

Instrument

Le nocturlabe

Véronique Hauguel, Rouen

Vous trouverez dans cet article le principe et l'utilisation du nocturlabe, un instrument pratique utilisé par les navigateurs, beaucoup plus simple que l'astrolabe mais aussi moins précis.

Le nocturlabe, nocturnal ou encore cadran aux étoiles, est un instrument utilisé de la fin du XV^e siècle jusqu'au XVIII^e pour connaître l'heure locale la nuit dans l'hémisphère nord grâce à l'observation de la position de certaines étoiles.

Sur l'invention de l'instrument, on sait peu de choses, les connaissances astronomiques sur lesquelles repose le nocturlabe existent depuis les astronomes grecs qui les avaient déjà mises en pratique. Le nocturlabe s'est répandu et a été amélioré à partir du XVI^e siècle avec le développement de la navigation à travers les océans.

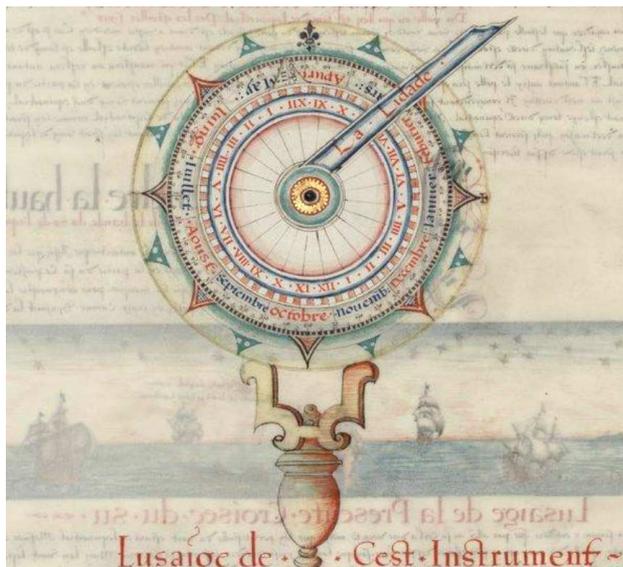


Fig. 1. Dessin de nocturlabe dans « Les Premières Euvres de JACQUES DEVAULX, pillote en la marine », 1583 (Gallica)

On pouvait connaître l'heure le jour grâce aux cadrans solaires s'il faisait beau mais les caprices de la météorologie demandaient de multiplier les possibilités de mesurer le temps sur un ciel découvert. Déterminer l'heure la nuit de manière assez précise devenait une nécessité. Puis, au fil des années, sur le nocturlabe ont été inscrites d'autres données qui montrent le grand intérêt de l'instrument pour les navigateurs. Certains nocturlabes donnaient la différence de hauteur entre l'étoile

Polaire et le pôle Nord céleste¹. Cette différence servait à rectifier la latitude du lieu en mesurant la hauteur de l'étoile Polaire.

Au centre du nocturlabe, était souvent ajouté un calculateur de marée : la position de la Lune, la date, l'heure étaient des données nécessaires pour connaître l'heure de la marée dans un port.

Principe de fonctionnement

Le nocturlabe a été conçu en observant les deux principaux mouvements de la Terre.



Fig. 2. Mouvement relatif Terre/voûte céleste (pose photo d'une heure). L'étoile Polaire est au centre du mouvement apparent.

La Terre tourne autour de l'axe des pôles, dans le sens direct² si on la regarde depuis le pôle Nord. Au cours de la nuit, on peut observer la voûte céleste tourner dans le sens direct autour de l'étoile Polaire.

En première approximation :

- la Terre fait un tour sur elle-même en 24 h ;
- en 1 heure, la voûte céleste tourne de 15° ;
- en 2 heures, elle tourne de 30° ...

Conséquences pour le nocturlabe

- Le nocturlabe possède un cercle gradué en heures, appelé « cercle des heures », dans le sens direct.
- Ce cercle doit être centré sur l'étoile Polaire.
- On doit utiliser des étoiles proches de la Polaire.

