

# Heure sidérale et Angle horaire

Michel Llibre - Club d'astronomie de Quint-Fontsegrives

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| I. Généralités.....                                       | 1  |
| I.1 Ligne des équinoxes et points Gamma.....              | 1  |
| I.2 Date des équinoxes.....                               | 2  |
| I.3 Angle horaire.....                                    | 3  |
| I.4 Temps sidéral.....                                    | 3  |
| II. Calcul du temps sidéral.....                          | 3  |
| II.1 Approximations très grossières.....                  | 3  |
| II.2 Écart entre temps sidéral moyen et apparent.....     | 5  |
| II.3 Temps sidéral moyen pour Greenwich.....              | 6  |
| II.3.1 Expression simplifiée limitée dans le temps.....   | 6  |
| II.3.2 Expression générale non limitée dans le temps..... | 7  |
| II.4 Calcul du temps sidéral local.....                   | 8  |
| II.5 Calcul de l'angle horaire d'un astre.....            | 9  |
| III. Applications.....                                    | 9  |
| III.1 Angle horaire de quelques étoiles.....              | 10 |
| III.2 Planiciel.....                                      | 11 |
| III.3 Viseur polaire.....                                 | 12 |
| III.4 Constellations du Zodiaque et précession.....       | 12 |
| III.5 Saisons d'observation.....                          | 13 |
| IV. Résumé.....   | 13 |
| V. Sidéral ou Stellaire ?.....                            | 14 |

Remarques : Dans ce qui suit :

- nous utilisons souvent le point comme séparateur décimal à la place de la virgule,
- nous essaierons de réserver le caractère " pour les arc-secondes, c'est-à-dire la 3600<sup>ième</sup> partie du degré d'angle, et d'utiliser la lettre s pour la seconde de temps.

Relation à mémoriser :

$$\text{Temps Sidéral} = \text{Angle horaire} + \text{Ascension droite}$$

Moyen : ***Le temps sidéral est la somme des 2 coordonnées (A.H. et A.D. de n'importe quelle étoile) le long de l'équateur.***

## I. Généralités

### I.1 Ligne des équinoxes et points Gamma

La ligne des équinoxes est l'intersection entre le plan de l'écliptique et le plan de l'équateur terrestre. Le point vernal, dit point Gamma est la direction du Soleil au printemps quand il franchit le plan de l'équateur terrestre, en passant de l'hémisphère Sud à l'hémisphère Nord.

En astronomie tout bouge, avec des mouvements moyens et des perturbations supplémentaires. Ainsi l'équateur considéré pour évaluer cette intersection est :

- soit l'équateur **moyen** pour lequel on ne prend pas en compte l'oscillation en nutation de 18.6 ans, découverte par **Bradley** en 1748,
- soit l'équateur **apparent** qui prend en compte l'oscillation de Bradley. Les amplitudes des composantes en ascension droite et en déclinaison est de cette oscillation sont inférieures à 20" (soit au plus 1s en ascension droite).

Il en résulte qu'à une seconde de temps près, on peut confondre équateur moyen et équateur apparent.

Le point vernal est le point origine de mesure des angles de longitude écliptique (mesurée le long de l'écliptique) et d'ascension droite (mesurée le long de l'équateur). On a ainsi deux groupes de systèmes de coordonnées, des coordonnées moyennes (longitude écliptique, ascension droite, angle horaire, déclinaison, ... moyennes) dans un repère qui ne subit pas l'oscillation de Bradley et des coordonnées apparentes (longitude écliptique, ascension droite, angle horaire, déclinaison, ... apparentes) dans un repère où la nutation et d'autres facteurs sont pris en compte.

Si on se contente d'une précision de l'ordre du tiers de minute de degré, il est inutile de faire la distinction entre ces deux systèmes de coordonnées.

## I.2 Date des équinoxes

Référence :

[https://www.imcce.fr/newsletter/docs/Equinoxe\\_%20printemps\\_1583\\_2999.pdf](https://www.imcce.fr/newsletter/docs/Equinoxe_%20printemps_1583_2999.pdf)

En 2000 (bissextile), l'équinoxe de printemps s'est produite à la date suivante :

- printemps : 20/03/2000 à 7h35m16s TU

Un année tropique dure 365j et 5h48m45s, mais la durée qui sépare deux équinoxes de printemps est d'environ 365j et 5h49m0s. En ajoutant 5h49m à la date précédente on doit trouver la date de l'équinoxe de printemps en 2001. En le faisant on trouve :

- printemps : 20/03/2001 à 13h24m16s au lieu de 13h30m44s soit un retard de 6m28s difficilement explicable.

On peut faire de même pour 2002 et 2003, mais en 2004, il faudra retrancher 24h après l'ajout des 5h48m45s, à cause du 29 février supplémentaire cette année là. La date de l'équinoxe de printemps 2020 (bissextile) est :

- printemps : 20/03/2000 à 3h49m36s TU

Si la durée de l'année tropique était d'exactement 365.25, on devrait retrouver l'heure de l'an 2000, mais comme elle dure 11m de moins cela représente 3h40m en 20 ans. En retranchant cette quantité à l'heure de l'an 2000, on trouve 3h55m16s pour l'an 2020 soit 5m40s de retard par rapport à l'heure calculée par l'IMCCE, ce qui est bien mieux que l'écart sur la première année.

Ainsi d'une année sur l'autre, on peut calculer grossièrement à moins de 10 minutes près la date des équinoxes en ajoutant 5h49m à la date précédente et 5h49m-24h si la nouvelle année considérée

est bissextile.

