

Un atelier sur les marées

Véronique Hauguel

Un atelier a été présenté à des élèves de 1^{re} dans un lycée près du Havre pour trouver l'heure de marée haute le matin un jour donné avec deux méthodes. L'une utilise l'almanach du facteur de la région donnant les heures des marées au Havre. L'autre méthode, utilisée au XVIII^e siècle, est présentée à partir de volvelles provenant du manuscrit de Denonville (1760).

Quelques définitions

La rose des vents

Sur un disque qu'on divise en 2 puis en 2..., cinq fois, on obtient 32 secteurs et 32 aires de vent ou rumb. Chaque rumb correspond à $11,25^\circ$ ou $3/4$ d'heure sur un disque de deux fois 12 h ($1 \text{ h} = 15^\circ$).

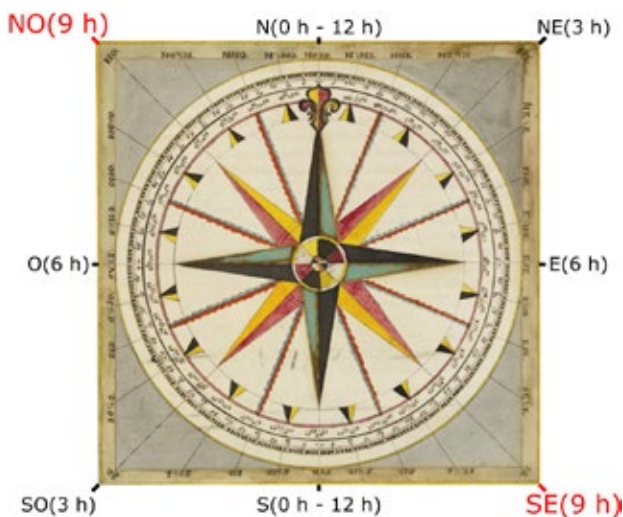


Fig.1. Rose des vents avec les rumb et les heures. Le SE et le NO (traits rouges) correspondent à 9 h, en heure du matin ou de l'après-midi (extrait du manuscrit de Denonville).

On peut considérer que ce schéma représente une boussole dans le plan de l'équateur. Le Soleil (ou son projeté) s'y déplace dans le sens des aiguilles d'une montre en passant au sud à midi et au nord à minuit.

L'âge de la Lune

L'âge de la Lune est le nombre de jours écoulés depuis la dernière nouvelle Lune (quand la Lune est entre le Soleil et la Terre), en estimant la lunaison à 30 jours.

À partir de la nouvelle Lune, la Lune s'écarte du Soleil de 12° ($360^\circ/30$), soit 48 minutes ou $4/5$ d'heure en moyenne par jour ($30 \times 4/5 \text{ h} = 24 \text{ h}$).

L'établissement d'un port

L'établissement d'un port, appelé situation d'un port par Denonville, est l'heure solaire de la marée haute le jour de la nouvelle Lune ou de la pleine Lune.

Le Soleil comme la nouvelle Lune passe au méridien (plein sud) à midi et à l'antiméridien à minuit. À l'opposé, la pleine Lune passe au méridien à minuit et à l'antiméridien à midi. Le jour de la nouvelle Lune ou de la pleine Lune, la marée haute au Havre a lieu à 9 h qui est l'établissement du port. Cela signifie que la marée retarde de 9 h sur le passage de la Lune au méridien. Dans un port donné, la marée haute a toujours le même retard sur le passage de la Lune au méridien. De ce fait, la Lune est toujours dans la même direction à l'heure de la marée haute, à 180° près. Au Havre, à marée haute, la Lune est à $9 \times 15^\circ$, soit 135° du méridien ou de l'antiméridien dans le sens indirect,



Fig.2. Carte des établissements de port dans la Manche. L'onde de marée remonte dans la Manche à partir de Brest. L'établissement du port est de 3 h 46 à Brest et 9 h 09 au Havre (image extraite de l'ouvrage *Tout savoir sur les marées* d'Odile Guérin, éd. Ouest France, p. 107)

Donc, au Havre, la Lune est, à marée haute, au SE ou au NO sous l'horizon (à 9 heures sur la figure 1).

