

# Nocturlabe

Michel Llibre - Club d'astronomie de Quint-Fontsegrives

## Table des matières

1	Cadran ascension droite.....	2
2	Evolution du ciel avec le temps.....	3
3	Cadran angle horaire.....	3
4	Montre sidérale basée sur Caph.....	4
5	Montre sidérale basée sur Dubhé.....	6
6	Cadran indiquant heure solaire.....	7
6.1	Horloge basée sur Dubhé.....	8
6.2	Horloge basée sur Caph.....	9
6.3	Horloge basée sur Kochab.....	9
6.4	Erreur liée à l'équation du temps.....	9



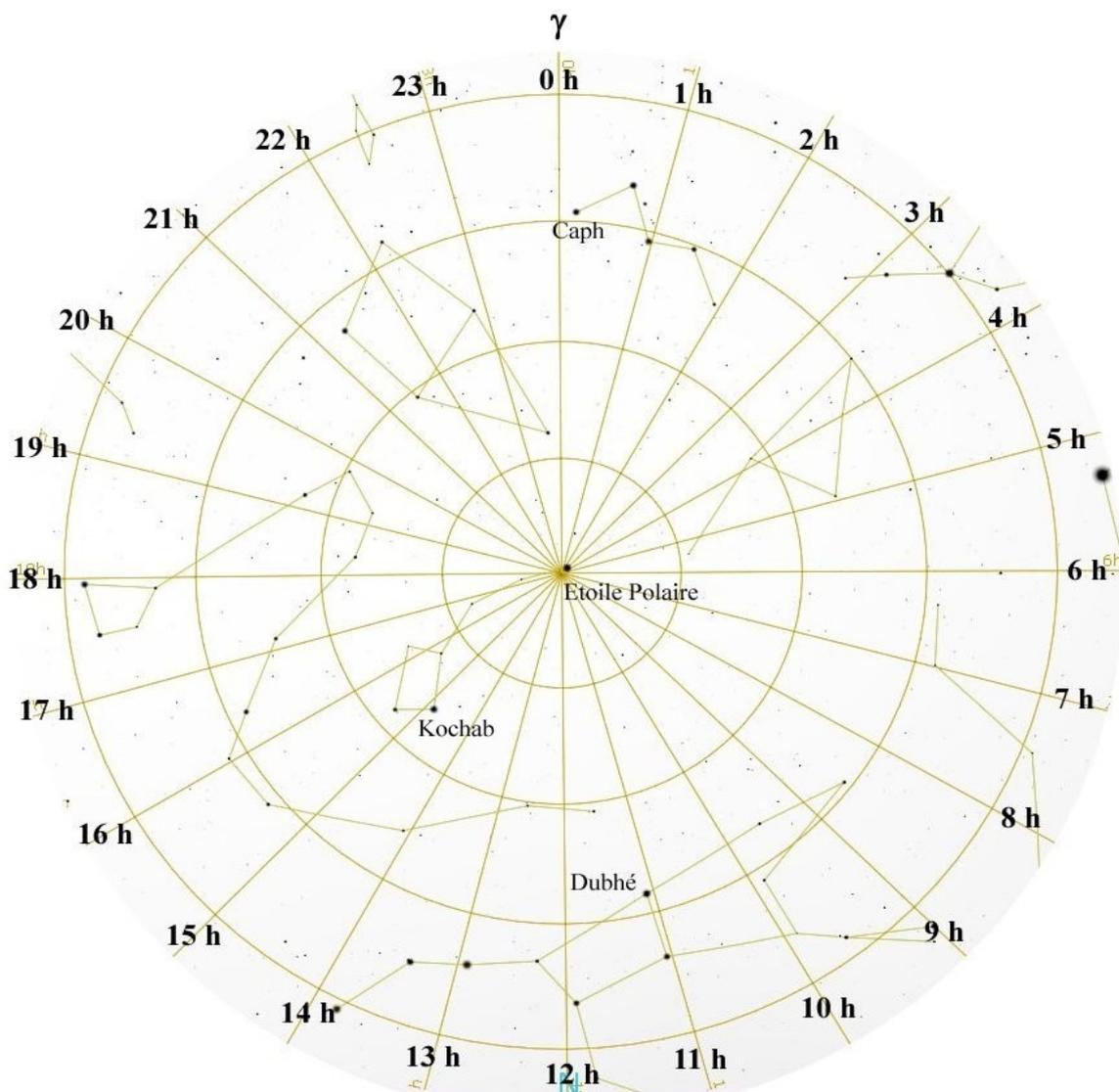
Le nocturlabe ou horloge des étoiles est un instrument qui permet d'obtenir l'heure solaire en mesurant l'angle que fait la direction du segment allant d'une étoile bien précise à l'étoile polaire avec la verticale. C'est une version simplifiée de l'Astrolabe qui permet d'utiliser les principales étoiles visibles. Le nocturlabe est décrit pour la première fois au XIII<sup>e</sup> siècle par le majorquin Raymond Lulle dans "Opera Omnia" sous le nom de "astrolabium nocturnum" ou "sphæra horarum noctis". Jusqu'à la généralisation d'horloges précises, il a été utilisé par les marins pour les navigations nocturnes.