¹ Le pôle Nord céleste est l'intersection de l'axe de la Terre avec la voûte céleste. En 1500, la Polaire (α UMi) était à 3° 24' du pôle Nord céleste. Actuellement, en 2013, elle est à 40° 45'.

² Sens inverse des aiguilles d'une montre.

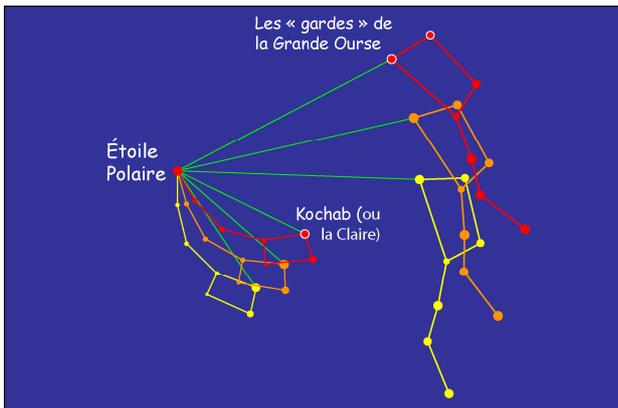


Fig. 3. Petite Ourse et Grande Ourse représentées le 1^{er} décembre à 0 h (en jaune), 1 h (en orange) et 2 h (en rouge).

Plus précisément, la Terre fait un tour sur elle-même non pas en 24 h mais en 23 h 56 min 4,09 s si on se repère aux étoiles. C'est la durée du jour sidéral (déplacement de M_1 à M_2 sur la figure 4). Donc, en 24 heures en moyenne (durée du jour solaire), la Terre fait un peu plus d'un tour pour se retrouver dans une même position par rapport au Soleil (même heure en un lieu donné).

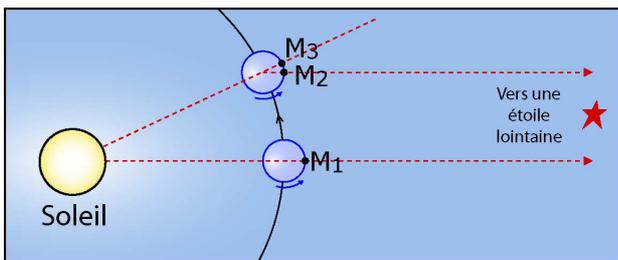


Fig. 4. Mouvement relatif Terre/voûte céleste/Soleil sur un jour. En M_1 , il est minuit, un observateur vise une étoile. Après un jour sidéral (environ 23 h 56 min), il se retrouve en M_2 et voit l'étoile dans la même position. Mais il faut encore près de 4 minutes pour qu'il se retrouve à minuit en M_3 .

Chaque jour, la Terre se déplace sur sa trajectoire autour du Soleil d'un angle de 1° environ ($360^\circ/365,25$). L'observateur sur Terre voit le Soleil se déplacer du même angle sur la voûte céleste.

Entre 2 jours consécutifs, à une même heure, les étoiles se sont décalées de presque 1° , elles semblent prendre de l'avance autour de l'axe des pôles dans le sens direct (figure 5). La Terre a alors fait 361° sur elle-même.

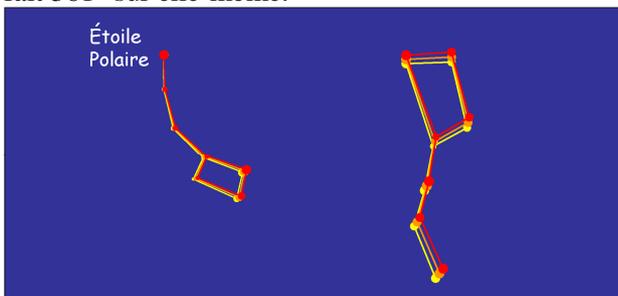


Fig. 5. Petite Ourse et Grande Ourse représentées le 1^{er} décembre à minuit (en jaune), le 2 décembre à minuit (orange), le 3 décembre à minuit (rouge).

