

---

# Les nocturlabes entre 1500 et 1650 : approximations et tentatives de correction

par Éric Mercier & Denis Savoie

---

## MOTS CLEFS

Nocturlabe; Kochab; Temps vrai; Temps moyen; Roue homme-pôle; Latitude; Navigation.

## RÉSUMÉ

Au début du XVI<sup>e</sup> siècle, le nocturlabe correspondait à une adaptation d'un instrument archaïque, basé sur des méthodes mnémotechniques approximatives. Ce n'est qu'au milieu du siècle que des calculs astronomiques ont commencé à être pris en compte; mais ceux-ci étaient entachés de plusieurs approximations. Par la suite, celle liée à l'utilisation du temps vrai (au lieu du temps moyen) ne fut jamais corrigée, et celle liée au fait de viser la Polaire (au lieu du pôle) a fait l'objet d'une tentative de correction, formalisée à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle par Coignet. Il s'agit d'une méthode simple et assez efficace, mais qui pourrait n'être qu'empirique.

©2021 CC/SAFS. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1 Généralités

Le nocturlabe est un instrument gnomonique qui utilise la rotation apparente des étoiles autour du pôle (Nord) pour déterminer l'heure durant la nuit. La rotation complète a lieu en environ 23 h 56 min 4 s; elle permet donc de mesurer directement le temps sidéral. La différence entre la rotation apparente, c'est-à-dire la journée en temps sidéral, et la journée de temps moyen (24h) est une constante, l'écart valant toujours 3 m 56 s. La position d'une étoile par rapport au pôle varie donc de façon simple en fonction de l'heure et du jour de l'année. De ce fait, il suffit de connaître la position d'une étoile donnée, et la date du jour, pour en tirer l'heure exprimée en temps moyen (voir synthèse dans Baudoux 2014).

En théorie, le nocturlabe est donc un instrument simple et universel qui permet de mesurer le temps moyen la nuit. En pratique les choses sont un peu plus compliquées, notamment pendant la période qui nous intéresse ici, au XVI<sup>e</sup> siècle et au début du suivant. À cette époque,

la notion de temps moyen n'était pas très répandue. L'équation du temps, qui est la variable qui sépare le temps moyen du temps vrai était connue<sup>1</sup>, mais c'étaient les heures en temps vrai qui étaient utilisées<sup>2</sup>. Cette constatation suggère la possibilité d'une erreur systématique, correspondant à l'équation du temps, dans la lecture du nocturlabe. Par ailleurs, il est très difficile de déterminer la position du pôle sans étoile repère. Actuellement la Polaire ( $\alpha$  UMi) est à 0° 39' du pôle, mais au milieu du XVI<sup>e</sup> siècle elle était à plus de 3°. Dans ces conditions, assimiler la polaire au centre de rotation, au lieu du pôle, introduit une erreur supplémentaire. Cette erreur varie durant la nuit et est dépendante de la latitude de l'observateur (Savoie 2010).

Quand on examine les instruments et les écrits du XVI<sup>e</sup> siècle (Tabl. 1), on est surpris de la grande variabilité des « réglages » de l'instrument que l'on relève. Nous examinerons plus loin ce que l'on appelle le « réglage ». L'hypothèse que nous voudrions tester ici est que certains des gnomonistes de l'époque considérée étaient conscients d'au moins une partie des erreurs que nous venons d'évoquer, et qu'ils ont parfois cherché à les corriger, sans que cette démarche ait laissé beaucoup de traces écrites. Ce serait ces erreurs, et ces corrections plus ou moins bien maîtrisées, qui seraient à l'origine de la variabilité du réglage sur les instruments, ou dans les traités.

## 2 Les possibles ancêtres du nocturlabe

Le début du XVI<sup>e</sup> siècle correspond à la période d'apparition de la forme achevée du nocturlabe. L'histoire antérieure n'est pas claire, il ne s'agit probablement pas d'un instrument issu de la science arabo-islamique (Bekli et al 2011, p. 66-67). Par contre, des auteurs ont vu un ancêtre possible dans un instrument médiéval européen (*horologium nocturnum*). En dehors du fait que l'interprétation des manuscrits qui le décrivent est problématique (Michel 1954; Oestmann 2001; Weyant 1999; Bertola 2016), il existe un laps de temps suffisant entre la disparition de l'instrument médiéval et l'apparition du nocturlabe pour que la filiation ne soit pas directe.

Une origine plus évidente peut être recherchée dans des instruments portugais de navigation du début de la période des Grandes Découvertes : la roue homme-pôle. Cet instrument a commencé à être utilisé au milieu du XV<sup>e</sup> siècle, et il semble établi que Christophe Colomb s'en est servi à la fin du XV<sup>e</sup>, mais les plus anciennes monographies qui nous sont parvenues ne datent que du début du XVI<sup>e</sup>. Plusieurs versions sont décrites<sup>3</sup> mais il est impossible de reconstituer la filiation entre elles, du fait du caractère tardif de ces documents.

Notons que ces instruments étaient destinés à des marins, très majoritairement illettrés. Les inventeurs et les diffuseurs de ces roues ont donc privilégié des valeurs « rondes » positionnées sur les diamètres principaux de la roue (rhumbs). Ces valeurs étaient éventuellement entachées d'approximation, mais cela facilitait leur mémorisation.

**1 – Roue « géodésique »<sup>4</sup>**, citée ici pour mémoire (bien que nous y reviendrons, au sujet de l'ouvrage de Fournier de 1643), est présentée dans un incunable dit « de Munich » (*Regimento da estrala do Norte*, 1509) (Bensaude 1912) et de nombreux autres manuels de navigation

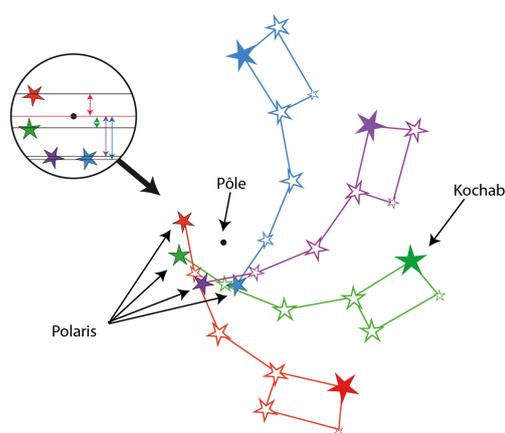
1. L'équation du temps est évaluée par Ptolémée dans l'*Almageste* (fin du Livre III), les savants arabes avant le XIII<sup>e</sup> siècle (Kennedy, 1988) et les auteurs de tables alphonsines (Pouille, 1984) par exemple.

