

Étalonnage de la roue des jours

Ce document accompagne plusieurs documents sur le nocturlabe du site de l'ASSP. Ils sont signalés tout au long de l'article.

1)-Introduction

L'instrument aux étoiles et plus précisément le nocturlabe est un instrument de terrain pour donner une bonne idée de l'heure. Ce n'est pas un instrument de calcul comme l'astrolabe planisphérique par exemple, qui permet de faire des tables grâce à leur précision. Plusieurs raisons, selon les nocturlabes, peuvent être évoquées pour montrer que l'heure avec le nocturlabe est obtenue à quelques minutes près :

- l'assimilation de la Polaire avec le pôle Nord céleste alors qu'en 1500 il en était à $3^{\circ}25'$;
- l'assimilation de la verticale passant par la Polaire et du méridien local qui est juste seulement quand la Polaire passe sur le méridien local. De dire « les Gardes et le Soleil sont sur le méridien local sous le pôle » et de dire « les Gardes passent à la verticale sous la Polaire

à minuit (quand le Soleil est sur le méridien local) » n'est pas équivalent. De plus la verticalité, c'est-à-dire l'azimut d'astre dépend de la latitude ;

- l'équateur (la roue des heures) et l'écliptique (la roue des jours dans le calendrier julien¹ ou zodiacal) sont concentriques avec des graduations souvent régulières alors que les deux grands cercles ne sont pas parallèles.

La graduation régulière du calendrier du zodiaque correspond à une graduation irrégulière du calendrier julien (ou grégorien) sachant que les saisons de 90° dans le calendrier du zodiaque ne comportent pas le même nombre de jours.

Au cours de l'histoire du nocturlabe et aussi, en fonction des auteurs, l'étalonnage de la roue des jours change.

De plus, selon qu'on utilise Kochab de la Petite Ourse ou les Gardes (Dubhe et Merak) de la Grande Ourse, l'étalonnage est différent. La différence doit correspondre à l'angle de centre la Polaire entre Kochab et Dubhe (ou Merak).



Fig. 1. [Nocturlabe anglais](#), 18^e siècle ?, mhs Instrument utilisable avec la Petite Ourse et avec la Grande Ourse.

2) Étalonnage de la roue des jours avec *Stellarium*

À l'aide du logiciel *Stellarium*, plusieurs recherches ont été menées pour connaître l'évolution du pôle Nord par rapport à la Polaire suivant les siècles, la correspondance entre calendrier julien et calendrier zodiacal en 1400 et en 1500 – cela donne une idée de l'évolution sur un siècle-, puis la date de passage des Gardes de la Petite Ourse ou de la Grande Ourse à la verticale de la Polaire ou au méridien local à minuit. Ces recherches permettent une analyse des nocturlabes d'auteurs du XVI^e siècle.

¹ Le calendrier julien est remplacé en calendrier grégorien après 1582 et selon les pays.

2-1 Le pôle Nord continue à se rapprocher de la Polaire

À cause de la précession des équinoxes, le pôle Nord se rapproche depuis plusieurs siècles de la Polaire.

Tableau de la distance de la Polaire au pôle Nord selon les siècles :

Année	1400	1500	1600	1700
Distance de la Polaire au pôle Nord	3°59'	3°25'	2°52'	2°18'

En 2020 cette distance est 0°39'.

2-2 Étalonnage du calendrier Julien et du calendrier du zodiaque

Le calendrier zodiacal est constitué de trois mois de 30° par saison. Les saisons font chacune 90° dans le calendrier du zodiaque mais elles n'ont pas le même nombre de jours.

Avant 1582, le calendrier utilisé était le calendrier julien. Durant ce siècle, l'équinoxe de mars tombait le 10 ou 11 mars.

