

# Coordonnées célestes



Michel Llibre  
Club d'astronomie de Quint-Fonsegrives  
2016

# Liste des diapos

1. Unités et ordres de grandeurs angulaires
2. Coordonnées horizontales
3. Coordonnées équatoriales
4. Coordonnées horaires
5. Coordonnées horaires (suite)
6. Coordonnées écliptiques
7. L'axe des pôles écliptiques
8. L'écliptique sur la sphère céleste vu de la Terre
9. L'écliptique tracé sur le planisphère céleste
10. La précession de l'axe des pôles
11. Précession et nutation de l'axe des pôles
12. Chemins parcourus par les pôles célestes sur la sphère céleste
13. La ligne des équinoxes – Le point  $\gamma$
14. Actuellement le point vernal est dans la constellation des Poissons
15. Trois positions du point vernal en 30 av. J.-C., en 970 et en 1970
16. Le mouvement du pôle sur la croûte terrestre
17. Parallaxes, aberrations, réfractions, ..
18. Coordonnées moyennes, vraies et apparentes
19. Catalogues d'étoiles

# Unités et ordres de grandeurs angulaires

	tour ou jour	radians	heures	degrés
1 jour ou 1 tour	1 tr	6.28 rd	24 h	360°
	1/2 tr	3.14 rd	12 h	180°
	0.159 tr	1 rd	3 h 49 m 11 s	57°.296
1 heure	1/24 tr	0.262 rd	1 h	15°
1 degré	1/360 tr	17.45 mrd	4 mn	1°
	1/1000 tr	6.28 mrd	1 m 26.4 s	21'36"
1 minute d'heure	1/1440 tr	4.36 mrd	1 mn	15'
	0.159 mtr	1 mrd	13.75 s	3'26"
Pouvoir séparateur œil nu	1/21600 tr	0.291 mrd	4s	1'
1 seconde d'heure	1/86400 tr	72.7 μrd	1s	15"
Pouvoir séparateur 150 mm	1/1296000 tr	4.85 μrd	1/15 s	1"

Remarque : **m** ou **mn** pour minute d'heure, **s** pour seconde d'heure, **'** pour minute d'arc, et **"** pour seconde d'arc.

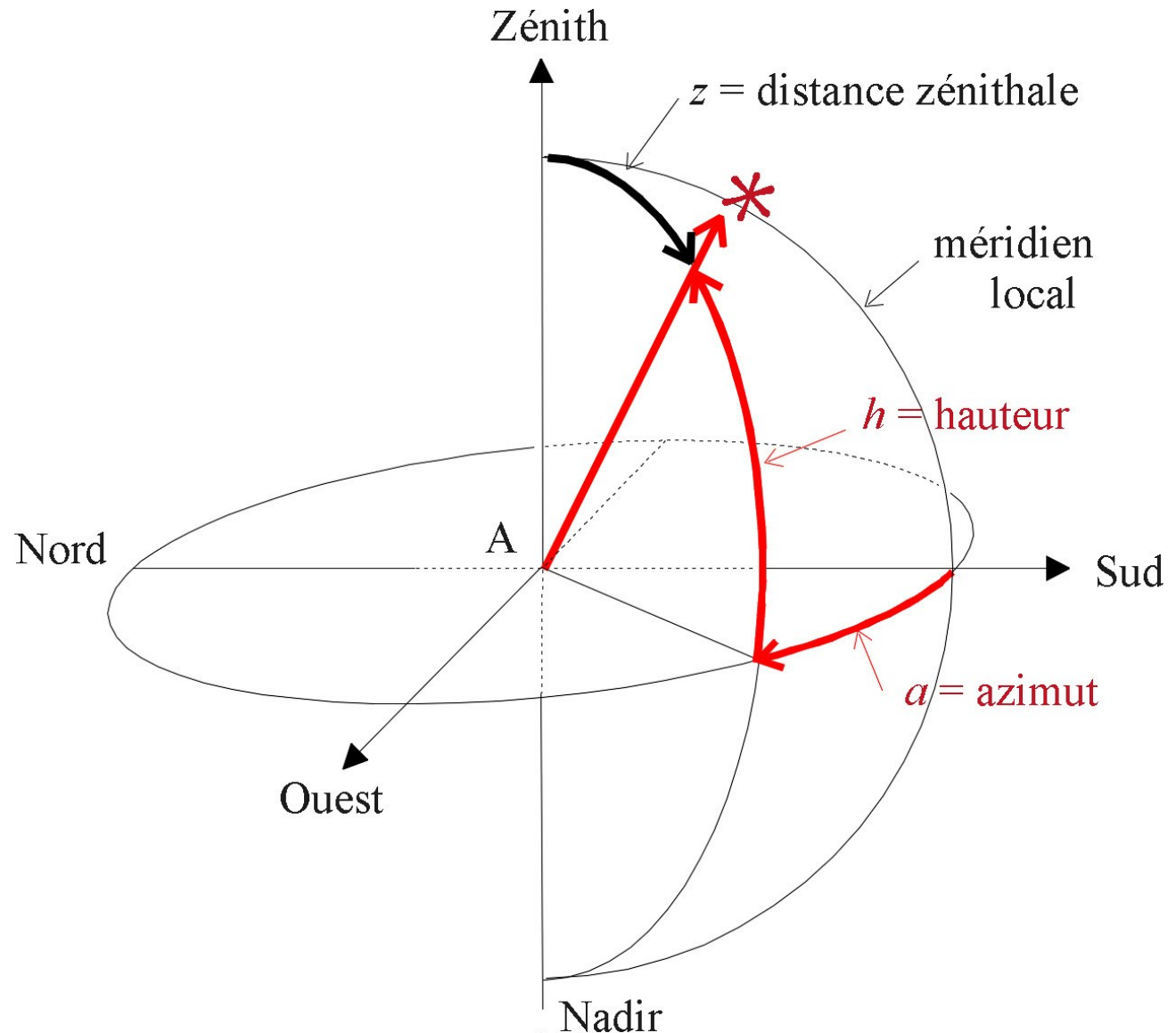
# Coordonnées horizontales

Base : plan horizontal et direction du sud

**Azimut  $a$**  : angle compté autour de l'axe vertical, à partir du méridien Sud, de  $0^\circ$  à  $360^\circ$  dans le sens rétrograde (*azimuth* en anglais). Compté à partir du Nord par les marins et certains astronomes.

**Hauteur  $h$**  : angle compté dans le plan vertical passant par l'astre, à partir du plan horizontal, positif vers le haut, de  $-90^\circ$  pour le Nadir à  $+90^\circ$  pour le zénith (*altitude* en anglais !!!)

Ces deux coordonnées sont simples mais *extrêmement variables* avec une périodicité d'environ 24h.