2. Ou plus fréquemment encore, les heures inégales.

3. Voir les présentations beaucoup plus complètes dans les synthèses de Véronique Hauguel sur le site <http://assprouen.free.fr>, notamment « H-roue-du-pole-AvtDv.pdf » et « H-roues-des-heures.pdf ».

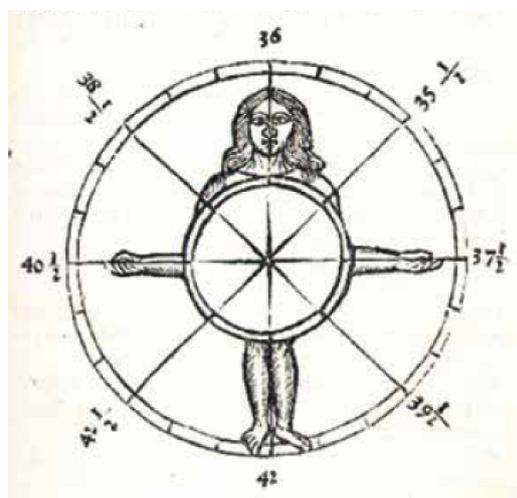
4. Elle est mentionnée également par des auteurs arabophones du XVI<sup>e</sup> (Ibn Mâjid & Sulayman al-Mahri) qui avaient fréquenté des navigateurs européens, notamment Magellan vers 1520; voir Ferrand (1923) et (1928 p. 139).

par la suite. Sa fonction était de déterminer l'erreur que l'on commettait en assimilant la hauteur de l'étoile polaire à la hauteur du pôle céleste pour déterminer la latitude du lieu (fig. 1). Le principe est de viser la polaire à travers le trou central, le personnage représenté sur l'instrument étant en position pied en bas, et selon la position de Kochab ( $\beta$  UMi) en bordure de l'instrument on en déduisait la correction à effectuer (fig. 2). Rappelons que l'étoile polaire ( $\alpha$  Ursae Minoris) étant située actuellement à  $0^{\circ} 39'$  du pôle céleste Nord, elle décrit autour un petit cercle de rayon  $0^{\circ} 39'$  en 23 h 56 m 04 s : pendant cet intervalle de temps, l'étoile peut passer au méridien supérieur (au-dessus du pôle) ou au méridien inférieur (en-dessous du pôle). Elle n'indique le Nord géographique qu'à ces deux instants. Si maintenant on mesure la hauteur de l'étoile polaire au-dessus de l'horizon pour déterminer la latitude du lieu, il ne faut jamais oublier de corriger le résultat de la distance angulaire de l'étoile au pôle, surtout si on opère au passage au méridien : si l'on faisait la mesure méridienne depuis Paris ( $\varphi = 48^{\circ} 50'$ ) à l'époque de Christophe Colomb où l'étoile polaire était située à  $3^{\circ} 27'$  du pôle céleste Nord, on obtenait une latitude variant de  $45^{\circ} 23'$  à  $52^{\circ} 17'$ , soit près de  $\pm 383$  km d'écart sur le terrain. Il fallait donc systématiquement corriger la hauteur mesurée de l'étoile polaire, l'enjeu étant considérable. Cette correction apportée à la hauteur de l'étoile polaire s'appelle le régiment et dépend bien sûr de la position de l'étoile polaire par rapport au pôle céleste (la correction est nulle si la Polaire a la même hauteur que le pôle par exemple) ; on a jugé plus pratique d'utiliser la position des gardes de la Petite Ourse comme indicateur de correction ou la position de Kochab par rapport à la Polaire (D'Hollander, 1999).



**FIGURE 1** – La rotation de la voûte céleste (ici dans la configuration du milieu du XVI<sup>e</sup> siècle) entraîne un changement de la position de Polaris et de Kochab par rapport au pôle.

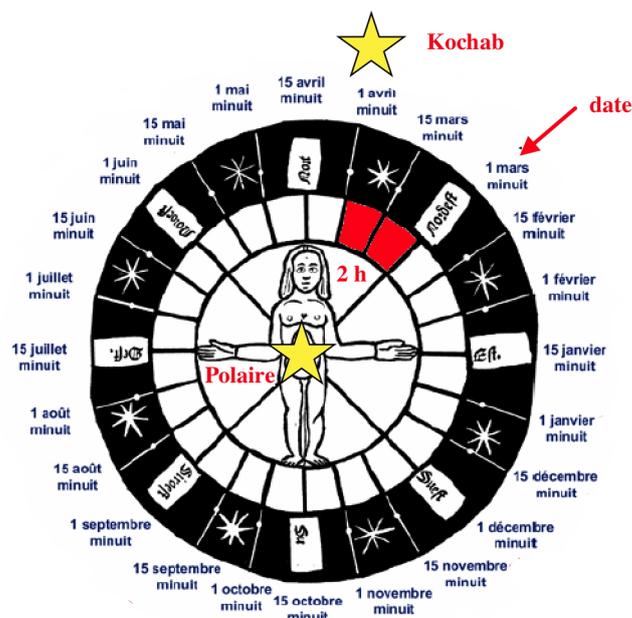
Par voie de conséquence, la connaissance de la position de Kochab par rapport à Polaris peut permettre de prévoir la position du pôle et notamment, la différence de hauteur entre ce dernier et Polaris (voir fig. 2).



**FIGURE 2** – Exemple de roue pôle-homme « géodésique » (extrait d'un ouvrage de V. Fernandez datant de 1518) qui indique les mesures de hauteur de la polaire que l'on ferait à Lisbonne (lat.  $39^{\circ}$ ) en fonction de la position de Kochab en bordure de la roue.

La différence entre  $39^{\circ}$  et la valeur indiquée donne la correction à effectuer lors de la mesure de hauteur du pôle (latitude). Une fois établie, cette correction est valable pour les autres latitudes. L'instrument illustré ici admet que la distance angulaire entre la polaire et le pôle, est de  $3,5^{\circ}$  ; valeur largement admise à l'époque.