Sur la rose des vents, le jour de la nouvelle Lune, le Soleil et la Lune sont sur la même aire de vent (même rumb). L'heure de la marée haute est liée à l'orientation du Soleil et de la Lune ce jour (figure 3).

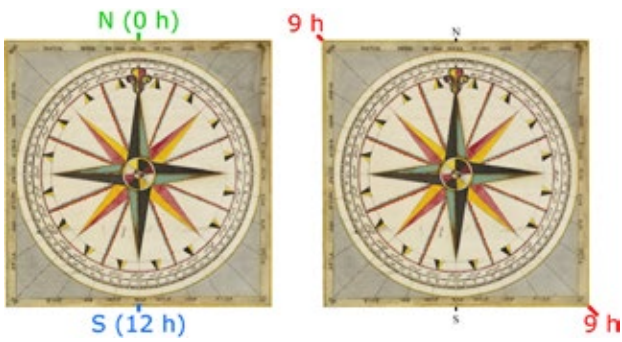


Fig.3. Position du Soleil et de la Lune le jour de la nouvelle Lune au Havre :
 - à gauche, à minuit (en vert) et à midi (en bleu) ;
 - à droite, à l'heure de la marée haute au Havre, donc 9 heures plus tard.

Le lendemain, à marée haute la Lune est à la même place dans le ciel, il est donc 48 minutes plus tard si on estime que l'angle Lune-Soleil est de 12° ou 48 minutes (4/5 h).

Le jour suivant, à marée haute, le Soleil a un écart de 24° ou 96 minutes par rapport à la Lune qui reste à la même place.

Si on considère que la Lune a un mouvement régulier on obtient un tableau de l'heure de la marée en fonction de l'âge de la Lune dont la partie de 0 à 3 jours est :

Âge de la Lune	0	1	2	3
Heure de la marée haute au Havre	9 h	9 h 48	10 h 36	11 h 24
Écart depuis la NL	0	48 min	1 h 36	2 h 24

Cette simple observation de la Lune à marée haute et de l'heure de celle-ci, peut faire l'objet d'un atelier pour des classes d'école primaire.