Tableau des dates du début des saisons en 1400 et en 1500 sur *Stellarium* sachant que la longitude du soleil est 0°, 90°, 180° et 270° au début de chacune des saisons :

Début des saisons	1400	1500
Equinoxe de mars	11 mars à AH _S = 9h43, soit 9h 43 du soir	11 mars à AH _S = 15h06, soit 3h 06 du matin
Solstice de juin	13 juin à AH _S = 14h17, soit 2h 17 du matin	12 juin à AH _S = 18h, soit 6h du matin
Equinoxe de septembre	14 septembre à AH _S = 23h17, soit 11h 17 du matin	13 septembre à AH _S = 4h24, soit 4h24 du soir
Solstice de décembre	12 décembre à AH _S = 9h31, soit 9h31 du soir	12 décembre à AH _S = 16h15, soit 4h15 du matin

En 1582, l'équinoxe de printemps a eu lieu à AH_S = 12h12, soit 0h 12 min le 11 mars.

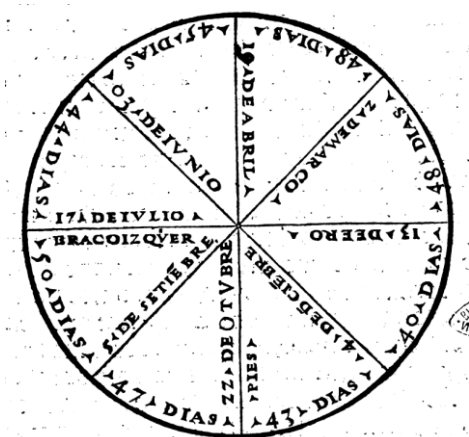


Fig. 2. Disque avec des secteurs de 45° et le nombre de jours, *Arte de Navegar*, de Martin Cortes, Fol.51

Dans le *Arte de Navegar*, de Martin Cortes, avant de présenter le nocturlabe, l'auteur découpe un disque (fol 51) en donnant le nombre de jours par secteurs de 45°. Ainsi, les graduations du calendrier julien ne sont pas régulières (Fig. 2.)

La réforme du calendrier grégorien mise en place à partir de 1582 a recalé le jour d'équinoxe de mars au 21 mars².

Dans le *Theatro del mundo* de Giovanni Paolo Gallucci, publié après la réforme, l'auteur a tenu compte du décalage créé par le changement de calendrier. Sur le nocturlabe de Martin Cortes, la date sur la verticale en haut est le 19 avril, sur celui de Gallucci, elle est le 1^{er} mai.

[COMPLÉMENT : Sur le nocturlabe](#)

² Selon les années, l'équinoxe de mars est le 19, 20 ou 21 mars en heure UTC.

2-3 Dates de passage des Gardes sur le méridien local ou à la verticale de la Polaire à minuit (AH_s = 12 h)

Les tableaux suivants donnent les dates pour un observateur situé à 50° de latitude.

1-Tableaux de dates dans le calendrier julien et dans le calendrier zodiacal à minuit à partir de la position de Kochab, Garde de la Petite Ourse :

- quand Kochab passe au-dessus de la Polaire (ligne 1) ou en-dessous (ligne 3), Kochab et la Polaire ayant un azimuth très proche **en jaune** ;

- quand Kochab passe au-dessus de la Polaire (ligne 2) ou en-dessous (ligne 4), Kochab étant proche du méridien local. Son angle horaire est proche de 12h ou de 24h **en vert**.

En 1400 :

	Date En 1400	Soleil			Kochab P.O.		Polaire	
		AH _s	Lons _s	Cal. zod.	AH _K	Az _K	AH _P	Az _P
1	20 octobre	12	216°21'	6° Scorp	11h21	357°11'	2h07	356°29'
2	30 octobre	12	226°25'	16° Scorp	12h	124°46'	2h47	355°48'
3	21 avril	12	40°7'	10° Taur	23h36	3°09''	14h23	3°23
4	27 avril	12	45°54'	16° Taur	23h58	0°12	14h46	3°51'

En 1500 :

	Date En 1500	Soleil			Kochab P.O.		Polaire	
		AH _s	Lons _s	Cal. zod.	AH _K	Az _K	AH _P	Az _P
1	20 octobre	12	217°06'	7° Scorp	11h25	357°25	2h03	357°05
2	29 octobre	12	226°09	16° Scorp	12h	0°03	2h39	356°24'
3	21 avril	12	40°54	11° Taur	23h40	2°42	14h19	2°51
4	26 avril	12	45°44	16°Taur	23h59	0°08	14h38	3°12

2- Tableaux de dates dans le calendrier julien et dans le calendrier zodiacal à minuit, à partir de la position de Dubhe, Garde de la Grande Ourse :

- quand Dubhe passe au-dessus de la Polaire (ligne 1) ou en-dessous (ligne 3), Dubhe et la Polaire ayant un azimuth très proche **en jaune** ;

- et quand Dubhe passe au-dessus de la Polaire (ligne 2) ou au-dessous (ligne 4), Dubhe étant proche du méridien local. Son angle horaire est proche de 12h ou de 24h **en vert**.