**2 – Roue « gnomonique »** qui est décrite dans l’ouvrage de Pierre Garcie dit Ferrande, publié en 1520 mais qui correspond à un manuscrit de 1483 (Maisonneuve 2015). Garcie, et sans doute d’autres, avaient constaté que vers la mi-octobre Kochab était sous la Polaire à minuit<sup>5</sup>. Par la suite, toujours à minuit, Kochab se déplace dans le sens anti-horaire de  $0,98^\circ$  chaque jour<sup>6</sup>. Si l’heure d’observation ne correspond pas à minuit, la position de Kochab doit être corrigée de  $15^\circ/h$ , toujours dans le sens anti-horaire. En conséquence, la connaissance du jour et de la position de Kochab permet de déterminer l’heure<sup>7</sup> (fig. 3).



**FIGURE 3** – Exemple de roue pôle-homme « gnomonique » (extrait de l’ouvrage de P. Garcie dit Ferrande datant de 1520). La roue possède deux échelles, une « virtuelle » qui correspond à la date et que l’utilisateur doit être capable de reconstituer de mémoire, mais ajoutée ici en bleu, et une graduation en heure (couronne interne en blanc). L’utilisateur doit repérer la date du jour et viser la Polaire. Le décalage entre la position de la date et celle de Kochab, compté dans le sens anti-horaire, donne l’heure après minuit (exemple, en rouge, le 1<sup>er</sup> Mars à 2 h du matin).

**3 – Roue « mixte »**, c’est une roue pôle-homme qui combine les deux fonctions précédentes. Elle est notamment présentée dans le traité dit « d’Evora » dont on dispose d’une copie de 1516 (Besaupe 1912, p. 72).

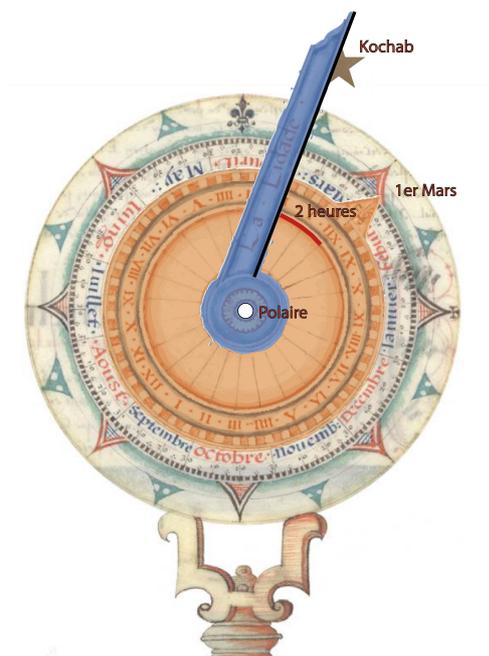
5. En toute rigueur, ces relations ne sont valables que si on remplace « Polaire » par « pôle », mais comme cela a déjà été souligné, on est ici dans un domaine de l’astronomie appliquée où régnait, à l’époque, une certaine approximation. De la même façon, les heures devraient être exprimées en temps moyen, alors qu’évidemment c’était le temps vrai qui était utilisé.

6. C’est-à-dire  $360^\circ/365j$ .

7. Le livre publié aux Presses Universitaires de Rennes (Bochaca & Moal 2019) au sujet de l’ouvrage de Pierre Garcie est intégralement faux en ce qui concerne les instruments. On note entre autres, une confusion entre les constellations UMa et UMi!

### 3 Le nocturlabe s.s.

Le plus ancien nocturlabe de notre échantillon (Tabl. 1) est daté de 1511 (#1, Florence; 1305). Tout se passe comme si ce type d'instrument était issu de la roue homme-pôle gnomonique<sup>8</sup>. L'instrument statique est transformé en volvelle par la conversion de l'échelle horaire en disque mobile et l'ajout d'une alidade pour marquer la position de Kochab<sup>9</sup> (fig. 4).



**Figure 4** – Un nocturlabe : chaque couleur correspond à une pièce en rotation par rapport aux autres. La mesure illustrée est la même que celle de la figure 3 page ci-contre. Dessin modifié d'après le nocturlabe de Devaulx de 1583.

La précision de l'instrument dépend, entre autres, de la date où Kochab est considérée être sous le pôle (ou la Polaire, cette incertitude est au cœur de la présente étude). C'est-à-dire, en pratique, la date qui est dans l'alignement du manche de l'instrument. Il s'agit de l'unique paramètre à modifier si l'on souhaite utiliser l'instrument avec une autre étoile circumpolaire ; et donc celui que nous avons considéré comme étant le « réglage » de l'instrument dans la présentation générale plus haut.

Or il apparaît que les dates de réglage proposées dans la bibliographie ancienne, ou sur les instruments conservés<sup>10</sup>, varient dans une fourchette de deux semaines (avant la réforme Grégorienne de 1583 : du 14 au 29 Octobre ; et après : du 24 Octobre au 9 Novembre) (tabl. 1 page suivante). D'autre part, il est possible de calculer, pour comparaison, la date où Kochab passait au XVI<sup>e</sup> siècle, sous le Pôle et sous la Polaire à minuit vrai ou moyen (tabl. 2 page 106).

8. Mais à partir du XVII<sup>e</sup> siècle, l'instrument va quasi-systématiquement intégrer à l'arrière un instrument inspiré de la roue homme-pôle géodésique, notamment sur les instruments en bois qui équipait systématiquement les navires anglais (Baudoux 2014). Il semble que ce soit Coignet, en 1581, qui ait fait le premier la suggestion de cet ajout.

9. En théorie n'importe quelle étoile circumpolaire serait utilisable, on va ainsi trouver au XVI<sup>e</sup> siècle quelques nocturlabes qui utilisent des étoiles d'UMa (Janin 1972). Mais en pratique c'est de façon très majoritaire Kochab qui va être utilisé à l'époque qui nous intéresse ici, nous limiterons notre analyse à ce cas de figure.

10. Cette indication, pourtant fondamentale dans la description de l'instrument puisqu'elle permet de déterminer l'étoile cible, n'est quasi-jamais mentionnée sur les catalogues de Musée . . . ! Il faut disposer d'une photographie pour l'établir.