# 1 Cadran ascension droite

La figure ci-dessous montre les étoiles et constellations qui sont au voisinage du pôle céleste. L'étoile polaire est à moins de  $1^\circ$  de ce pôle. La figure est orientée de telle façon que le méridien passant par le point vernal  $\gamma$  soit en haut de la figure.

On reconnaît :

- au-dessus la constellation de Cassiopée et l'étoile Caph dont l'ascension droite vaut environ 0h10,
- en-dessous la constellation de la Grande Ourse et Dubhé dont l'ascension droite vaut environ 11h04.
- à droite et en dessous, Kochab de la Petite Ourse, dont l'ascension droite vaut environ 14h50.



*Ascension droite des étoiles circumpolaires*

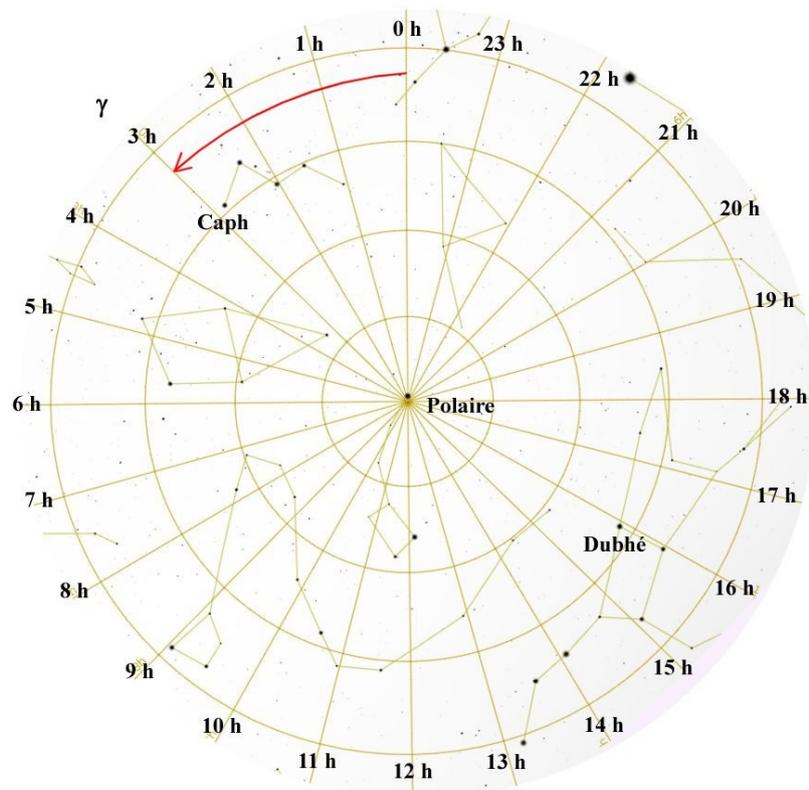
Remarque : Les "matheux" pourront s'étonner de voir l'ascension droite augmenter dans le sens des aiguilles d'une montre alors que, dans une rotation autour de l'axe polaire, c'est un angle qui augmente dans le sens trigonométrique direct. Cela est dû au fait que le plan équatorial est ici regardé par en-dessous, et effectivement l'angle serait bien dans le sens trigonométrique direct (anti-horaire) si on regardait le plan équatorial par dessus.

## 2 Evolution du ciel avec le temps

Si on examine le ciel en direction de l'étoile polaire, la vue précédente correspond à un certain instant T, avec la Grande Ourse au ras de l'horizon Nord et Caph de Cassiopée pas très loin du zénith. Avec l'écoulement du temps cette scène tourne, autour de la Polaire, les étoiles au-dessus allant vers la gauche (vers l'ouest) et les étoiles en dessous, proches de l'horizon Nord allant vers la droite (vers l'Est). On retrouvera exactement la même vue 24 heures sidérales après, c'est-à-dire 23h56m d'heures solaires moyennes.