### I.3 Angle horaire

L'angle horaire **AH** d'une étoile est l'angle que fait le méridien contenant cette étoile avec le méridien local de l'observateur. Il est compté positif dans le sens horaire.

Il varie presque à la même vitesse que l'heure ordinaire.

### I.4 Temps sidéral

Le temps sidéral local **TSL** est un angle qui est égal à l'**angle horaire du point Gamma** et à l'**ascension droite du méridien** local.

$$TSL = AH_{\gamma} = AD_{\text{méridien}}$$

L'angle horaire et l'ascension droite d'un astre varient en sens inverse et leurs opposés diffèrent du temps sidéral. En exprimant tout dans la même unité, on a :

$$AH_{\text{étoile}} - (-AD_{\text{étoile}}) = TSL$$

plus simplement, on a :

$$TSL = AD + AH$$

$$AH = TSL - AD$$

$$AD = TSL - AH$$

$$AH + AD = TSL$$

**Moyen mnémotechnique :** **Le Temps sidéral est la somme des angles** horaires et ascension droite.

**Remarque :** Lorsqu'une étoile passe au méridien du lieu son AH vaut 0. Il en résulte **le temps sidéral local est égal à l'ascension droite des étoiles qui sont sur le méridien du lieu.**

Le temps sidéral local **TSL** est décalé du temps sidéral de Greenwich **TSG** d'une quantité égale à la longitude du lieu. En exprimant tout dans la même unité, on a :

$$TSL = TSG + L$$

## II. Calcul du temps sidéral

### II.1 Approximations très grossières

On peut calculer l'heure sidérale  $TS_{TuN}$  à l'heure  $Tu$  du jour  $N$  de l'année à partir de la valeur de l'heure sidérale  $TS_{TuK}$  donnée un autre jour  $K$  en en ajoutant 24 heures sidérales par 365.25 jour après cette date.

Comme point de départ, on peut utiliser le 1<sup>er</sup> janvier 2000 à 0h TU date à laquelle l'heure sidérale valait 6h39m52s. Mais la précision se dégrade assez rapidement.

Chaque année, il faut rechercher la nouvelle valeur initiale : Le tableau suivant donne l'heure sidérale à 0h TU le 1er janvier pour les années de 2020 à 2035.

| année | Ts <sub>01</sub> | année | Ts <sub>01</sub> | année | Ts <sub>01</sub> | année | Ts <sub>01</sub> |
|-------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|
| 2020  | 6h40m29s         | 2024  | 6h40m36s         | 2028  | 6h40m44s         | 2032  | 6h40m51s         |
| 2021  | 6h43m28s         | 2025  | 6h43m35s         | 2029  | 6h43m43s         | 2033  | 6h43m50s         |
| 2022  | 6h42m31s         | 2026  | 6h42m38s         | 2030  | 6h42m45s         | 2034  | 6h42m53s         |
| 2023  | 6h41m34s         | 2027  | 6h41m41s         | 2031  | 6h41m48s         | 2035  | 6h41m56s         |

À moins d'une minute près, la valeur initiale  $T_{s_{01}}$  vaut 6h41m les années bissextiles, puis 6h44m l'année suivante, puis 6h43m l'année d'après et 6h42mn celle d'après, puis on a de nouveau une année bissextile.

À partir de la valeur initiale  $T_{s_{01}}$  de l'heure sidérale à 0h TU le 1<sup>er</sup> janvier de l'année en cours, on peut calculer le temps sidéral à 0h du jour numéro  $N$  du calendrier par la formule approchée suivante :

$$T_{s_{0N}} = T_{s_{01}} + (N - 1) \times \frac{24}{365.25}$$

en prenant en compte le fait que le temps sidéral prend 1 jour (24h) d'avance sur le temps  $T_u$  en une année.

Ensuite on peut ajouter  $\frac{366.25}{365.25} T_u$ , pour avoir le temps sidéral à l'heure  $T_u$  considérée, car l'heure sidérale va plus vite que l'heure solaire puisqu'elle fait 366.25 jours sidéraux pendant l'année de 365.25 jours solaires.

Finalement, on peut écrire :

$$T_{s_{TuN}} = T_{s_{01}} + T_u + \frac{(N - 1) \times 24 + T_u}{365.25}$$

À 3 minutes près on peut prendre pour  $T_{s_{01}}$  la valeur approximative suivante  $T_{s_{01}} = 6 \text{ h } 42 \text{ mn}$ .

Une autre date intéressante est celle des équinoxes où heures sidérales et heures TU sont pratiquement égales ou différentes de 12h. L'écart étant due à l'équation du temps.

En effet, considérons par exemple l'instant de l'équinoxe de printemps qui a lieu à une certaine heure sidérale  $T_s$  et une certaine heure du soleil vraie  $T$ . A cet instant le Soleil est exactement sur le point vernal (son ascension droite est nulle), d'où  $TSL = AH$ . Or AH est l'angle du méridien de Greenwich avec le soleil vrai qui vaut  $T - 12\text{h}$  en permanence. A cet instant on a donc :

$$T_s = T \pm 12\text{h}$$

L'écart entre l'heure du Soleil vrai  $T$  et l'heure  $TU$  du Soleil moyen est égal à  $E$  l'équation du temps :

$$TU = T + E$$

**Moyen mnémotechnique :** *Le temps universel est la somme des angles* du soleil vrai et de l'équation du temp.

D'où à l'instant de l'équinoxe de printemps :

$$T_s = TU - E \pm 12\text{h}$$

et à l'instant de l'équinoxe d'automne :

$$T_s = TU - E$$

A titre d'exemple les algorithmes de Jean Meeus donnent les valeurs suivantes :

Equinoxe de printemps 2020 :

- le 20/03/2020 à 3h49m59s
- Equation du temps à cette date :  $E = 7\text{m}28\text{s}$

- D'où  $T = 3\text{h}42\text{m}31\text{s}$
- Heure sidérale à cette date :  $15\text{h}42\text{m}34\text{s}$  soit un écart inexpliqué de 3 secondes.

