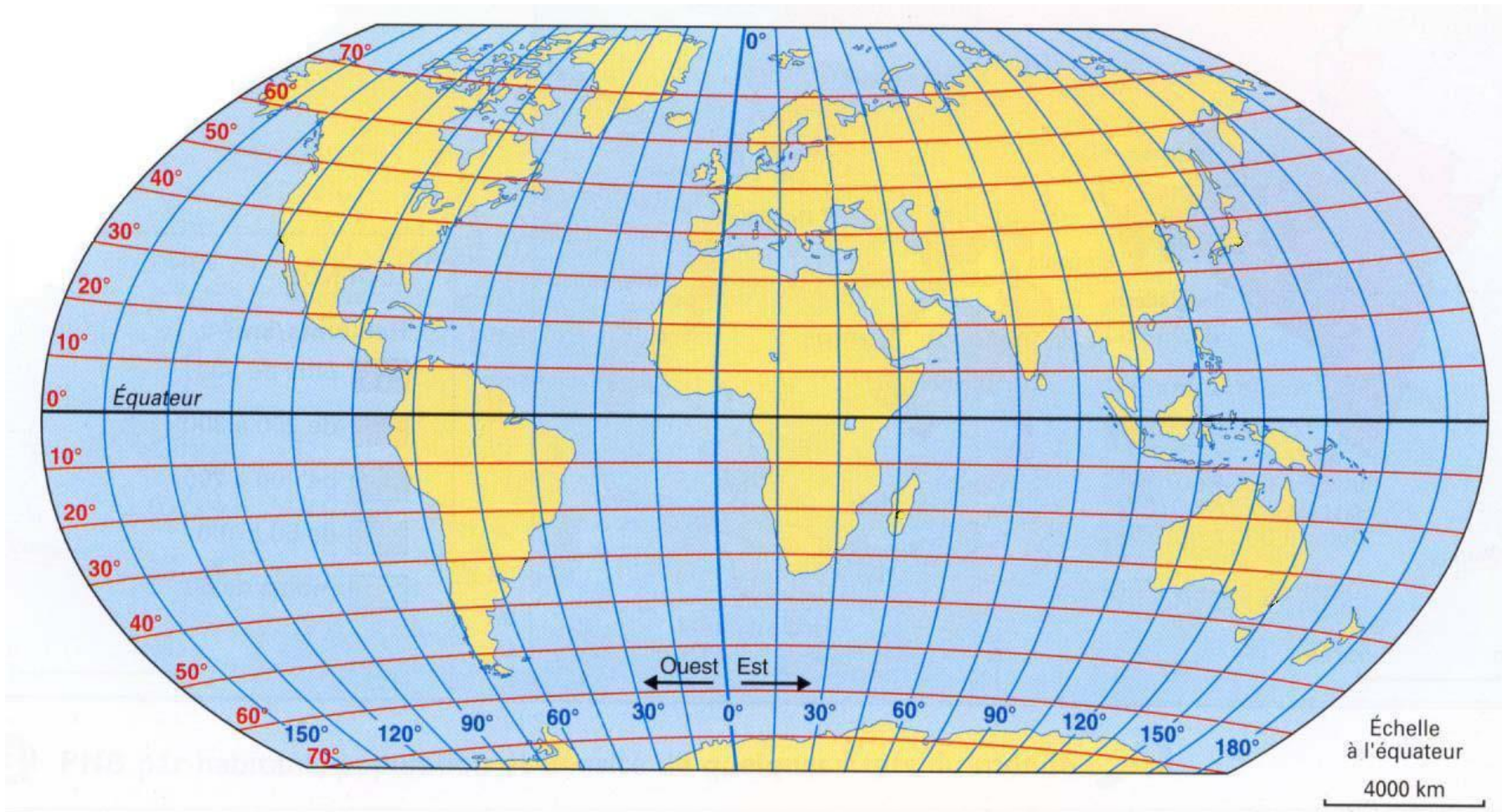


A large, white, vintage meridian telescope is the central focus, mounted on a red wooden base. The telescope has a long, cylindrical barrel and a large, spoked wheel mechanism behind it. The background shows a museum setting with stone walls and other exhibits.

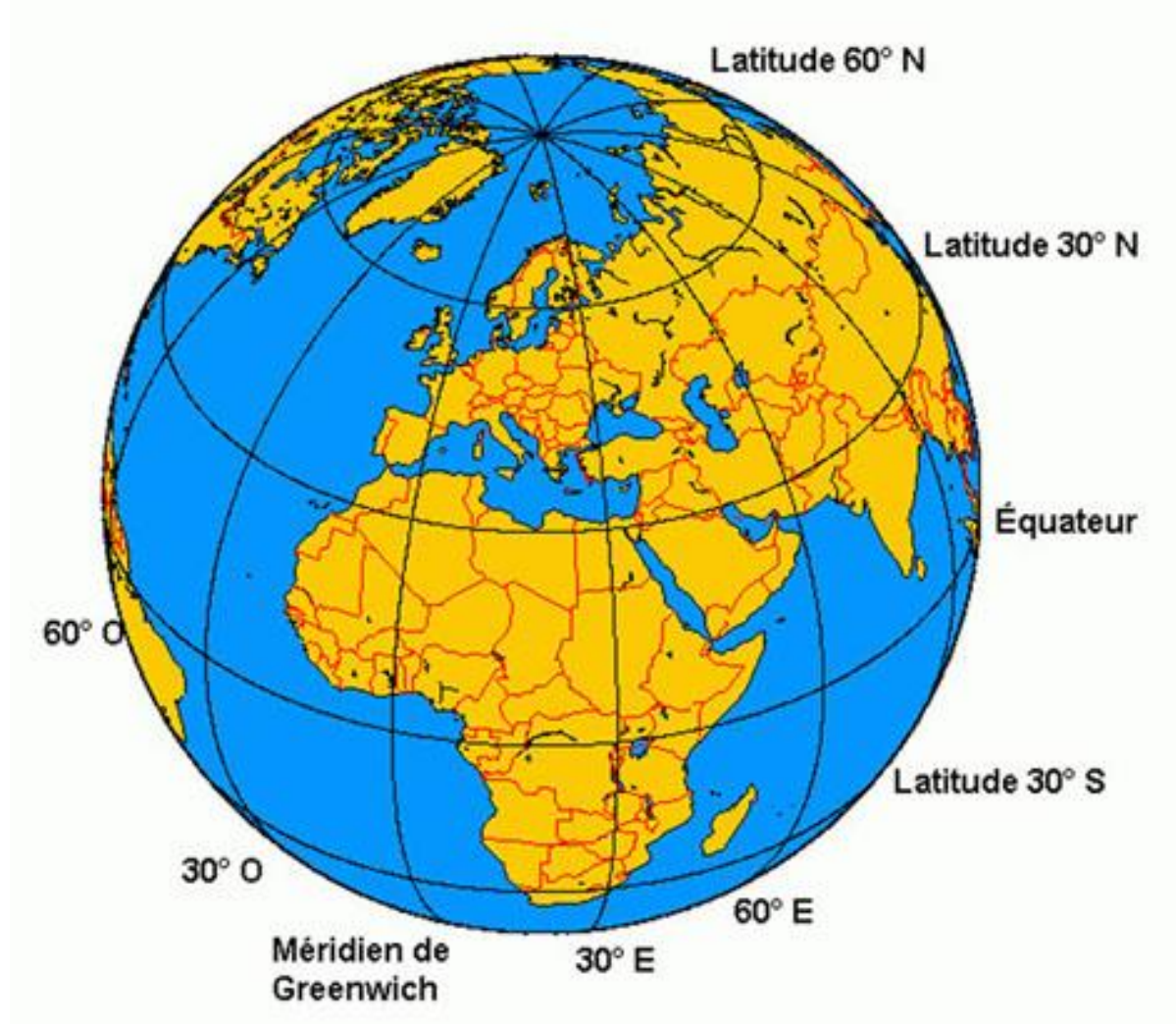
L'observation méridienne d'Abbadia à Gaia

Comment mesurer des positions: rappel: les coordonnées géographiques



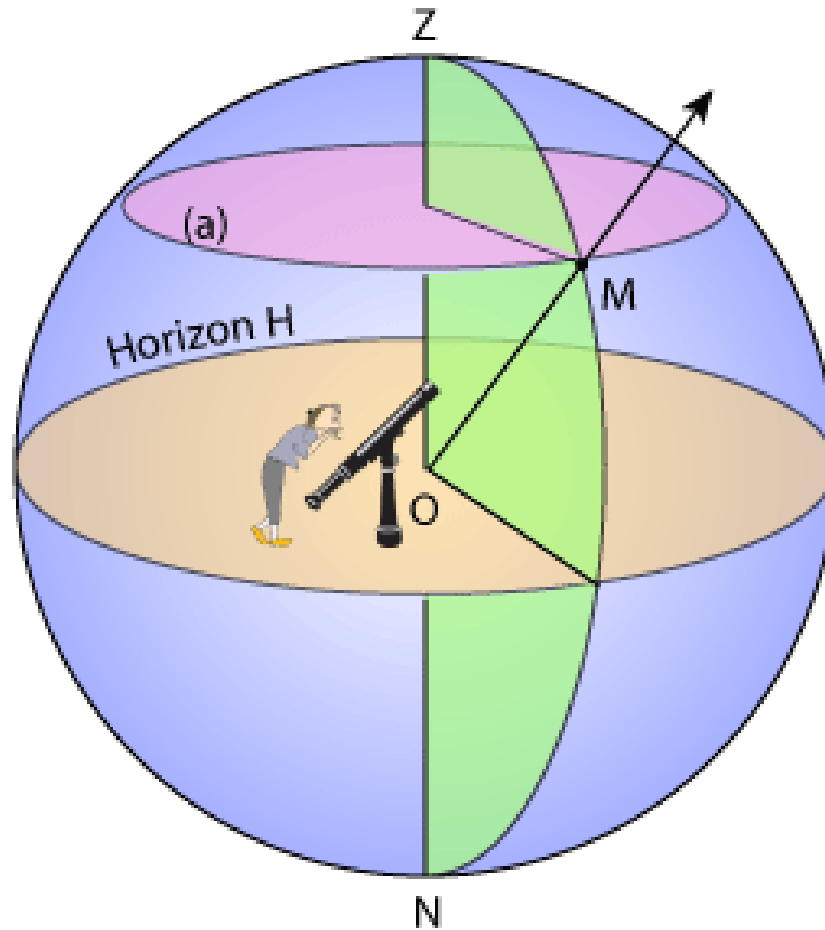
un système permettant de se localiser sur Terre