## 3 Cadran angle horaire

Si on regarde le ciel en direction de l'étoile Polaire et qu'on imagine un cadran horaire avec la polaire au centre, la graduation 0h au-dessus de la Polaire, la graduation 12h en dessous, mais gradué dans le sens anti-horaire avec 6h à gauche et 18h à droite, on a réalisé un cadran horaire qui indique l'angle horaire des étoiles. Remarquons que comme pour l'ascension droite, le sens de rotation auquel on est habitué est inversé.



*Angle horaire des étoiles circumpolaires*

Sur la figure ci-dessus (pour un jour et une heure solaire quelconque) l'angle horaire de Caph est d'environ 2h50, celui de Dubhé est d'environ 15h56 et celui de Kochab est d'environ 12h10

L'angle horaire  $H$  d'une étoile est égal au Temps sidéral diminué de son ascension droite :

$$H = T_{sid} - A.D.$$

et réciproquement :

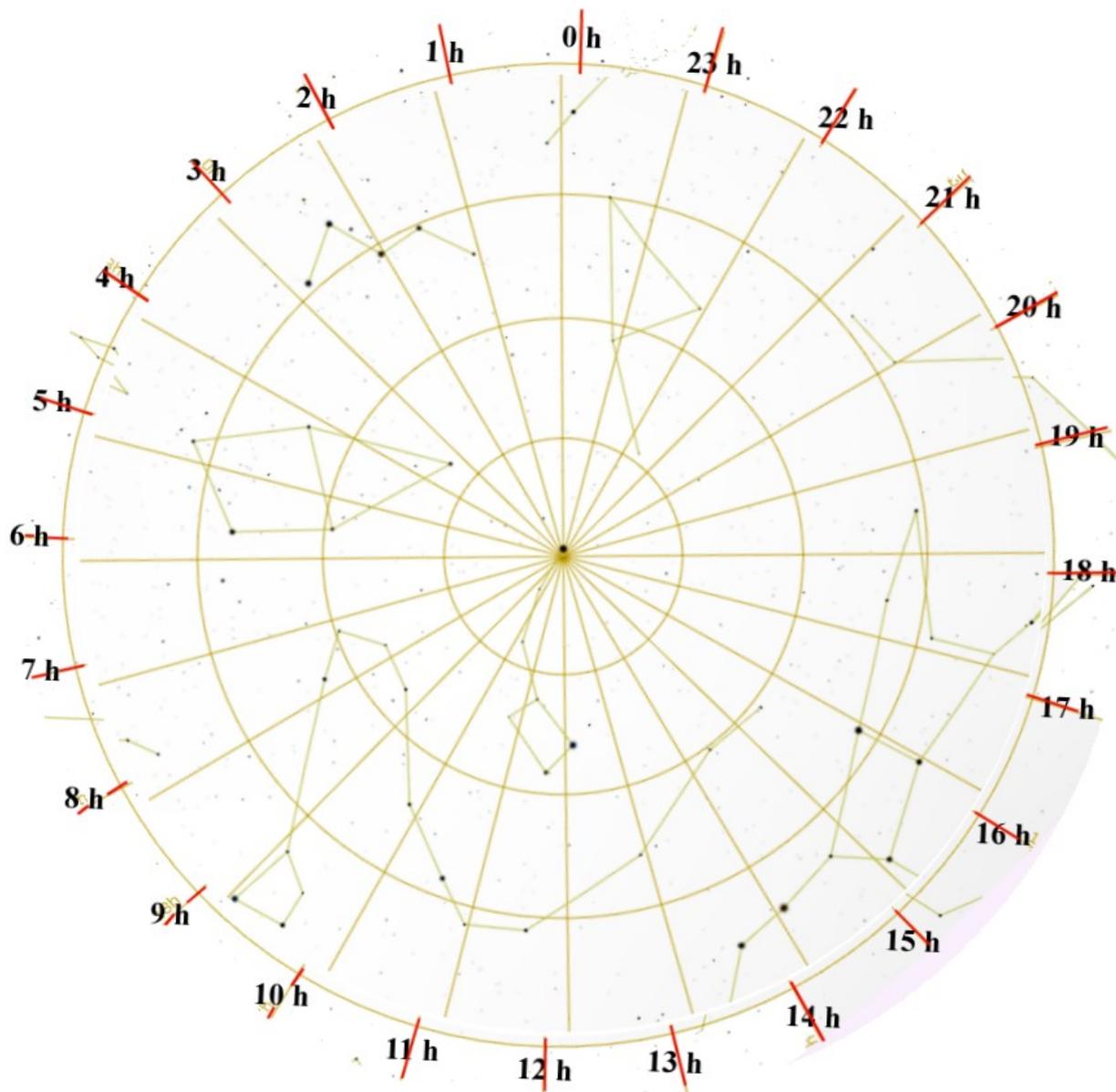
$$T_{sid} = H + A.D.$$

Le tracé de la figure correspond à  $T_{sid} = 3h$ .