Equinoxe d'automne 2020 :

- le 22/09/2020 à  $13\text{h}30\text{m}50\text{s}$
- Equation du temps à cette date :  $E = -7\text{m}26\text{s}$
- D'où  $T = 13\text{h}38\text{m}16\text{s}$
- Heure sidérale à cette date :  $13\text{h}38\text{m}20\text{s}$  soit un écart inexpliqué de 4 secondes.

***Le jour de l'équinoxe d'automne l'heure sidérale est égale à l'heure solaire, et à moins de 8 minutes près, elle est égale à l'heure TU.***

Pour des calculs grossiers, à un quart d'heure près, on peut compter une égalité de l'heure sidérale avec l'heure TU lors de l'équinoxe d'automne, puis une avance de l'heure sidérale de 2 heures par mois sur l'heure TU.

Exemple : Pour l'écart au 1er janvier l'avance sera de  $1/2\text{h}$  pour les 8 jours du 23 au 30 septembre, plus  $3 \times 2\text{h}$  pour les 3 mois octobre+novembre+decembre, soit environ  $6\text{h}30$  alors que le 1/1/2000-0h TU l'heure sidérale valait  $6\text{h}39\text{m}52\text{s}$ .

## II.2 Écart entre temps sidéral moyen et apparent

Si on a besoin d'une précision de l'ordre de la seconde temporelle, il faut prendre en compte l'oscillation de Bradley et distinguer ainsi temps sidéral moyen et temps sidéral apparent. On utilisera le temps sidéral moyen avec les coordonnées moyennes et le temps sidéral apparent avec les coordonnées apparentes.

$TSG = TSMG$  si coordonnées moyennes

$TSG = TSAG$  si coordonnées apparentes

$TSL = TSML$  si coordonnées moyennes

$TSL = TSAL$  si coordonnées apparentes

$TSM_X$  et  $TSA_X$  sont séparés d'un écart que nous noterons  $\Delta T_{MA}$  qui est toujours inférieur à  $20''$  de degré en valeur absolue :

$$TSA_X = TSM_X + \Delta T_{MA}$$

avec :

$$\Delta T_{MA} = \Delta \psi \cos(\varepsilon + \Delta \varepsilon)$$

où :

- $\Delta \psi$  est la variation de longitude écliptique de l'axe des pôles due à la nutation,
- $\varepsilon$  est l'obliquité moyenne (angle entre l'axe des pôles et la normale à l'écliptique),
- $\Delta \varepsilon$  est sa variation due à la nutation.

En première approximation :

$$\begin{aligned}\Delta \psi &\approx -0.00478 \sin(\Omega) \\ \varepsilon &\approx 23.439291 - 0.013004 S \\ \Delta \varepsilon &\approx 0.00255 \cos(\Omega) \\ \Omega &\approx 125.0443 - 1934.136 S\end{aligned}$$

où :

- $\Omega$  est la longitude du nœud ascendant de l'orbite lunaire,
- $S$  est le nombre de siècles juliens écoulées depuis le 1/1/2000 à 12h TU. Si  $N$  est le nombre de jours décimaux écoulés depuis cette date (dite J2000),  $S = N/36525$ .

| Date             | $\Delta T_{MA}$ en degrés | $\Delta T_{MA}$ en secondes temporelles |
|------------------|---------------------------|---|
| 1/1/2017 à 0h TU | - 0.001645                | -0.395                                  |
| 1/7/2017 à 0h TU | - 0.002336                | -0.561                                  |
| 1/1/2018 à 0h TU | - 0.002943                | -0.707                                  |
| 1/7/2018 à 0h TU | - 0.003389                | -0.814                                  |
| 1/1/2019 à 0h TU | - 0.003841                | -0.922                                  |
| 1/7/2019 à 0h TU | - 0.004147                | -0.996                                  |
| 1/1/2020 à 0h TU | - 0.0042                  | -1.008                                  |

Tableau 1: Écarts entre temps sidéraux apparent et moyen

## II.3 Temps sidéral moyen pour Greenwich

### II.3.1 Expression simplifiée limitée dans le temps

Le temps sidéral moyen pour Greenwich, peut être calculé en 2018, et **en degrés**, par l'expression simplifiée suivante :

$$TSMG = 100.59924 + 0.98564737 * (n-1) + 15.04107 * h_{TU}$$

où :

- $n$  est le numéro du jours dans l'année 2018 qui débute à 1 (tel qu'il figure dans les calendriers), et  $n-1$  est le nombre entier de jours écoulés depuis le 1/1/2018.
- $h_{TU}$  est l'heure décimale TU dans la journée ( $0 \leq h < 24$ ).