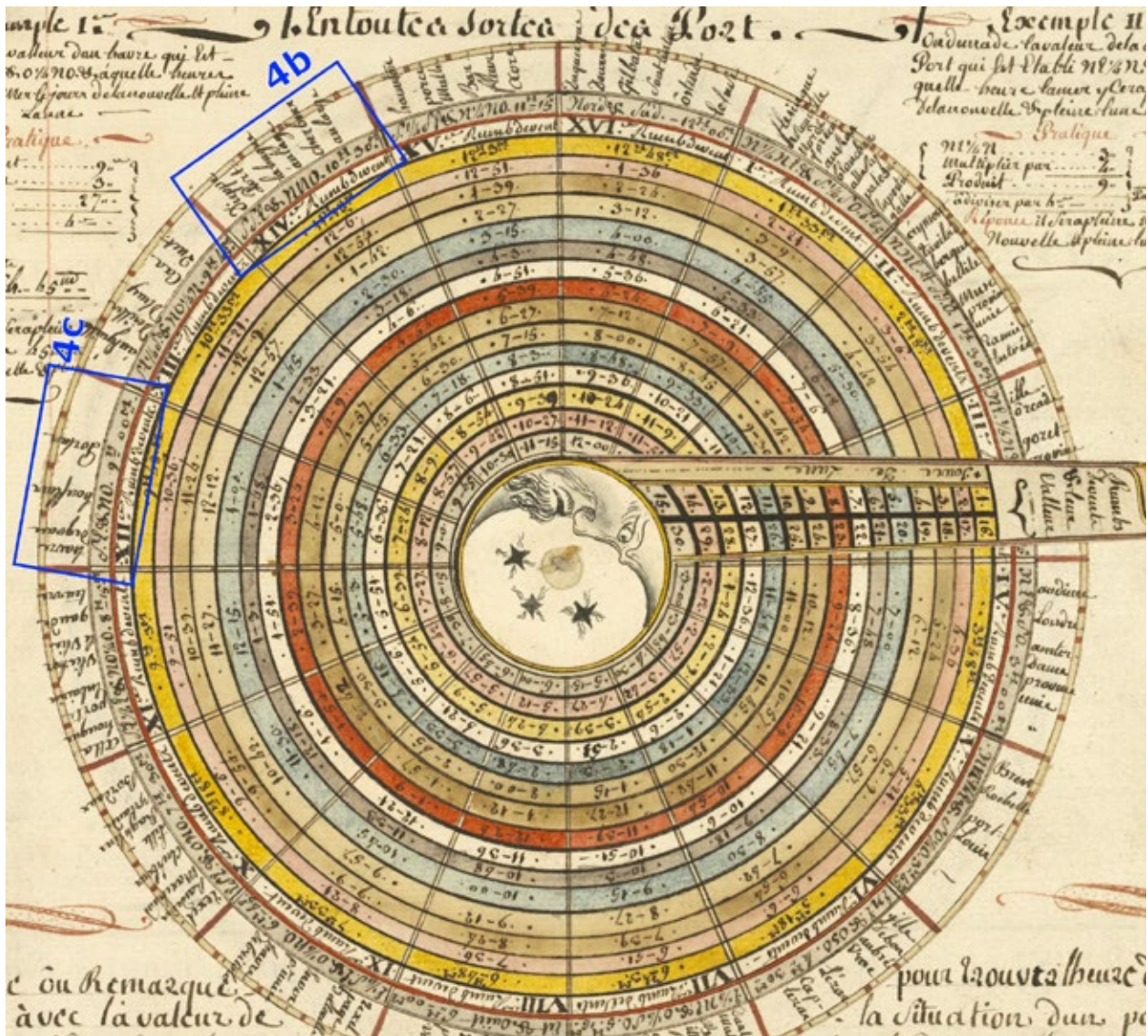


Fig.4a. Volvelle donnant la situation du port de multiples lieux à partir des rumb. Représentation en rond de 16 rumb correspondant à une heure de 0 h à 12 h du matin.

Grâce à l'observation, les marins avaient des tables pour connaître les établissements des ports indispensables pour naviguer quand on s'approchait des côtes. Ces établissements de port étaient donnés pour les heures de marées hautes le matin de 0 h à 12 h. Denoville s'inspire de la rose des vents pour faire une jolie volvelle (figure 4) qui est un disque avec une moitié de rose des vents de 0 h à 12 h comprenant 16 secteurs de 16 rumb de 22,5° ou 45 min (16 × 45 min = 12 h).

Il regroupe ainsi plusieurs dizaines de lieux en fonction de leur établissement de port avec des informations d'heure de pleine mer pour chacun. Chaque secteur correspond à 2 orientations symétriques : par exemple, sur le secteur 4c encadré en bleu (havre de grace), il est noté SE & NO.

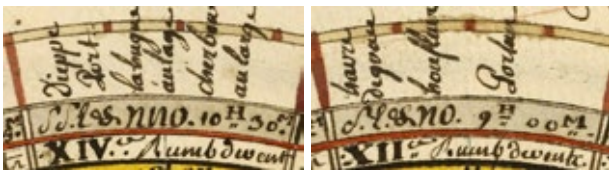


Fig.4. b. Dieppe, SSE & NNO, 10^h30^M, XIV^e rumb de vent.
c. Havre de grace, SE & NO, 9^h00^M, XII^e rumb de vent.
La marée haute à Dieppe est 1 h 30 plus tard qu'au Havre.



