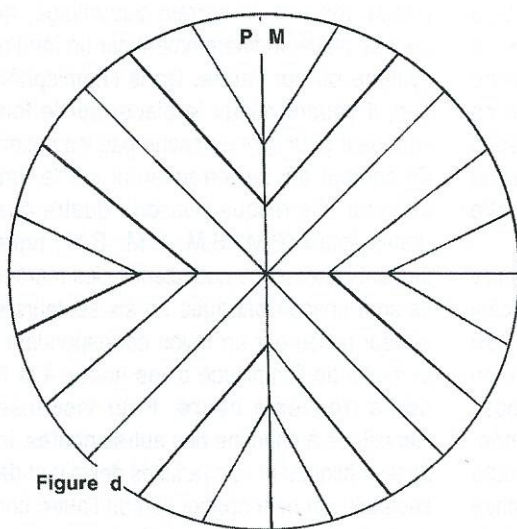


Figure d

une idée du niveau où en est la marée dans les ports inscrits dans d'autres colonnes.

#### COMPOSANTE SOLAIRE DE LA MARÉE (ONDE S2).

##### - Grand cercle fixe. (Fig e)

Eu égard à l'âge de la Lune, c'est-à-dire à la différence d'ascension droite entre Soleil et Lune, le Soleil vu influencer non seulement sur l'amplitude des marées mais aussi sur leur heure et la marée pourra retarder ou avancer à chaque demi-journée sur celle qui l'a précédée selon des valeurs symétriques, en théorie, par rapport à la moitié d'une lunaison. C'est la sommation des écarts par rapport à la périodicité journalière moyenne des marées (24h lunaires ou 24h 50mn solaires comme sur l'aire latérale du cylindre) qui est inscrit sur l'anneau fixe du socle sous forme de 15 valeurs (signe - pour l'avance de la marée, signe + pour le retard).

Janvier-mars ont été placés juste avant l'avance (valeur: - 4 mn) de la marée le jour qui suit la N.L. ou la P.L. Les autres mois sont décalés selon les écarts publiés par le Bureau des Longitudes figurant dans le Calendrier Perpétuel des Lunes Grégoriennes. Les dates des N.L. et P.L. d'une année tiennent compte ainsi du nombre de jours de chaque mois ainsi que de l'alternance convenue arbitrairement du nombre de jours des lunaisons (29 ou 30, avec 30 jours pour la Lune finissant en janvier). La valeur d'avance ou de retard de la marée, trouvée en face du quantième du mois et qui est fonction de l'âge de la Lune, est à ajouter algébriquement à l'heure lunaire (moyenne si on l'obtient en passant par l'heure solaire, vraie si on vise directement la Lune).

##### - Disque mobile. (Fig e)

Les 19 Nombres d'Or du cycle de Méton sont disposés circulairement en 15 points (grands chiffres arabes), 4 d'entre eux recevant donc un deuxième Nombre d'Or. Cette

disposition va permettre de se caler sur les demi-lunaisons (N.L.-P.L.; P.L.-N.L.). On passe d'un Nombre d'Or à sa valeur immédiatement supérieure en sautant d'un coup les quatre intervalles qui contiennent trois Nombres d'Or placés côte à côte sur le cercle et séparés ainsi chacun du suivant de quatre ans.

D'une année à l'autre, la date de la N.L. avançant de onze jours, tous les quatre ans la date de la N.L. avancera de quatorze jours ( $11 \times 4 = 44$ ;  $44 - 30 = 14$  jours) c'est-à-dire une demi-lunaison diminuée d'un jour de sorte que la date de la N.L. d'une année sera celle de la veille d'une P.L. quatre ans plus tard. De même,

d'une année sur l'autre, la date de la N.L. d'une année augmentée de quatre jours donnera la date de la P.L. de l'année suivante.

A chaque Nombre d'Or correspond la date de la N.L. de janvier et celle de mars ainsi que celle de la P.L. (date entourée). Lorsque deux Nombres d'Or se superposent (cela arrive quatre fois), au Nombre d'Or le plus haut placé correspond la date la plus haut placée de la P.L. de janvier et de mars et l'autre la date de la N.L. Réciproquement, au Nombre d'Or le plus bas placé correspond la date la plus bas placée de la P.L. de janvier et de mars et l'autre la date de la N.L. pour

ces deux mois.

Pour connaître les dates de la N.L. et de la P.L. des autres mois, il faut placer le Nombre d'Or sur le mois recherché et lire la date au regard de N.L.-P.L. sans tenir compte du cerclage des chiffres.

On trouvera ainsi en face de chaque date correctement placée la correction à apporter à l'heure lunaire moyenne ou vraie pour tenir compte de la composante solaire de la marée.