Comment mesurer des positions: rappel: les coordonnées géographiques

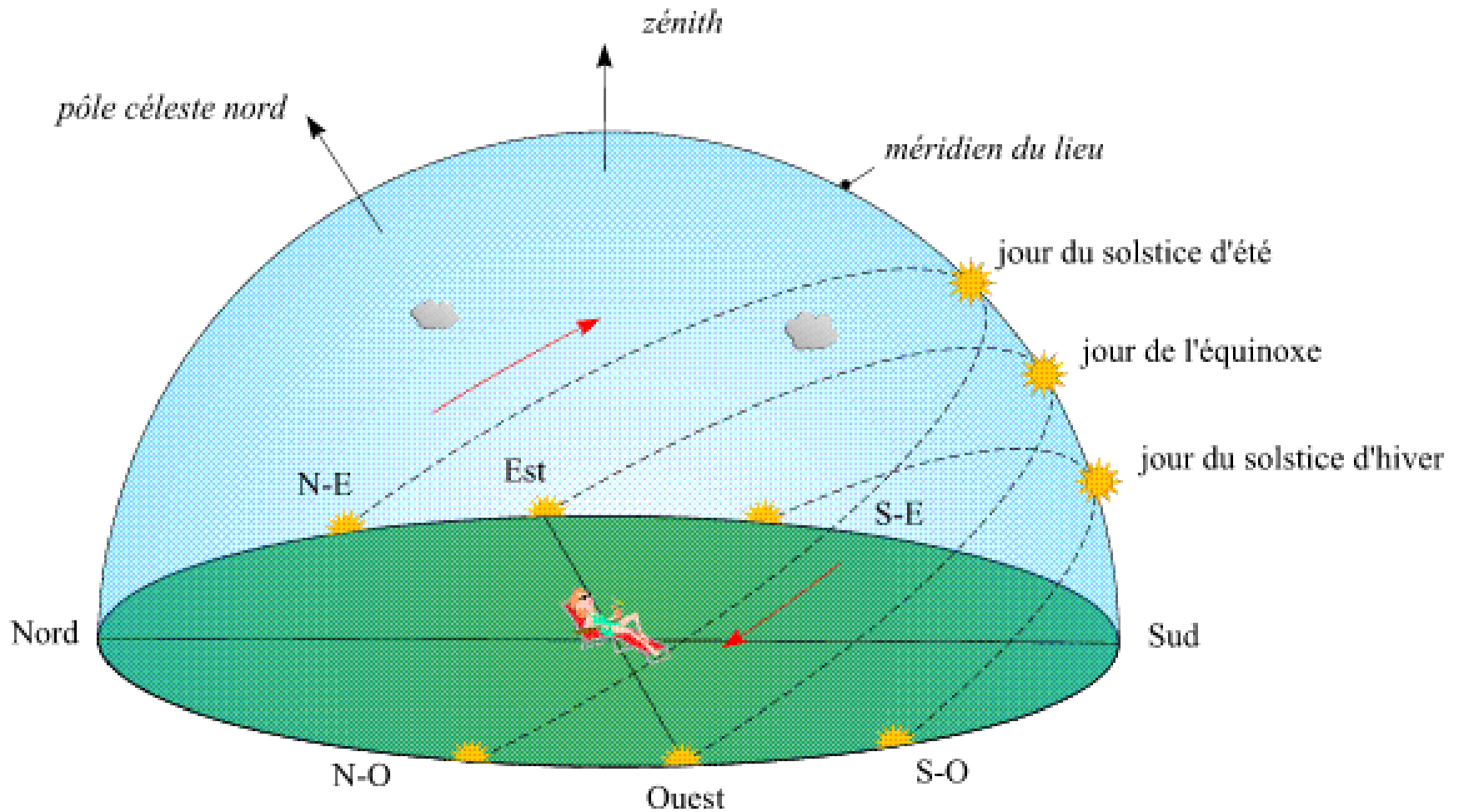


un système permettant de se localiser sur Terre

Un système pour se repérer

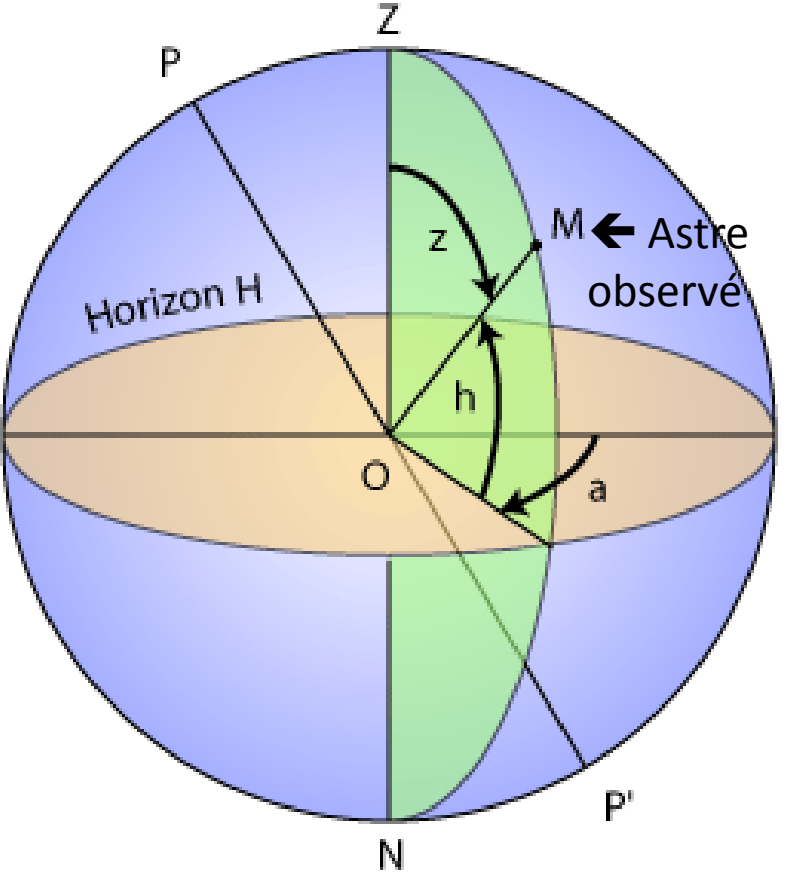
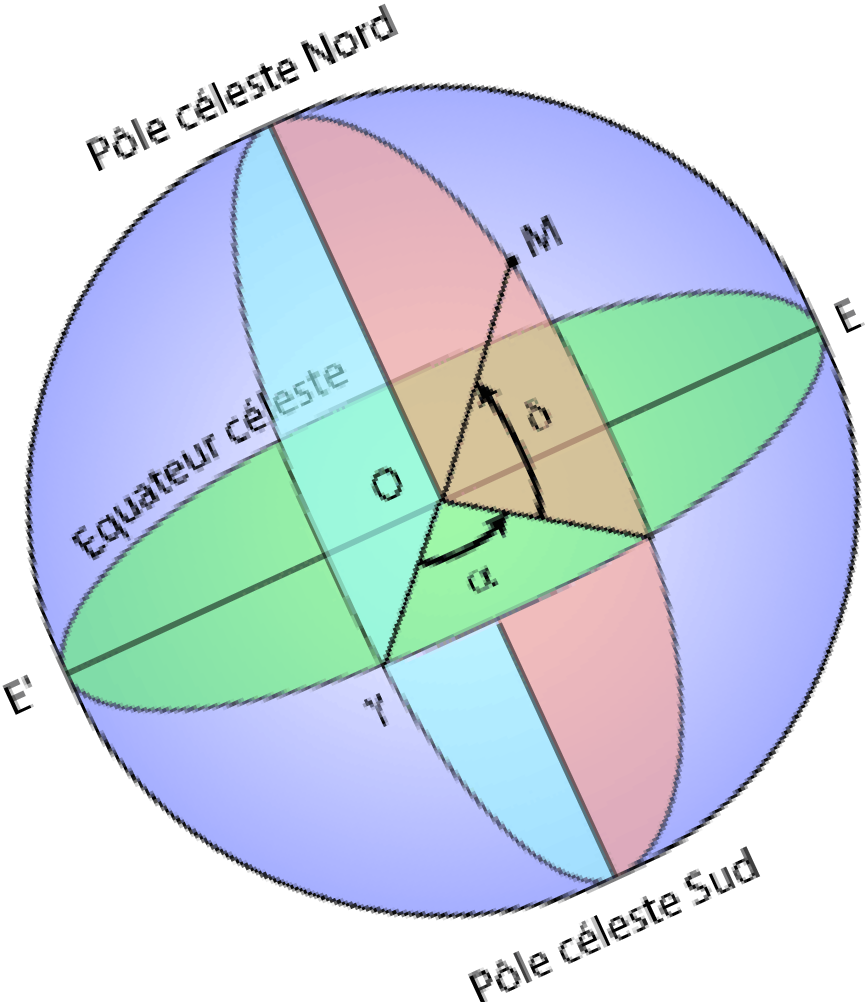


Le mouvement apparent du Soleil et des étoiles

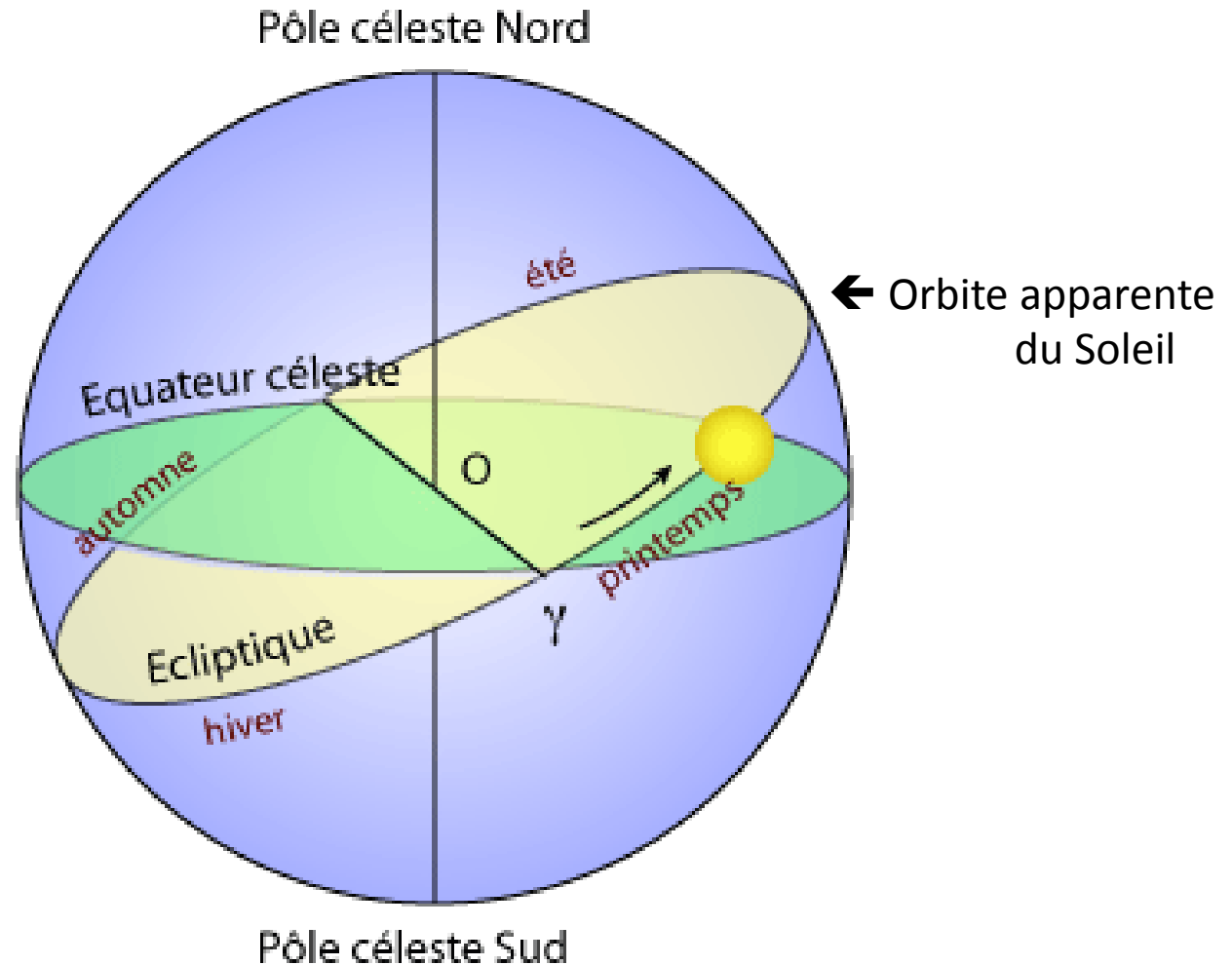


Il définit un pôle (nord) et un équateur (céleste).