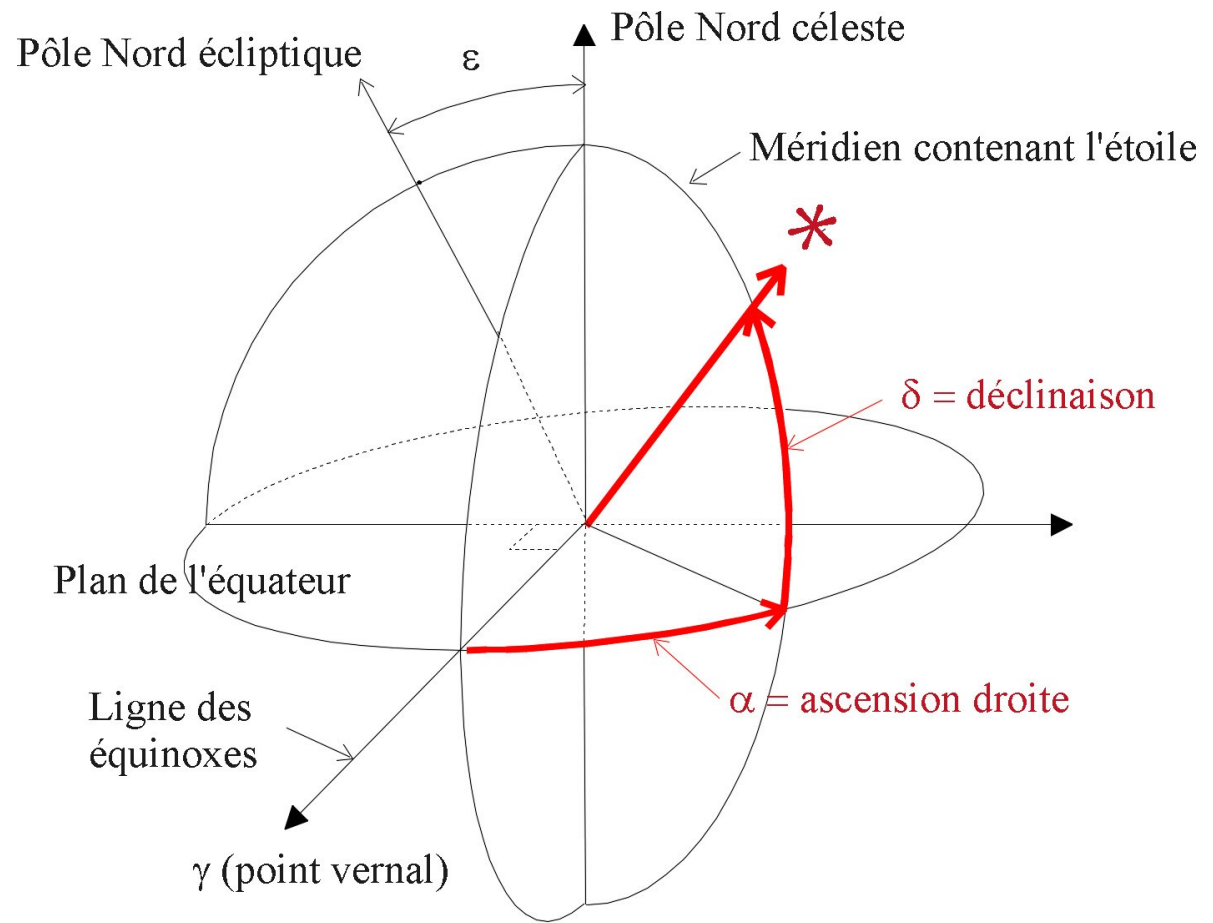
# Coordonnées équatoriales

Base : plan équatorial et point vernal

**Ascension droite  $\alpha$**  : angle compté autour de l'axe des pôles célestes, de 0h à 24h dans le sens positif à partir de la direction du point vernal (*right ascension* en anglais).

**Déclinaison  $\delta$**  : angle compté dans le plan méridien contenant l'étoile, à partir du plan équatorial, positif vers le pôle Nord, de  $-90^\circ$  pour le pôle Sud à  $+90^\circ$  pour le pôle Nord (*declination* en anglais).

Ces deux coordonnées sont complexes mais varient extrêmement peu au cours du temps et peuvent être considérées comme des constantes sur un horizon de plusieurs jours à plusieurs mois.



# Coordonnées horaires

Base : plan équatorial et direction sud

**Déclinaison**  $\delta$  : idem coordonnées équatoriales.

**Angle horaire**  $H$  : compté autour de l'axe des pôles célestes, à partir du méridien local de 0h à 24h dans le sens *rétrograde*.

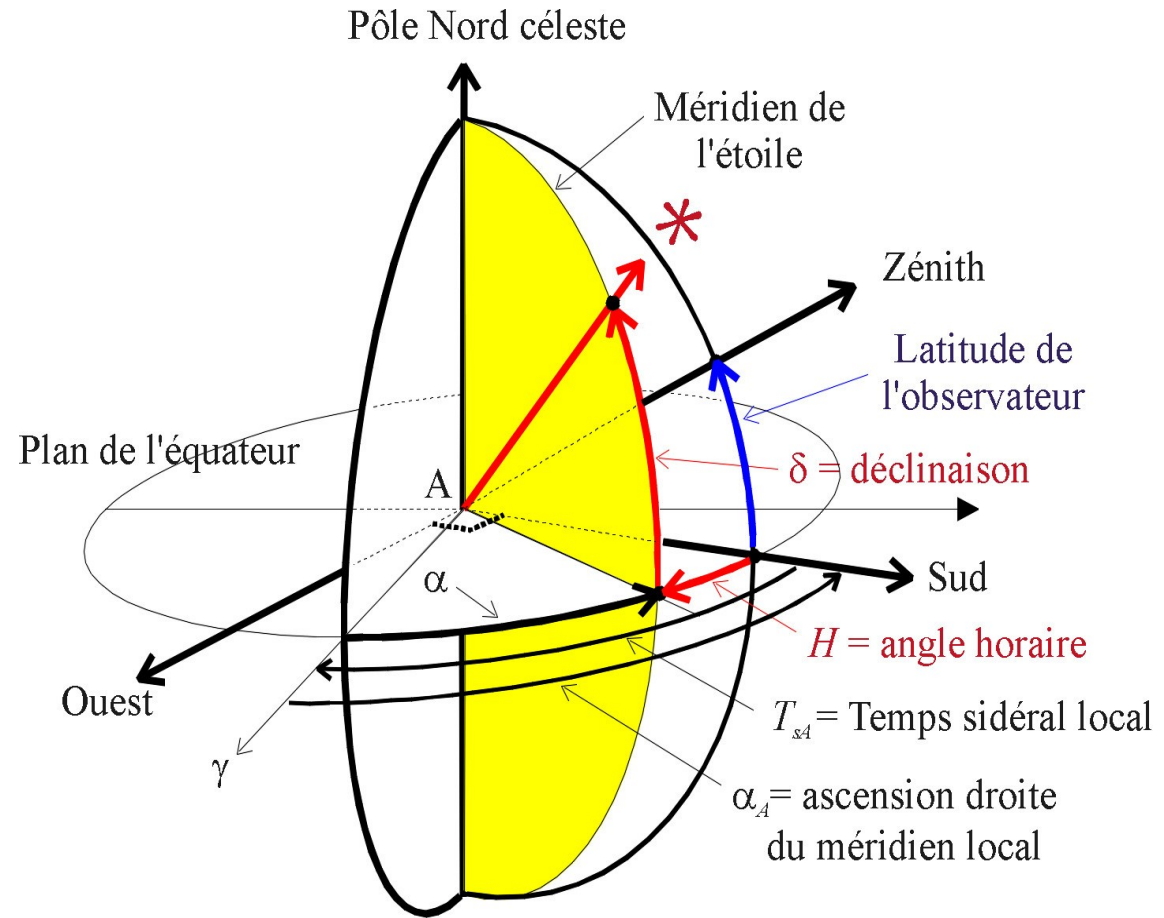
$$H = T_{SA} - \alpha = \alpha_A - \alpha$$

$T_{SA}$  : Temps sidéral local au lieu A, angle horaire du point  $\gamma$  compté dans le sens *rétrograde*.  $T_{SA} \equiv \alpha_A$  ascension droite du méridien local (comptée dans le sens *direct*).

$$T_{SA} = T_{SG} + \lambda_A$$

- $T_{SG}$  temps sidéral à Greenwich  $\equiv \alpha_G$  ascension droite de Greenwich
  - $\lambda_A$  longitude de A (positive sens direct)
- plus évident sous la forme :

$$\alpha_A = \alpha_G + \lambda_A$$



# Coordonnées horaires (suite)

Ces coordonnées sont très utilisées car la déclinaison est quasiment constante et l'angle horaire varie linéairement en fonction du temps.