En 1400 :

	Date En 1400	Soleil			Dubhe G.O.		Polaire	
		AH _s	Lons _s	Cal. zod.	AH _D	Az _D	AH _P	Az _P
1	24 août	12	158°59'	9° Vierg	12h22	2°33'	22h38	2°21'
2	19 août	12	154°09'	4° Vierg	12h	359°57'-	22h16	2°56'
3	17 février	12	336°14	6° Poiss	0h 08	356°53'	10h23	357°39'
4	15 février	12	334°14	4° Poiss	24h	0	10h16	357°29'

En 1500 :

	Date En 1500	Soleil			Dubhe G.O.		Polaire	
		AH _s	Lons _s	Cal. zod.	AH _D	Az _D	AH _P	Az _P
1	24 août	12	160°46	11° Vierg	12h18	2°05	22h34	2°06
2	20 août	12	155°54	6° Vierg	11h59	359°55	22h16	2°30'
3	17 fev	12	336°59'	7° Poiss	0h3	358°30'	10h19	357°53'
4	16 février	12	335°59	6° Poiss	24h	9'	10h15	357°48'

Remarque :

-La verticalité dépend de la latitude :

Si on change de latitude, la date où les deux mêmes astres sont à la verticale avec le même azimut peut changer.

Prenons un exemple : Repérer 2 astres à la verticale d'un lieu à la latitude 30° en 1500

le 24 août 1500, $Az_P = 1^{\circ}30'$ et $Az_D = 1^{\circ}54'$

le 23 août 1500, $Az_P = 1^{\circ}33'$ et $Az_D = 1^{\circ}30'$

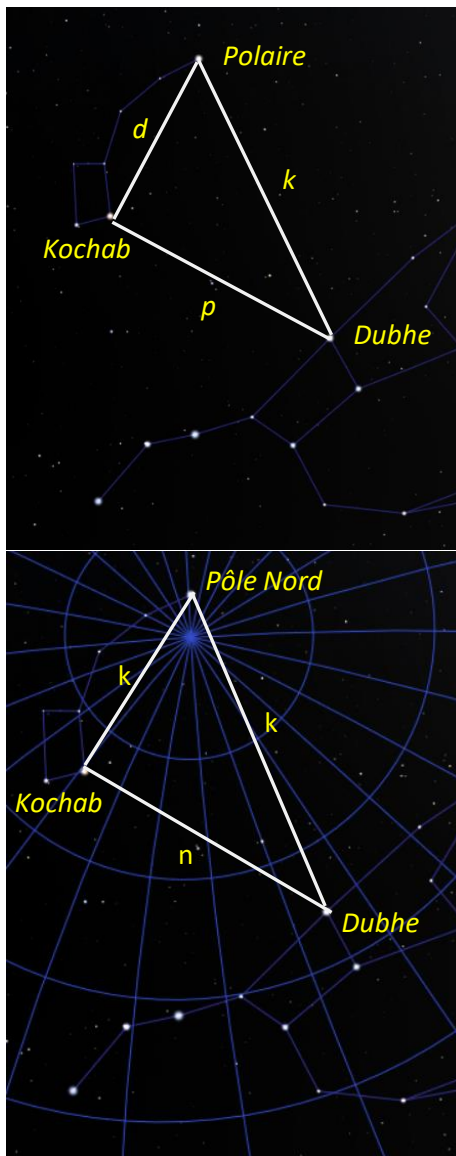
Les azimuts sont plus proches le 23 août à la latitude 30° alors qu'à la latitude 50°, c'est le 24 août. Il y a une différence de un jour en changeant de 20° de latitude.

Le nocturlabe qui fonctionne avec la verticalité d'astres, dépend en théorie de la latitude.