Un système commun pour tous

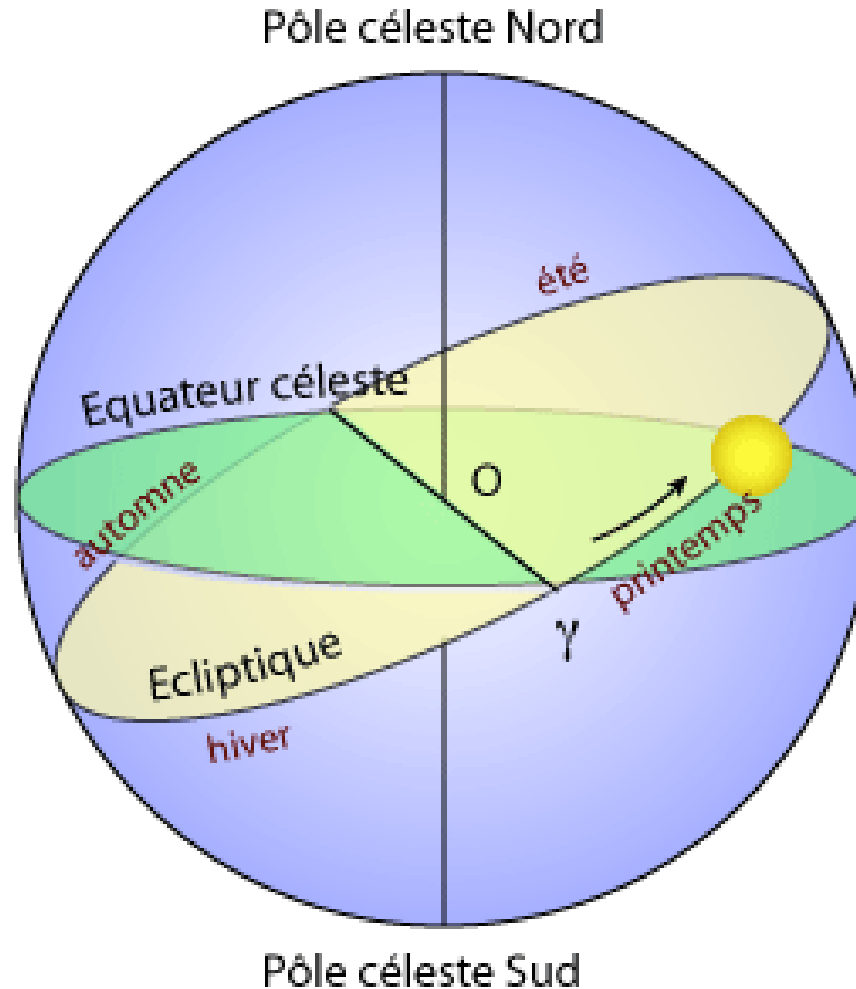


Les repères: trouver des origines



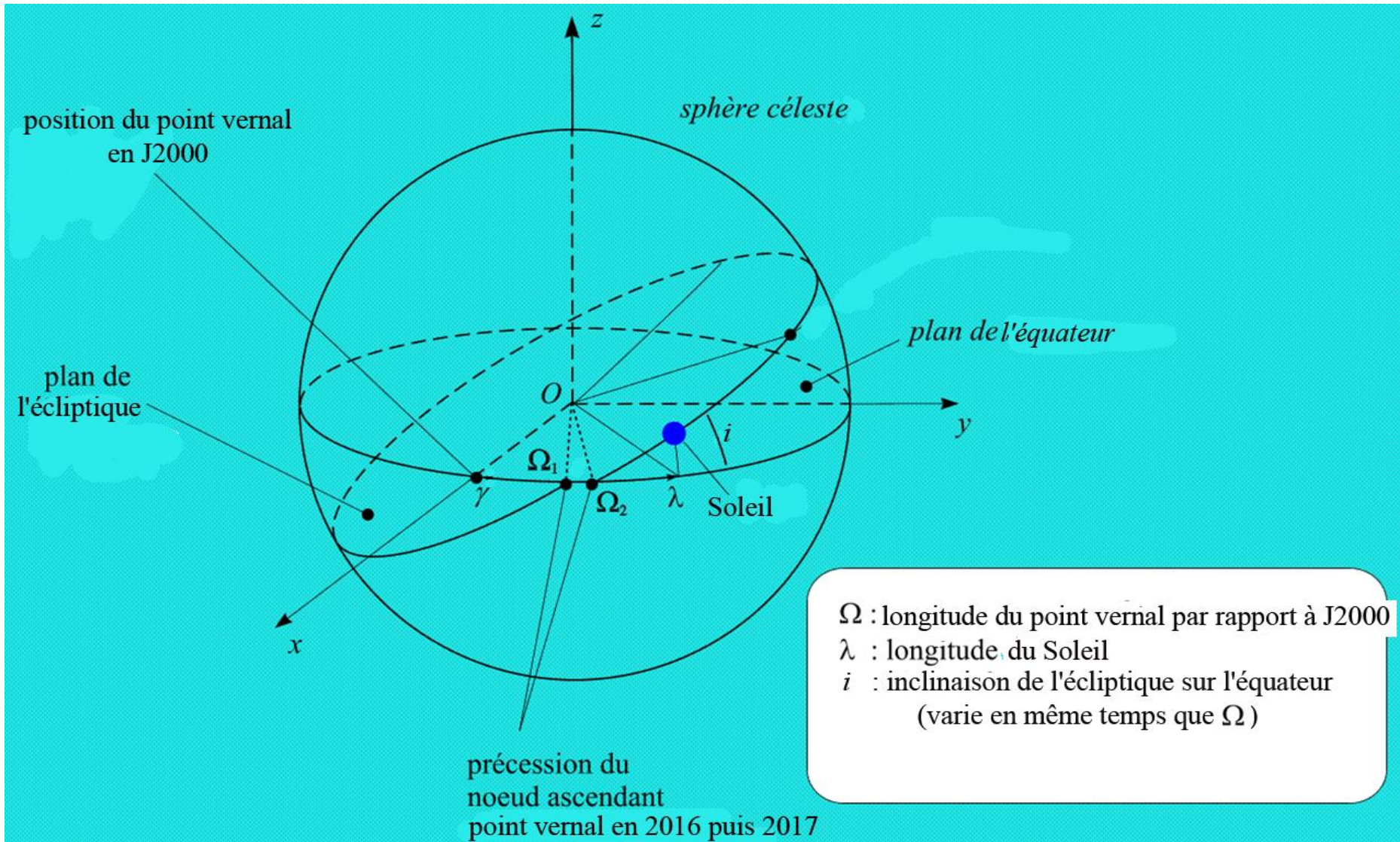
- Le point vernal est l'origine des ascensions droites.

Les repères: trouver des origines



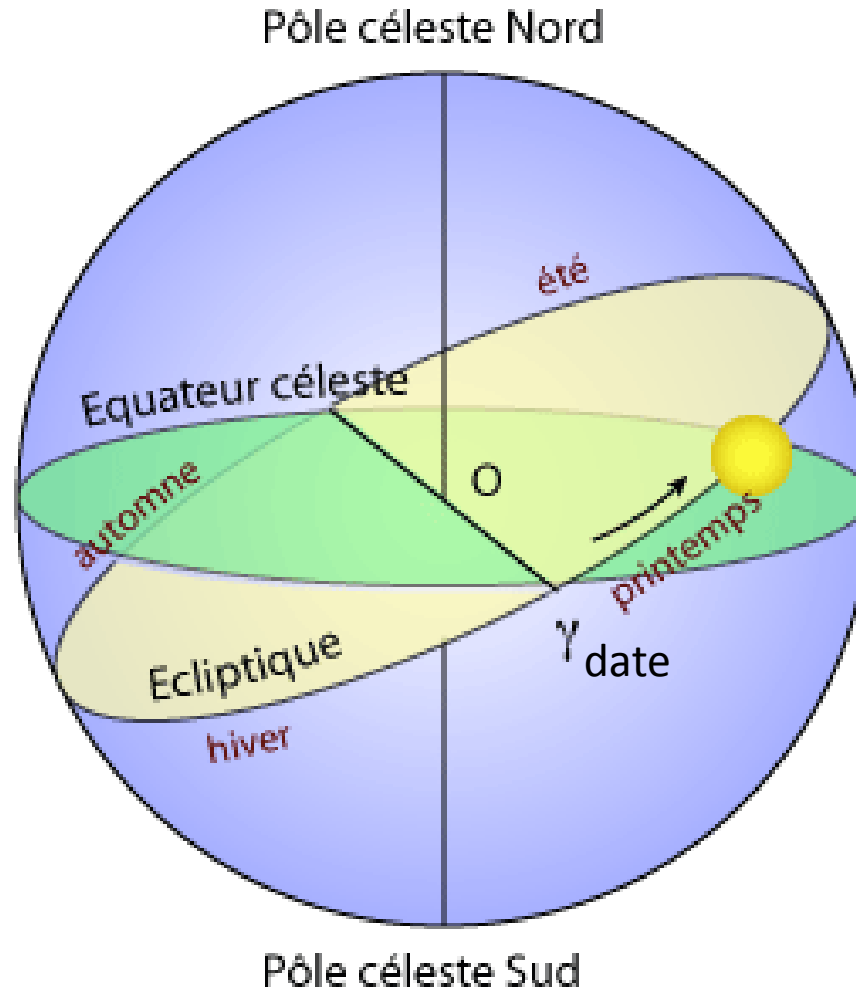
- Le point vernal et l'inclinaison de l'écliptique varient en fonction du temps.

Le mouvement du point vernal



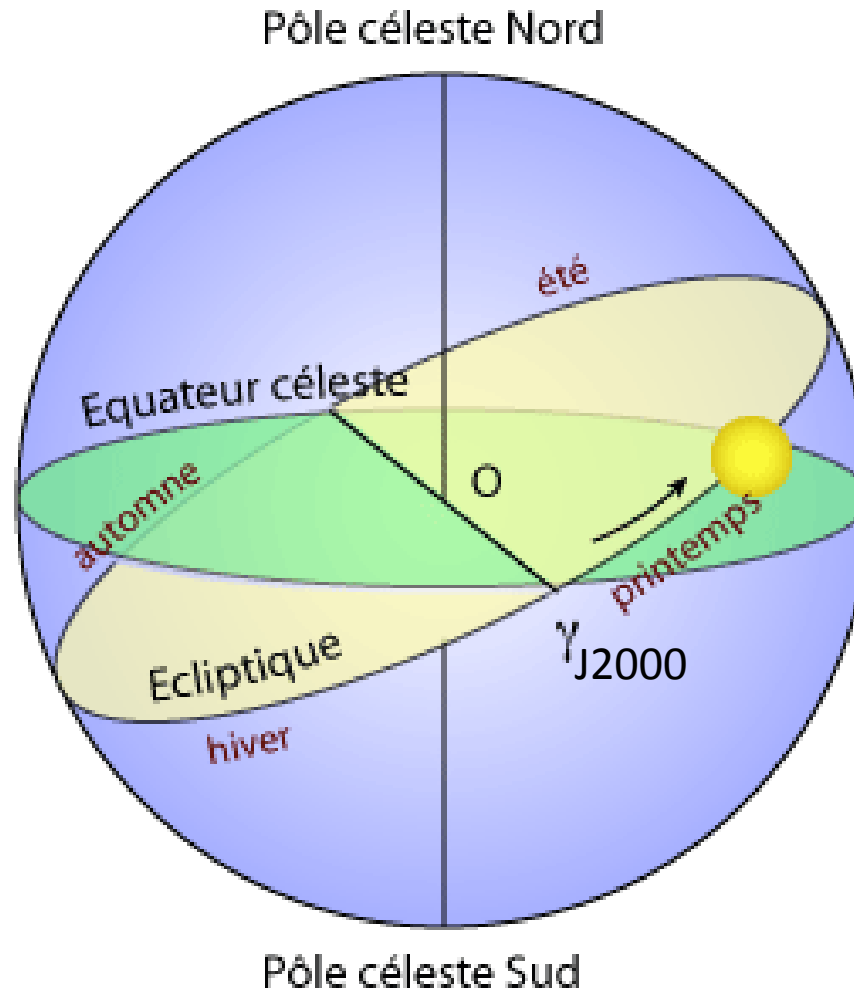
Note: contrairement à ce que laisse penser la figure, le point vernal a un mouvement rétrograde de 50 secondes de degré environ par an

Les repères



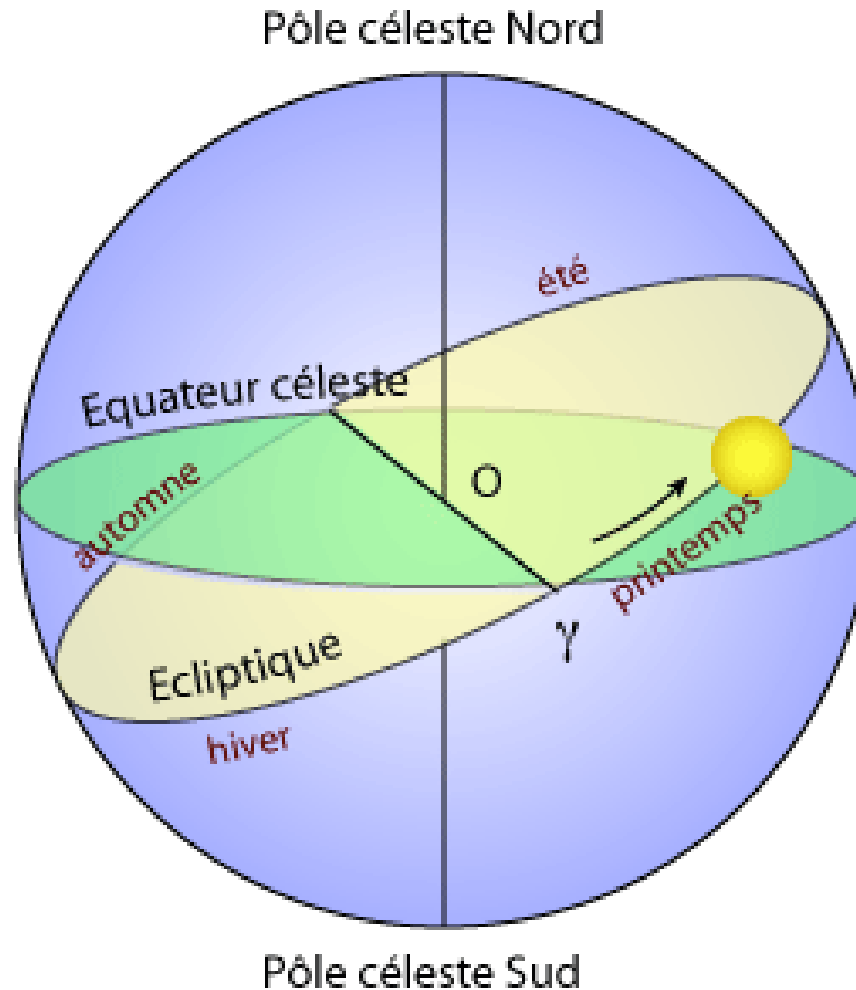
- L'instrument méridien observe dans le repère de l'instant où il observe parce qu'il est lié à la Terre.

Les repères



- L'observation par rattachement utilise un catalogue d'étoiles dont toutes les positions sont ramenées à la même date.

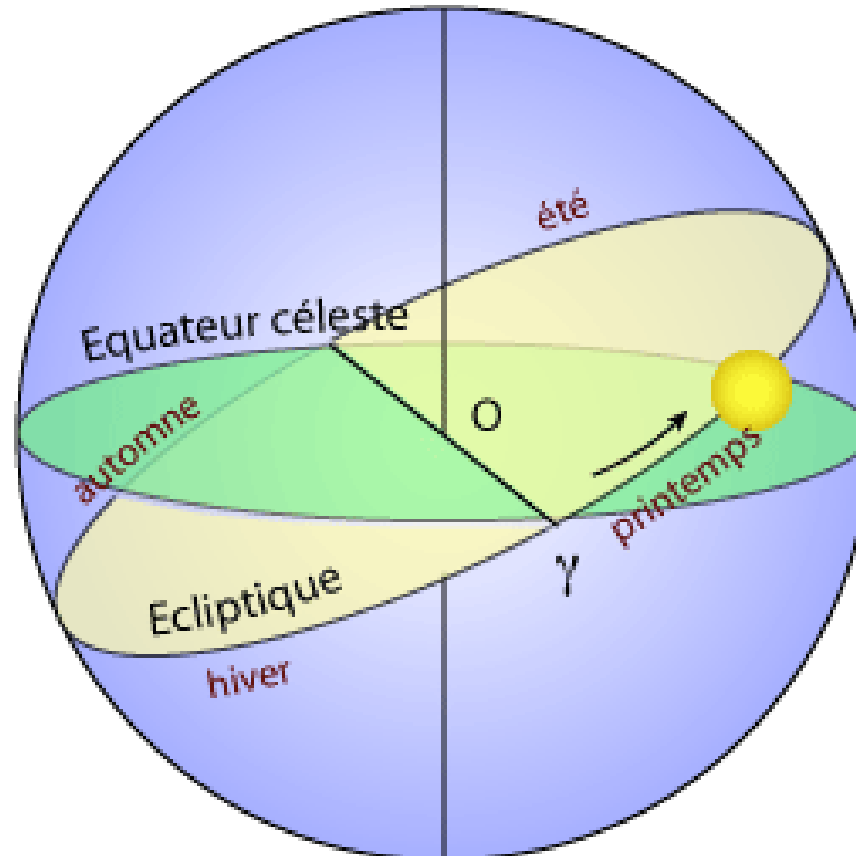
Les repères



- Les étoiles ont été observées à des instants différents donc dans des repères différents.