Ce sont ces coordonnées qui servent à pointer les télescopes portés par une monture équatoriale

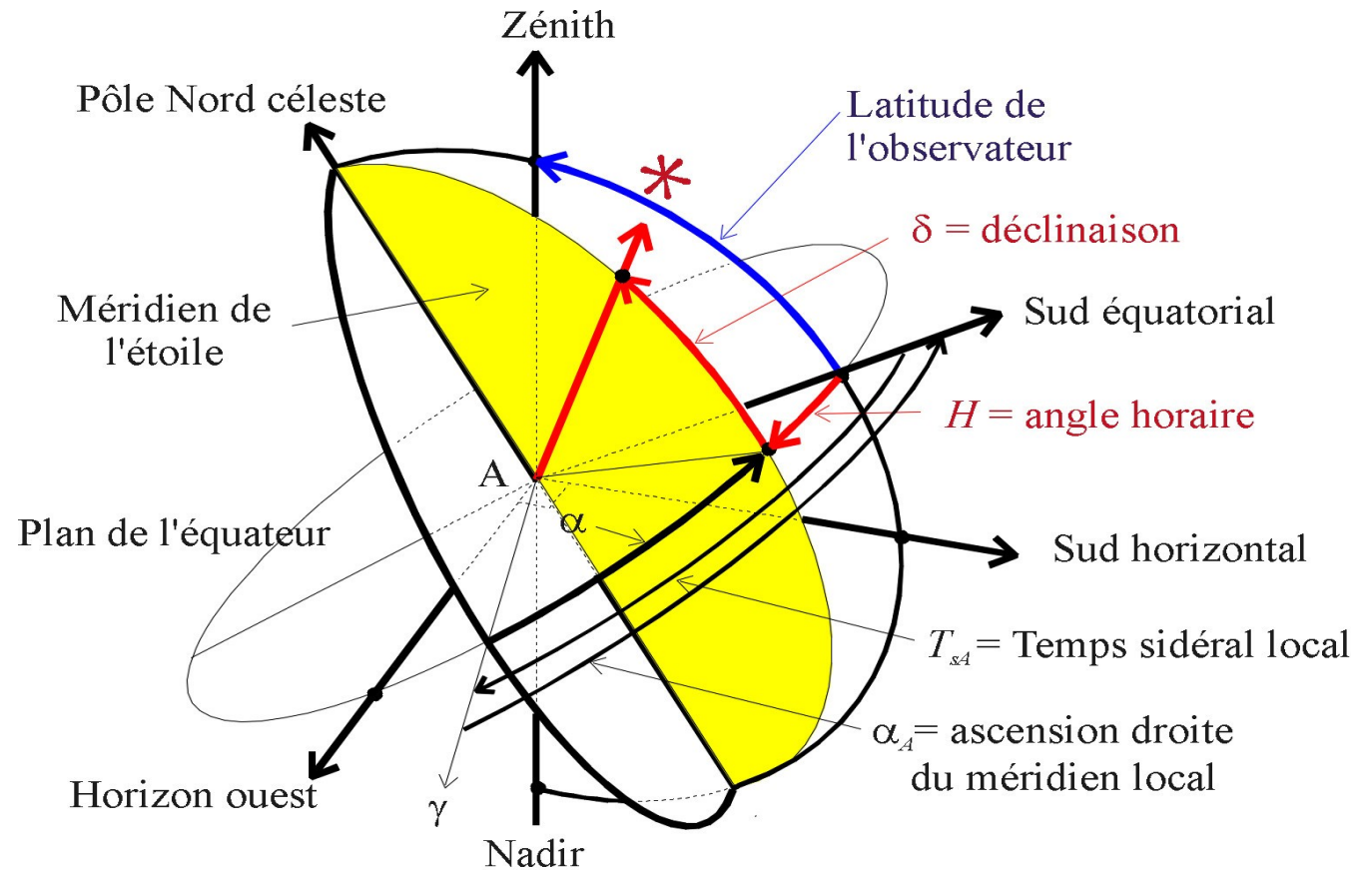


Figure redressée selon verticale de l'observateur

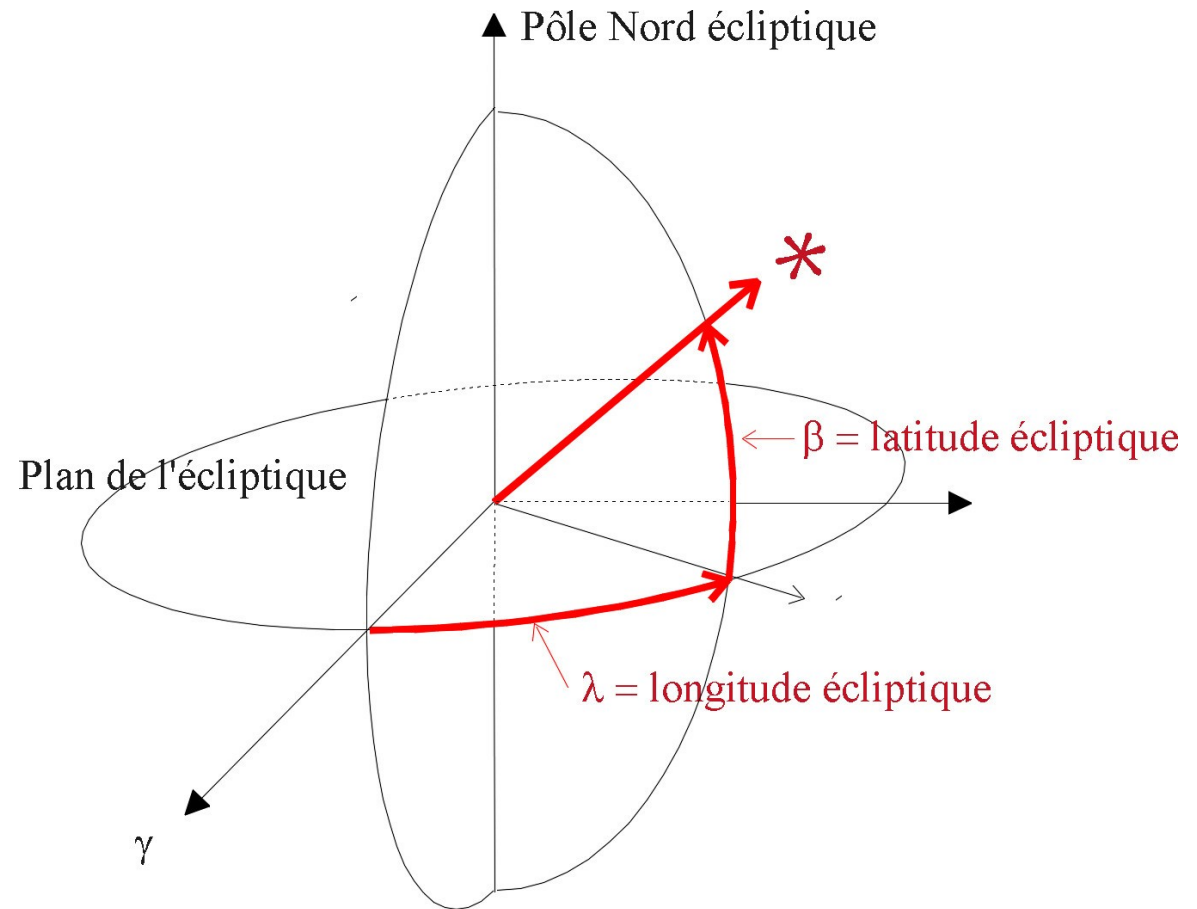
# Coordonnées écliptiques

Base : plan écliptique et point vernal

**Longitude écliptique**  $\lambda$  : angle autour de l'axe des pôles écliptiques compté de  $0^\circ$  à  $360^\circ$  dans le sens positif (*ecliptical longitude* en anglais).

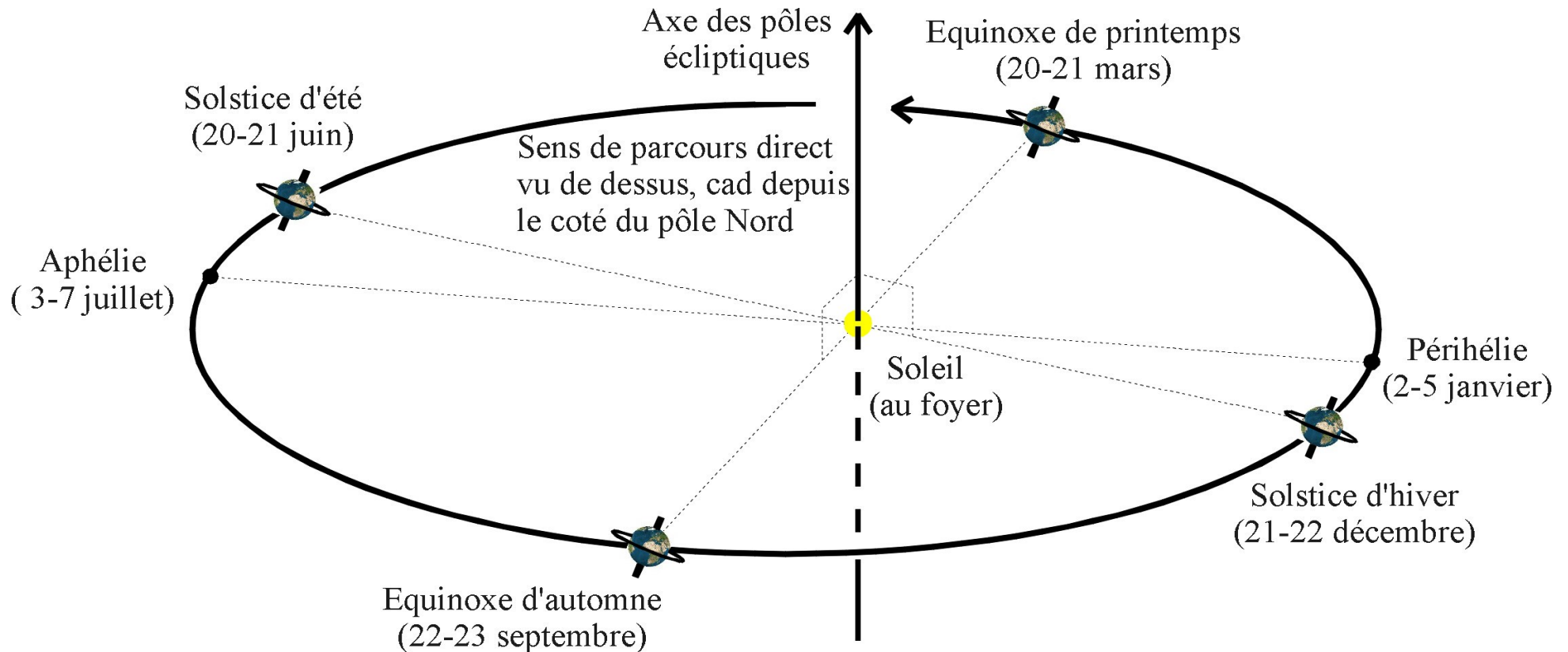
**Latitude écliptique**  $\beta$  : angle dans le plan méridien écliptique contenant l'étoile compté positif vers le pôle Nord, de  $-90^\circ$  pour le pôle Sud à  $+90^\circ$  pour le pôle Nord (*ecliptical latitude* en anglais).