Quelle que soit l'année, au même jour, à la même heure, la position Terre/Soleil/voûte céleste est identique. La date, pour l'utilisation du nocturlabe, ne dépend donc pas de l'année.

Conséquences pour le nocturlabe.

- Le nocturlabe est gradué, dans le sens direct, en douze mois, avec des subdivisions en jours, un « cercle des jours », fixe et indépendant du « cercle des heures ».
- On repère une étoile qui passe à la verticale de la Polaire³ à 0 heure, heure locale, un jour donné qui servira d'« origine ».

Récapitulatif

- D'une heure à l'autre, la voûte céleste tourne de 15° environ autour de l'axe de la Terre, soit de 1° en 4 minutes. Si on connaît la position d'une étoile un jour donné à une heure donnée, son décalage d'environ 15° par heure nous permet de trouver l'heure la nuit.
- Entre deux jours consécutifs, à la même heure, la voûte céleste tourne de 1° environ. On peut suivre le décalage de l'étoile repérée d'un jour à l'autre.
- Entre deux années consécutives, au même jour, à la même heure, la position de chaque étoile reste la même.

Description et mode d'emploi

Choix des étoiles



Fig. 6. Quelques étoiles proches de la Polaire.

L'instrument devant être centré sur l'étoile Polaire, proche du centre de rotation de la voûte céleste, les étoiles visées sont, soit les « Gardes » de la Grande Ourse, Merak (β UMa) et Dubhe (α UMa), presque alignées avec la Polaire, soit Kochab (β UMi) appelée aussi la Claire, étoile la plus brillante des Gardes de la Petite Ourse. La Claire était le plus souvent utilisée. On peut avancer quelques hypothèses :

- comme on le verra, il faut viser 2 étoiles en même temps avec le nocturlabe. Cette action est plus facile si les étoiles sont proches ;

³ Comme on utilise des étoiles proches de la Polaire, on repère le passage d'une étoile au nord, au-dessus ou en dessous de la Polaire.

- la Petite Ourse est circumpolaire (visible toute l'année) pour une latitude supérieure à 16° alors que les Gardes de la Grande Ourse restent au-dessus de l'horizon pour une latitude supérieure à 33° . Or, la traversée de l'Atlantique à partir des îles Canaries se fait à une latitude inférieure à 30° .

Selon le choix des étoiles, l'origine du « cercle des jours » sera différente. C'est d'ailleurs comme cela qu'on reconnaît les nocturlabes qui fonctionnent avec les Gardes de la Grande Ourse ou de la Petite Ourse : actuellement, Dubhe passe à la verticale de la Polaire à 0 h (heure solaire) le 8 septembre (sous la Polaire) et le 9 mars (au-dessus de la Polaire) alors que c'est le 3 novembre et le 5 mai pour Kochab. Certains nocturlabes ont deux index ce qui permet de lire l'heure en prenant les Gardes de l'une ou de l'autre des deux ourses. L'angle entre ces deux index représente l'angle Kochab / Polaire / Dubhe, valant environ 55° ⁴.

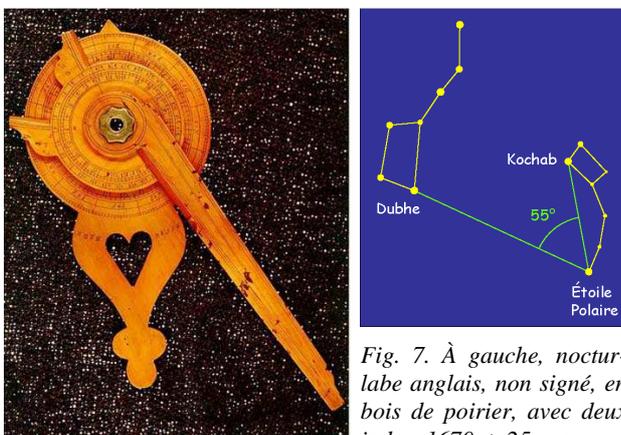


Fig. 7. À gauche, nocturlabe anglais, non signé, en bois de poirier, avec deux index, 1670 ± 25 ans.