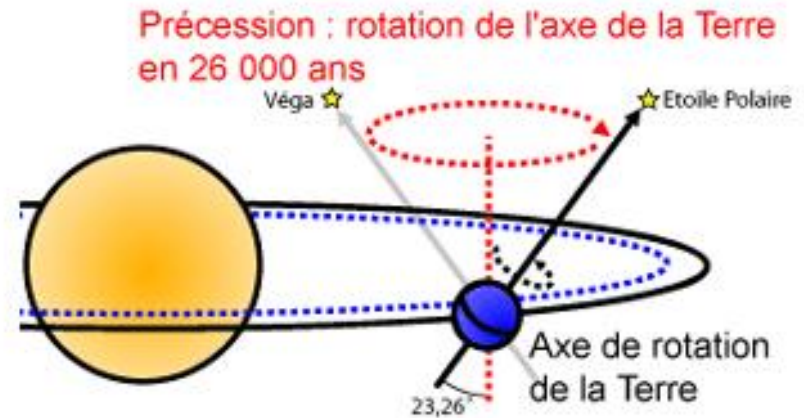
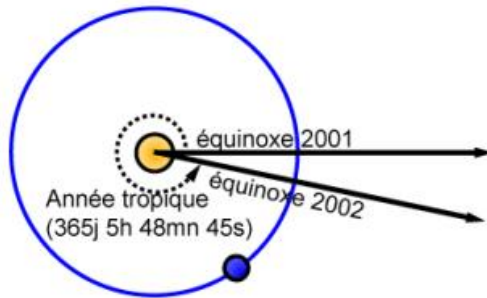
Les repères

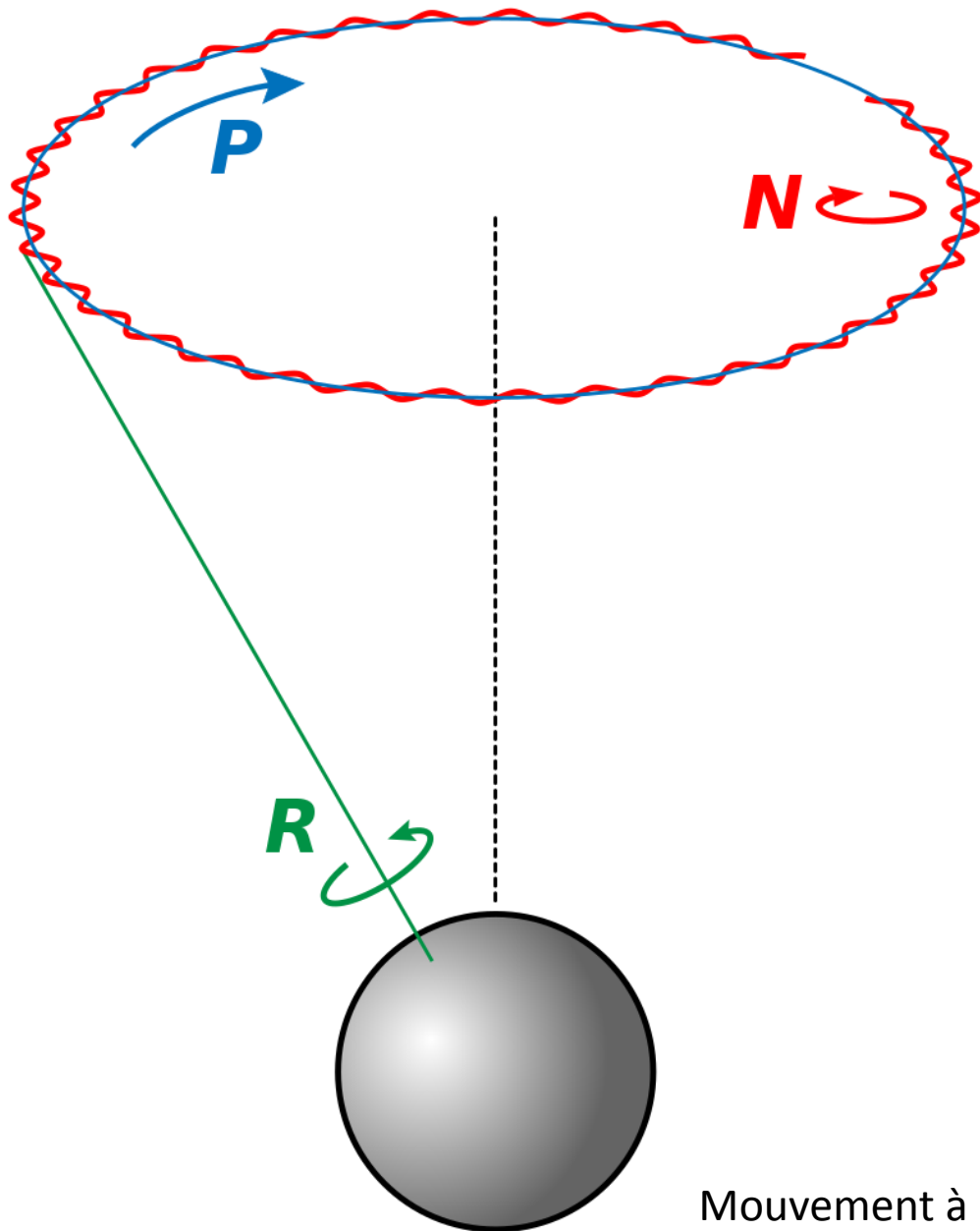
Pôle céleste Nord



- On a modélisé le mouvement du point vernal et de l'écliptique: on peut ramener toutes les observations au même repère, par exemple à celui du 1 janvier 2000 à 12h (J2000).

Pourquoi le point vernal se déplace:
phénomène de précession-nutation,
l'année « tropique » est celle qui suit les saisons





Précession et nutation = le mouvement de l'axe de rotation de la Terre

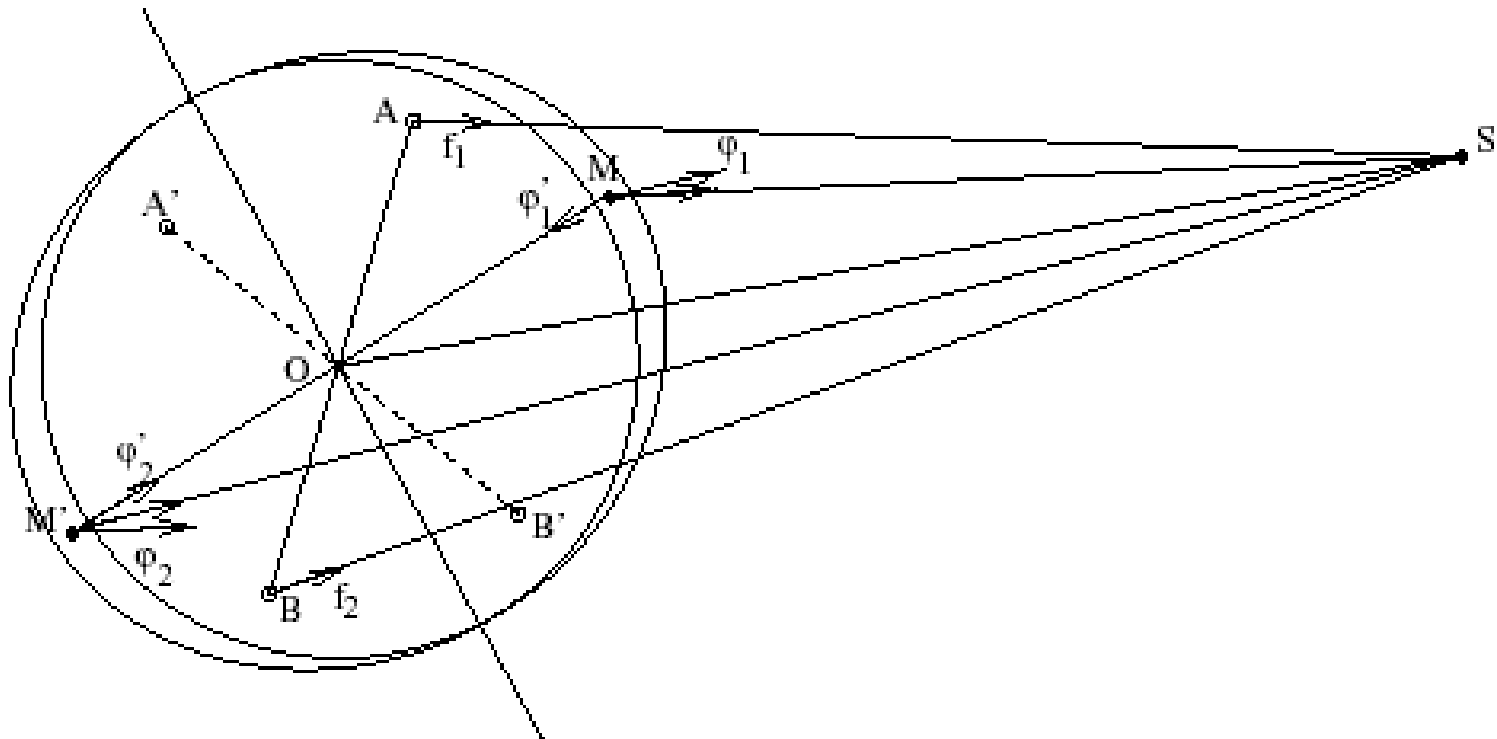
Mouvement à bien modéliser pour connaître la position de l'origine (point vernal ou équinoxe ou point γ)