Fig.5. Zoom de la volvelle de la figure 4. Une alidade est graduée en jour de Lune de 1 à 15 puis de 16 à 30. Elle permet de donner la lecture directement entre le jour de Lune et l'heure de la marée haute une fois l'alidade placée sur le lieu choisi. Ici par exemple, la règlette est placée pour le Havre et on peut lire 9 h 48 min en face de 1 et 16 pour l'âge de la Lune (ligne jaune).

Application

Après une explication à partir de maquettes et du logiciel *Stellarium* pour expliquer le mouvement de la Lune vu de la Terre et ses phases, on pose le problème suivant.

- Trouver l'heure de la marée haute au Havre, le samedi 22 mai 2021 :
 - a) avec l'almanach du facteur (ou internet) ;
 - b) avec les moyens d'un marin au XVIII^e siècle.
- Comparer a) et b).

L'heure de la marée avec l'almanach du facteur (ou internet)

L'almanach du facteur donne les dates de nouvelle Lune ●, de premier quartier ☾, de pleine Lune ○ et de dernier quartier ☾ (figure 6).

En mai 2021, la nouvelle Lune ● est le 11 mai.

Le 22 mai, la Lune a donc 11 jours.

On peut alors calculer l'heure de la marée haute au Havre en heure solaire ainsi :

$$0 \text{ h (heure du passage de la Lune au méridien à la NL)} \\ + 11 \times 48 \text{ min (retard de 48 min par jour)} \\ + 9 \text{ h 09 (établissement du port, voir figure 2)} \\ = 17 \text{ h 57 min ou } 5 \text{ h 57 min}$$

À l'intérieur de l'almanach 2021 du département 76, page 8, se trouve également un tableau avec les heures légales des marées au Havre, calculées par le SHOM, pour chaque mois de l'année (figure 7). Sur ce tableau, on lit que l'heure de la marée haute est à 7 h 47 du matin (heure légale) le 22 mai 2021 au Havre. Pour comparer avec le résultat précédent, on peut donner cette heure légale H_L en heure solaire H_S par la formule :

$$H_L = H_S + E + L + (1 \text{ h ou } 2 \text{ h})$$

H_S : heure solaire

E : équation du temps

L : longitude du lieu (en heures, minutes, secondes)

MAI	
Les jours augmentent de 1 h 16	
1 S	FÊTE DU TRAVAIL
2 D	BORIS
3 L	PHILIPPE, JACQUES ☾ 18
4 M	SYLVAIN
5 M	JUDITH
6 J	PRUDENCE
7 V	GISÈLE
8 S	VICTOIRE 1945
9 D	F. J. D'ARC - J. EUR. ● 19
10 L	SOLANGE
11 M	ESTELLE, S.G. ●
12 M	ACHILLE, S.G.
13 J	ASCENSION, S.G.
14 V	MATTHIAS
15 S	DENISE
16 D	HONORÉ
17 L	PASCAL
18 M	ÉRIC
19 M	YVES ☾
20 J	BERNARDIN
21 V	CONSTANTIN ☼
22 S	ÉMILE
23 D	PENTECÔTE
24 L	DONATIEN 21
25 M	SOPHIE
26 M	BÉRENGER q.t. ○
27 J	AUGUSTIN DE C.
28 V	GERMAIN
29 S	AYMAR
30 D	F. DES MÈRES - TRINITÉ
31 L	VISITATION 22