Description

Le nocturlabe est composé de trois pièces :

- Un disque dont la couronne extérieure, le « cercle des jours », est divisée en 12 parties pour les douze mois du calendrier solaire utilisé à l'époque et éventuellement les 12 signes du calendrier du zodiaque, en tournant dans le sens direct. Chaque mois est subdivisé en jour. Est fixé sur ce disque un manche indiquant le bas de l'instrument ou un anneau indiquant le haut. Dans les ouvrages de navigation, ce sont les nocturlabes à manche les plus fréquents.

- Un disque mobile plus petit, concentrique, le « cercle des heures », gradué dans le sens direct de 0 à 24 heures ou 2 fois de 0 à 12 heures, ou encore, avec uniquement les heures utiles pour le lieu d'utilisation, de 16 h à 8 h par exemple. Il est souvent entouré de petites dents avec une plus longue pour 0 heure/24 heures ce qui permettait aux

marins, semble-t-il, de lire l'heure la nuit sans lumière avec le toucher !

- Une alidade, dépassant du disque fixe et tournant autour du centre du nocturlabe qui est troué et laisse la possibilité de faire une visée par cet orifice. Un côté est aligné avec le centre de l'instrument.

La plupart des nocturlabes étaient certainement faits en bois (bois de poirier ou de buis), d'autres, ceux le plus souvent conservés, sont en laiton.

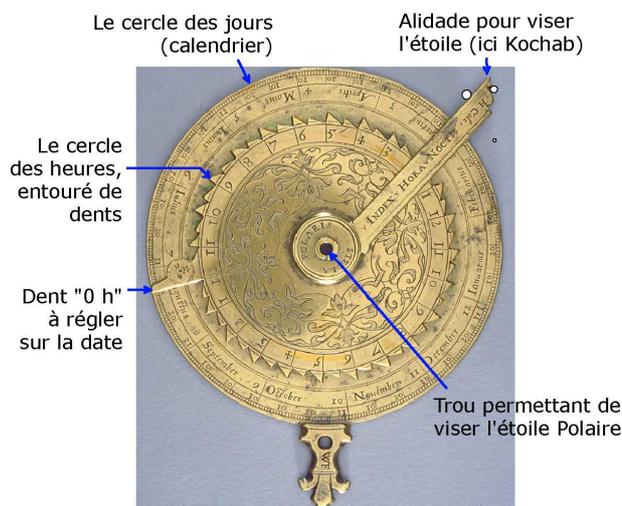


Fig. 8. Les trois pièces du nocturlabe

Pour l'observation à l'aide des Gardes de la Grande Ourse, l'alidade doit être assez longue. Merak est à 34° de la Polaire. Si on estime qu'en tendant légèrement le bras, l'instrument est à 30 cm de notre œil, l'alidade doit mesurer plus de 20 cm. Dans les mêmes conditions, pour l'observation avec la Claire située à $16,5^\circ$ de la Polaire, le rayon du grand disque doit être inférieur à 9 cm (diamètre maximum de 18 cm).

Mode d'emploi avec les Gardes de la Grande Ourse

Mettre la grande dent de 0 h / 24 h (ou 12 h) sur la date et la maintenir dans cette position.

Viser l'étoile polaire par le trou au centre du nocturlabe.

Tendre le bras en maintenant bien le manche de l'instrument dans la main. Les graduations doivent être dans le plan de l'équateur donc perpendiculaire à la ligne de visée œil-Polaire et le manche doit être dans le plan du méridien, le plan vertical nord-sud. L'étoile Polaire étant toujours en ligne de mire, tourner l'alidade pour marquer l'alignement du centre avec les Gardes, Dubhe et Merak.

Lire l'heure sur le « cercle des heures » indiquée par l'alidade.

⁴ Sur le nocturlabe anglais en bois, cet angle dépasse 60° .

Quelle heure lit-on ? Avec quelle précision ?