Ces deux coordonnées varient extrêmement peu au cours du temps, de plus la latitude écliptique n'est perturbée ni par la précession et ni par la nutation.





# L'axe des pôles écliptiques



Le plan de l'écliptique est le plan de la trajectoire du *barycentre*<sup>1</sup> Terre-Lune autour du Soleil.

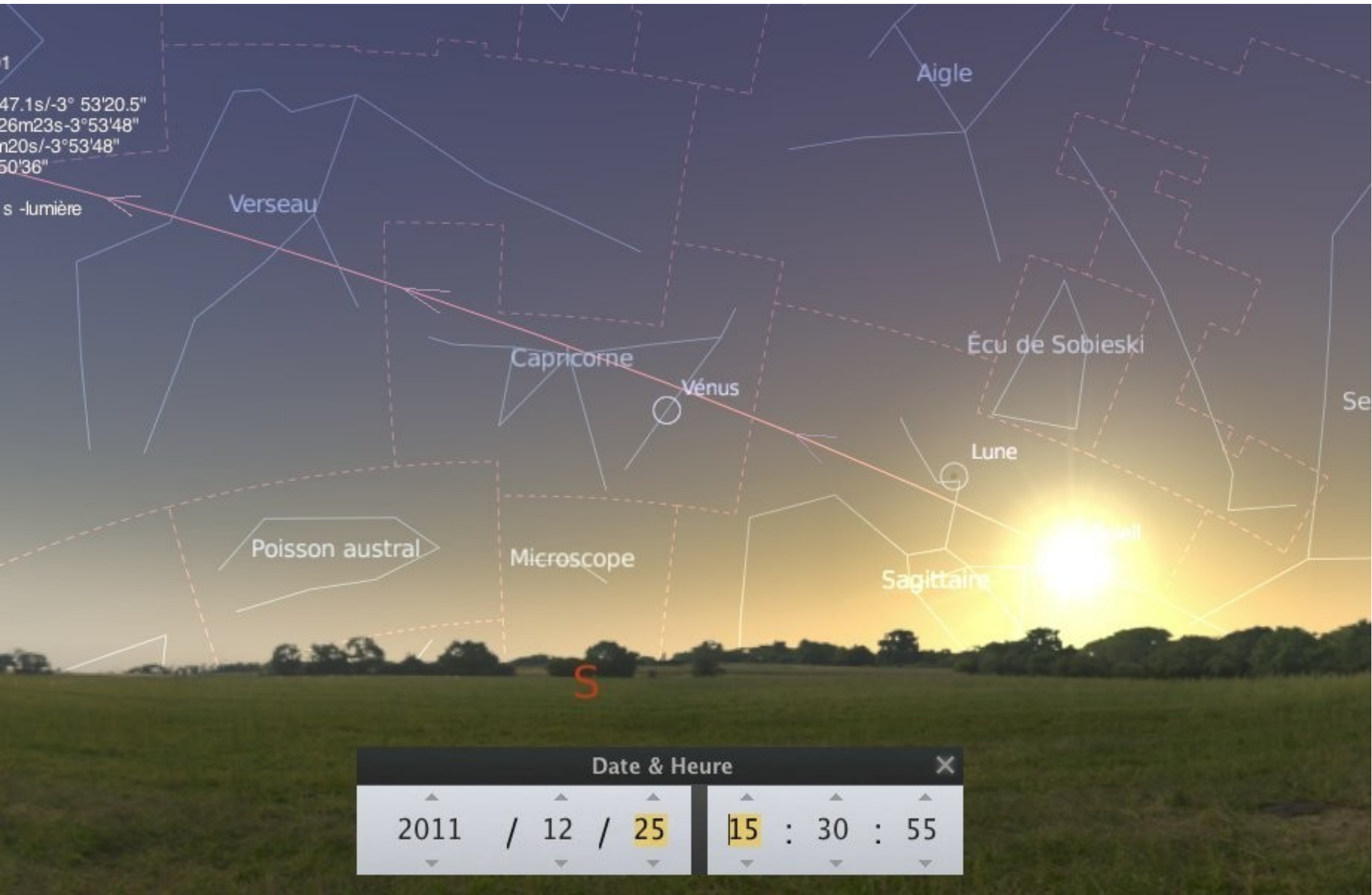
La direction orthogonale à ce plan est **l'axe des pôles écliptiques**.

Le plan de l'écliptique bascule lentement (47" par siècle) autour d'un axe proche de la ligne des équinoxes.

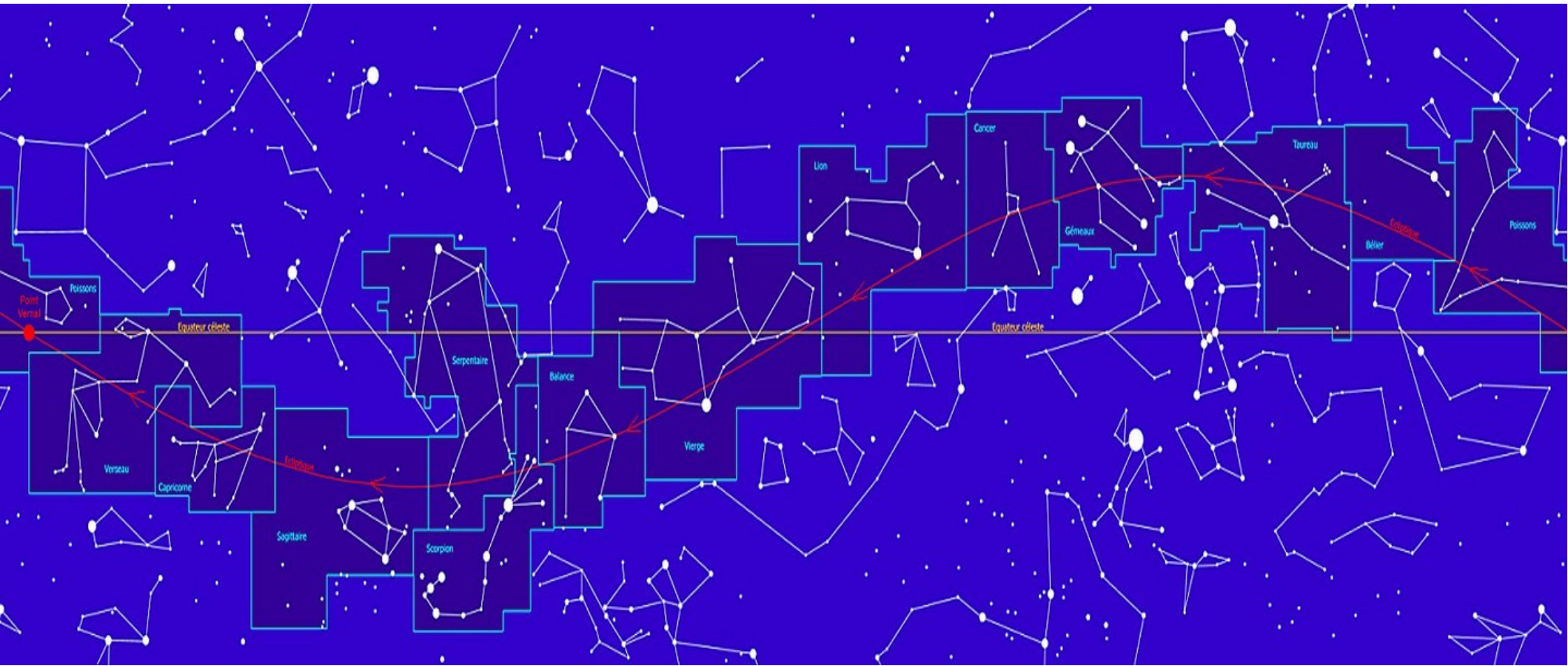
1. Ce barycentre est situé à l'intérieur de la Terre à 4660 km de son centre, ce qui représente  $\pm 6''.4$  en longitude.