Mai					
Date	Pleines mers		Basses mers		
	Matin h mn	Coef	Soir h mn	Coef	
01 S	02 22	93	14 48	85	
02 D	03 06	77	15 39	68	
03 L	03 57	60	16 43	53	
04 M	05 07	47	18 10	43	
05 M	06 35	42	19 30	44	
06 J	07 54	46	20 41	51	
07 V	08 58	55	21 33	60	
08 S	09 47	64	22 13	68	
09 D	10 26	71	22 48	74	
10 L	11 02	76	23 19	78	
11 M	11 34	79	23 48	80	
12 M	---	---	12 06	80	
13 J	00 18	80	12 38	79	
14 V	00 48	78	13 10	76	
15 S	01 18	74	13 42	71	
16 D	01 49	67	14 18	64	
17 L	02 25	60	14 59	56	
18 M	03 08	51	15 48	47	
19 M	04 01	44	16 49	41	
20 J	05 09	40	18 08	40	
21 V	06 30	43	19 29	47	
22 S	07 47	53	20 33	59	
23 D	08 51	66	21 27	73	
24 L	09 46	81	22 16	87	
25 M	10 36	92	23 03	97	
26 M	11 25	100	23 49	103	
27 J	---	---	12 13	103	
28 V	00 35	103	13 01	101	
29 S	01 20	98	13 49	94	
30 D	02 06	89	14 38	83	
31 L	02 53	77	15 30	70	

Fig.6. Le mois de mai de l'almanach 2021.

Fig.7. Les horaires de marées au Havre en mai 2021.

Sachant que :

- la longitude du Havre est 6° E soit - 24 s (on a 15° pour 1 h) ;
- l'équation du temps le 22 mai : - 3 min 18 s ;
- l'heure d'été : 2 heures ;
- $H_L = 7 \text{ h } 47 \text{ min}$,

on trouve $H_s = 5 \text{ h } 51$. L'heure solaire de la marée haute au Havre le 22 mai 2020 est 5 h 50 min. Le calcul précédent donnait un résultat correct à 6 minutes près.

Autre activité possible : on peut chercher les heures des marées de pleine mer pour chaque pleine Lune au Havre en 2021 et comparer ces heures. Obtient-on l'établissement du port du Havre ?

Réponse : on obtient entre 9 h 19 et 10 h 03 (tableau ci-dessous). La méthode utilisée précédemment est donc très approximative, mais elle permet d'avoir l'heure de la marée haute à 1 h près.

Date de NL	$H_{\text{Légale}}$	Équation du temps	H_{Solaire}
13 jan	10 h 43	+ 9 min	9 h 34
11 fév	10 h 34	+ 14 min	9 h 20
13 mars	10 h 56	+ 9 min	9 h 47
12 avr	12 h 02	+ 1 min	10 h 01
11 mai	11 h 34	- 4 min	9 h 38
10 juin	11 h 44	0	9 h 44
10 juil	12 h 04	+ 5 min	9 h 59
8 août	11 h 47	+ 6 min	9 h 41
7 sept	12 h 01	- 2 min	10 h 03
6 oct	11 h 33	- 12 min	9 h 45
4 nov	10 h 03	- 16 min	9 h 19
4 déc	10 h 22	- 10 min	9 h 32

Heures de la marée haute à la nouvelle Lune au Havre en 2021, en heure légale, puis en heure solaire.

L'heure de la marée avec les moyens d'un marin au XVIII^e siècle

Il faut dans un premier temps connaître la situation du port¹ puis chercher l'âge de la Lune et enfin en déduire l'heure solaire de la marée haute.

La situation du port

Sur la volvelle (figures 4a et 4c), on cherche la ville *havre de grace*. La situation du port au Havre est SE & NO correspondant à 9 h.

L'âge de la Lune

Au XVIII^e siècle, dans leur formation, les pilotes apprenaient à retrouver les dates des nouvelles lunes par le comput ecclésiastique. Il fallait alors

¹ Denoville utilise l'expression « situation d'un port » pour l'établissement du port.

connaître l'année pour calculer l'épacte (l'âge de la Lune au 31 décembre de l'année précédente)² puis on en déduisait les dates des nouvelles lunes et donc l'âge de la Lune un jour donné. Des moyens mnémotechniques ou avec les doigts, des tables ou des volvelles leur faisaient éviter les calculs.