Précession = changement d'étoile au pôle céleste au cours du temps

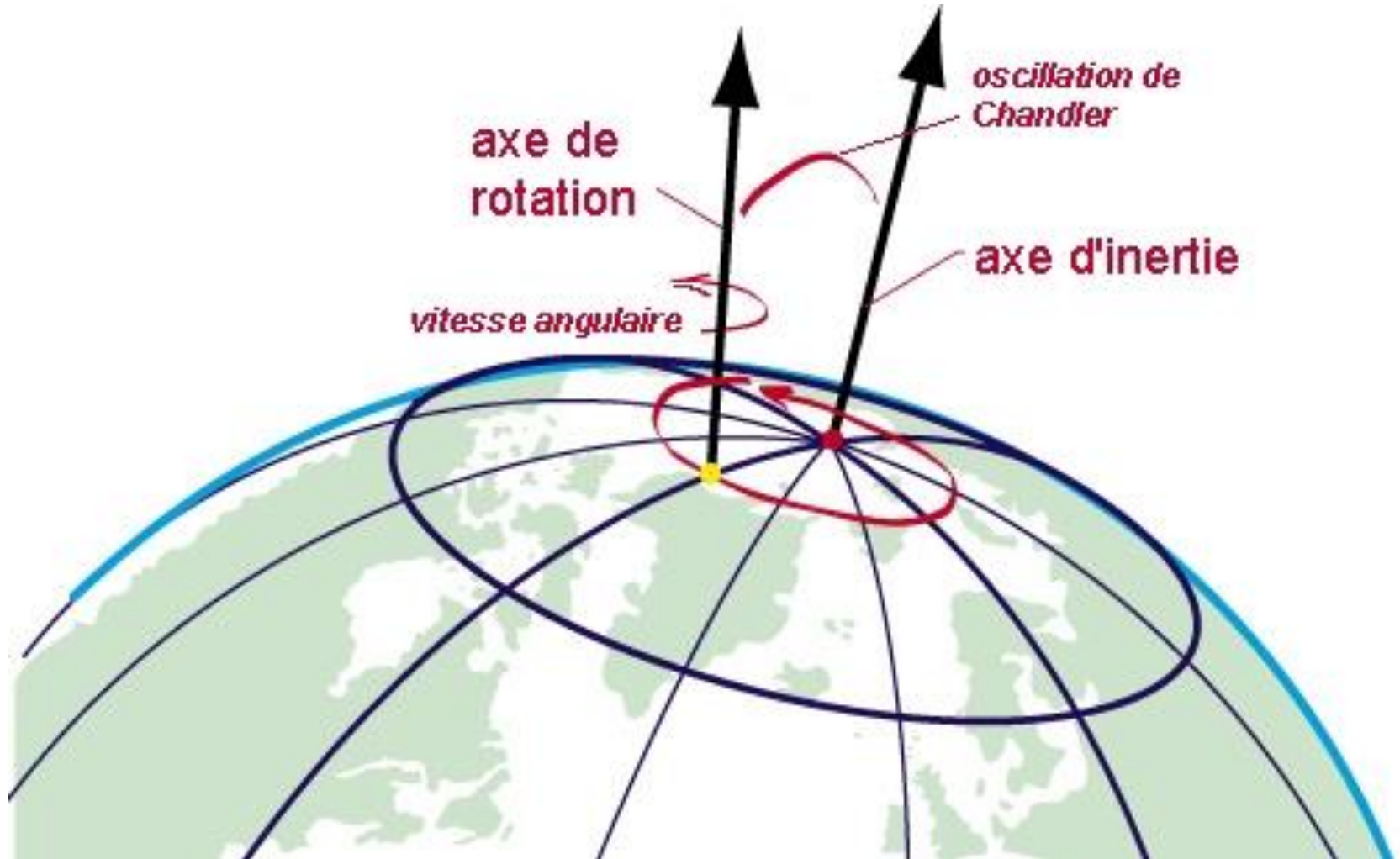


Phénomène de précession-nutation

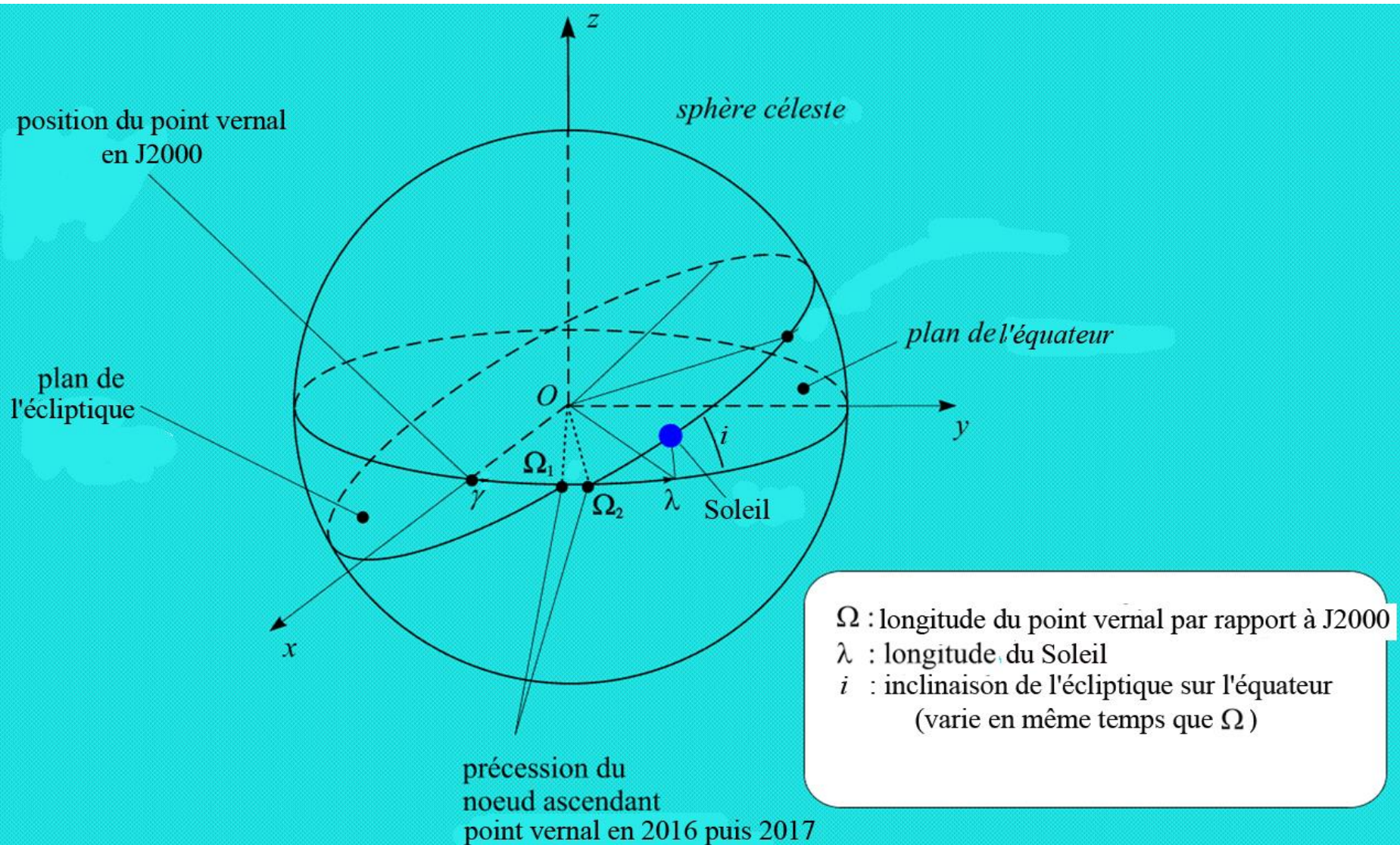
- La Terre n'est pas sphérique, mais un ellipsoïde de révolution aplati aux pôles
- La Lune et le soleil ne sont pas situés dans le plan de l'équateur terrestre, mais dans l'écliptique : moment de force qui tend à faire coïncider l'équateur avec l'écliptique



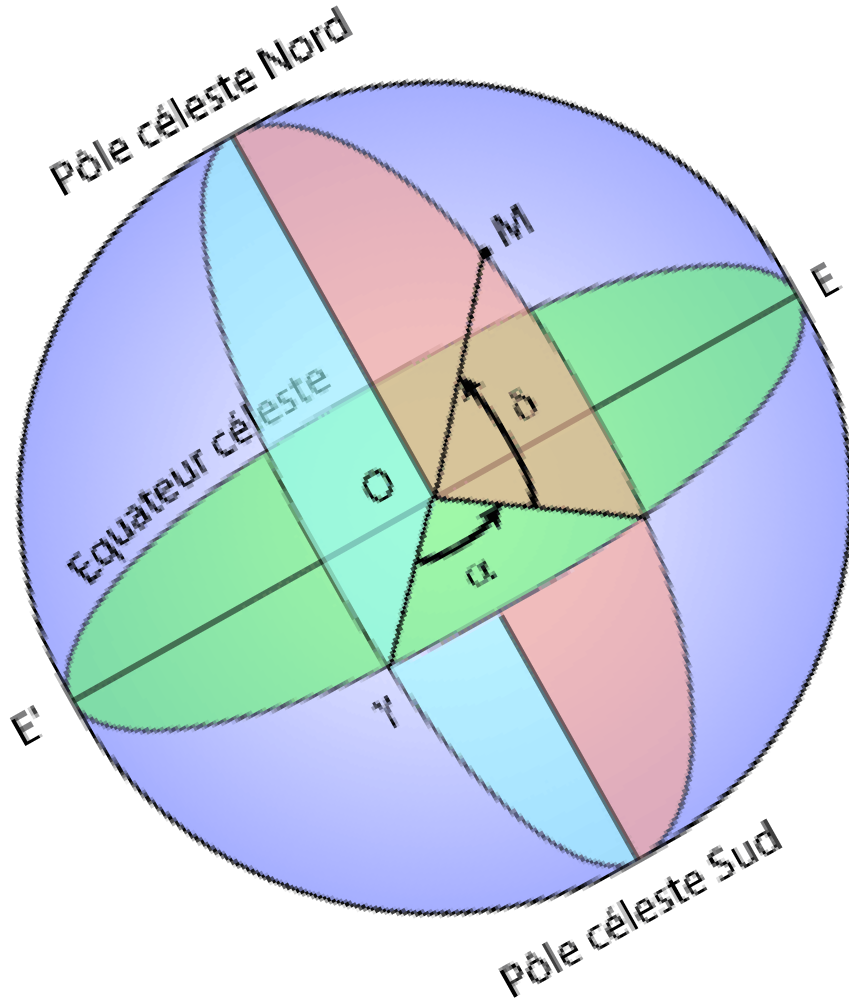
Une rotation pas très uniforme due à la structure interne de la Terre



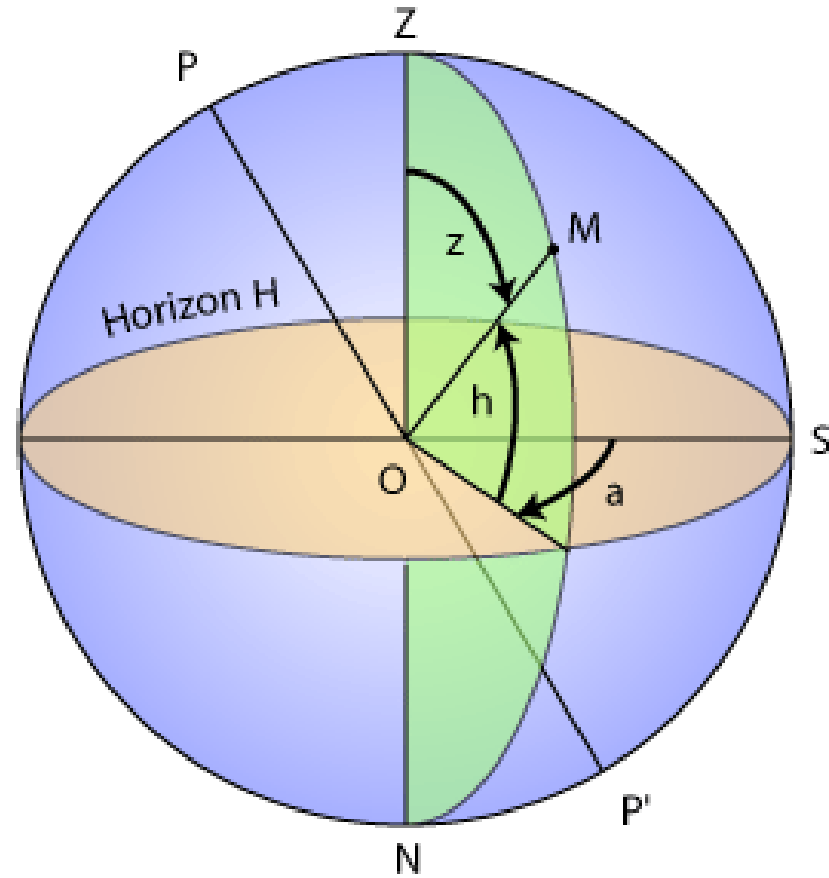
Le mouvement du point vernal et de l'écliptique: précession et nutation