On peut encore simplifier cette expression en :

$$TSMG = 99.61359 + 0.98564737 * n + 15.04107 * h_{TU}$$

Ces relations font apparaître l'augmentation d'environ  $1^\circ$  par jour du temps sidéral sur le temps TU et son augmentation d'environ  $15^\circ$  par heure de temps TU.

Si on préfère exprimer ces temps en **heures décimales**, les expressions s'écrivent :

$$TSMG = 6.706616 + 0.0657098244 * (n-1) + 1.00273791 * h_{TU}$$

ou

$$TSMG = 6.640906 + 0.0657098244 * n + 1.00273791 * h_{TU}$$

En revenant aux degrés et en notant  $T_0$  la constante de la première relation et  $T_1$  la constante de la deuxième :

$$TSMG = T_0 + 0.98564737 * (n-1) + 15.04107 * h_{TU}$$

ou

$$TSMG = T_1 + 0.98564737 * n + 15.04107 * h_{TU}$$

on a le tableau des valeurs suivantes :

| Date             | $T_0$ en degrés | $T_1$ en degrés | $T_0$ en heures | $T_1$ en heures |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1/1/2018 à 0h TU | 100.59924       | 99.61359        | 6h42m24s        | 6h38m27s        |
| 1/1/2019 à 0h TU | 100.36053       | 99.37488        | 6h41m27s        | 6h37m30s        |
| 1/1/2020 à 0h TU | 100.12182       | 99.13617        | 6h40m29s        | 6h36m33s        |
| 1/1/2021 à 0h TU | 100.86876       | 99.88311        | 6h43m29s        | 6h39m32s        |

Tableau 2: Temps sidéral moyen de Greenwich à 0h TU quelques 1er janvier

Exemple d'utilisation :

Calculons le temps sidéral moyen de Greenwich à 6h30 le 25 juillet 2018. Le calendrier nous indique que c'est le 206ème jour de l'année. D'où :

$$TSMG = 99.61359 + 206 * 0.98564737 + 15.04107 * 6.5 = 400.4239^\circ$$

ou encore  $TSMG = 40.4239^\circ$  soit 2.6949h c'est-à-dire 2h41m42s.

Pour avoir le temps sidéral apparent de Greenwich  $TSAG$  à cette date, il faut prendre en compte l'écart  $\Delta T_{MA}$  avec le temps moyen qui vaut environ -1s début 2020 (cf. section II.2) :

$$TSAG = TSMG + \Delta T_{MA}$$

avec  $\Delta T_{MA} = -1s$  début 2020

### II.3.2 Expression générale non limitée dans le temps

#### Détermination de l'heure sidérale à l'équinoxe de printemps de l'an 2000

L'équinoxe de printemps a eu lieu le 20 mars 2000 à 7h35m16s TU, c'est à dire 78.816 jours après J2000 (le 1/1/2000 à 12h). À l'instant de l'équinoxe le soleil vrai était aligné sur le point gamma. Son ascension droite était nulle.

Le soleil moyen est décalé par rapport au soleil vrai car 1) il parcourt l'équateur au lieu de parcourir l'écliptique, mais ce jour là ces deux trajectoires se rencontrent, et 2) il parcourt un cercle à vitesse constante alors que le soleil vrai parcourt une ellipse. Sur ces 2 parcours, ils sont en phase lors du passage de la Terre à l'aphélie et au périhélie, c'est-à-dire vers le 4 juillet et le 4 janvier. Au périhélie le Soleil vrai se déplace plus rapidement que le soleil moyen et prend de l'avance sur lui. L'écart d'ascension droite est donné par l'équation du centre. L'année anomalistique valant 365.2596 jours, et l'ascension droite du Soleil à J2000 valant  $357.529^\circ$ , l'écart est approximativement donné par :

$$C = 1.9148^\circ \sin\left(357.5291^\circ + \frac{n}{365.2596} \times 360^\circ\right)$$

où  $n$  est le nombre de jours décimaux écoulés depuis le J2000. Le 20 mars 2000 à 7h35m16s TU, il s'est écoulé 78.816 jours depuis J2000. Le soleil vrai a pris

$$1.9148^\circ \sin\left(357.5291^\circ + \frac{78.816}{365.2596} \times 360^\circ\right) = 1.85^\circ \text{ d'avance sur le soleil moyen.}$$

L'heure TU qui mesure l'angle entre le méridien de Greenwich et le soleil moyen à son origine décalée décalée de 12h ( $180^\circ$ ) par rapport à l'origine de l'heure sidérale qui mesure l'angle entre le méridien de Greenwich et le point gamma. Ainsi à l'instant de l'équinoxe on a :

$$TS_{eq}^\circ = TU_{eq}^\circ + 1.85^\circ - 180^\circ$$

#### Heure sidérale à J2000 :

À J2000 on aura :

$$TS_o = TU_{eq}^{\circ} + 1.85^{\circ} - 180^{\circ} - n \frac{366.24219}{365.24219} \times 360^{\circ} = 280.46^{\circ}$$

avec  $n = 78.816$  (20 mars 2000 à 7h35m16s - J2000) et où 365.24219 est la durée d'une année tropique et 366.24219 le nombre de tours fait par la Terre pendant cette durée par rapport au point gamma (elle fait un tour de plus que par rapport au Soleil). On trouve  $TS_o = 280.46^{\circ}$