Actuellement, l'épacte de l'année se lit sur l'almanach du facteur sous le mois de février avec d'autres données comme le nombre d'or. L'épacte de 2021 est 16.

Épacte 16 - Lettre dominicale C Cycle solaire 14 - Nombre d'or 8 Indiction romaine 14

Fig.8. Épacte, nombre d'or, ... sur l'almanach du facteur 2021.

À l'aide de la volvelle des nouvelles lunes (figure 9), on lit que la nouvelle Lune en mai, pour une épacte de 15, est le 12 mai. Donc pour une épacte³ de 16, c'est le 11 mai. L'âge de la Lune le 22 mai est donc de 11 jours.



Fig.9. Volvelle donnant les dates des nouvelles lunes quand on connaît l'épacte. À l'épacte 15, le jour de la nouvelle lune en mai est le 12.

L'heure de la marée haute le 22 mai 2021

Pour trouver l'heure de la marée haute cherchée :

- on peut lire le résultat sur la figure 5. L'alidade, graduée en jours de Lune, est positionnée sur le port du Havre. En face de 11 jours (l'âge de la Lune), on lit 5 h 48 min.

- on peut faire le calcul comme précédemment :

$$11 \times 48 \text{ min} = 11 \times 4/5 \text{ h} = 8 \text{ h } 48 \text{ min}$$

Cet écart est à ajouter à la situation du port. L'heure de la marée haute le matin est :

$$9 \text{ h} + 8 \text{ h } 48 - 12 \text{ h} = 5 \text{ h } 48 \text{ min}$$

Avec ces 2 moyens, pour une Lune de 11 jours, l'heure de la marée haute au Havre en heure solaire est 5 h 48 min.

Denoville propose une autre volvelle remarquable. Comme l'heure de marée haute est liée à la situation

² Voir CC n° 136, 2011.

³ Il n'y a pas d'épacte de 16 au XVIII^e siècle. La formule change à certaine année séculaire, elle a changé en 1900.

<http://assprouen.free.fr/denoville/dossierPDF/0403.pdf>

du port et à l'âge de la Lune (ou son orientation), la volvelle « à trois variables » de la figure 10 permet de trouver une variable si on connaît les deux autres.

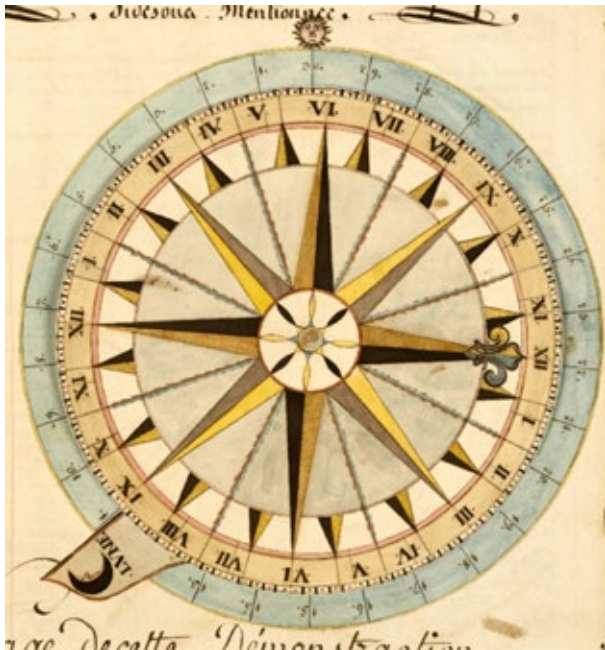


Fig.10. Volvelle « à trois variables ».

Pour l'exercice proposé, l'index lunaire est réglé sur la situation NE ou SE ou 9 h (IX) de la rose des vents centrale. Puis on tourne l'ensemble index et rose des vents pour amener l'index sur 11 jours. On lit l'heure sur le diamètre vertical en haut sous le Soleil.