Rappel: on observe dans le système local

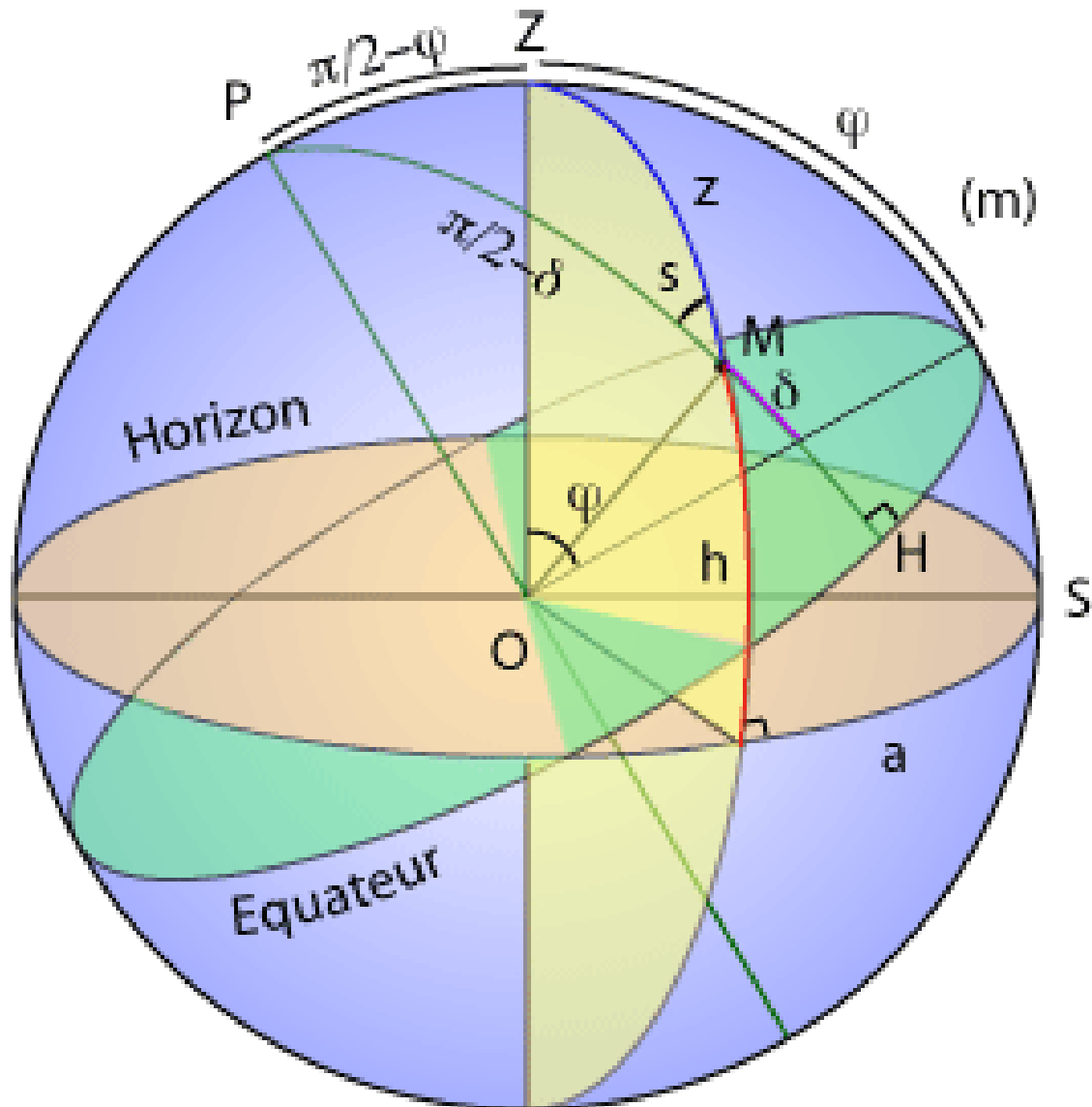


système équatorial

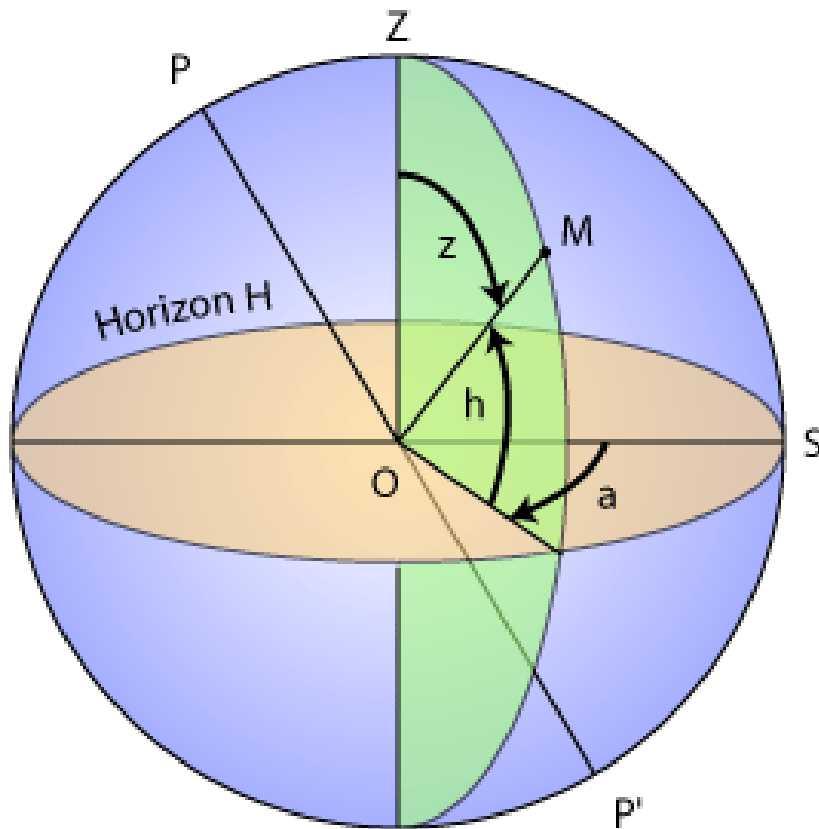


système local

Résoudre un triangle sphérique



Le principe de l'instrument méridien



La sphère équatoriale locale

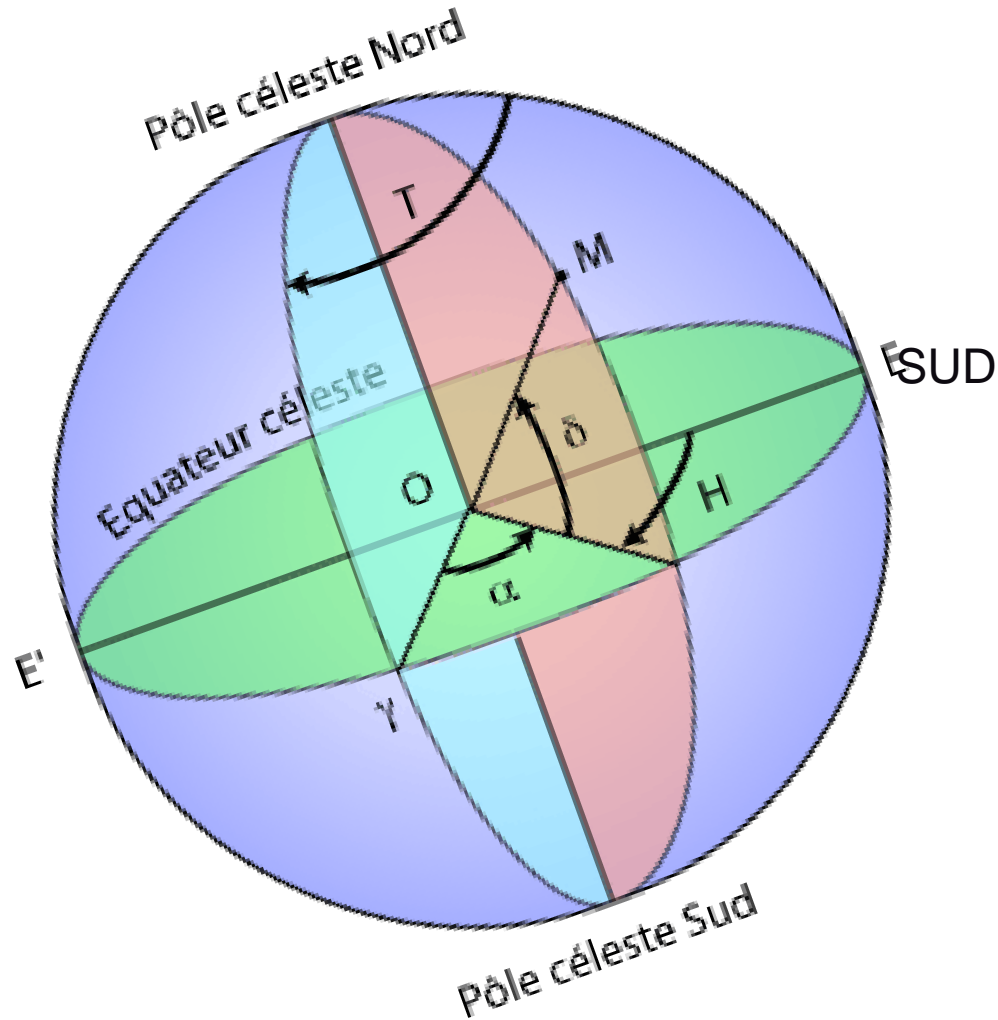
L'astre M se déplace sur la sphère céleste du fait de la rotation de la Terre. Donc a n'est pas constant mais augmente avec cette rotation.

Une mesure simple dans le repère local au moment où l'astre « passe au méridien »:

-la précision dépend de l'instrumentation et de la connaissance du lieu d'observation (longitude, latitude)

-on mesure la hauteur sur l'horizon et l'instant du « passage »

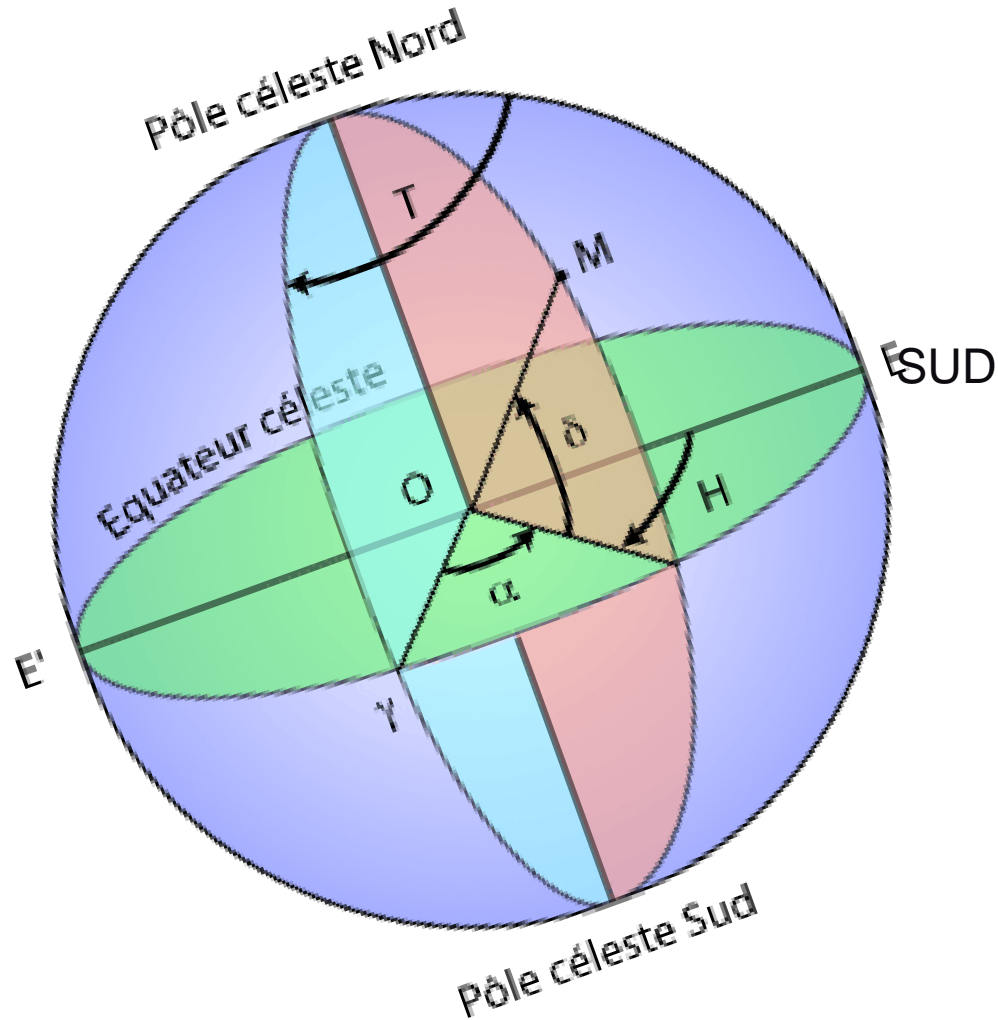
Sphère équatoriale locale



T temps sidéral local:

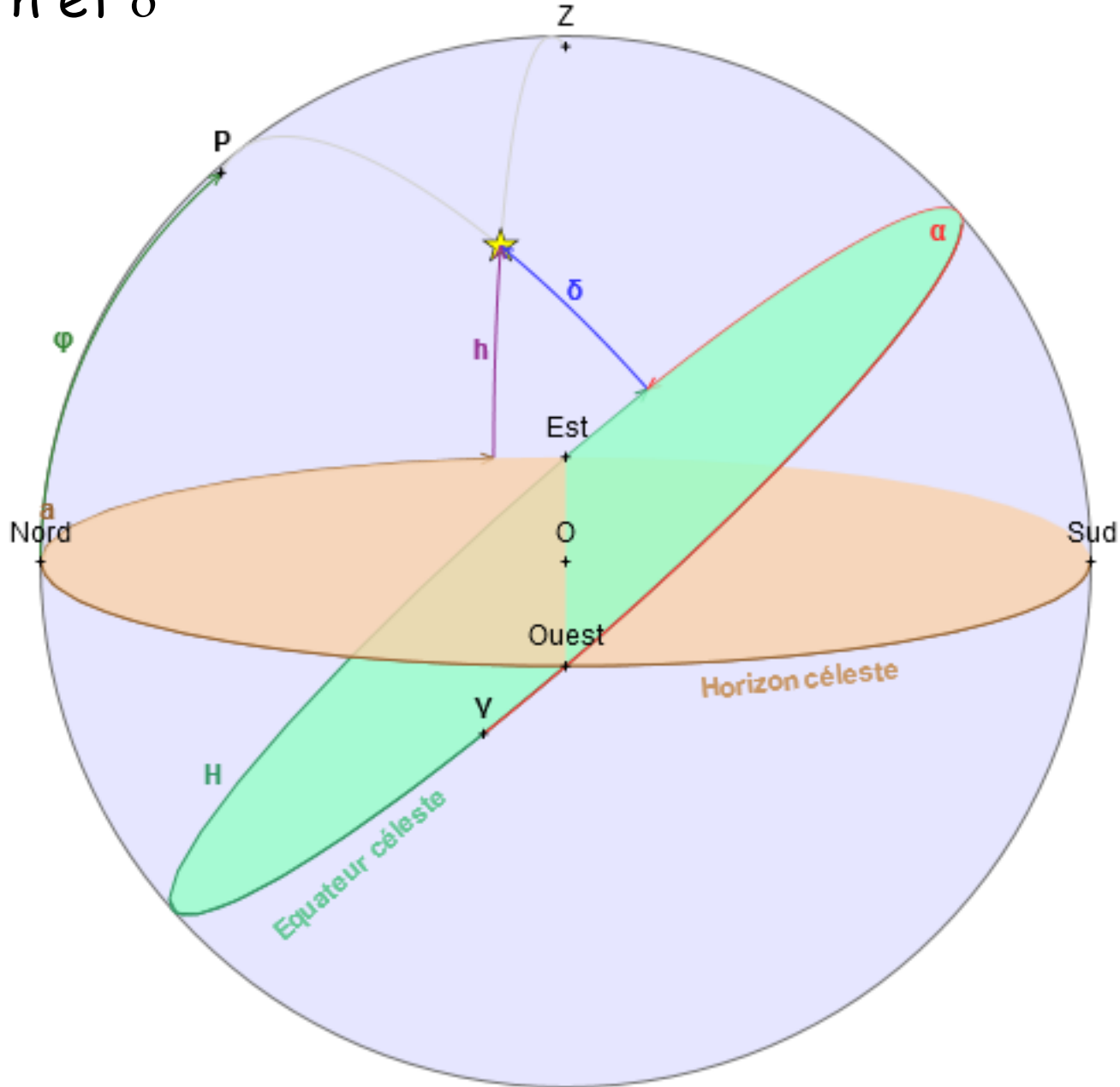
donne la position du point vernal γ par rapport à la direction du Sud et varie au cours du temps du fait de la rotation de la Terre

Sphère équatoriale locale

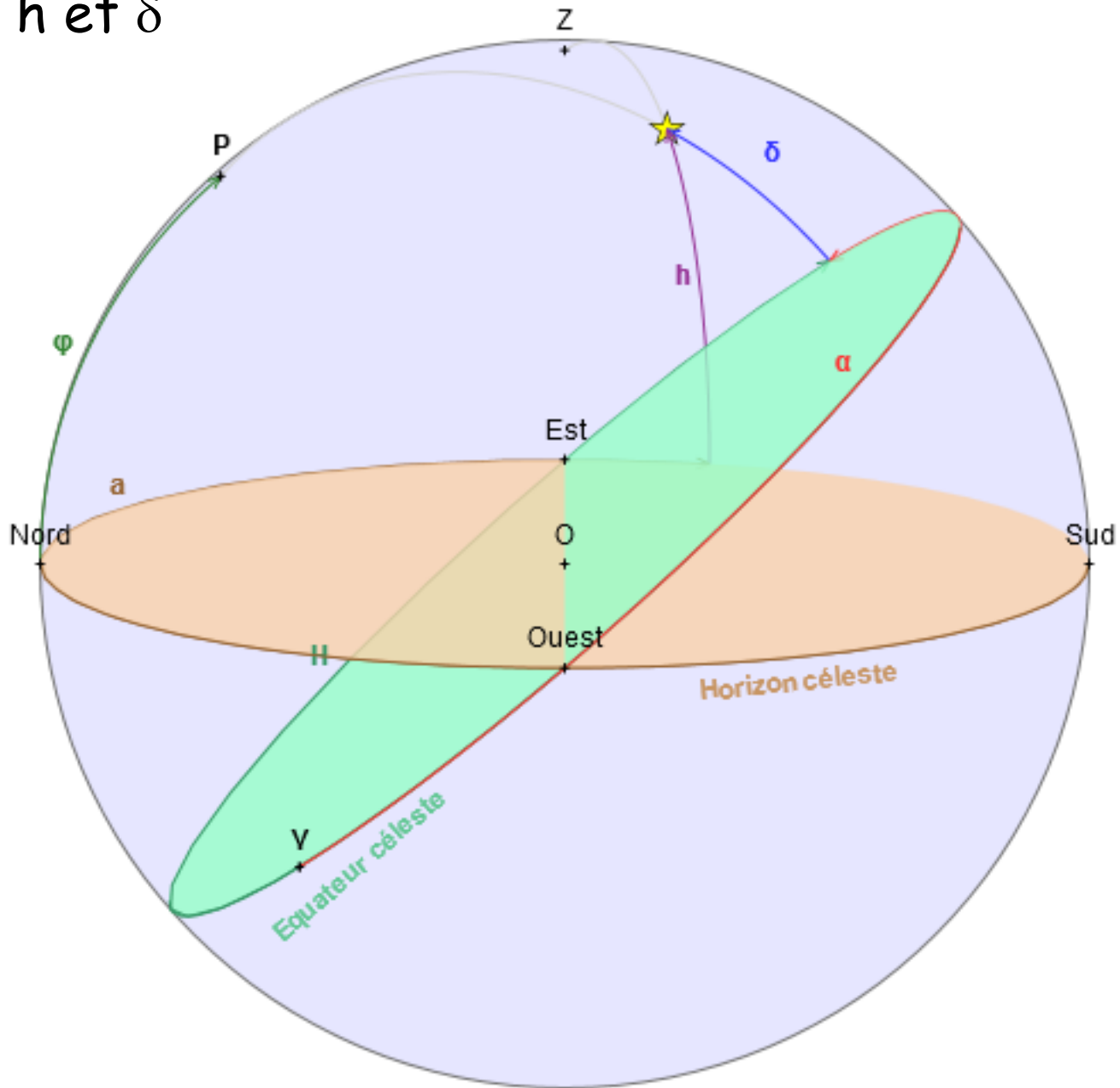


H (angle horaire) et T (temps sidéral local ou angle horaire du point γ)
varient au cours du temps **$H = T - \alpha$**