# L'écliptique sur la sphère céleste, vu de la Terre

(trajectoire *annuelle* du Soleil sur la sphère des étoiles « fixes »)



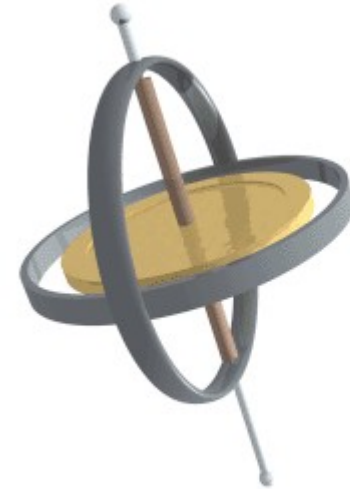
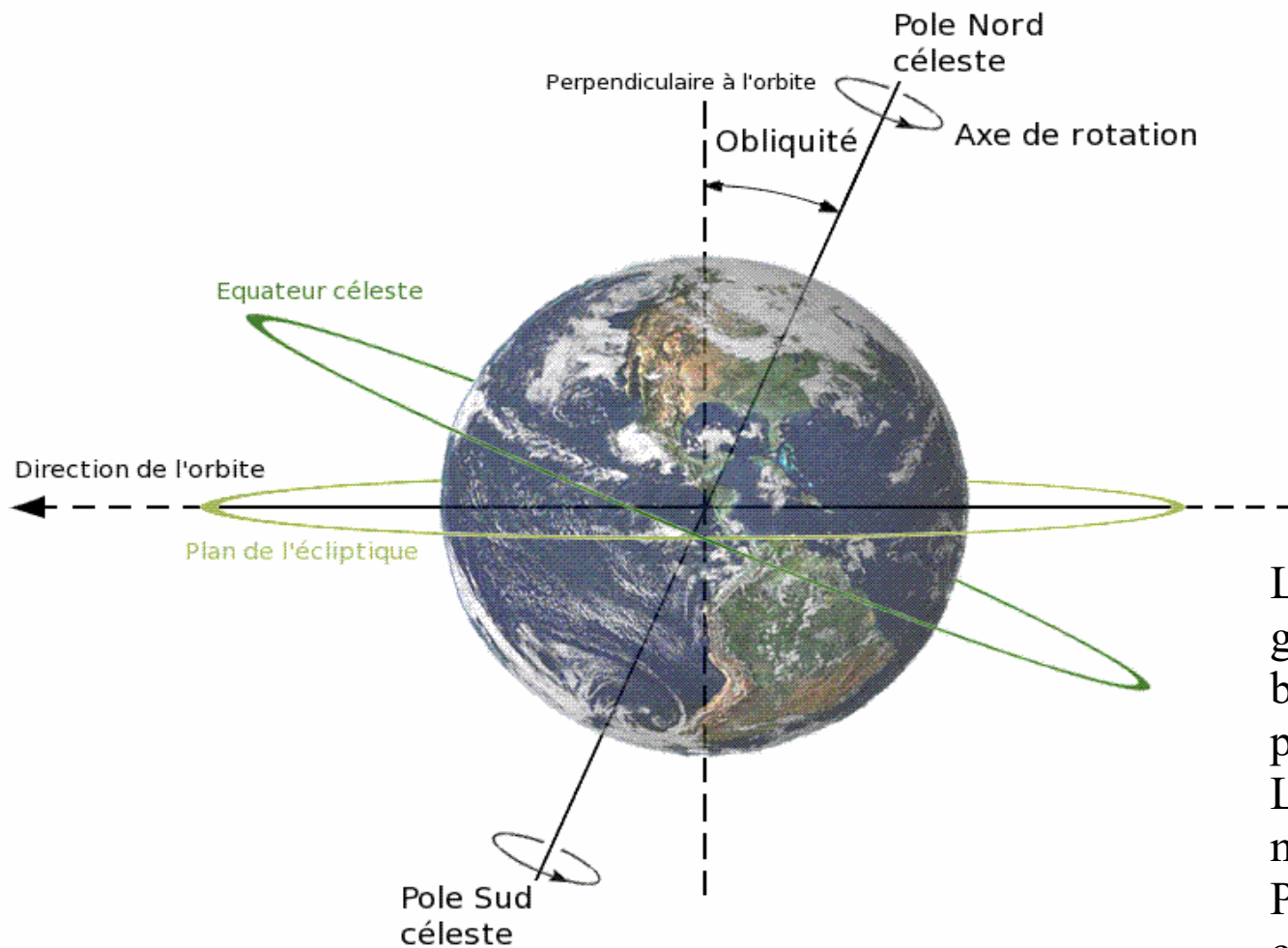
# L'écliptique tracé sur le planisphère céleste



- Le Soleil se déplace sur la sphère céleste sens inverse du déplacement apparent de la sphère céleste d'environ  $1^\circ$  par jour ( $360^\circ$  en 365.25 jours).
- Dans la zone de l'écliptique se déplacent également la Lune et les planètes.
- Les instants des solstices sont peu précis, ceux des équinoxes beaucoup plus, d'où leur importance.



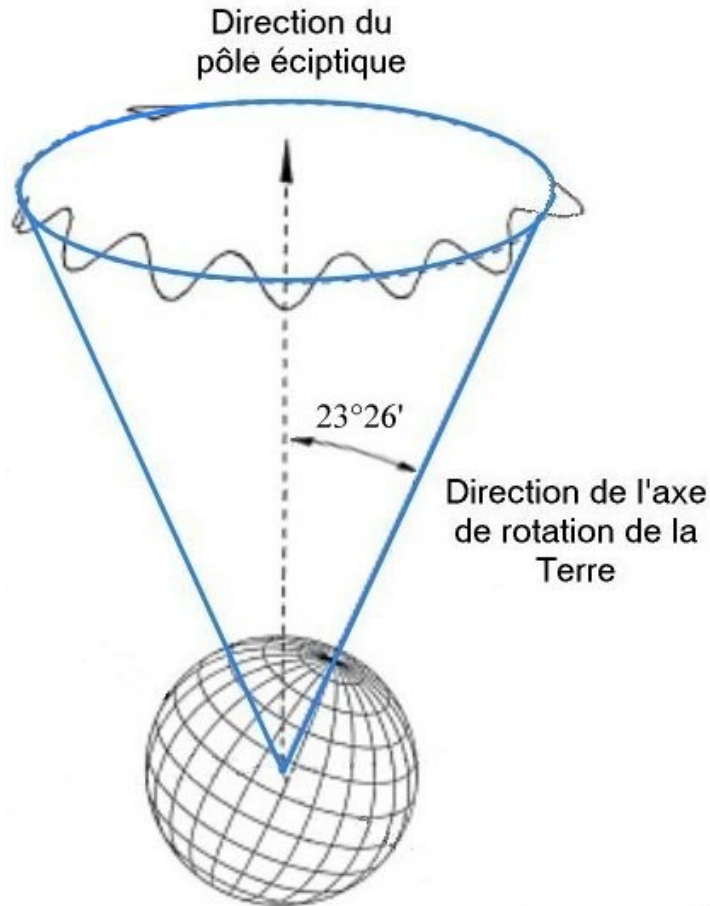
# La précession de l'axe des pôles



La toupie précessionne car la gravité exerce un couple de basculement autour d'un axe perpendiculaire à l'axe de rotation. L'axe de rotation décrit un mouvement dit de Lagrange-Poisson. Dans le cas de la Terre, le couple est exercé par l'attraction du Soleil et de la Lune sur le bourrelet équatorial de la Terre.