**TABLE 1**  
**Tableau des instruments et des ouvrages écrits utilisés dans cette étude (CP= Collection privée, C= Catalogue, SW = site Web du Musée, Bibli. = référence bibliographique, J = Julien, G = Grégorien).**

Ordre	Date	Auteur/Artisan	Ouvrage	Musée, ou CP, & référence	Catalogue ou site Web	Réglage lu	Réglage déduit (en Julien/Grégorien)
1	1511	Lorenzo della Volpia		Florence 1305	C	15-oct	J 15-oct
2	1516			Greenwich ASTO 117	C	15-oct	J 15-oct
3	1520			Florence 3264	C	15-oct	J 15-oct
4	1531	Munster	Compositio horologium ...		15 Scorpion		J 29-oct
5	1532	O. Fine	Protomathesis	Livre I, prop 18	30 Balance	J	J 14-oct
6	1532	O. Fine	Protomathesis	Livre II, prop 13	7 Scorpion	J	J 21-oct
7	1534	Munster	Horologiographia		13 Scorpion	J	J 27-oct
8	1543			Oxford 55203	SW	15 Scorpion	J 29-oct
9	1546	Nunes	De erratis Orontii Finaei ...	Chapitre 18	15 Scorpion	J	J 29-oct
10	1551	Cortes	Breve Compendio de la Sphera y de la Arte...	Chapitre CVII	9 Scorpion	22-oct	J 22-oct
11	1554			Florence 2501	C	30 Balance	J 15-oct
12	1556	de Boissière	La propriété et usage des quadrans	Chapitre 18		15-oct	J 15-oct
13	1556	de Boissière	La propriété et usage des quadrans	Chapitre 18		28-oct	J 28-oct
14	1556	Munster	Rudimenta ...	p.222-224	13 Scorpion	J	J 27-oct
15	1560	O. Fine	De solaribus Horologis ...	Livre I, prop 18	30 Balance	J	J 14-oct
16	1560	O. Fine	De solaribus Horologis ...	Livre II, prop 13	30 Balance	J	J 14-oct

Suite page suivante

## Suite de la table 1

Ordre	Date	Auteur/Artisan	Ouvrage	Musée, ou CP, & référence	Catalogue ou site Web	Réglage lu	Réglage déduit (Julien/Grégorien)
17	1561	Bullant	Recueil d'horlogiographie ...	Chapitre 27		15 Scorpion	J 29-oct
18	fn XVI						
19	1567	Hieronimus Vvulpariae		Florence 2493	C		15-oct J 15-oct
20	1568	Hieronimus Vvulpariae		Florence 3811	C	7 Scorpion	19-oct J 20-oct
21	1570-1580	Humfrey Cole		Florence 2503	C	6 scorpion	19-oct J 19-oct
22	1578			British M. 1857.11116.2	SW		24-oct J 24-oct
				Oxford 48140	SW	30 Balance	J 14-oct
23	1581	Coignet	Instructions nouvelles des ...	p. 65			21-oct J 21-oct
24	1583	Devaulx	Les premières oeuvres ...				20-oct J 20-oct
25	1584	BH		Observ. Paris B100	C	30 Balance	G 24-oct
26	1588	Gallucci	Theatro del mundo ...	p. 74			01-nov G 01-nov
27	1588			British M. 1891.0803.1	SW		01-nov G 01-nov
28	1589	Antonius Geminus		Oxford 42143	SW		01-nov G 01-nov
9	1589			Greenwich AST 0130	C	10 Scorpion	G 02-nov
30	1589	Amerigo Leonae		Collection Grépin 3008	C	10 Scorpion	02-nov G 02-nov
31	1590			Oxford 44721	SW		02-nov G 02-nov
32	1598	Coignet		CP - Turner (2006)	Bibl.	8 Scorpion	G 31-oct
33	1602	Coignet		BNF Paris Ge A 336	C		30-oct ?
34	1610 ?			CP - Van Cleempoel (2000)	Bibl.	10 Scorpion	02-nov G 02-nov
35	1620 ?	Coignet ?		Oxford 50028	SW		02-nov G 02-nov
36	1612			Edimbourg T.1981.51	SW		09-nov G 09-nov
37	avant 1623	Coignet		Florence 3700	C		21-oct J 21-oct
38	debut XVII			Greenwich AST 0505	C	10 Scorpion	02-nov G 02-nov
39	mi-XVII	I F			C	18 Scorpion	G 10-nov

TABLE 2

Dates de passage de Kochab sous le Pôle et la Polaire, en fonction du calendrier et du type de temps utilisé. Ces dates peuvent être considérées comme représentatives de toute la période considérée dans cet article.

XVI et début XVII <sup>e</sup> siècle	dates Juliennes		dates Grégoriennes	
Kochab passe sous :	la Polaire	le Pôle	la Polaire	le Pôle
à minuit Temps Moyen	16 Octobre	25 Octobre	26 Octobre	4 Novembre
à minuit Temps Vrai	19 Octobre	28 Octobre	29 Octobre	7 Novembre

## 4 La période 1510-1565

À deux exceptions près (les traités de Fine et Cortès), sur lesquels nous reviendrons, les dates de réglages se distribuent en deux groupes : 14/15 Octobre et 28/29 Octobre. Nous n'avons retrouvé qu'un seul texte qui détaille le calcul de la date de réglage et donc les hypothèses utilisées. C'est le chapitre 18 de « De erratis Orontii Finaei . . . » de 1546<sup>11</sup>, dans lequel Pedro Nunès<sup>12</sup> établit la date du 15° du Scorpion (soit le 29 Octobre Julien). À la lecture de ce texte, il apparaît que ce calcul concerne la date de passage de Kochab sous le pôle à minuit solaire (temps vrai). Ce calcul est exact (voir Tableau 2 et ci-après). Nulle part il n'est question de l'équation du temps. Nous pensons que les mentions ultérieures de date de réglage au 28/29 Octobre, sont basées sur ce calcul, qui semble avoir déjà été fait par Munster qui indique, dans son traité de 1531, le 13° dans le Scorpion (27 octobre). Quant à la date 14/15 Octobre il est probable qu'il s'agit d'une réminiscence de la valeur mnémotechnique de la roue homme-pôle gnomonique (fig. 3 page 102).