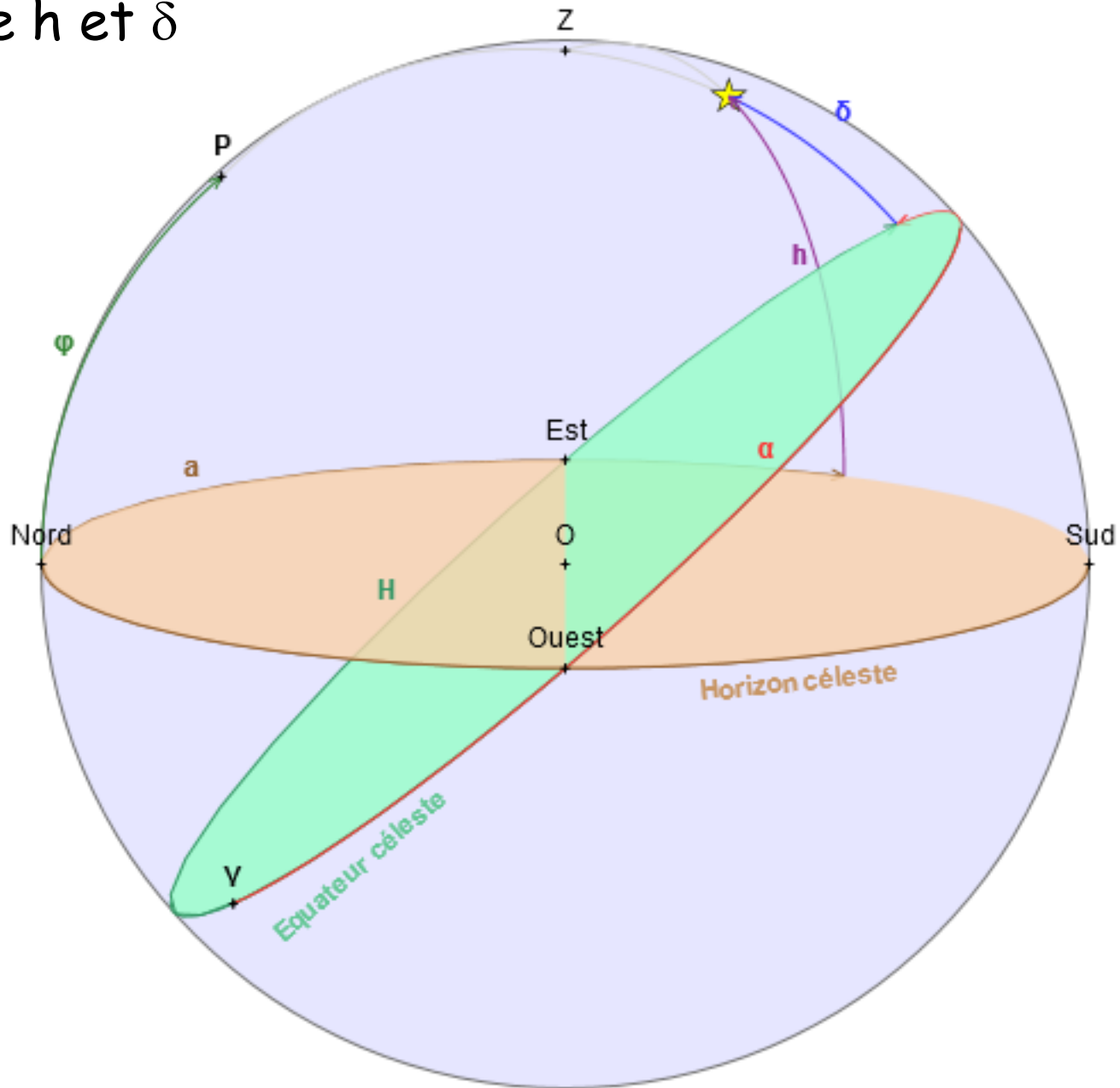
Observons la progression d'un astre dans le ciel et voyons le lien entre h et δ



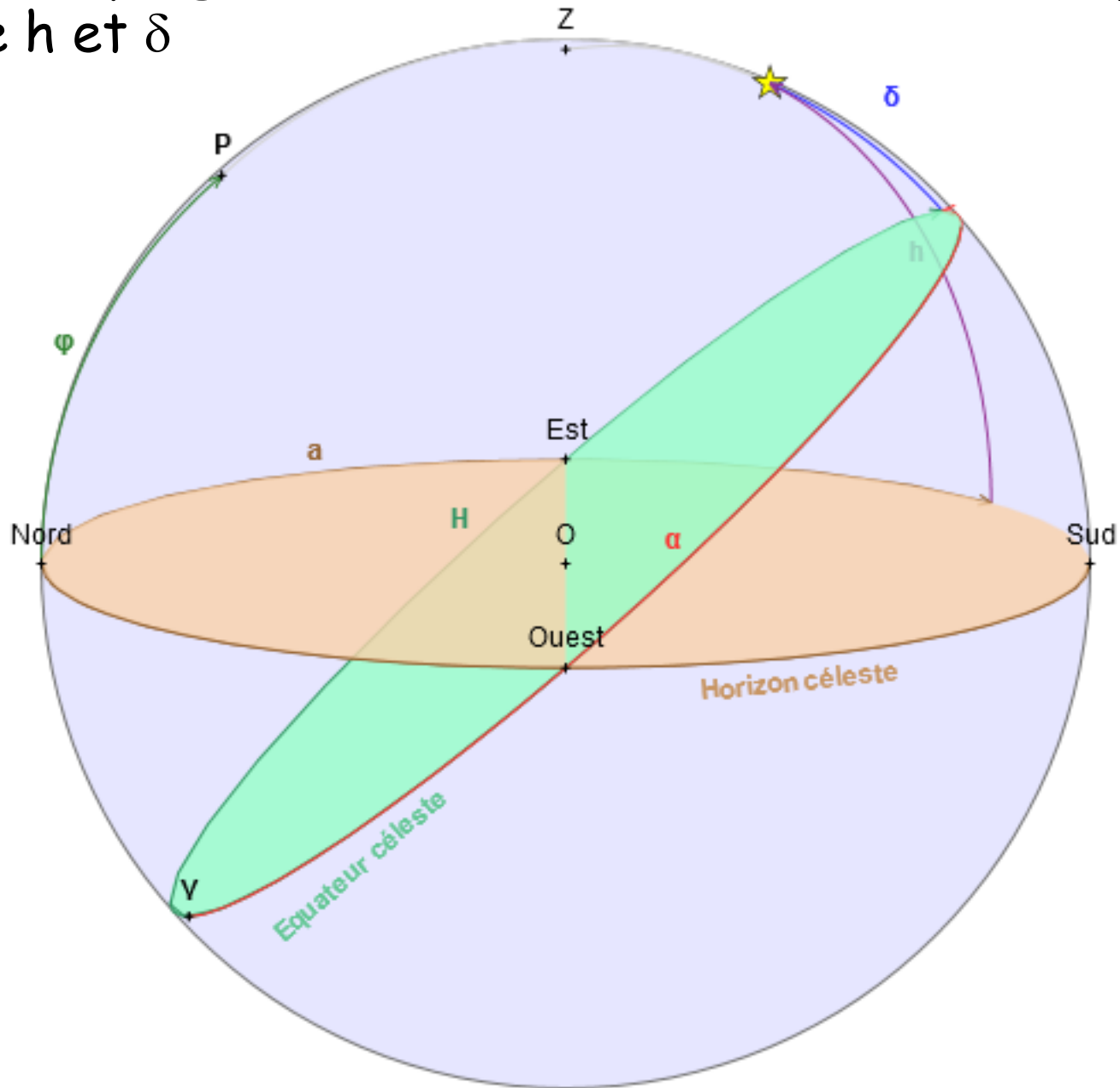
Observons la progression d'un astre dans le ciel et voyons le lien entre h et δ



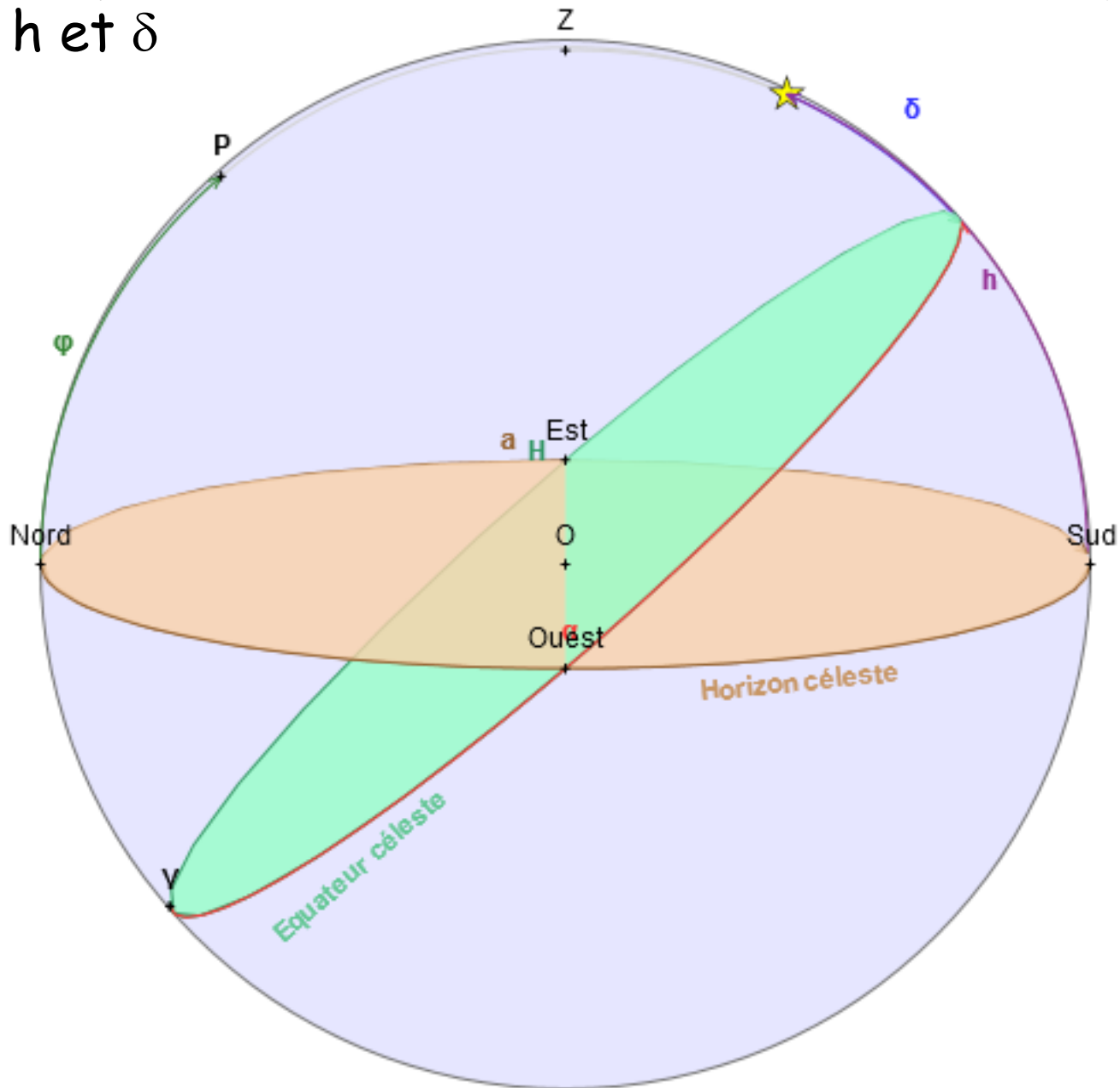
Observons la progression d'un astre dans le ciel et voyons le lien entre h et δ