#### Description et usage des plots s'implantant dans les trous situés à la périphérie du socle (inégalités elliptiques lunaire majeure et solaire). (Onde N<sub>2</sub>)

A la périphérie du socle de l'appareil, 72 trous se répartissent par rapport au centre selon des secteurs angulaires égaux et sont gradués de 5° en 5° (de 0° à 360°) à partir du point sud qui correspond au point vernal (23 mars). A chacun de ces trous gradués selon la position orbitale de la Terre correspond la date (intervalles de 5 jours environ) à laquelle la Terre occupe cette position. Aux 360° correspondent les 365 jours avec des jours un peu plus rapprochés quand la Terre est périgée et un peu plus espacés quand la Terre est apogée (dans l'hémisphère nord, la durée du printemps et de l'été est de 186 jours tandis que celle de l'automne et de l'hiver est de 179 jours). Au quadrant gradué de 0° à 90° correspond le printemps; au qua-

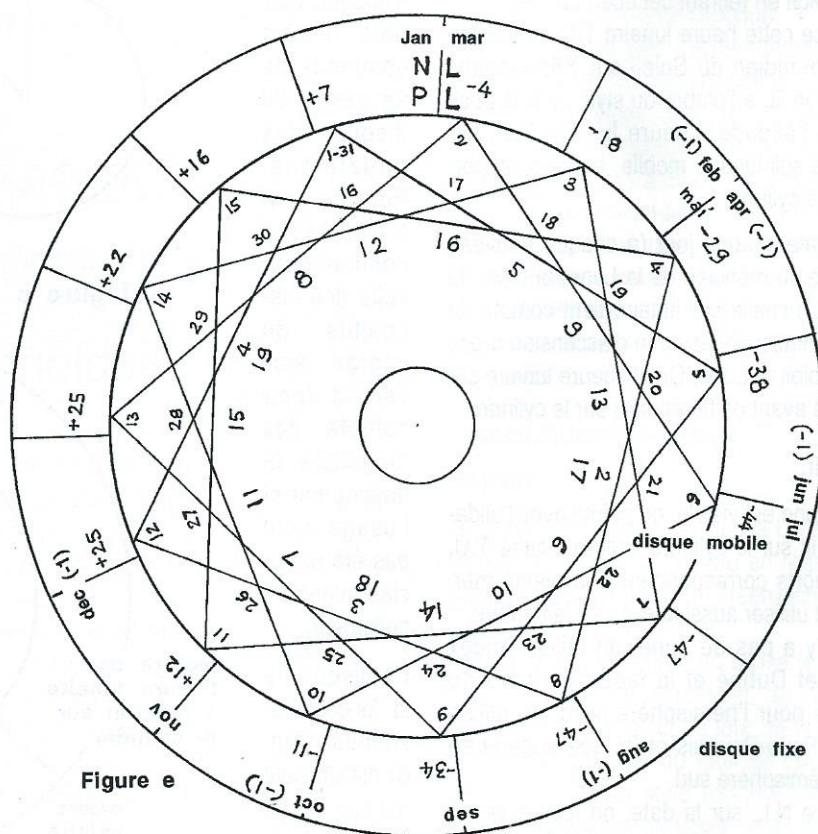


Figure e



drant 90° à 180°, l'été; au quadrant 180° à 270°, l'automne et enfin au quadrant 270° à 360°, l'hiver.

Quatre petits plots sont fixés dans les trous et servent à indiquer:

1) la position orbitale de la Terre (date à deux jours près). Ce plot sera déplacé selon la date de 5° tous les 5 jours environ, c'est-à-dire d'un trou dans le sens direct. Le rayon-vecteur Terre-Soleil sera matérialisé par la ligne passant par le centre du socle et ce plot.

2) la longitude du périégée de la Lune au 1er janvier de l'année en cours. Le plot correspondant restera donc en place tout au long d'une même année et servira de référence pour le déplacement du 3ème plot en cas d'oubli de son déplacement régulier.

3) la longitude du périégée de la Lune à la date d'observation. Elle varie d'environ 40°/an dans le sens direct et donc en moyenne de 5° tous les 45 jours.

Tous les 210 jours, Terre et périégée de la Lune ont même longitude, le périégée de la Lune se décalant de 23° environ à chacun de ces intervalles, tantôt en N.L., tantôt en P.L. ou encore tous les 420 jours en N.L. (décalage du périégée de la Lune de 46° entre deux instants où Terre et périégée de la Lune ont même longitude). Compte-tenu de l'écart angulaire entre deux trous (5°), il ne sera possible d'actualiser cette position que tous les 45 jours. C'est la direction de la ligne passant par ce 3ème plot et le centre du socle qui représentera la ligne des apsides de l'orbite lunaire.

4) la position orbitale de la Terre au dernier changement de position du plot. Celui-ci visualise la longitude du périégée de la Lune afin de savoir à quel moment intervient la fin de l'intervalle de 45 jours au terme duquel on actualise la position du 2ème plot relatif à la longitude du périégée de la Lune.

La comparaison des directions entre les deux lignes des apsides, celle de l'orbite terrestre et celle de l'orbite lunaire, permettra

d'estimer le jeu additionnel ou contrarié des forces attractives dû aux distances et aux angulations (0° à 90° entre ligne des apsides) et aux conséquences sur l'amplitude des marées en composition avec celle plus importante due à l'angle de phase (âge et déclinaison de la Lune).