Ajoutons quelques précisions sur la détermination de la date de calage du nocturlabe, point qui reste toujours obscur voire non expliqué dans les ouvrages anciens. Les astronomes de l'époque cherchaient à quelle date de l'année l'étoile Kochab passe à minuit vrai au méridien inférieur, donc lorsque les angles horaires du Soleil et de l'étoile valent exactement simultanément 180° ou 12h. Ce genre de calcul demande de sérieuses connaissances en astronomie puisque cela suppose d'une part de disposer d'une table du mouvement du Soleil et d'autre part de connaître les coordonnées de l'étoile à la date considérée. Notons que l'on parle ici de coordonnées équatoriales, difficulté supplémentaire puisqu'à l'époque on travaille essentiellement en coordonnées écliptiques. En fait la date de passage, qui était le 30 octobre au milieu du XV<sup>e</sup> siècle, rétrograde très lentement au XVI<sup>e</sup> siècle pour passer au 29 octobre puis au 28 en 100 ans, essentiellement en raison du mouvement de précession (soit le 7 novembre en raison du saut de 10 jours de la réforme grégorienne). Rappelons que jusqu'à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, on ne dispose que d'un seul catalogue d'étoiles en Occident, celui de l'*Almageste* qui date du II<sup>e</sup> siècle. L'ouvrage de Ptolémée contient 1022 étoiles réparties en 48 constellations ; on trouve successivement pour chaque étoile sa position dans la figure allégorique, sa longitude écliptique, sa latitude écliptique, et enfin sa magnitude. Ce catalogue d'étoiles est accessible

11. Traduction en portugais moderne dans Carvalho J. & Leitão H. (2005).

12. Pedro Nunès, ou Petrus Nonius (1502-1578), est un mathématicien et cosmographe portugais considéré comme l'un des plus habiles géomètres du XVI<sup>e</sup> siècle, avec des contributions essentielles en trigonométrie sphérique et en cartographie mathématique.

dans plusieurs ouvrages au XVI<sup>e</sup> siècle : dans la traduction de l'*Almageste*<sup>13</sup> imprimée en 1515 à Venise d'après la traduction arabo-latine de Gérard de Crémone, dans les *Tables Alphonsines* (plusieurs éditions<sup>14</sup>) et dans le *De revolutionibus* de Copernic paru en 1543 ainsi que dans les *Tables Pruténiques* (parues en 1551) qui en découlent. Il convient toutefois d'être attentif à un point essentiel : chacun de ces catalogues étant basé sur un équinoxe différent (139 pour l'*Almageste*, 1252 pour les *Tables Alphonsines*, l'an 1 pour le *De revolutionibus*), il faut corriger les positions d'étoiles en longitude (la latitude étant considérée à l'époque comme invariable) en fonction de la théorie de la précession adoptée du catalogue lorsque l'on souhaite calculer la position d'une étoile pour une date précise.

À titre d'exemple, calculons les coordonnées écliptiques puis équatoriales de Kochab pour l'année de parution de l'ouvrage de Nunes (1546) à partir des *Tables Alphonsines*. Le catalogue des *Tables Alphonsines* est le même que celui de l'*Almageste* où l'on a simplement augmenté les longitudes de 17° 8' (précession alphonsine<sup>15</sup> entre 139 et 1252). Pour obtenir, par exemple, la longitude de l'étoile le 1<sup>er</sup> janvier 1546 à midi, on doit ajouter au catalogue des *Tables Alphonsines* une correction 2° 54' issue de la théorie d'accès et de recès. On obtient une longitude écliptique de Kochab de 127° 12' et une latitude de 72° 50'. En transformant ces coordonnées écliptiques en ascension droite, on obtient 14 h 51 m et une déclinaison de 75° 55' (obliquité de 23° 30'). Il faut ensuite chercher à l'aide de la théorie du mouvement du Soleil des *Tables Alphonsines* à quelle date le Soleil a la même ascension droite que Kochab : on obtient le 30 octobre. En fait la date peut varier de ±1 jour pour quantité de raisons : coordonnées variables de l'étoile prise dans les catalogues, valeur de la précession adoptée, transformation arrondie de l'ascension droite, théorie du Soleil tronquée<sup>16</sup>, etc. On vérifie qu'au début du XVI<sup>e</sup> siècle, c'est bien la date du 29 octobre qui est correcte en ce qui concerne le passage à minuit vrai<sup>17</sup>. Si le constructeur cale son nocturlabe sur une autre étoile, par exemple celles de la Grande Ourse, il doit se livrer au même calcul qu'avec Kochab.

Une discussion spécifique semble nécessaire en ce qui concerne les dates choisies par Oronce Fine et Cortès. Dans ses ouvrages, Fine fait quatre fois allusion au réglage du nocturlabe. Dans le *Protomathesis* (1532) il mentionne 30° de la Balance (14/15 Octobre) et 7° Scorpion (21 Octobre) (voir Tabl. 1). Lors de sa préparation des figures de la seconde édition de la partie gnomonique de ce livre<sup>18</sup>, il corrige la seconde mention et règle ses deux instruments sur le 30° de la Balance. La mention de 7° du Scorpion était donc une erreur/coquille. Dans son texte, il dit avoir établi son réglage (donc le 30° de la Balance) en utilisant les données de Werner<sup>19</sup> publiée en 1530. Or Nunès, en 1546, reproche précisément à Fine, d'avoir utilisé des mauvaises

13. On se référera à la traduction anglaise (Toomer 1984, p. 341-399), qui donne les équivalences entre les étoiles de l'*Almageste* et leur désignation moderne.

14. La première édition imprimée date de 1483.

15. Le terme correctif de précession  $\Pi_\alpha$  se calcule par :  $\Pi_\alpha = \left[ \frac{360}{49\,000 \times 365,25} \right] (jj + 1\,829\,349) + \left[ \frac{360}{7\,000 \times 365,25} \right] (jj - 1\,727\,038) - 88^\circ 40'$ , où  $jj$  est le jour julien de la date considérée. La théorie de la précession alphonsine, héritière de la théorie arabe d'accès et de recès, considère que le point vernal parcourt l'écliptique en 49 000 ans environ, mouvement auquel se superpose une nutation (trépidation de 9°) du point vernal en 7 000 ans environ.

16. L'ascension droite du Soleil varie d'environ 4 minutes en 24 h.

17. La valeur moderne de l'ascension droite de Kochab est 14 h 53 m en 1546 ; on vérifie que le Soleil a même ascension droite le 29 octobre, soit quasiment 15° dans le Scorpion (longitude du Soleil = 225°). L'équation du temps valant à cette date à minuit -15 m 49, on en déduit que le passage au méridien inférieur a lieu à 23 h 44 m 11 s temps moyen. On notera également que ce jour-là, l'étoile Kochab passe au méridien supérieur lorsqu'il est midi solaire.