Les dates sont graduées régulièrement sur le « cercle des jours », ce qui fait que l'on considère une durée de jour constante. Donc le nocturlabe donne l'heure solaire moyenne locale.

Chaque soir, le nocturlabe est réglé sur la position des Gardes à minuit, heure solaire moyenne. Puis c'est le mouvement des étoiles qui donnent l'heure confondant ainsi temps sidéral et temps solaire. L'erreur reste minime (inférieure à 2 minutes) par rapport à l'imprécision des mesures.

Un navigateur habile pouvait réaliser une lecture avec une précision de plus ou moins 15 minutes si on énumère toutes les causes d'erreurs :

- étalonnage du « cercle des jours » approximatif ;
- visée de la Polaire et non pas du pôle Nord ;
- difficultés dans l'utilisation (positionnement de l'instrument, visée des astres, lecture des graduations resserrées sur un petit instrument).

L'étalonnage du cercle des jours

Pour étalonner le cercle des jours, il faut savoir quel jour passe l'étoile choisie à la verticale de la Polaire à 0 heure. Elle y passe d'ailleurs deux jours de l'année, un jour au-dessus de la Polaire et un jour au-dessous.

Ces jours dépendent bien sûr de l'étoile choisie mais pour une même étoile, ils dépendent du calendrier, julien ou grégorien, et de l'époque.

1^{er} problème : le calendrier

Entre les nocturlabes fabriqués avant la réforme du calendrier grégorien et après, il y a une différence de 10 jours (éventuellement 11 jours pour les nocturlabes du XVIII^e), jours qui ont été supprimés lors de l'application de la réforme pour caler à nouveau l'équinoxe de printemps le 21 mars⁵, date nécessaire à l'église catholique pour fixer Pâques. Avant la réforme, en 1582, le 1^{er} jour du Bélier (donc le jour de l'équinoxe) était le 11 mars.

2^e problème : le phénomène de précession des équinoxes

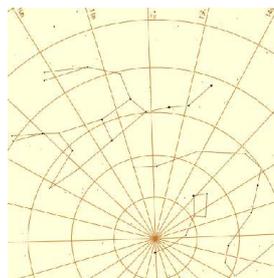
Ce phénomène peu sensible sur quelques dizaines d'années a des conséquences significatives sur plusieurs siècles, même pour le nocturlabe peu précis. Il s'agit d'un lent déplacement de l'axe de la Terre qui a deux conséquences pour l'instrument :

- d'une part, l'écart entre l'étoile Polaire et le pôle Nord céleste varie, il diminue actuellement.
- d'autre part, le calendrier basé sur les saisons se décale par rapport aux étoiles d'environ un jour et demi par siècle.

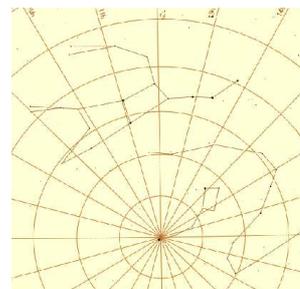
Dubhe passait à la verticale, au dessus de la Polaire à 0 heure le 21 février 1582, le 3 mars après la réforme du calendrier et y passe le 9 mars actuellement (décalage de 6 jours en 4 siècles).

⁵ Date de l'équinoxe fixé par le comput ecclésiastique.

L'équinoxe de printemps, défini astronomiquement, est entre le 19 et le 21 mars.



Autour de 1500



Autour de 2000

Fig. 9. Mise en évidence du rapprochement de la Polaire et du pôle Nord céleste (à l'intersection des méridiens) et du décalage des étoiles dans un repère équatorial de la voûte céleste (Dubhe recule de 32 minutes ou 8°) entre 1500 et 2000.

Temps sidéral, moyen, vrai, légal

- Le temps sidéral est l'heure aux étoiles. Un jour sidéral vaut 23 h 56 min 4,1 s.

- Le jour solaire moyen vaut exactement 24 h. Le temps solaire moyen se décale donc chaque jour de 3 min 55,9 s par rapport au temps sidéral.