# Précession et nutation de l'axe des pôles

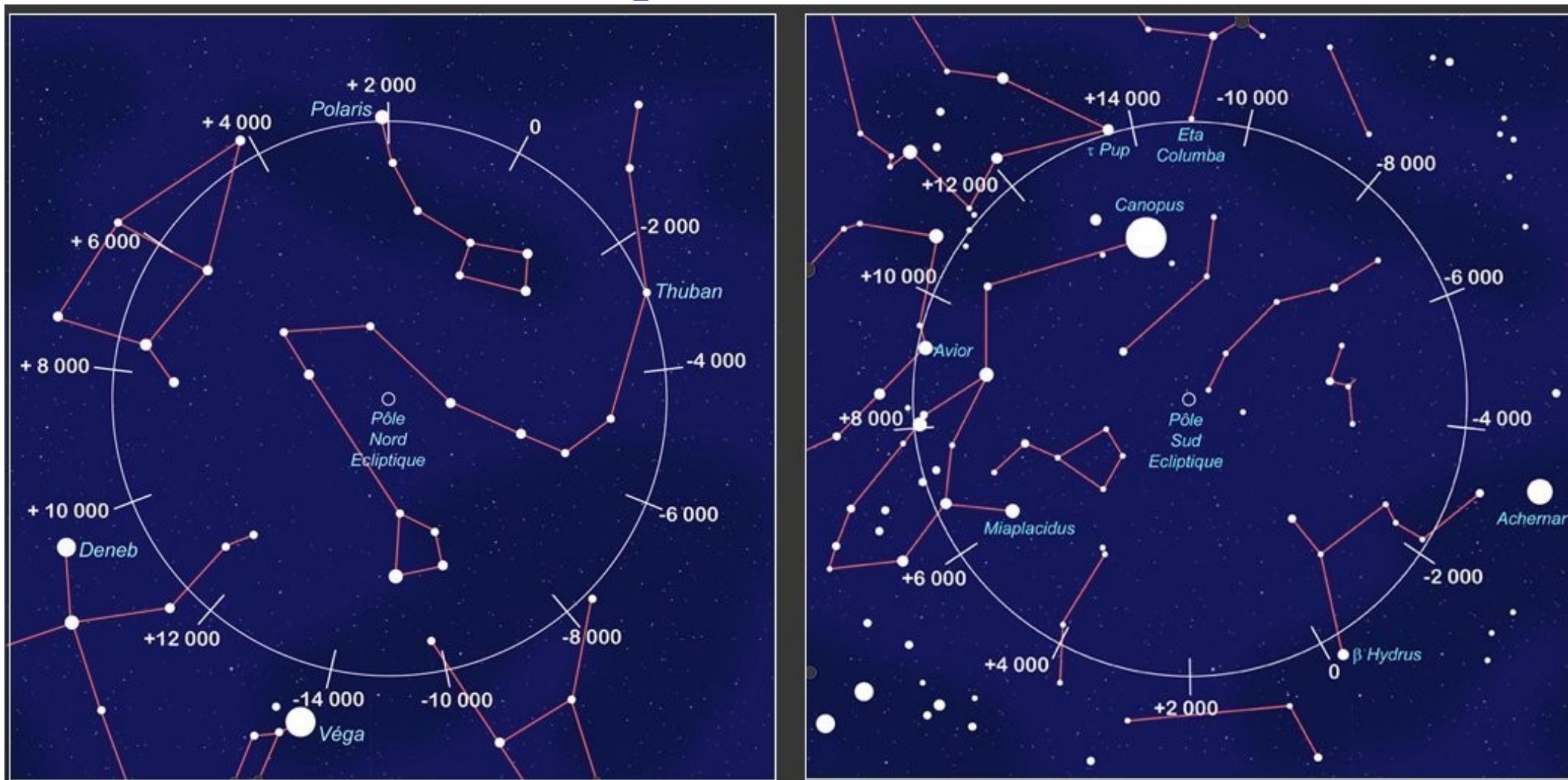
L'axe de rotation de la Terre est loin d'être fixe par rapport aux étoiles :



- Il décrit un cône de demi-angle au sommet  $23^{\circ}26'$  appelé l'*obliquité*. L'axe fait un tour en environ 26000 ans. Ce mouvement de *précession* a pour conséquence la précession des équinoxes découverte par Hipparque au II siècle av. J.-C : Le point vernal *rétrograde*<sup>1</sup> de  $50.3''$  à travers les constellations du zodiaque.
- La composante en *nutaton* de ce mouvement, découverte par Bradley en 1748, est une oscillation elliptique de 18.6 ans de période qui se superpose au mouvement de précession. Elle a pour conséquence une oscillation du point vernal en longitude de  $\pm 17''.5$  et une oscillation de l'obliquité de  $\pm 9''.5$  (période 18.6 ans)

Du fait de la rotation diurne de la Terre, le Soleil se déplace dans le sens horaire (rétrograde) sur le fond du paysage local. Du fait de la révolution de la Terre, le Soleil se déplace dans le sens anti-horaire (direct) sur le fond céleste. Du fait de la précession de l'axe de rotation, le point vernal se déplace dans le sens horaire (rétrograde) sur le fond céleste.

# Chemins parcourus par les pôles célestes sur la sphère céleste



Coté Nord l'axe des pôles passe actuellement au voisinage de l'étoile **Polaire**. Il y a **4800 ans** il passait par **Thuban** ( $\alpha$  du Dragon). C'était l'étoile qui indiquait le Nord aux Égyptiens de la 1<sup>ère</sup> dynastie. La précession de l'axe des pôles qui se fait dans le sens rétrograde (horaire) est vu sur cette figure (par dessous) dans le sens direct (anti-horaire). Troublant !! Mais, en s'imaginant sous le pôle, regardant le cercle au dessus de sa tête, on constate bien que la précession se fait dans le sens horaire