L'erreur est faible et l'instrument est considéré universel, c'est-à-dire utilisable quel que soit la latitude, tant qu'on voit la Polaire bien sûr.

2-4 Écart en jour ou degré entre le passage de Kochab et de Dubhe à la verticale de la Polaire à minuit

2-4-1 L'angle entre Kochab et Dubhe de centre la Polaire ou le pôle Nord



La Polaire-Kochab-Dubhe forme le triangle PKD .

Le pôle Nord-Kochab-Dubhe forme un autre triangle NKD . La voûte céleste tourne autour du pôle Nord alors que l'alidade du nocturlabe tourne autour de la Polaire.

Quand la voûte céleste tourne les 2 triangles restent identiques à eux-mêmes.

Pour le triangle sphérique PKD , connaissant les 3 angles « côtés », les longueurs angulaires des arcs de grands cercles p , k , d . La formule suivante permet de connaître l'angle au sommet P :

$$\cos p = \cos k \cos d + \sin k \sin d \cos P \quad (1)$$

Pour le triangle sphérique NKD , on peut utiliser la même formule, mais aussi, connaissant l'ascension droite de Kochab (AD_K) et de Dubhe (AD_D), on peut en déduire l'écart.

Calculons l'angle P du triangle PKD , et l'angle N du triangle NKD à l'aide de *Stellarium* en 1500.

Dans le triangle PKD

les longueurs angulaires des arcs de grands cercles p , k , d sont

$$p = 23^{\circ} 20' , k = 28^{\circ} 40' \text{ et } d = 16^{\circ} 34'$$

À l'aide de la formule trigonométrique ci-dessus (1), l'angle P est égal à $55^{\circ} 38'$ qui correspond à environ 56,37 jours, en comptant 360° pour 365 jours, soit 56 jours.

Fig. 2 & 3. Triangles PKD & NKD , *Stellarium*

Dans le triangle *NKD*, l'angle *N* est la différence des ascensions droites des 2 astres :
 $AD_K - AD_D = 14\text{h } 54\text{min} - 10\text{h } 32\text{min} = 4\text{h } 22\text{min}$, soit $65,5^\circ$
 $65,5^\circ$ correspond à environ 66,41 jours (360° pour 365 jours), soit 66 ou 67 jours.

L'écart entre Kochab et Dubhe sur le nocturlabe anglais de la figure 1, utilisable avec les deux astres, est de 61° .

2-4-2 Écart en jour ou en degré entre Kochab et Dubhe

L'écart en jour ou en degré entre Kochab et Dubhe est l'angle de centre la Polaire entre Kochab et Dubhe qui est fixe. Avec *Stellarium*, cet angle vaut $55^\circ 38'$.

L'écart du passage de ces astres à minuit dans le calendrier julien et dans le calendrier du zodiaque donne un écart légèrement différent, ce qui est normal (voir 2-2). On obtient cet écart d'angle en jour et en degré dans le tableau suivant :

Tableau de l'écart en jour et en degré du passage de Kochab et Dubhe à minuit à la verticale de la Polaire en 1500 :

	Passage de Kochab à la verticale de la Polaire		Passage de Dubhe à la verticale de la Polaire		Écart en jour	Écart en degré
	Cal. Jul	Cal.Zod	Cal. Jul	Cal.Zod		
en-dessous	20 octobre	7° Scorpion	24 août	11° Vierge	57j	56°
au-dessus	21 avril	11° Taureau	17 février	7° Poiss	63j	64°

Pourquoi une si grande différence de l'écart entre « au-dessus » et « en-dessous » ?

3) Étalonnage de la roue des jours par des auteurs du XVI^e siècle et comparaison

Les références des livres et illustrations se trouvent dans :

[COMPLÉMENT : Sur le nocturlabe](#)

3-1 Auteurs qui utilisent les Gardes de la Grande Ourse

Pierre Apian et Johannes Dryander utilisent les Gardes de la Grande Ourse.

3-1-1 Pierre Apian

-Sur la volvelle « cadran nocturne » dans *Cosmographie* et sur le verso du quadrant astronomique et de l'*horomètre* dans *Instrument Buch*, Pierre Apian prend le 20 août, jour où Dubhe passe à la verticale sous la Polaire à minuit. La date en opposition sur la roue est le 12 février sur le « cadran nocturne » et le 15 février sur le verso.