- Le temps solaire vrai est l'heure au Soleil ; midi correspond au passage du Soleil au méridien (plein sud en France métropolitaine). Mais il n'est pas régulier d'où l'utilité d'un temps solaire moyen. L'écart entre temps solaire vrai et temps solaire moyen dépend de la date. On l'appelle l'équation du temps. Elle varie de -16 à +14 min.

- L'heure légale en France correspond au temps solaire moyen de Greenwich auquel on ajoute 1 h (heure d'hiver) ou 2 h (heure d'été). L'écart de longitude avec Greenwich est donc aussi à prendre en compte pour passer du temps solaire local au temps légal, à raison de 1 heure pour 15° ou 4 minutes par degré. On a donc :

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

où H_L : heure légale ; H_M : heure solaire moyenne ; L : décalage en longitude ; (1 h ou 2 h) : heure hiver/été ; H_M : heure solaire moyenne ; H_S : heure solaire vraie ; E : équation du temps.

Pour dater un nocturlabe

Le tableau suivant donne la date inscrite sur le diamètre vertical en haut de nocturlabes plus ou moins anciens. C'est la date où l'étoile choisie passe à la verticale de la Polaire à 0 heure. Par exemple, pour un nocturlabe du début du XVI^e siècle, la date ainsi définie pour Claire de la Petite Ourse est autour du 20 avril⁶.

	Position de l'étoile à la verticale à 0 h		
	Avant la réforme	Après la réforme, XVI ^e	Actuellement
Kochab (la Claire) Petite Ourse	21 avril	1 ^{er} mai	5 mai
Les Gardes de la Grande Ourse	21 février	3 mars	9 mars

⁶ Cette date varie effectivement d'un nocturlabe à l'autre et trouve relativement souvent le 15 avril. Il semble que les nocturlabes ne brillaient pas particulièrement par leur précision.

Exercices d'applications

1. Trouver l'heure

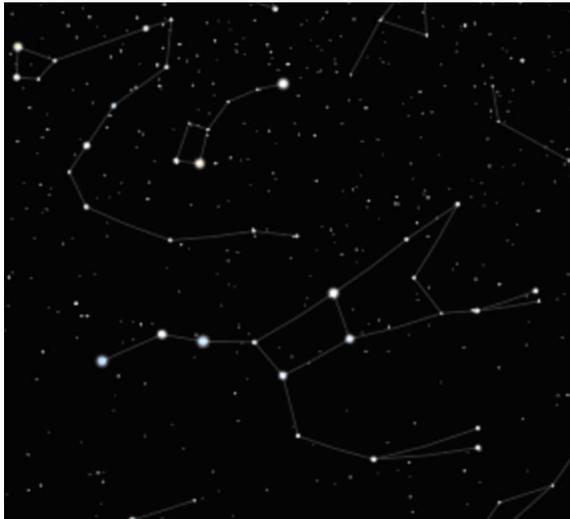


Fig. 10. Ciel du 24 août 2013, à Gap mais à quelle heure ?
Le bas de l'image est horizontal (image Stellarium).

- À partir de l'image du ciel de Gap le 24 août 2013 et à l'aide du nocturlabe, déterminer l'heure (temps moyen) comme les marins.
- Retrouver alors l'heure légale sachant que la longitude de Gap est $6^{\circ} 5' E$.

Solution :

Le nocturlabe donne 2 h (heure solaire moyenne).

b. Avec la formule : $H_L = H_m + L + 2h$ (été)

$L \approx 6^{\circ} E = -24 \text{ min}$

$H_L = 2 \text{ h} - 24 \text{ min} + 2 \text{ h} = 3 \text{ h } 36 \text{ min}$.

(l'image a été faite avec Stellarium pour 3 h 30).

2. Pour fabriquer un nocturlabe

Avec Stellarium (ou tout autre logiciel d'astronomie), retrouver le jour de 2013 où Dubhe passe au méridien (côté zénith) à minuit (heure moyenne) puis à la verticale de la Polaire.