Périégée Terre + périégée Lune

Périégée Terre + apogée Lune

Apogée Terre + apogée Lune

apogée Terre + périégée Lune

La comparaison à différentes phases de la Lune, en particulier aux syzygies selon les époques, c'est-à-dire selon la position orbitale de la Terre permet d'établir des inversions d'influence quant aux amplitudes car si à une époque la marée de P.L. peut être renforcée par une position de la Lune en périégée, 7 mois 1/2 plus tard, ce sera la marée de N.L. qui sera renforcée par cette position. L'amplitude de la marée sera maximale lors de la déclinaison nulle de la N. L., ou de la P.L. en périégée aux alentours des équinoxes.(Onde K<sub>2</sub>).

## CONCLUSION.

Situer la Lune en coordonnées équatoriales en référence au méridien de Greenwich soit par sa visée, soit par déduction à partir de l'angle horaire du Soleil voire des étoiles, et constater sur un cylindre cotidal ce que cette situation engendre, tel est le but de cet instrument. En tant que cadran il permet à tout moment d'avoir une idée assez précise de la situation tidale sur le globe mais c'est aussi un calculateur permettant de prédire la situation tidale n'importe quel jour à toute heure solaire T.U.

S'il s'agit évidemment essentiellement d'un jeu intellectuel pour comprendre les facteurs principaux responsables des heures de marées et les représenter par des moyens mécaniques, j'eus néanmoins l'agréable surprise qu'il permit de corriger les données hydrographiques internationales pour les ports de la Nouvelle-Zélande!

## RÉFÉRENCES

- Biggar F.J.: *The Sundial at Bangor, Country Down*. Ulster J. Archaeol. VII pp.160-165. 1901.
- Bion N.: *L' Usage des Globes célestes et terrestres et des Sphères suivant les différents systèmes du monde*. pp.125-130.
- Bouteloup J.: *Vagues, Marées, Courants marins*. Que Sais-Je? P.U.F. n° 438, 4e édition, 1979.
- Dars M., Bessero G., Guevel D.: *Les Marées* Tomes I et II. Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées. Cours OH13 éd.1979.
- Dujardin-Troadec L. *Les cartographes du Conquet, la navigation en images, 1543-1650*, Brest, Imprimerie Commerciale, 1966.
- Hourières J.: *Le Cadran solaire du Domaine de Clairmont*. L'Astronomie. Oct.1983 vol.97.
- Hourières J.: Nombreuse correspondance avec l'auteur.
- Michéa H.: *Les Cartographes du Conquet et le début de l'imprimerie*. Guillaume Brouscon, une vie pleine de mystère. Société Archéologique du Finistère, pp.329-347
- Michel H.: *Sur une singulière notation des marées*. Ciel et Terre n°11-12, pp. 311-316.
- Neufville de S.: *Navigation sans logarithmes*. Table VI.
- Rohr R.R.J.: *A sun, Moon and Tidal Dial*. Antiquarian Horology n°3, vol.16 sept.1986, pp.227-232.
- Rohr R.R.J.: *Eine Sonnen-, Mond und Gezeitenuhr* Alte Uhren 1979/2 pp.139-1.
- Rohr R.R.J.: *Les Cadran Solaires* 1986 pp.135-137.
- Sainte Marie Magdeleine, Dom P. de: *Traité d'Horlogiographie* pp.272-276.
- Schneider D. *A Tidal Dial*. B.S.S. n° 92-2 June 1992, pp. 38-40.
- S.H.O.M.: *Table des Marées des Grands Ports du Monde* n° 540 1984.
- S.H.O.M.: *Table Générale des Marées* 1959.
- Somerville A.R.: *The Sundials of John Bonar, Schoolmaster of Ayr*. Antiquarian Horology, n°3, vol.16, sept.1986, pp.233-242.
- Somerville A.R.: *The Hampton Court Dial of John Marr, 1631* (part 2 p.5 alinea 26, B.S.S. 91-1 Feb.1991) (part 3, p.4, alinea 42 B.S.S. 91-2 July 91).
- Taylor G. E.: *The Dials of Bonar* B.S.S. n°91 -3, Oct.1991, pp.13-14.
- Taylor G. E.: *A Mariner's "Equinoctial Dial" of 1634* Journal of the Institute of Navigation vol.20, July 1967, pp.343-346.

## BULLETIN D'ABONNEMENT à JEUNE MARINE

NOM et Prénoms: .....

Adresse: .....

Code Postal: .....

Compagnie, École, Entreprise: .....

A adresser avec votre règlement à:

**JEUNE MARINE**

**BOITE POSTALE 599**

**76059 - LE HAVRE CEDEX**

**C.C.P.: JEUNE MARINE ROUEN n° 480 - 72 F**

Elèves: 80 F.

Officiers, individuels: 175 F.

Collectivités (écoles, associations): 175 F

Soutien à partir de 200 F.