[Instrument des étoiles](#)

-Sur le verso des instruments, Apian place une couronne avec le calendrier du zodiaque juxtaposé à celle du calendrier Julien : le 20 août correspond au 6° degré de la Vierge et le 15 février au 6° degré des Poissons.

[Description du verso des quadrants astronomiques et de l'horomètre](#)
[Utilisation du verso des quadrants astronomiques et de l'horomètre](#)
[Applications avec le verso des quadrants astronomiques et de l'horomètre](#)

-Les dates de correspondance aux solstices et équinoxes de la roue des jours sur le verso sont :

- Début Bélier =11 mars
- Début Cancer =12 juin
- Début Balance =14 sept
- Début Capricorne =12 dec

Donc, Apian tient compte du nombre de jours différent selon les saisons.

3-1-2 Johannes Dryander

Le nocturlabe de Dryander a des graduations assez grossières à cause de la gravure sur bois. De plus le calendrier julien a un damier de 2 jours en 2 jours et le calendrier zodiacal un damier tous les 2 degrés ½. Il est difficile de faire une lecture au jour près ou au degré près. Les dates sont très comparables à celles d'Apian. Dryander prend le 20 août comme date sur la verticale de la roue des jours. en bas près du manche.

3-2 Auteurs qui utilisent Kochab, Garde de la Petite Ourse

3-2-1 Sébastian Münster

- Sur le nocturlabe de SébastianMunster, le calendrier du zodiaque a des graduations en damier de deux en deux degrés. Le 14° degré du Scorpion est la date où Kochab passe à la verticale en-dessous de la Polaire à minuit. Le calendrier julien, gradué de 15 en 15 jours, donne une lecture approximative au 27 octobre. Kochab passe au-dessus de la Polaire le 14° degré du Taureau, soit le 24 avril d'après le tableau de Münster qui donne justement les correspondances par quinzaine.

On peut comparer ces dates avec les dates sur *Stellarium* en 1500 à minuit :

- le 29 octobre, 16° degré du Scorpion, Kochab passe sur le méridien local en-dessous du pôle et le 20 octobre, 7° degré du Scorpion, Kochab passe à la verticale en-dessous de la Polaire ;

- le 26 avril, 16° degré du Taureau, Kochab passe sur le méridien local au-dessus du pôle et le 21 avril, 11° degré du Taureau, à la verticale au-dessus de la Polaire.

Du tableau de la figure 4, accompagnant le nocturlabe de Münster, on peut en déduire les correspondances des dates aux équinoxes et aux solstices au 10 ou 11 Mars, 12 juin, 13 septembre, 11 décembre qui correspondent bien à celles de *Stellarium*.

3-2-2 Oronce Fine

Oronce Fine utilise Kochab, Garde de la Petite Ourse. Sur les nocturlabes présentés de cet auteur, seul le calendrier zodiacal est tracé. Kochab passe à la verticale sous la Polaire à minuit, le 1^{er} degré du Scorpion et passe au-dessus le 1^{er} degré du Taureau.

176		D G M		DESCRPTIO	
	1	20	13	Capricorni	
Ianuarius	15	5	33	Aquarij	
	31	21	44	Aquarij	
Februarius	14	5	52	Piscium	
	28	19	48	Piscium	
Martius	15	4	36	Arietis	
	31	20	18	Arietis	
Aprilis	15	4	51	Tauri	
	30	19	13	Tauri	
Maius	15	3	38	Geminorum	
	31	18	50	Geminorum	
Iunius	15	3	3	Cancrj	
	30	17	22	Cancrj	
Iulius	15	1	40	Leonis	
	31	16	58	Leonis	
Augustus	15	1	24	Virginis	
	31	16	58	Virginis	
September	15	1	40	Libræ	
	30	16	30	Libræ	
October	15	1	30	Scorpij	
	31	17	43	Scorpij	
Novēber	15	2	58	Sagittarij	
	30	18	13	Sagittarij	
December	15	3	38	Capricorni	