#### Formule précise :

Sur une très longue durée (des millénaires) le **temps sidéral moyen pour Greenwich** est donné, en degrés décimaux, par la formule :

$$TSMG = 280.46061837 + 360.98564736629 N + 0.000387933 S^2 - S^3/38710000$$

où  $N$  est le nombre de jours décimaux écoulés depuis le 1/1/2000 à 12h TU et  $S = N/36525$ , et le facteur de  $N$  vient de :

$$\frac{366.24219}{365.24219} \times 360 = 360.98564736$$

## II.4 Calcul du temps sidéral local

En 2018, pour calculer, en degrés, le temps sidéral local, on peut utiliser la relation suivante :

$$\begin{aligned} TSL^{\circ} &= 99.61359 + 0.98564737 * n + 15.04107 * h_{TU} + L \\ TSL_h &= 6.640906 + 0.0657098244 * n + 1.00273791 * h_{TU} + L \end{aligned}$$

où :

- $n$  est le numéro du jour dans l'année (compter ou voir calendrier, avec 1 pour le 1<sup>er</sup> janvier),
- $h_{TU}$  est l'heure décimale TU, par exemple 6.25 pour 6h15m,
- $L$  est la longitude du lieu.

Pour les autres années, remplacer la valeur des constantes par les valeurs adéquates à chercher dans le Tableau 1, et la valeur de la correction pour les coordonnées apparentes à chercher dans le Tableau 2.

#### Approche simplifiée :

Notons  $\Delta h_1$  l'avance de l'heure sidérale sur l'heure TU à une heure TU donnée  $h_{TU1}$ , exprimé en heures décimales :

$$\Delta h_1 = TSL_{h1} - h_{TU1}$$

On pourrait la calculer directement par :

$$\Delta h_1 = 6.640906 + 0.0657098244 * n + 0.00273791 * h_{TU1} + L$$

Pour calculer le temps sidéral pendant toute la séance d'observation, on considère que cette avance est constante (environ 10s d'erreur par heure) :

$$TSL_h = \Delta h_1 + h_{TU}$$

Pour limiter l'erreur à 1s par heure, on par la relation :

$$TSL_h = \Delta h_1 + 1.003 * h_{TU}$$

ou plus précisément :



$$TSL_h = \Delta h_1 + 1.00274 h_{TU}.$$

## II.5 Calcul de l'angle horaire d'un astre

Le  $TSL$  est utilisé pour calculer l'angle horaire  $AH$  d'un astre connaissant son ascension droite  $AD$  par :

$$AH = TSL - AD$$

soit :

$$AH = \Delta h + h_{TU} - AD$$

où  $\Delta h$  est l'avance de l'heure sidérale sur l'heure TU.

Si on travaille sur le même astre toute la séance d'observation, on a intérêt à calculer le terme :

$$AH_0 = \Delta h_1 - AD$$

qui est l'angle horaire de l'astre à 0h TU, avec le terme  $\Delta h_1$  qui est l'avance de l'heure sidérale en début de séance et que l'on va considérer constante pour le reste de la séance. On pourra ainsi pendant toute la séance calculer l'angle horaire de l'astre par :

$$AH = AH_0 + h_{TU}$$

On peut estimer l'avance  $\Delta h_1$  à quelques minutes près en se rappelant qu'elle est nulle aux environs du 22 Septembre, puis qu'elle avance approximativement de :

- 2 heures par mois
- 1 heure par quinzaine
- 40 minutes par dizaine
- 4 minutes par jours

### Remarques :

- Pour utiliser l'angle horaire sur la monture équatoriale, il faut vérifier que lorsque le télescope pointe dans le méridien local coté Sud, la graduation est à zéro. A partir de cette orientation l'angle augmente lorsque le télescope tourne vers l'ouest.
- Si on a besoin d'une très grande précision et qu'on utilise le  $TSL$  pour calculer l'angle horaire à partir d'une ascension droite **apparente** (prenant en compte le mouvement de nutation de l'axe des pôles) il faut également utiliser le  $TSL$  apparent, c'est-à-dire retrancher 1 s d'heure au résultat.

## III. Applications

Nous avons vu au chapitre I.4 les relations qui lient heure sidérale, angle horaire et ascension droite :

$$TSL = AD + AH$$

$$AH = TSL - AD$$

$$AD = TSL - AH$$

Lorsqu'on regarde en direction du méridien local, sous la polaire coté sud on a  $AH = 0$  h.

L'ascension droite des étoiles et constellations qui passent devant le méridien est donc égale au temps sidéral. Si on connaît l'heure sidérale, on peut en déduire quelle est la constellation qui est en

ce moment à cheval sur le méridien. Six heure plus tôt elle se levait et dans 6 h elle se couchera.

Ainsi en hiver, passent approximativement le méridien :

- le 21 septembre ( $TSL = TU$ ), Cassiopée, **Pégase**, Poissons, Baleine et Verseau, le Sculpteur
- le 21 décembre ( $TSL = TU + 6$ ), le Cocher, **Orion**, le Lièvre,
- le 21 mars ( $TSL = TU + 12$ ), la Grande Ourse et Chiens de Chasse, **Lion** et Chevelure de Bérénice, la Vierge et la Coupe,
- le 21 Juin ( $TSL = TU + 18$ ), le Dragon, la Lyre, Hercule, le Serpenteaire, Sagittaire et **Scorpion**

Retenons que :

- Pégase est la constellation de l'automne
- Orion est la constellation de l'hiver
- le Lion est la constellation du printemps
- le Scorpion est la constellation du printemps

### III.1 Angle horaire de quelques étoiles

Les coordonnées équatoriales des étoiles (ascension droite, déclinaison) sont constantes quand on néglige leur mouvement propre et la précession des équinoxes.