Solution

Il faut déjà trouver à quelle heure affichée correspond 0 h, heure moyenne. Si on veut rester en heure légale et dans un lieu quelconque, on utilise la

formule $H_L = H_M + L + 1 \text{ h}$ (heure d'hiver), ce qui donne par exemple 0 h 35 min 40 s à Gap.

Pour simplifier, on peut se mettre en heure TU et se placer à Greenwich. Dans ce cas, aucune correction n'est à faire, 0 h heure moyenne = 0 h TU.

On s'oriente au nord et on trace le méridien.

On se place à 0 h, heure moyenne et on fait défiler les jours (= ou - sur Stellarium) jusqu'à ce que Dubhe soit sur le méridien au dessus de la Polaire.

On trouve le 8 mars.

Dubhe et la Polaire sont presque à la verticale (azimuts très proches) le 9 mars.

Pour que le nocturlabe fonctionne actuellement avec Dubhe, il faut donc que le 9 mars soit sur le diamètre vertical en haut de l'instrument.

On peut refaire la manipulation pour le mois de septembre (heure d'été) pour retrouver le jour où Dubhe passe à la verticale (côté opposé au zénith) à 0 h, heure moyenne. On trouve le 9 septembre.

D'une année à l'autre, on peut avoir un décalage d'un jour du fait que la période de révolution de la Terre n'est pas exactement de 365 jours.

Le CLEA vous propose sur son site un nocturlabe à imprimer et à construire (avec le 9 mars comme date repère).

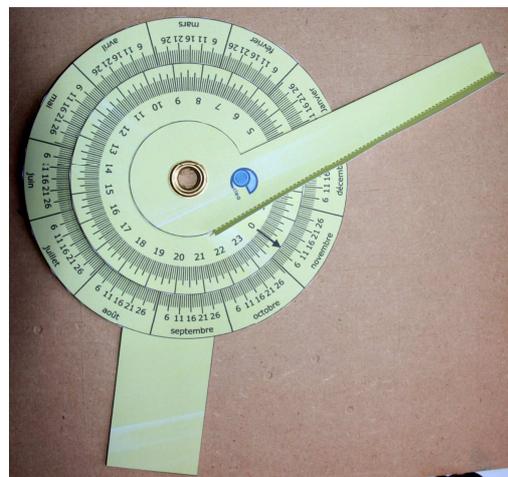
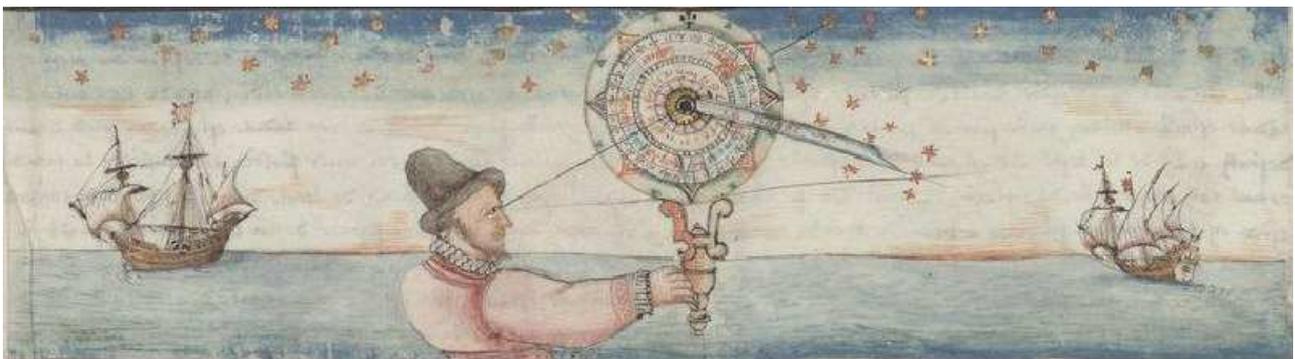


Fig. 11. Nocturlabe proposé sur le site du CLEA
(www.clea-astro.eu, archive des Cahiers Clairaut, hiver 2013)



Les premières œuvres de Jacques De Vaulx, hydrographe, 1584