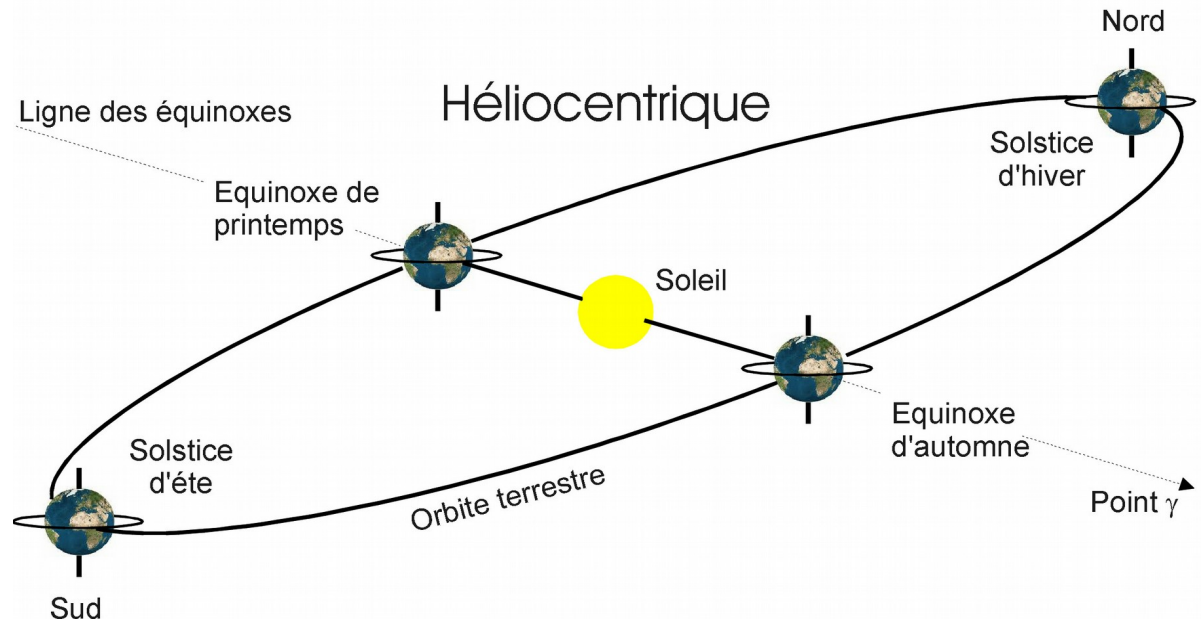
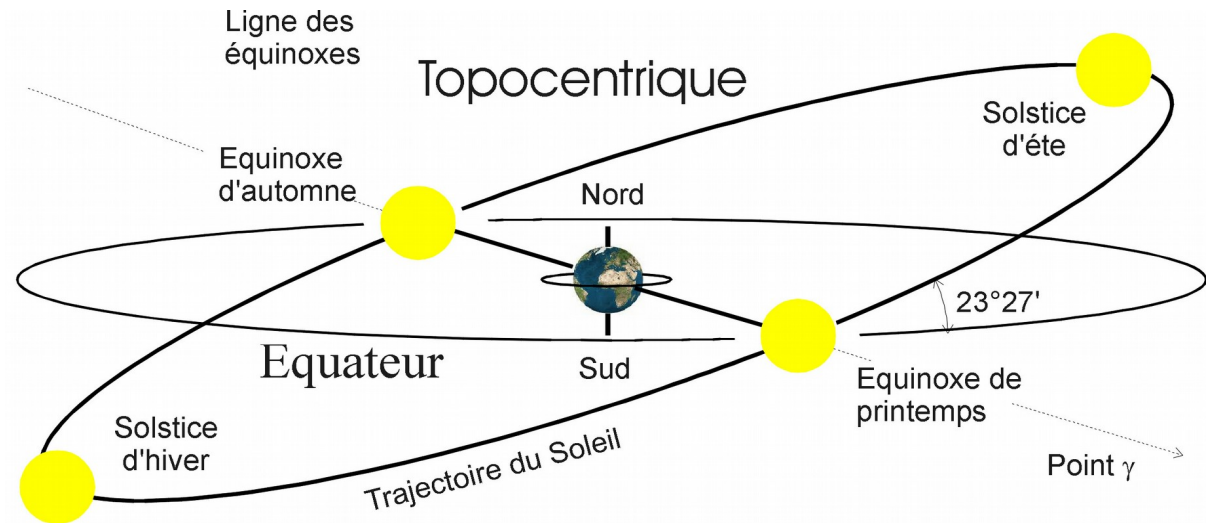
# La ligne des équinoxes – Le point $\gamma$

La ligne des équinoxes est l'intersection du plan de l'équateur et du plan de l'écliptique.

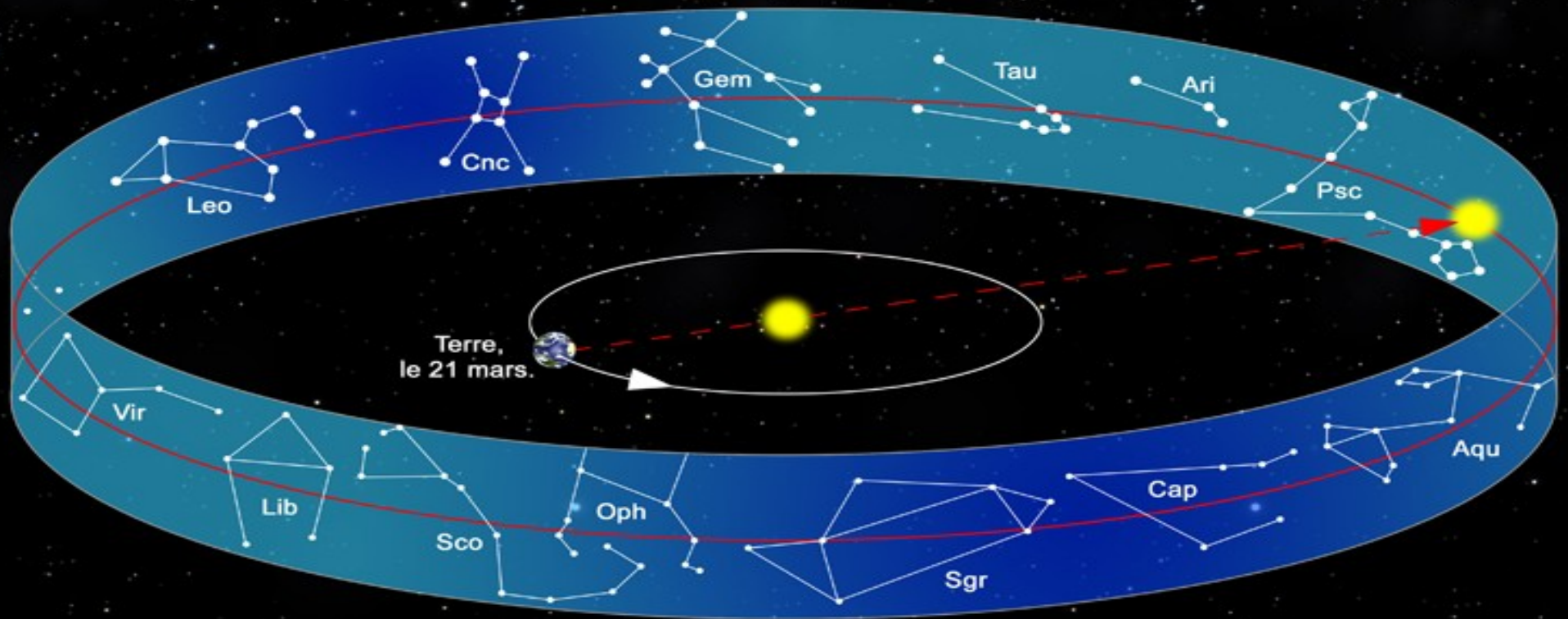
C'est la perpendiculaire commune aux axes des pôles céleste et écliptique.

Le point vernal dit point  $\gamma$  est, du point de vue Topocentrique dans la direction du Soleil quand il passe de l'hémisphère Sud à l'hémisphère Nord (équinoxe de printemps).

D'un point de vue héliocentrique, le point  $\gamma$  est à l'opposé de la direction de la Terre lors de l'équinoxe de printemps.