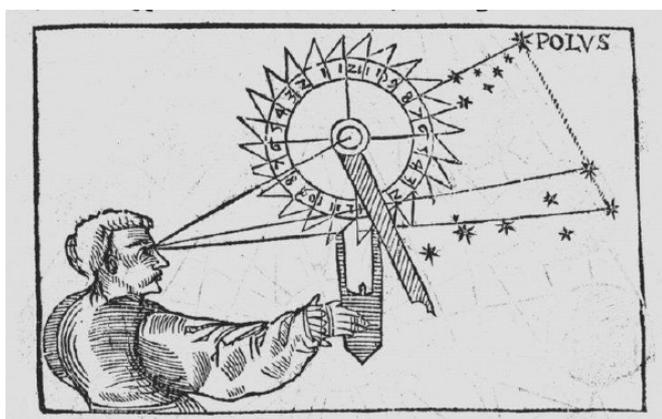
18. *De solaribus Horologiis, et Quadrantibus . . .* ; édition qui aura lieu de façon posthume en 1560, sans modification du texte par rapport à la partie gnomonique de *Protomathesis*, mais avec la nouvelle série de figures que Fine avait préparée (Voir Mercier 2020 et 2021).

19. Connue aussi sous le nom de Vernero (1468-1522)

coordonnées pour Kochab. Notons également qu'en 1551, Cortès propose une date de réglage qui, comme celle de Fine dénote dans le contexte de l'époque. Il s'agit du 22 octobre. Oestmann (2001) discute très rapidement cette date et mentionne, à titre d'explication et sans plus de justification, que Cortès a utilisé des coordonnées erronées issues d'un ouvrage de 1541 du même Werner. Les réglages atypiques, pour l'époque, de Fine et Cortès, peuvent donc simplement être expliqués par les coordonnées fautives de Werner (?).

## 5 La période post-1565

En 1581, Michel Coignet, célèbre savant-artisan de Anvers souligne tout d'abord, dans son chapitre sur le nocturlabe (p. 65) : « ... nous ordonnons au Nocturlabe que le 21 jour d'Octobre vienne justement en bas, au milieu de la manche (sic), où Munster, Appian<sup>20</sup>, & autres l'ordonnent le 28 dudit mois ... ». Puis il explique « ... vue que nous visons, au lieu du Pole qui est invisible, l'estoile du Nort, cela cause une varieté oculaire (sic) ... de  $7^{\circ} 18'$  ... ce qui engendreroit une faulte quasi de demy heure : pour a quoi obvier<sup>21</sup>, on mettra en bas le 21 d'octobre, & alors il viendra juste ».



**Figure 5** – Illustration d'Apian (1544) qui montre que lors de l'utilisation du nocturlabe (réglé ici, pour les gardes d'UMa), on vise la Polaire qui est située au bout de la queue de UMi, confondue, sur l'image, avec le pôle (Polus).

En d'autres termes : (1) il ne remet pas en cause le calcul du 29 Octobre basé sur le temps vrai et (2) il propose de décaler de 7 jours le réglage du nocturlabe pour compenser l'erreur commise en visant la polaire (fig. 5). On constate, sur le tableau 2, qu'il ne s'agit pas simplement de choisir la date de passage sous la Polaire (le décalage aurait été alors de 10 jours), mais bien d'une correction qui, selon-lui, rendrait « juste » le nocturlabe. Hélas, il n'explicite pas la méthode qui lui a permis de faire cette évaluation.

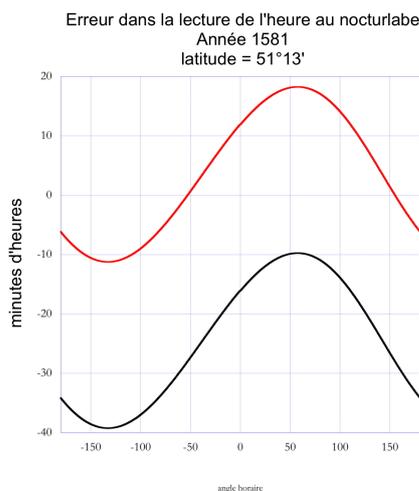
L'un d'entre nous (Savoie 2010) a formalisé le calcul de l'erreur d'évaluation de l'heure avec un nocturlabe visant la Polaire à la place du Pôle.

Cette erreur dépend (1) de la distance angulaire Polaire /Pôle, (2) de l'angle horaire de Kochab au moment de la mesure, et (3) de la latitude du lieu d'observation. La courbe noire de la figure 6 page suivante est la traduction graphique de cette analyse appliquée au milieu du XVI<sup>e</sup> siècle à Anvers. On constate que selon l'angle horaire, l'erreur varie de  $-10$  à  $-39$  minutes (erreur moyenne de l'ordre de  $-25$  min.  $\pm 15$ ; soit une erreur comparable à celle indiquée par Coignet : « une faulte quasi de demy heure »).

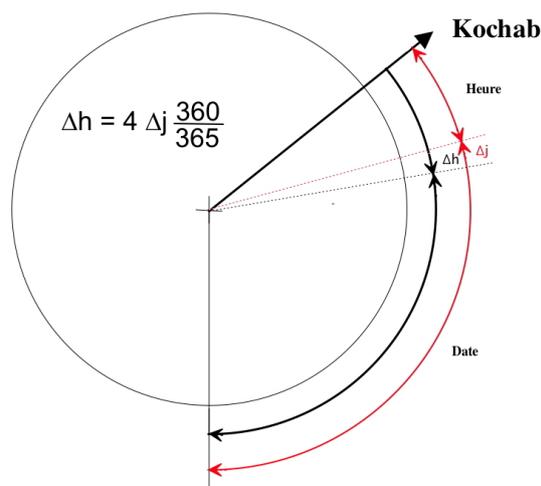
Nous avons évalué la même erreur après l'application du décalage de 7 jours suggérée par Coignet (explication fig. 7 page ci-contre). L'erreur résiduelle ainsi obtenue (courbe rouge de

20. Cette référence est fautive; Apian utilise les gardes de UMa avec son nocturlabe.

21. *Obvier* = Prendre les précautions, les mesures nécessaires pour empêcher un mal, un accident fâcheux (Dictionnaire de l'Académie, 1<sup>re</sup> édit., 1694).



**FIGURE 6** – Relation entre l'angle horaire de Kochab et l'erreur de la lecture de l'heure (temps moyen), sans (en noir) et avec (en rouge) la correction de 7 jours proposée par Coignet.



**FIGURE 7** – Schéma montrant qu'une modification de la date de réglage d'un nocturlabe, revient à une modification de l'heure lue. Si la date de réglage est reculée de  $j$  (en jours), l'heure lue est réduite de la valeur  $\Delta h$  (en heures) (noir/rouge = avant/après modification du réglage).

la fig. 8 page suivante) varie de  $-11$  à  $+18$  minutes ce qui est une nette amélioration (erreur moyenne de l'ordre  $+3,5$  min). De plus, en testant d'autres solutions (décalages de 1 à 10 jours) on constate que le choix de 7 jours est le meilleur possible, c'est celui qui minimise au mieux l'erreur de lecture de l'heure!