En ce qui concerne le mouvement propre, parmi les 9000 étoiles de magnitude inférieure à 8 le déplacement de la plus rapide atteint seulement 7" par an.

Quant à la précession des équinoxes, elle fait se déplacer les étoiles au voisinage de l'écliptique d'environ 50" par an et de moins en moins en s'approchant du pôle écliptique. Cela est généralement négligeable pour nos observations, toutefois la singularité en ascension droite au voisinage du pôle équatorial fait que cette précession, même limitée à cette latitude écliptique à environ 23" par an, est responsable d'une variation assez rapide de l'ascension droite de l'étoile Polaire qui, par exemple, va passer de 2h32m en 2000 à 3h30m en 2040.

| Etoile              | Constellation               | A.D. approchée | A.D. (J2000)           |
|---------------------|-----------------------------|----------------|------------------------|
| Caph                | $\beta$ Cassiopée           | 0 h            | 0h 09                  |
| Navi (Tsih)         | $\gamma$ cassiopée          | 1 h            | 0h 57                  |
| <b>Capella</b>      | $\alpha$ Cocher             |                | <b>5h 17</b>           |
| <b>Dubhe</b> /Merak | $\alpha/\beta$ Grande Ourse | 11 h           | <b>11h 04</b> / 11h 02 |
| <b>Alioth</b>       | $\epsilon$ Grande Ourse     | 13 h           | <b>12h 54</b>          |
| Kochab              | $\beta$ Petite Ourse        | 15 h           | 14h 51                 |
| Eltanin             | $\gamma$ Dragon             | 18 h           | 17h 57                 |
| <b>Véga</b>         | $\alpha$ Lyre               |                | <b>18h 37</b>          |
| <b>Deneb</b>        | $\alpha$ Cygne              |                | <b>20h42</b>           |

Tableau 3: Ascensions droites étoiles boréales brillantes

Calculons l'angle horaire approximatif de Kochab (A.D.  $\approx$  14h50) le 1er février à 10 h du soir.

- Il sera alors 21h TU.
- A l'équinoxe d'automne (le 22/09) l'heure sidérale est égale à l'heure TU, 132 jours plus tard, le 22/1 l'heure sidérale sera 8h en avance sur l'heure TU de  $132 \times 3m56s = 8h39m$  en avance. A 21h TU l'heure sidérale est estimée à environ 5h 39m. En fait, à cette date l'équation du temps vaut environ 13m, ce qui fait que l'heure sidérale vaut environ 5h52m
- l'angle horaire de Kochab vaut alors  $5h52 - 14h51 \approx -9h$  soit environ 15h (en ajoutant 24h).

Remarque : Cet angle horaire n'est valable que sur le méridien de Greenwich. La valeur de la longitude (+ à l'Est) convertie en heure ( $15^\circ \Rightarrow 1$  heure) doit être ajoutée pour avoir l'angle horaire en un autre lieu.

**Plus grossièrement** : Dans le tableau 2 on voit que le temps sidéral est en avance d'environ 6h40 sur le temps TU le 1er janvier. Il aura donc environ 8h40 d'avance le 1er février. A 21h TU, le temps sidéral vaudra environ 5h40. L'angle horaire de Kochab vaudra environ  $5h40 + 24 - 14h50 \approx 14h50$  plus la longitude du lieu convertie en heure.

**Exemple: Pointage sur Dubhe le 30 juillet à différentes heures (à 10 mn près)**

On calcule l'écart entre temps sidéral et temps civil :

Le 22/07 on a :  $TS = TU - 2 \times 2h$  car la date est située 2 mois avant le 22/09.

Le 30/07 on a :  $TS = TU - 4h + 8 \times 4 \text{ mn}$  car la date est située 8 jours après le 22/7

d'où :  **$TS = TU - 3h28mn$  (à 10 mn près)**

En juillet TC (temps civil) =  $TU + 2h$

d'où :  **$TS = TC - 5h28mn$  (à 10 mn près)**

On en déduit l'angle horaire de Dubhe en fonction de l'heure civile :

$AH = TS - AD = TC - 5h28 - 11h04 = TC - 16h32$

d'où :  **$AH = TC + 7h28mn$  (à 10 mn près)**

L'angle horaire de Dubhe est approximativement égale à l'heure civile + 7h28mn le 30 juillet, à 10 minutes près environ.

## III.2 Planiciel

Un planiciel est une carte du ciel centrée sur le pôle céleste équatorial (voisin de l'étoile polaire).

Sur cette carte un cercle est tracé au voisinage de la déclinaison  $-45^\circ$  (limite visible au solstice d'été en France). Elle couvre donc une portion bien supérieure à une demi-sphère céleste. Au niveau de la déclinaison  $-45^\circ$ , le cercle est gradué en 12 divisions et chaque division est divisée en 30 ce qui correspond approximativement à 12 mois de 30 jours.

Cette carte est insérée dans un cache comportant une fenêtre d'observation circulaire limitée à la portion de demi-sphère céleste de  $180^\circ$  visible par un observateur. Le cache comporte des graduations centrées sur le pôle équatorial qui correspondent aux azimuts des visées, avec les 4 points cardinaux. Au même niveau que la graduation de la carte figure une graduation en angle horaire que l'ont utilise comme une graduation en heure ordinaire.