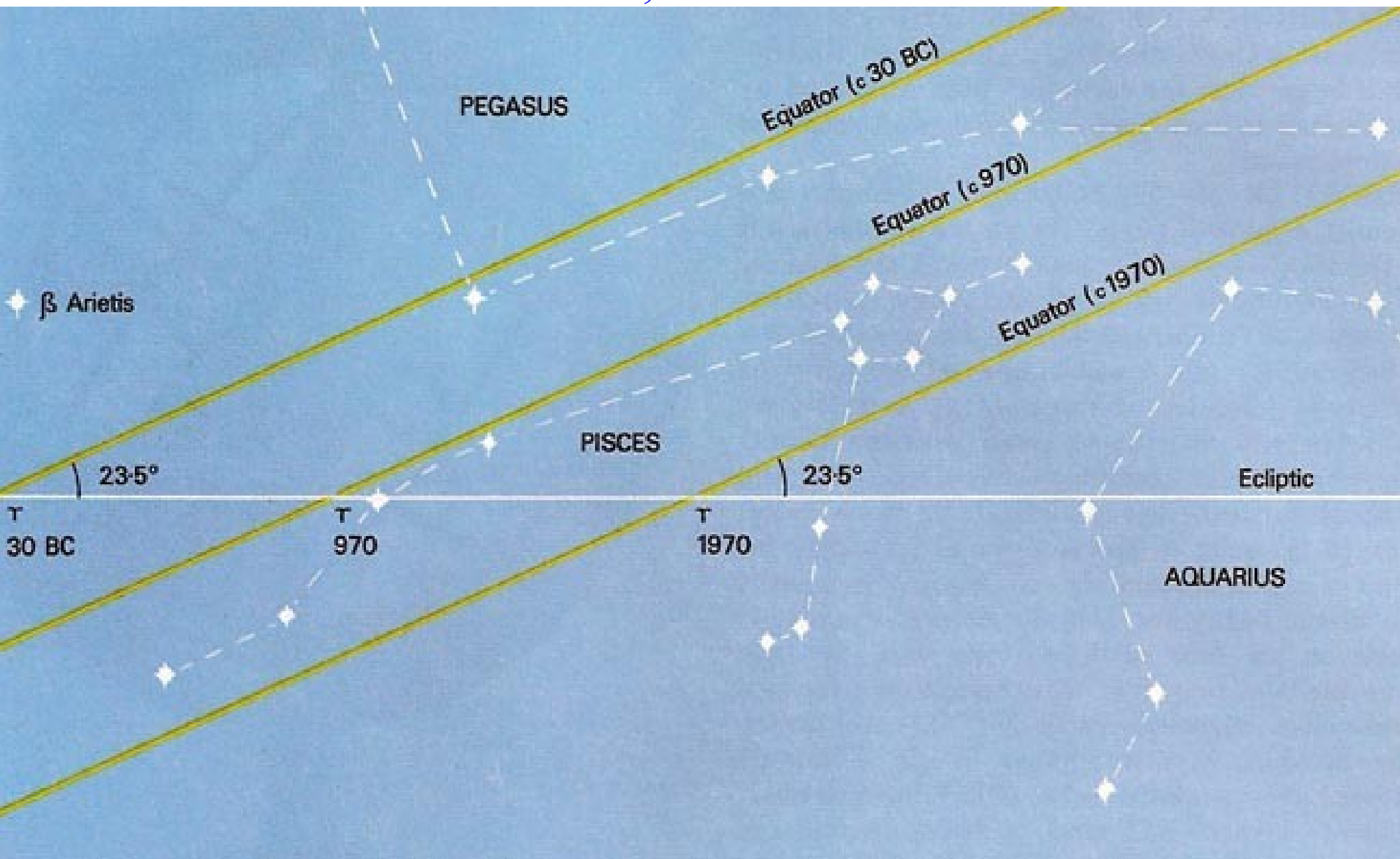


# Actuellement le point vernal est dans la constellation des Poissons



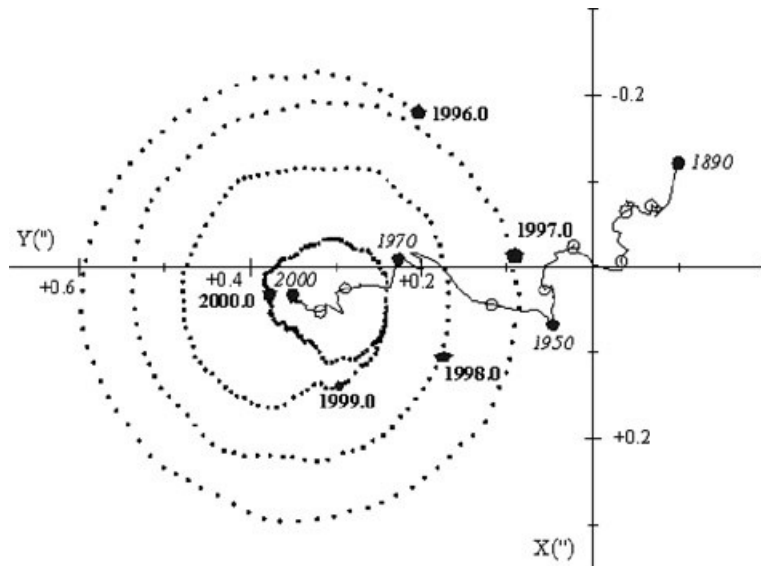


# Trois positions du point vernal en 30 av. J-C., en 970 et en 1970



Le point vernal se déplace dans le sens horaire : il rétrograde d'environ  $50''.3$  par an.

# Le mouvement du pôle sur la croûte terrestre



Le point où l'axe de rotation de la Terre perce la croûte terrestre se déplace dans un carré d'environ 20 m de côté (0.6" – le pouvoir de résolution d'un télescope de 200mm est de 0.7").

La composante oscillatoire de ce mouvement correspond approximativement à un mouvement d'Euler-Poinsot<sup>1</sup> de 435 jours de période (période de Chandler) combiné à un mouvement annuel dû aux saisons. A cette composante oscillatoire s'ajoute un mouvement plus lent de dérive irrégulière dans la direction 80° ouest.

- En pointillés la trace du mouvement du pôle de 1996 à 2000, où on constate la période de Chandler d'environ 435 jours. Cette trace est appelée polhodie.
- En trait continu, le mouvement du centre de l'oscillation de 1890 à 2000.

1) Mouvement libre d'un solide de révolution, à point fixe, en rotation *sans couples perturbateurs*, dû au défaut de sphéricité.

# Parallaxes, aberrations, réfractions, ..

- La distance Terre-Soleil introduit une *parallaxe annuelle* entre les directions des étoiles vues de la Terre et du Soleil qui est au plus égale à  $0",8$  (pour  $\alpha$  du Centaure).
- La distance centre Terre – surface Terre introduit une *parallaxe diurne* qui n'est sensible que pour les planètes proches et la Lune.
- Le retard dû à la propagation de la lumière en provenance des planètes introduit un décalage de position de ces planètes appelé effet *temps-lumière*.
- La vitesse de la Terre sur son orbite, par rapport au Soleil, introduit une déviation des rayons lumineux vus de la Terre par rapport à ceux vus du Soleil appelée *aberration annuelle*. Découverte par Bradley en 1729, elle est au maximum égale à  $20",5$ .
- La vitesse de déplacement produite par la vitesse de rotation de la Terre (nulle au pôle) produit à l'équateur une *aberration diurne* au maximum égale à  $0",3$ .
- La *réfraction atmosphérique*, indépendante de l'azimut, est nulle au zénith et augmente avec la diminution de la hauteur de l'astre pour atteindre  $3'30"$  vers  $15^\circ$  de hauteur.
- La *déviaton gravitationnelle* des rayons lumineux par le Soleil est négligeable en astronomie populaire (inférieure à  $0",03$  dès que l'*élongation*<sup>1</sup> dépasse  $15^\circ$ ).

1. Angle entre la direction du Soleil et la direction de l'astre

# Coordonnées moyennes, vraies et apparentes

- **Coordonnées moyennes** : Elles prennent en compte la **précession** (50.3"/an) mais pas l'oscillation en nutation. *L'observateur est placé au centre du Soleil.* Elles figurent dans les catalogues d'étoiles pour un repère et une date de référence donnés. Il faut les corriger du mouvement propre de l'étoile, puis du mouvement moyen du repère pour les obtenir dans *le repère moyen de la date considérée.*
- **Coordonnées vraies** : *L'observateur est toujours placé au centre du Soleil,* on les obtient en corrigeant les coordonnées moyennes du mouvement de nutation du repère. La correction de nutation est inférieure à 17",5 en longitude et 9",5 en latitude.
- **Coordonnées apparentes géocentriques** : Coordonnées vraies vues par un *observateur placé au centre de la Terre.* Les *coordonnées vraies* sont corrigées de ***l'aberration annuelle*** ( $\leq 20",5$ ) et de l'effet temps-lumière pour les planètes.
- **Coordonnées apparentes topocentriques** : Coordonnées vraies vues réellement par un observateur. Les *coordonnées apparentes géocentriques* sont corrigées de ***la parallaxe diurne*** (pour les planètes) ***et de la réfraction atmosphérique.***

Avec des instruments d'amateur l'aberration diurne n'est pas détectable.

# Catalogues d'étoiles

Les premiers catalogues remontent à l'antiquité : Au II<sup>e</sup> av. J.-C. Hipparque étend le catalogue établi 150 ans plus tôt par Timocharis d'Alexandrie. Il trouve pour  $\alpha$  de la Vierge (Spica) 2° d'écart en longitude. Il en déduit la première valeur de la précession des équinoxes. Au II<sup>e</sup> siècle ap. J.-C. Ptolémée publie l'Almageste qui liste les coordonnées de 1022 étoiles.

Les Fundamental Katalog (FK1 en 1879, ..., FK6 en 2000). Les 2 derniers donnent les coordonnées équatoriales d'environ 6000 étoiles dans les repères B1950.0<sup>1</sup> et J2000.0<sup>1</sup>

Le catalogue Hipparcos (1997) renseigne sur 118218 étoiles.

Le catalogue Gaia prévu pour 2022 portera sur plus d'un milliard d'étoiles.

Fichier pratique : Le Bright Star Catalog (Yale) qui liste les données des 9110 étoiles de magnitude inférieure ou égale à 6.5 est disponible sous forme ASCII compressé (561Kb) ici <ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/cats/V/50/>

1) Dates de référence les plus utilisées pour les données astronomiques :

- B1900.0 : 31/12/1899 à 19h31m26s
- B1950.0 : 31/12/1949 à 22h09m50s
- J2000.0 : 01/01/2000 à 12h00m00s