Pour une Lune de 11 jours, l'heure de la marée haute au Havre en heure solaire est 5 h 48 min (chaque heure est partagée en 5 parties de 12 min donc 5 h + 4 parties de 12 min = 5 h 48 min).

Le fonctionnement de la volvelle est expliqué sur la figure 11.

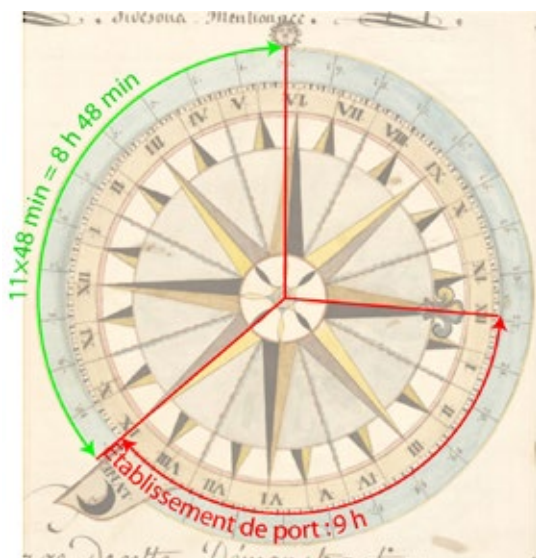


Fig.11. Fonctionnement de la volvelle des marées. L'heure de la marée s'obtient en effectuant graphiquement l'addition 9 h + 11 x 48 min = 17 h 48 ou 5 h 48.

Conclusion

Avec le SHOM, l'heure de la marée haute le 22 mai 2021 est 5 h 44 min et avec les moyens de Denoville en 1760, l'heure solaire est 5 h 48 min ! La date a été choisie par hasard (vous n'êtes pas obligés de me croire...) mais le résultat est trop beau pour être vrai ! J'ai donc recommencé avec quelques autres dates en 2021 au Havre :

- Calcul de l'âge de la Lune :

date	NL*		Âge de la Lune
	Almanach	Volvelle	
26 mars	13 mars	13 mars	13
8 juin	10 juin	10 juin	28
12 déc	4 déc.	4 déc.	8

*En juillet et novembre, il y a un décalage de 1 jour dans les dates de NL.

- Calcul des heures de marée pour ces 3 dates⁴ avec chacune des méthodes :

date	Avec le SHOM			Avec la volvelle à 3 variables
	H _L	Éq du t.	H _S	
26 mars	9 h 07	+ 6 min	8 h 07	7 h 24
8 juin	10 h 32	- 1 min	8 h 33	7 h 22
12 déc.	5 h 12	- 6 min	4 h 18	3 h 24

Effectivement, j'ai eu la main heureuse ! L'erreur peut dépasser une heure. Cependant ces moyens rendaient de fiers services aux navigateurs qui connaissaient par expérience la précision de leur calcul mais aussi les risques qu'ils encouraient sans ces calculs.

Quelques liens

Le site de l'ASSP de Rouen propose de nombreux documents sur Denoville.

Vous trouverez en particulier les volvelles décrites ici sous forme animée (on peut les manipuler) :

- pour trouver le jour de la nouvelle Lune (figure 9) <http://assprouen.free.fr/denoville/animations/deno-08/deno-08.html> ;
- la volvelle des situations du port (figure 4) <http://assprouen.free.fr/denoville/animations/deno-13/deno-13.html> ;
- la volvelle à 3 variables (figure 10) <http://assprouen.free.fr/denoville/animations/deno-15/deno-15.html>.

Sur l'épacte et le nombre d'or : <http://assprouen.free.fr/denoville/dossierPDF/0403.pdf>

⁴ L'épacte d'une année fonctionne de mars de l'année à fin février de l'année suivante. C'est pourquoi, je ne choisis pas de date en janvier et février.