Fig. 5. Table P.176 (vue 190)
Compositio horologiorum, S. Munster

3-2-3 Médine

Médine prend le 15 avril tout en doutant de la justesse de cette mesure :

« À minuit à la my-avril, ladicte estoille sera sur la teste avec l'estoille du Nort [...] Toutesfois ie di ici que i'ay aucunesfois fait experience avec orloges d'heures precises[...] ay trouvé que iusques au vingtieme d'Avril la garde et l'estoille viennent iustement à minuit à l'opposite : neantmoins pource que la difference est petite, je suivray l'ordre de la figure qu'on a observee iusques à ceste heure. »

[Évolution de l'instrument donnant l'heure aux étoiles](#)

3-2-4 Michel Coignet

Sur le nocturlabe de Michel Coignet, seul le calendrier julien est gravé.

Kochab passe à minuit à la verticale sous la Polaire le 21 octobre et passe au-dessus le 17 avril.

[Volvelle « nocturlabe » de M. Coignet](#)

4) Comparaison des étalonnages

Le logiciel *Stellarium* permet de comparer simplement les valeurs exactes avec celles placées sur les instruments. On peut utiliser excel et les formules de trigonométrie sphérique !

- Sur les instruments d'Apian et de Münster, les dates de début de chaque saison coïncident correctement entre celles des deux calendriers et celles de Stellarium (11 mars/12 juin/ 13 septembre /12 décembre)

- Avec la Grande Ourse

Tableau des dates de passage de Dubhe sur *Stellarium* :

Dubhe Grande Ourse À minuit (AH _S = 12h)	Sur la verticale de la Polaire		Sur le méridien local	
	au-dessus de la Polaire	en-dessous de la Polaire	au-dessus du pôle	en-dessous du pôle
Calendrier julien	17 février	24 août	16 février	20 août
Calendrier zodiacal	7° Poissons	11° Vierge	6° Poissons	6° Vierge

La date du 20 août, utilisée par Apian et par Dryander, semble montrer, comme le pense Michel Coignet, qu'Apian prend la date de passage de Dubhe à minuit sur le méridien sous le pôle et non sur la verticale de la Polaire.

- Avec la Petite Ourse

Sur le passage de Kochab au-dessus à la verticale de la Polaire, Médine écrit qu'il prend le 15 avril pour reprendre la date utilisée mais c'est plutôt le 20 avril. Michel Coignet ne reprend pas la date du 28 octobre comme *Munster, Apian et d'autres l'ordonnent le 28 dudict mois* (Coignet, p. 65) car, dit-il, ils n'ont pas tenu compte qu'on visait l'étoile Polaire et non le pôle Nord céleste.

En effet Münster s'approche plutôt de la date du passage de Kochab au méridien local à minuit. Médine reprend des valeurs qu'il estime lui-même incorrecte pour l'époque. Michel Coignet prend des valeurs plus proches de celles données par *Stellarium*.

Tableau des dates données sur les instruments des différents auteurs :

Kochab	S. Münster	O. Fine	Médine	M. Coignet
au-dessus de la Polaire	14° Taur. 24 avril	1° Taur. (11 avril)	(5° Taur.) 15 avril	(7° Taur.) 17 avril
en-dessous de la Polaire	14° Scorp. 27 oct.	1° Scorp (14 oct.)	(2° Scorp.) (15 oct.)	(8° Scorp.) 21 octobre

Tableau des dates sur Stellarium en 1500 à minuit (AHs = 12 h)

Kochab Petite Ourse	Sur la verticale de la Polaire		Sur le méridien local	
	au-dessus de la Polaire	en-dessous de la Polaire	au-dessus du pôle	en-dessous du pôle
Calendrier zodiacal	11° Taureau	7° Scorpion	16° Taureau	16° Scorpion
Calendrier julien	21 avril	20 octobre	26 avril	29 octobre

On peut ajouter que sur le nocturlabe de Martin Cortes dans *Breve Compendio de la Sphera*, la date au-dessus de la polaire est le 19 avril et sur celui de Giovanni Paolo Gallucci dans *Theatro el mundo* est le 1^{er} mai dans le calendrier grégorien, soit le 21 avril du calendrier julien avec les 10 jours de décalage.