***Le segment Étoile Polaire - Caph est intéressant car son angle horaire indique l'heure sidérale avec seulement 10 minutes de retard.***

## 4 Montre sidérale basée sur Caph

Sur ce cadran qui fait 360° en 24x60 minutes, 10 minutes représentent 2.5°. Si au lieu de mettre le 0h du cadran en haut, on le retarde de 10 mn en le tournant de 2.5° dans le sens horaire (car ne l'oublions pas ce cadran est gradué dans le sens antihoraire), le segment Étoile Polaire - Caph indiquera, sur ce cadran, l'heure sidérale à la minute près, comme ci-dessous.

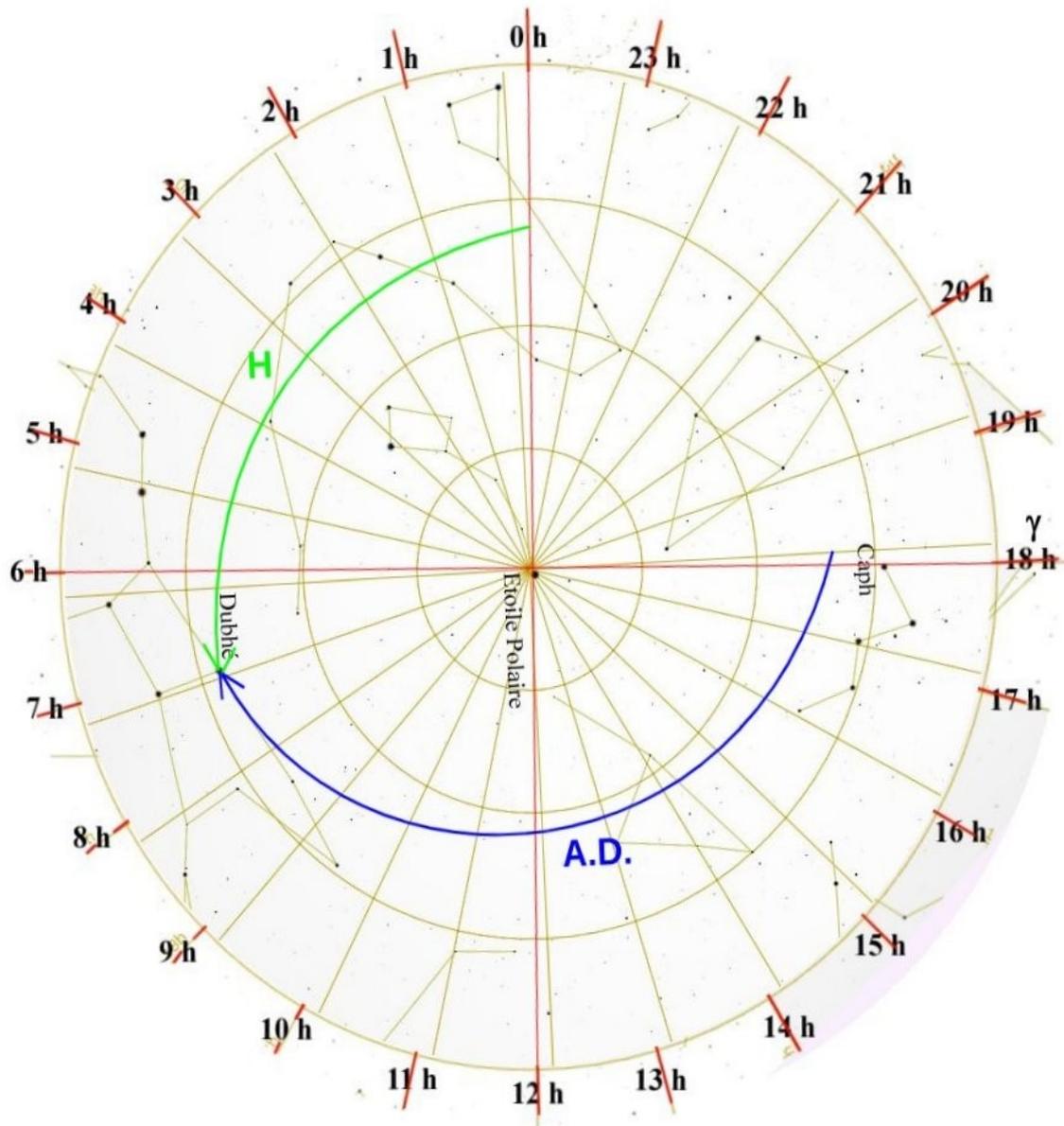


*Montre sidérale à aiguille le segment Polaire - Caph*

Considérons la figure ci-après prise à environ 18h10 heure sidérale. On peut y vérifier la relation :

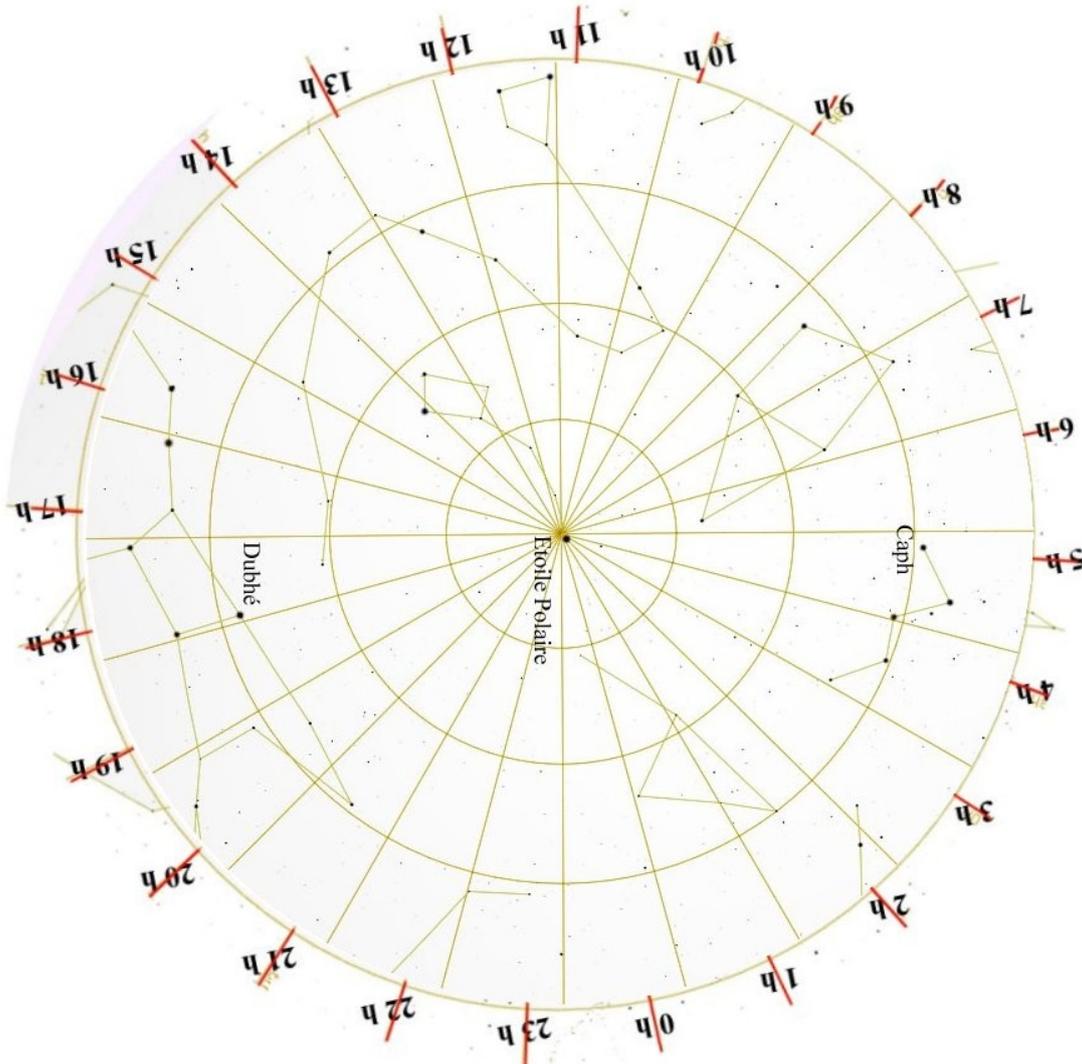
$$T_{sid} = H + A.D.$$

par exemple avec l'étoile Dubhé. Sur l'image H est vert vaut environ 7h06, l'ascension droite A.D. de Dubhé en bleu vaut 11h04 et la somme donne  $T_{sid} = 18h10$  qui est bien l'angle horaire du point  $\gamma$  sur cette figure.