Les graduations sont relatives à un lieu donné. Pour les planiciels français, elles correspondent à la longitude  $0^\circ$  et à l'heure TU+1 (hiver), ou à l'heure TU+2 (été). Les anciens caches mettaient 1h en bas (0h TU) avec le Nord, et les nouveaux caches mettent le Sud en bas à 21h TU, ce qui fait que les graduations en mois de la carte mobile sont différentes.

Pour placer la graduation de la carte, considérons par exemple la date de l'équinoxe d'automne (22 Septembre). Nous avons vu en section II.1 qu'à cette date le temps sidéral est avance de seulement de 7m30s sur le temps TU (écart dû à l'équation du temps). A 23h52m30s TU, il sera 24h TSL. L'alignement Merak Dubhe qui est à 11h04 d'ascension droite, et sera donc à  $24 - 11h04 = 12h56m$ . A 0h TU le 22 septembre, l'angle horaire de l'alignement Merak-Dubhe vaudra environ  $AH = 13h07m$

Or 0h d'angle horaire est en direction du point cardinal Sud et 12h est en direction du point cardinal Nord. 13h07m est donc environ à  $17^\circ$  Ouest par rapport au Nord.

Il en résulte que pour caler la graduation sur la carte, on la positionne avec l'alignement Merak-

Dubhe à 17° Ouest par rapport au Nord, et on positionne le 22 septembre en face de 0h TU.

### III.3 Viseur polaire

Les anciens viseurs polaires comportaient, comme la carte du planiciel, 12 graduations subdivisées en 30 (ou 15 par manque de place) pour repérer le jour de l'année. Un vernier supplémentaire au niveau du zéro permettait d'ajouter le décalage en longitude. Lorsqu'on pivotait la monture en angle horaire cette graduation se déplaçait devant une autre graduation fixée au bâti et graduée en 24h. On pouvait ainsi orienter le viseur polaire en fonction de l'heure et de la date, comme un planiciel. Si le calage des graduations était correct, la polaire devait se trouver dans une direction bien précise indiquée par une petite marque sur le cercle d'environ 40' de rayon autour du centre du réticule. Pour faire la mise en station, on tournait d'abord la monture en angle-horaire pour amener en coïncidence la graduation heure TU avec la graduation date du jour, puis à l'aide des vis d'azimut et d'élévation on amenait la polaire dans sa marque.

Mais comme nous l'avons signalé précédemment, à cause de la précession des équinoxes, l'ascension droite de la polaire varie énormément (plus de 1'30" par an), ce qui rend caduque cette méthode pour positionner l'angle horaire de la polaire lors de l'alignement. De ce fait ces graduations ne sont plus utilisées. La direction de la polaire est donnée soit par la raquette de commande, soit par une application logicielle. Par contre la déclinaison variant très peu, on utilise toujours pour la distance de la polaire au centre du réticule des cercles gravés et gradués en année.

### III.4 Constellations du Zodiaque et précession

Pour les constellations du zodiaque, on a les ascensions droites (très approximatives) suivantes :

|                          |                           |                             |                             |                         |                          |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Bélier<br>(21/03-19/04)  | Taureau<br>(20/04-20/05)  | Gémeaux<br>(21/05-20/06)    | Cancer<br>(21-06-22/07)     | Lion<br>(23/07-23/08)   | Vierge<br>(24/08-22/09)  |
| 2h30                     | 4h30                      | 7h                          | 8h45                        | 11h                     | 13h                      |
|                          |                           |                             |                             |                         |                          |
| Balance<br>(23/09-22/10) | Scorpion<br>(23/10-21/11) | Sagittaire<br>(22/11-21/12) | Capricorne<br>(22/12-19/01) | Verseau<br>(20/1-19/02) | Poissons<br>20/02-20/03) |
| 15h                      | 17h                       | 19h                         | 21h                         | 22h30                   | 0h30                     |

*Tableau 4: Ascension droite des constellations du zodiaque*

Nous avons vu qu'à la date de l'équinoxe d'automne, le 22 Septembre, le temps sidéral est voisin du temps TU. En considérant une visée plein Sud, on constate qu'à cette date la séparation entre la Vierge et la Balance est dans cette direction (plein Sud) entre 13h et 15h, c'est-à-dire à 14h TU.

Le tableau précédent donne entre parenthèses les périodes attribuées aux signes du Zodiaque. Les dates données pour la Vierge et la Balance signifient que dans l'antiquité le Soleil se trouvait à leur séparation le 22/23 Septembre, séparation qui se trouvait donc plein Sud à midi, Soleil Vrai. Ce qui fait qu'à 14h elle se trouvait 30° plus à l'Ouest qu'actuellement.

De l'antiquité à nos jours (en regardant vers le sud) les constellations se sont donc décalées d'environ 30° vers l'Est. C'est la précession des équinoxes découverte par Hipparque de Nicée au II<sup>e</sup> siècle av. J.-C. Si on considère que ce sont les constellations qui sont fixes, c'est notre repère lié au

mouvement du Soleil qui a dérivé vers l'Ouest d'environ  $30^\circ$  en 2150 ans (1 tour en 25800 ans). Plus précisément, le point Gamma rétrograde d'environ  $50.29''$  par an, ce qui a pour effet d'augmenter les longitudes écliptiques des étoiles de  $50,29''$  par an.

### III.5 Saisons d'observation

Considérons un observateur pas très courageux qui observe le soir en début de nuit plutôt que le matin en fin, par exemple vers 22h TU. Que voit-il en direction du Sud ? Il voit les étoiles et constellations qui ont un angle horaire égal à 0h, c'est-à-dire celles dont l'ascension droite est égale au temps sidéral.