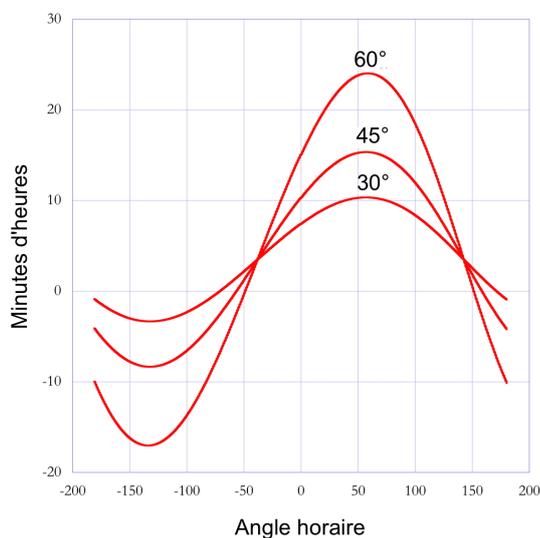
Il est important de comprendre que la courbe d'erreur en noir de la figure 6 traduit l'écart entre l'angle horaire  $H$  du Soleil, donc l'heure solaire « de nuit » et l'heure lue  $H'$  sur le nocturlabe. En décalant de 7 jours la date où Kochab et le Soleil ont la même ascension droite, on ajoute un terme correctif  $\Delta$  à l'erreur ( $H - H' + \Delta$ ), terme qui est donc la différence entre l'ascension droite de Kochab et celle du Soleil diminuée de 7 jours, soit un peu moins de  $7^\circ$  d'ascension droite (laquelle augmente à cette période de l'année 1581 de 3 min 56 s en 24 h), ce qui représente environ 28 minutes. Ce terme de 28 min a pour conséquence de décaler la courbe en ordonnée (courbe rouge) : elle conserve la exactement la même forme mais l'écart par rapport à l'angle horaire du Soleil s'en trouve diminué.

Par ailleurs, il faut constater que plusieurs instruments confectionnés quelques années avant la parution du livre Coignet sont réglés sur des dates proches de celle qu'il a indiquée. Il est donc probable que le mode de correction était déjà connu et appliqué antérieurement dans diverses villes d'Europe (Florence #19, #20, Londres #21 ...), même s'il est parfois ignoré (ex : #22 qui est réglé sur une date de type 14/15 Octobre).

A partir de 1583, une partie de l'Europe va adopter le calendrier Grégorien, la date de réglage est donc reculée de 10 jours (Tabl. 2). Certains instruments continuent à être réglé sur le calendrier Julien (instrument de Coignet #37 à destination de l'Ecosse qui n'adoptera la réforme qu'en 1752, avec le reste du Royaume-Uni), mais, d'après notre échantillonnage les instruments intègrent presque tous<sup>22</sup> une correction de l'ordre de celle proposée par Coignet (6

22. Sauf celui de l'Observatoire de Paris (#25), qui conserve la date archaïque des roues homme-pôle ( $30^\circ$  de la Balance); ainsi que les instruments #36 et #39 qui ont une date de réglage qui témoigne de l'absence de correction (identique au calcul de Nunès).

à 8 jours). C'est également le cas du traité de Gallicci, publié en 1588, qui applique la correction sans l'expliquer ni la discuter.



**Figure 8** – Relation entre l'angle horaire de Kochab et l'erreur de la lecture de l'heure (temps moyen), avec la correction de 7 jours proposée par Coignet, pour 3 latitudes.

Comme l'importance de l'erreur de lecture de l'heure en visant la Polaire dépend de la latitude (Savoie 2010), il apparaît intéressant d'établir quelle est la meilleure correction (décalage de la date de réglage) pour différentes latitudes. Nos calculs montrent que, bien que l'ampleur de l'erreur augmente avec la latitude, c'est toujours une correction de 7 jours qui permet d'optimiser la lecture de l'heure (fig. 8) et minimiser l'erreur.

La question qui se pose est de savoir comment Coignet a établi cette valeur de 7 jours. Il n'explique nulle part comment il est arrivé à ce résultat, mais il dit que le nocturlabe ainsi corrigé est « juste », ce qui, selon nos critères, est un peu excessif, d'autant plus qu'il n'aborde pas le problème de l'utilisation du temps moyen.

## 6 Remarque finale : Fournier (1643) et la question de la latitude

Terminons en évoquant l'ouvrage de Fournier (*Hydrographie contenant la théorie...*) de 1643 qui, dans les chapitres sur le nocturlabe (à partir de la page 514), s'est fortement inspiré par Coignet. L'ensemble est néanmoins assez inutilisable avec de nombreuses erreurs factuelles (confusion entre le signe du Scorpion et le mois d'Octobre, discordance entre le texte et le réglage du nocturlabe de sa figure, non prise en compte apparente du calendrier Grégorien...). Il accuse par ailleurs les auteurs précédents de confondre les étoiles, et donne beaucoup d'importance à l'erreur engendrée par le fait de viser la Polaire et non le pôle. Enfin il souligne que c'est Coignet le premier qui a « *rectifié passablement*<sup>23</sup> *l'instrument* ».

Dans le chapitre XXIV (p. 517) intitulé « Sçavoir si c'est à tort que Nonius reprend l'usage du Nocturlabe », il discute d'un chapitre de « *De arte atque ratione navigandi...* » de Nunès où

23. Ce mot doit être pris, à l'époque, au sens propre, c'est-à-dire : *d'une manière supportable, en telle sorte qu'on peut s'en contenter* (Dictionnaire de l'Académie, 2<sup>e</sup> édit., 1718).

celui-ci évoque, de façon critique, le règlement de la Polaire, c'est-à-dire de la roue homme-pôle géodésique. En réalité, il n'y parle pas du nocturlabe<sup>24</sup> mais Fournier, faisant le lien entre les deux instruments, croit pouvoir affirmer que Nunès considère que le nocturlabe n'est pas un instrument universel (indépendant de la latitude). Il s'agit d'une extrapolation abusive. De plus, il n'a pas compris l'argumentaire de Nunès et il y répond en insistant sur l'absence de parallaxe stellaire, ce qui est hors sujet.