## 5 Montre sidérale basée sur Dubhé

Sur notre cadran horaire gradué en heures sidérales, si on veut que le segment Polaire - Dubhé indique 18h10, on voit qu'il faut tourner ce cadran de la valeur de l'angle A.D. figuré en bleu sur la figure précédente, c'est-à-dire de  $11.067 \times 15^\circ$  dans le sens horaire (c'est le cadran externe qui tourne, pas les étoiles). Dans cette rotation l'index 0h va se positionner à la valeur 11h04 du cadran en ascension droite, c'est-à-dire à la valeur  $24h - 11h04 = 12h56$  du cadran horaire initial. C'est ce qui a été fait sur la figure suivante :



*Horloge sidérale associée à Dubhé*

En mesurant avec ce cadran modifié la position du segment Polaire-Dubhé, on trouve bien l'heure sidérale du moment, c'est-à-dire 18h10 environ.

En résumé **on peut construire une montre sidérale en positionnant le 0h du nouveau cadran horaire à la valeur 24h-A.D.(étoile guide) du cadran horaire initial** et en mesurant l'angle horaire du segment Polaire-étoile guide à partir de la nouvelle origine.

## 6 Cadran indiquant heure solaire

Regardons maintenant comment faire pour déduire l'heure solaire de l'heure sidérale.

L'équinoxe d'automne a lieu généralement l'après-midi ou la soirée d'un 22 septembre ou l'avant-midi d'un 23 septembre. Chaque année qui suit une année bissextile, l'heure de l'équinoxe à lieu environ 6 h après l'heure de l'équinoxe précédente. Quatre ans après, l'année bissextile suivante le cumul atteint 24h, mais le jour supplémentaire de cette année ramène date et heure à celles de l'année bissextile précédente. Ainsi, si une année bissextile l'équinoxe à lieu le 22 septembre vers 17h, l'année suivante ce sera le 22 septembre vers 23h, l'année suivante le 23 septembre vers 5h et l'année suivante le 23 septembre vers 11h, puis le cycle recommencera au 22 septembre vers 17h.

Pour faire un cadran affichant l'heure solaire, la date de l'équinoxe d'automne est importante car ***lors de l'équinoxe d'automne il y a, à 10 minutes près<sup>1</sup>, coïncidence entre l'heure sidérale et l'heure solaire. Ainsi la montre sidérale indique l'heure solaire le jour de l'équinoxe d'automne.***

Considérons une autre date, par exemple, un mois après l'équinoxe d'automne, le 22 novembre. A cette date le temps sidéral a pris environ 2 heures d'avance sur le temps solaire, puisqu'il prend 1 jour d'avance (24h) en un an (12 mois), c'est-à-dire 3 minutes 56 secondes par jour environ. Le temps solaire est donc égal à 2 heures de moins que le temps sidéral. Pour que le cadran indique ce temps solaire, il faut positionner le zéro heure du cadran horaire à une valeur égale à l'ascension droite de l'étoile pour le jour de l'équinoxe d'automne puis déplacer ce zéro de 3 minutes 56 secondes par jour (soit 2h par mois environ) vers les heures sidérales décroissantes.