Le tableau suivant donne la constellation du zodiaque qui est visible vers 21h30 en direction du Sud vers le 15 de chaque mois :

|          |            |            |         |          |          |
|----------|------------|------------|---------|----------|----------|
| Janvier  | Février    | Mars       | Avril   | Mai      | Juin     |
| Taureau  | Gémeaux    | Cancer     | Lion    | Vierge   | Balance  |
|          |            |            |         |          |          |
| Juillet  | Août       | Septembre  | Octobre | Novembre | Décembre |
| Scorpion | Sagittaire | Capricorne | Verseau | Poissons | Bélier   |

Tableau 5: Constellation visible au Sud vers 21h30 TU

A titre d'exemple, lors d'une soirée d'observation en **juin**, on pourra observer en début de nuit la Balance au Sud et la Vierge au Sud-Ouest qui va rapidement se coucher, mais également le Scorpion au Sud-Sud-Est et le Sagittaire au Sud-Est qui au contraire vont continuer à monter.

En se référant aux périodes des signes du Zodiaque, on retiendra que **la période d'observation favorable pour une constellation du zodiaque va de 3 à 6 mois avant la période de son signe**, ce qui donne par exemple pour le Sagittaire (22/11-21/12) une période favorable allant de Juin à Août.

**Mémo :** Aux environs du 20/21/23 du mois numéro  $n$ , passent au méridien Sud à 0h TU les étoiles dont l'ascension droite vaut  $2(n+3)$  heure (pour  $n \geq 9$  faire modulo 24.).

Le tableau suivant donne les heures sidérale à minuit TU en fonction de la date (à 1 ou 2 jours près).

|      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| Hsid | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17   | 18   | 19   | 20   | 21  | 22  | 23  |
| Date | 20  | 5   | 20  | 5   | 20  | 5   | 20  | 5   | 20  | 5   | 20  | 5   | 20  | 5   | 20  | 5   | 20  | 5    | 20   | 5    | 20   | 5   | 20  | 5   |
|      | Sep | Oct | Oct | Nov | Nov | Dec | Dec | Jan | Jan | Fev | Fev | Mar | Mar | Avr | Avr | Mai | Mai | Juin | Juin | Juil | Juil | Aou | Aou | Sep |

On peut interpoler entre ces dates en comptant 4 minutes de variation du temps sidéral par jour.

Ansi, d'après ce tableau, les Pléiades (A.D. = 3h47) passent au méridien à minuit TU un peu avant le 20 novembre (Hsid = 4h). Il faut retrancher 13 minutes à 4h, soit 3 fois 4 minutes, disons 3 jours d'où  $20 - 3 = 17$  novembre. Ce jour là les Pléiades passent au méridien Sud à minuit.

## IV. Résumé

$$\text{Temps Sidéral} = A.H. + A.D.$$

Le temps sidéral est la somme des 2 coordonnées (A.H. et A.D. de n'importe quelle étoile) le long de l'équateur.

Pour les étoiles qui sont sur le méridien (A.H. = 0) on a Temps Sidéral = A.D.

**Le jour de l'équinoxe d'automne** (à 8 minute près) :

le 22 septembre **Temps Sidéral**  $\approx TU$

ce jour là, l'A.D. des étoiles qui passent au méridien est égale à l'heure TU.

**Le 1er janvier** (à quelques minutes près)

le 1er janvier **Temps Sidéral**  $\approx TU + 6h42$

**Temps sidéral le jour N de l'année :**

$$Ts_{TuN} = 6\text{ h }42 + Tu + \frac{(N-1) \times 24 + Tu}{365.25}$$

**Le temps sidéral avance de 2h / mois sur le temps TU.**

**A.D. de Navi (étoile centrale de Cassiopée)  $\approx 1h$ .**

## V. Sidéral ou Stellaire ?

Pourquoi utilise-t-on le terme de sidéral à la place du terme stellaire ? Il y a en fait une différence qui est négligeable en pratique. Dans les mesures sidérales, la référence utilisée pour mesurer la rotation de la Terre n'est pas la voûte céleste, mais la direction de la ligne des équinoxes (le point  $\gamma$ ), ligne intersection des plans équatorial et écliptique, et comme la direction cette ligne rétrograde le long du zodiaque d'environ 50" par an (1 tour complet en 25769 ans) le jour sidéral (un tour de la Terre sur elle-même relativement à la ligne des équinoxes) est légèrement plus court que le jour stellaire (un tour de la Terre sur elle-même relativement aux étoiles des constellations en les supposant immuables). Pendant cette période de 25769 ans la Terre a fait sur elle-même  $N = 25769 \times 366.24$  tours, soit environ  $N = 9437640$  tours, mais elle en a fait un de plus par rapport à la ligne des équinoxes que par rapport aux étoiles puisque cette ligne est rencontrée en avant chaque année de 50" et que finalement elle sera retrouvée une fois de plus à l'issue des 25769 années. La différence relative entre les deux temps est donc de l'ordre de  $1/N$  soit  **$10^{-7}$  approximativement**, ce qui représente 9.15ms/jour ou encore 3.32 s/an. En 3.32s la rotation de la Terre balaie les  $15 \times 3.32 \approx 50$ " d'arc qui sépare la position de la ligne des équinoxes d'une année par rapport à sa position l'année précédente, c'est-à-dire la précession annuelle de la ligne des équinoxes.