Au final l'image, très négative, qui se dégage du livre de Fournier explique sans doute la désaffection pour l'instrument, par les gnomonistes et les navigateurs français<sup>25</sup>. Cette opinion négative se retrouve dans l'encyclopédie de Diderot et d'Alembert (XVIII<sup>e</sup> siècle : article « Nocturlabe ») : « ... Le P. Fournier a donné ... la construction & l'usage de cet instrument, qui est défectueux, & dont il n'est pas sûr de (= assuré d'en) faire usage ... ».

## 7 Conclusion

La théorie du nocturlabe est relativement simple, et il s'agit potentiellement d'un instrument universel, fiable et précis. Pourtant, pendant au moins un siècle et demi après son apparition au début du XVI<sup>e</sup> siècle, un certain nombre d'approximations ont entaché sa précision. De façon quasi-majoritaire, jusqu'en 1565, et de façon plus marginale ensuite, le nocturlabe n'a d'abord été qu'une adaptation d'un instrument archaïque, basé sur des méthodes mnémotechniques approximatives, la « roue homme-pôle ». Ce n'est qu'avec les traités de Munster (1531), probablement, et Nunès (1546), de façon certaine, que des calculs astronomiques ont été pris en compte. Mais ces calculs souffrent eux-mêmes d'approximations. On peut notamment citer : (1) l'utilisation du temps vrai, et non du temps moyen ; (2) le fait de viser la polaire lors de la mesure, alors que les calculs postulaient que c'était le pôle qui était visé.

La première de ces deux approximations ne fut jamais corrigée au cours de la période envisagée ici. Par contre, dès 1567 (d'après notre échantillonnage), une tentative de correction, ou plutôt de compensation, de l'erreur de visée est décelable. Elle n'est formalisée qu'en 1581 dans l'ouvrage de Coignet. Il s'agit d'une méthode simple mais assez efficace. Nous n'avons trouvé, dans la bibliographie ancienne, aucune justification mathématique de la correction introduite ; il n'est donc pas exclu qu'il s'agisse d'une méthode purement empirique.

## Références

- [1] Baudoux B. (2014) : *Traité du nocturlabe*; autoédition. 129 p.
- [2] Belki M., Aïssani D. & Chadou I. (2011) : « Mesure du temps au Maghreb à l'époque médiévale » in : Aïssani D. & Djehiche M. : *Les manuscrits scientifiques du Maghreb*, éd. Ministère Algérien de la culture. p. 61-74.

---

24. En fait Nunès démontre que, lorsque la Polaire n'est pas sur le méridien, la différence de hauteur, entre le pôle et la Polaire est tributaire de la latitude d'observation (voir Savoie 2010 pour des explications complémentaires). Si cette dépendance à la latitude était importante, cela remettrait en cause l'utilité de la roue homme-pôle géodésique. Nunès que ne quantifie rien, mais une analyse contemporaine (voir le commentaire de l'édition moderne des œuvres de cet auteur : Leitão H. 2008), montre que l'erreur est négligeable. Celle-ci est en fait nettement inférieure à, par exemple, l'erreur commise à l'époque sur la distance angulaire Polaire-pôle. La remarque de Nunès n'a donc aucune portée pratique !

25. Contrairement à ce qui s'est passé en Angleterre où les nocturlabes faisaient partie de l'équipement de base des navires (Baudoux 2014).

- [3] Bensaude J. (1912) *L'astronomie nautique au Portugal à l'époque des grandes découvertes*, ed. Akademische Buchhandlung von Max Drechsel, 290 p.
- [4] Bertola F. (2016) : *Tubi astronomici; Certissima signa, A Venice Conference on Greek and Latin Astronomical Texts*, p. 145-151.
- [5] Bochaca M. & Moal L. (2019) : *Le Grand Routier de Pierre garcie dit Ferrande*, edt Presse Univ. de Rennes; 495 p.
- [6] Carvalho J. & Leitão H. (2005) : Pedros Nunes : Obras; vol. III, *De erratis Orontii Finae*. Fundação Caloste Gulbenkian. 409 p.
- [7] D'Hollander R. (1999) : *L'Astrolabe, histoire, théorie, pratique*, éd. Institut Océanographique, Paris, 1999, p. 353-355.
- [8] Janin L. (1972) : « Le cadran aux étoiles », *Orion* (133), pp. 171-175.
- [9] Leitão H. (2008) : Pedros Nunes : Obras; vol. IV, *De arte atque ratione nauigandi*. Fundação Caloste Gulbenkian. 805 p.
- [10] Farre i Olive E., « La Sphaera Horarum Noctis de Ramon Llull. », *La Busca de Paper*, Primavera, n° 22, 1996, p. 3-12.
- [11] Ferrand G. (1923). « Les instructions nautiques de Sulayman al-Mahri (XVI<sup>e</sup> siècle) ». In : *Annales de Géographie*, t. 32, n° 178, 1923, p. 298-312.
- [12] Ferrand G. (1928) : *Introduction à l'astronomie nautique arabe*, éd. Paul Geuthner, 272 p.
- [13] Kennedy E.S. (1988) : « Two Medieval Approaches to the Equation of Time » ; *Centaurus*, 1988 : vol. 31, p. 1-8.
- [14] Maisonneuve (de) B. (2015) : *Pierre Garcie dit Ferrande*; éd. Association CRHIP ; 468 p.
- [15] Mercier E. (2020 et 2021) : « La gnomonique d'Oronce Fine (1494-1555) 1 & 2 ». *Cadran-Info* (41), p. 81-105 et (43) sous presse.
- [16] Michel H. (1954) : « Les tubes optiques avant le télescope », " *Bulletin de la Société belge d'astronomie et de météorologie et de physique du globe*" (5-6), p. 175-184.
- [17] Oestmann G. (2001) : « On the history of the nocturnal », *Bull. Scientific Instrument Society* (69), p. 5-9.
- [18] Poulle E. (1984) : *Les tables alphonsines avec les canons de Jean de Saxe*, éd. CNRS. 246 p.
- [19] Savoie D. (2010) : « Le nocturlabe », *Cadran-Info* (21), p. 84-89.
- [20] Toomer G. J. (1984) : *Ptolemy's Almagest*, traduction, Duckworth, London, 693 p.
- [21] Weyant M. (1999) : « Une horloge stellaire dans un manuscrit normand du XII<sup>e</sup> siècle », *Capella*, 43, p. 15-18.