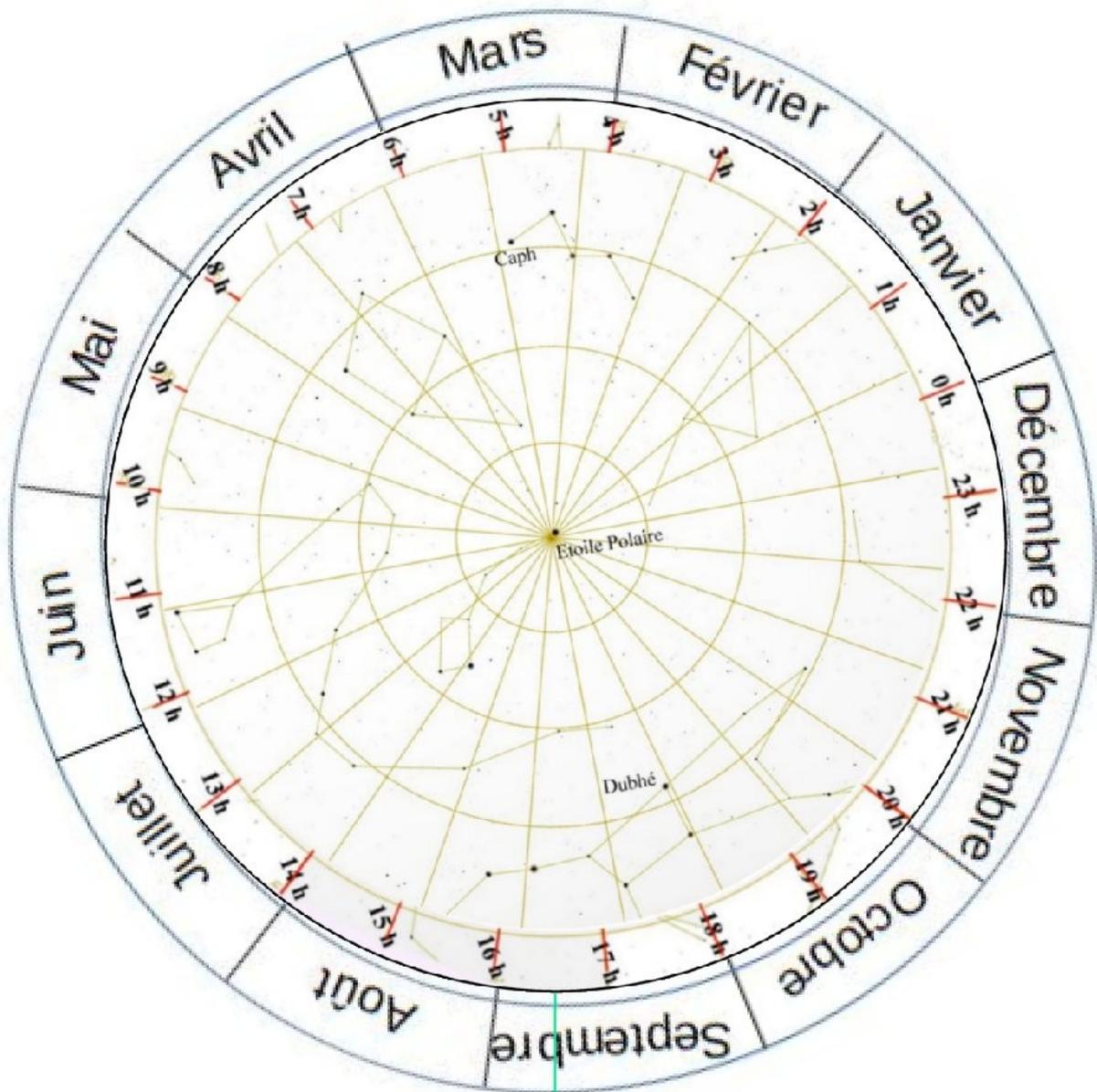
Considérons par exemple une horloge qui sera basée sur Dubhé. Pour que la direction Polaire-Dubhé indique l'heure sidérale, comme nous l'avons vu précédemment, on tourne le cadran horaire pour mettre son 0h en face de 24h-AD Dubhé = 12h56 du cadran horaire initial. Le 22 septembre, la direction Polaire-Dubhé indiquera aussi l'heure solaire qui ce jour là est égale à l'heure sidérale (à cette date, à toute heure, heure sidérale et solaires sont égales). Un mois plus tard, l'heure sidérale ayant pris 2h d'avance sur l'heure solaire, pour que le cadran indique l'heure solaire, il faut le retarder de 2h, c'est-à-dire mettre son 0h en face de 10h56 du cadran initial. Pour mesurer cette rotation on utilise une graduation supplémentaire externe au cadran, divisée en 12 mois, avec des subdivisions de 30 jours, ce qui permet, jour après jour d'ajuster le retard.

Pour faire simplifier l'origine de ces réglages on considère la date pour laquelle à 0h solaire l'alignement Polaire-Dubhé se produit à 12h du cadran horaire initial, facile à repérer car c'est le point bas du cadran. C'est la date pour laquelle l'étoile guide passe exactement en-dessous à la verticale de la Polaire à 0h solaire. Dubhé dont l'A.D. vaut 11h04, passe devant la graduation A.D. 12h lorsque le retard de l'heure sidérale sur l'heure solaire vaut 12h-11h04 = 56 minutes c'est-à-dire un peu plus de 14 jours avant l'équinoxe. Ainsi, dans le cas de Dubhé, on positionnera la date du **7 septembre** en bas du cadran.

**Remarque :** Le jour où à 0h solaire l'étoile franchit le méridien 12h angle horaire, elle est sur le même méridien que le Soleil puisque le Soleil franchit le méridien 12h angle horaire tous les jours à 0h. ***Le jour figurant en bas du cadran annuel est donc le jour où l'ascension droite du Soleil est égale à l'ascension droite de l'étoile guide.***

---

1 L'écart entre heures solaires moyenne et vraie (voir 6.4) est alors d'environ 7mn16s.



*Ici, le 1er janvier, l'horloge basée sur Dubhé indique 18h10 TU*

**Utilisation :** Pour que l'horloge sidérale de Dubhé donne l'heure solaire un jour quelconque de l'année, il faut positionner le 0h du cadran en face de la date du jour, par exemple le 1<sup>er</sup> janvier si on est le 1<sup>er</sup> janvier. Ce jour là vers 18h10 un observateur devrait voir les constellations circumpolaires dans la configuration de la figure précédente.

**En conclusion,** pour transformer l'horloge sidérale en horloge solaire, on lui adjoint un cadran annuel qu'on positionne en mettant en bas (à 12h du cadran horaire initial), le jour où l'ascension droite du Soleil est égale à l'ascension droite de l'étoile guide. Pour calculer ce jour, on peut évaluer le nombre de jours nécessaires après l'équinoxe pour passer de l'A.D. du Soleil ce jour là à l'A.D. de l'étoile guide, sachant que l'A.D. du Soleil varie de 24/365.25 heures par jour. On peut utiliser l'équinoxe de printemps avec A.D. Soleil = 0h ou l'équinoxe d'automne avec A.D. Soleil = 12h.

## 6.1 Horloge basée sur Dubhé

Nous avons vu que l'horloge basée sur Dubhé doit avoir la date du 7 **septembre** en bas, en position 12h du cadran horaire initial.

## 6.2 Horloge basée sur Caph

Le cadran annuel basé sur Caph aura le **22 mars** en bas en position 12h du cadran horaire initial.

## 6.3 Horloge basée sur Kochab

Le cadran annuel basé sur Kochab aura le **7 novembre** en bas en position 12h du cadran horaire initial.

**Remarque** : Certains cadrans ont ces dates de coïncidence placées en haut du cadran horaire au lieu d'être en bas, et ils ont une graduation d'horloge limitée à 12h (22h est marqué 11h...). Le fait d'avoir tourné le cadran annuel d'un demi-tour est sans incidence grâce à l'ambiguïté de 12h introduite par la graduation. Le fait qu'on sait être de nuit lors de l'observation des étoiles permet de lever cette ambiguïté.

## 6.4 Erreur liée à l'équation du temps

La vitesse de défilement du Soleil en angle horaire n'est pas constante ce qui entraîne un **écart variable entre l'heure solaire vraie et l'heure solaire moyenne** utilisée dans la vie civile. Cet écart appelé l'équation du temps a deux principales causes :

- l'ellipticité de l'orbite terrestre fait que la vitesse de défilement du Soleil est plus élevée quand la Terre est au périhélie (vers le 5 janvier) et plus faible 6 mois plus tard quand elle passe à l'aphélie. L'écart de temps résultant de cette variation de vitesse est appelée **l'équation au centre**. Au périhélie, l'ascension droite du soleil vrai prend de l'avance sur celle du soleil moyen. Il en résulte que son angle horaire prend du retard et inversement au périhélie. Au niveau angulaire l'écart peut atteindre  $1,91^\circ$  soit 7mn38s ou 458s, trois mois après le passage par ces apsides.
- L'inclinaison de l'écliptique a également une influence qui induit un écart appelé **réduction à l'équateur** :
  - au voisinage des équinoxes le soleil traverse l'équateur avec une trajectoire qui fait une pente d'environ  $27^\circ$ . La longueur de son trajet entre deux méridiens séparés d'une heure est d'environ  $1/\cos(27^\circ) = 1,12$  h. En 1h de temps il se déplacera donc de moins d'1h en angle horaire et se mettra en retard sur l'horaire moyen.
  - au voisinage des solstices l'écliptique coupe les méridiens à une hauteur de  $27^\circ$  sur un parallèle où les méridiens sont plus resserrés qu'à l'équateur. La distance entre deux méridiens, séparés d'une heure à l'équateur, n'y est plus que de  $\cos(27^\circ) = 0,89$  h. En une heure de temps, le soleil va traverser plus d'espace que la distance qui sépare ces deux méridiens au niveau de ce parallèle et se mettre en avance sur l'horaire moyen.
- l'écart total peut atteindre 16mn40s.