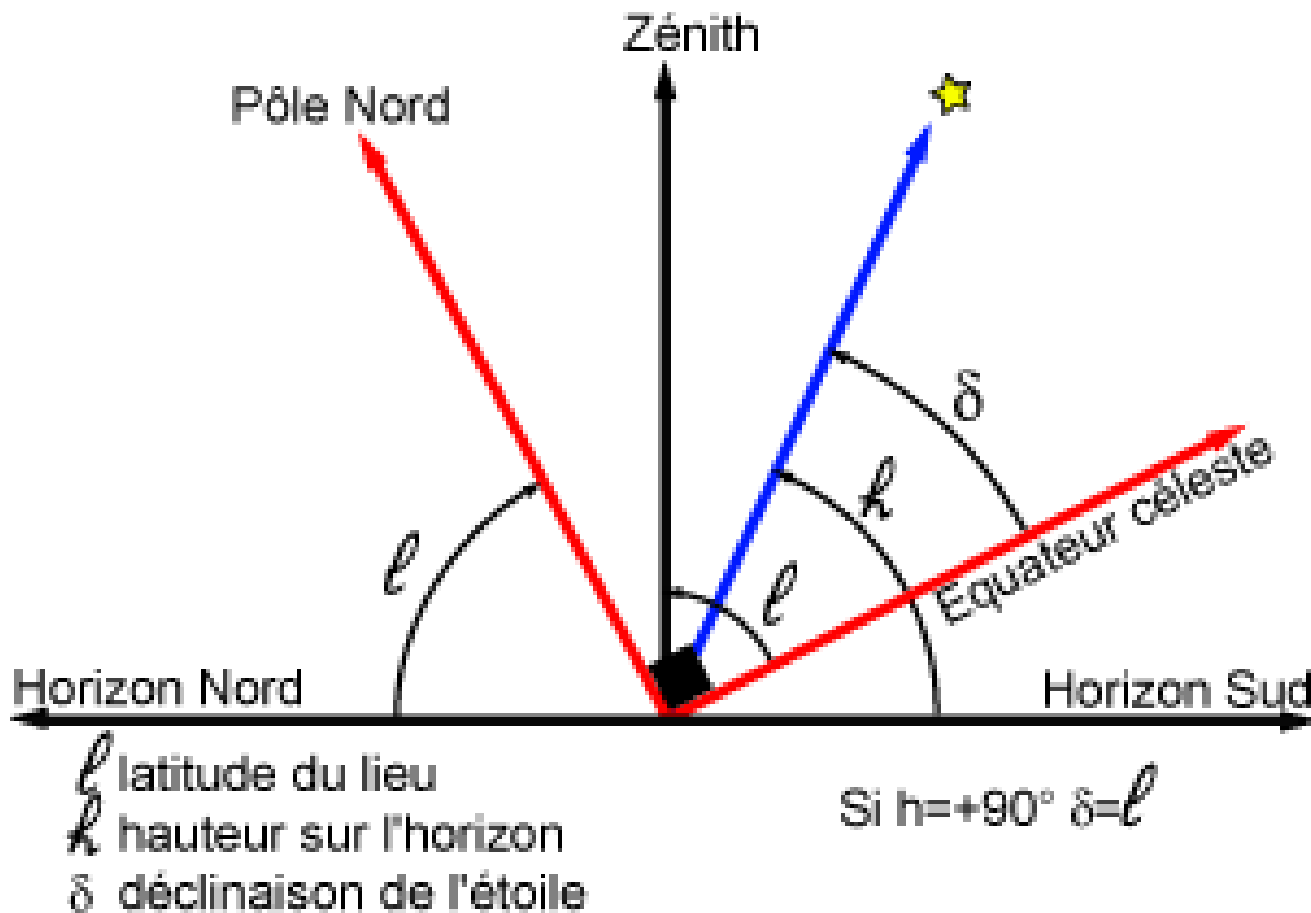
Observons la progression d'un astre dans le ciel et voyons le lien entre h et δ



Observons la progression d'un astre dans le ciel et voyons le lien entre h et δ



Utiliser une configuration particulière des astres dans le plan méridien Nord-Sud

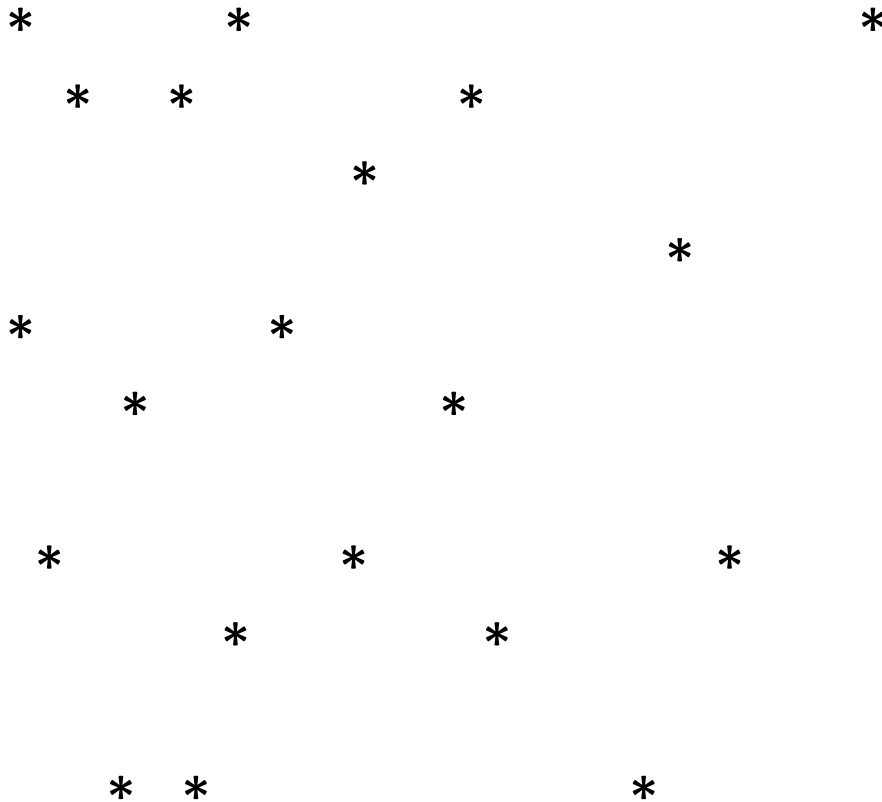


- Mesurer la hauteur h au dessus de l'horizon: $\delta = h - 90^\circ + l$
- Noter l'instant du passage: $H = \text{TSL} - \alpha \rightarrow \alpha = \text{TSL}$

L'observation

- On mesure la hauteur h de l'objet
 - déclinaison $\delta = h - 90^\circ + \textit{latitude du lieu}$
- On note l'instant de passage au méridien (vérifier que la cible est bien centrée et que le méridien est au centre)
 - ascension droite = temps sidéral local = temps sidéral de Greenwich à 0h + heure en UT convertie en TS + *longitude du lieu*

L'observation du temps de passage



← On pointe sur la hauteur de l'étoile à mesurer

→ le ciel défile →

L'observation du temps de passage



*

On note l'instant du passage au méridien,
concrétisé par une ligne (on peut utiliser plus de
lignes pour plus de mesures et plus de précision)

L'observation du temps de passage



*

On note l'instant du passage au méridien,
concrétisé par une ligne (on peut utiliser plus de
lignes pour plus de mesures et plus de précision)

L'observation du temps de passage



*

On note l'instant du passage au méridien,
concrétisé par une ligne (on peut utiliser plus de
lignes pour plus de mesures et plus de précision)

L'observation du temps de passage



On note l'instant du passage au méridien,
concrétisé par une ligne (on peut utiliser plus de
lignes pour plus de mesures et plus de précision)

L'observation du temps de passage



A vertical blue line is drawn on the page. To its left, centered vertically, is a black asterisk (*).

On note l'instant du passage au méridien,
concrétisé par une ligne (on peut utiliser plus de
lignes pour plus de mesures et plus de précision)

L'observation du temps de passage



*

On note l'instant du passage au méridien,
concrétisé par une ligne (on peut utiliser plus de
lignes pour plus de mesures et plus de précision)

L'observation du temps de passage



*

On note l'instant du passage au méridien,
concrétisé par une ligne (on peut utiliser plus de
lignes pour plus de mesures et plus de précision)

L'observation du temps de passage



On note l'instant du passage au méridien,
concrétisé par une ligne (on peut utiliser plus de
lignes pour plus de mesures et plus de précision)

L'observation du temps de passage

- On note l'instant de passage au méridien
→ ascension droite = temps sidéral local = temps sidéral de Greenwich à 0h + heure en UT
convertie en TS + *longitude du lieu*
- On dispose d'une horloge en temps sidéral local pour éviter les calculs

L'observation méridienne: bilan

- Permet de mesurer alpha et delta des astres:
 - Dans le repère apparent de la date car on utilise le repère local
 - Dans le repère du catalogue d'étoiles si on utilise un catalogue pour se rattacher aux étoiles proches qui défileront avant et après l'astre observé.

Le pointage

- Déterminer la hauteur de l'astre à son passage et l'instant de son passage en UTC
- Corriger de la réfraction
- Utiliser les éphémérides de l'IMCCE
 - Calculer l'heure du temps de passage pour différents astres du système solaire
 - Calculer la hauteur de l'astre à Hendaye au moment du passage

L'observation

- Commencer l'observation quelques minutes avant l'instant de passage
- La durée du passage dépend de la taille de la cible
- Exemple: cible de 30 mm
- Focale de 2 mètres, échelle au foyer: $1,72'/\text{mm} \rightarrow 30 \text{ mm}$
= $51,6'$ (arcmin) = $3,44$ minutes d'heure/ $\cos(\text{déclinaison})$
= $4,7$ minutes de temps de passage au zénith où
déclinaison=latitude du lieu

L'observation

- L'astre va mettre 3,44 minutes pour traverser le champ: il passe au méridien au milieu du champ si la cible est bien centrée
- On peut aussi déterminer ses coordonnées équatoriales ascension droite et déclinaison en utilisant de nouvelles méthodes (TDI)

Les instruments méridiens d'aujourd'hui encore récemment en fonctionnement



© observatoire de Bordeaux



© Jay Pasachoff



© USNO

De gauche à droite, les lunettes méridiennes de Bordeaux, des îles Canaries et de Flagstaff (Arizona).

Les instruments méridiens aujourd'hui

- Instruments automatiques
- Détecteurs CCD en mode balayage (TDI): mesure le passage d'une bande de ciel qui défile devant le détecteur
- On n'observe plus le passage d'un seul objet mais de tous les astres qui défilent devant le détecteur sont mesurés
- La précision augmente avec le nombre d'étoiles

L'observation moderne

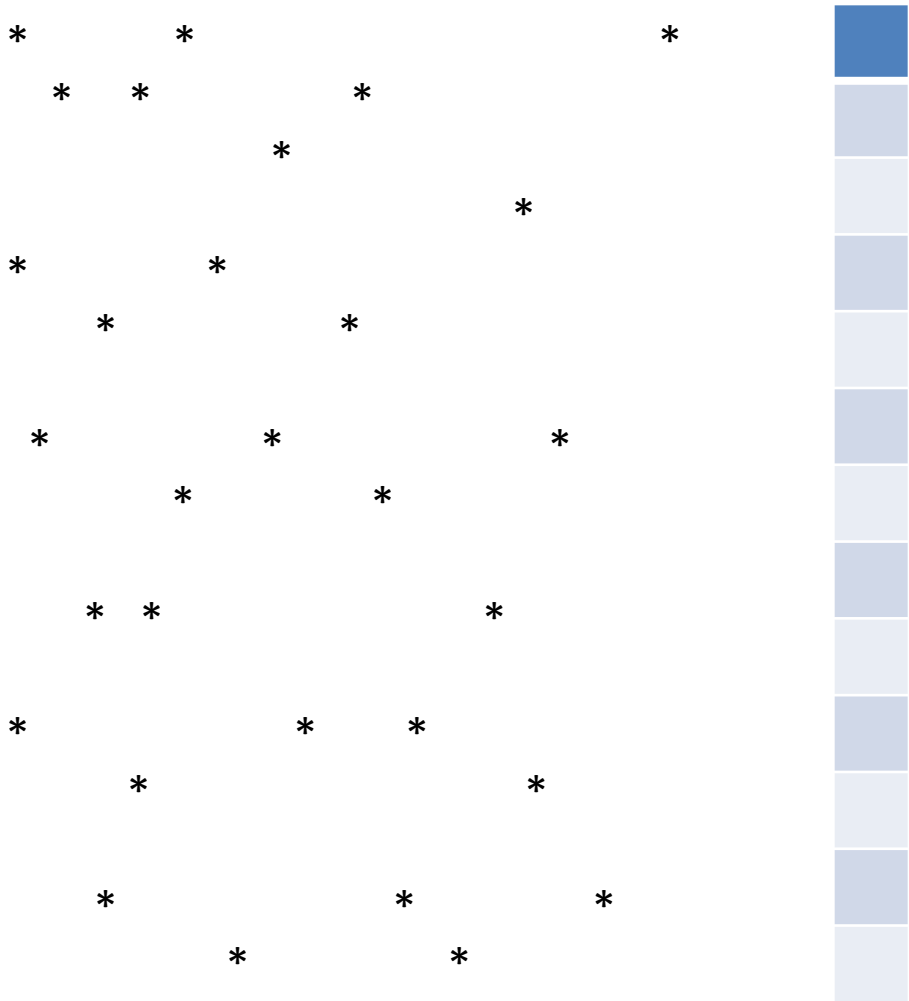
- On va lire la cible en mode TDI (Time Delay and Integration)

On va lire la cible à chaque fois que l'astre change de colonne de pixels

En additionnant les images avec un décalage d'une colonne de pixels, on va construire une image très longue qui va intégrer sur la même image tous les astres qui vont défiler sur la cible.

(une seule colonne de pixels aurait été suffisante mais ainsi on va gagner en précision et en luminosité pour les astres faibles)

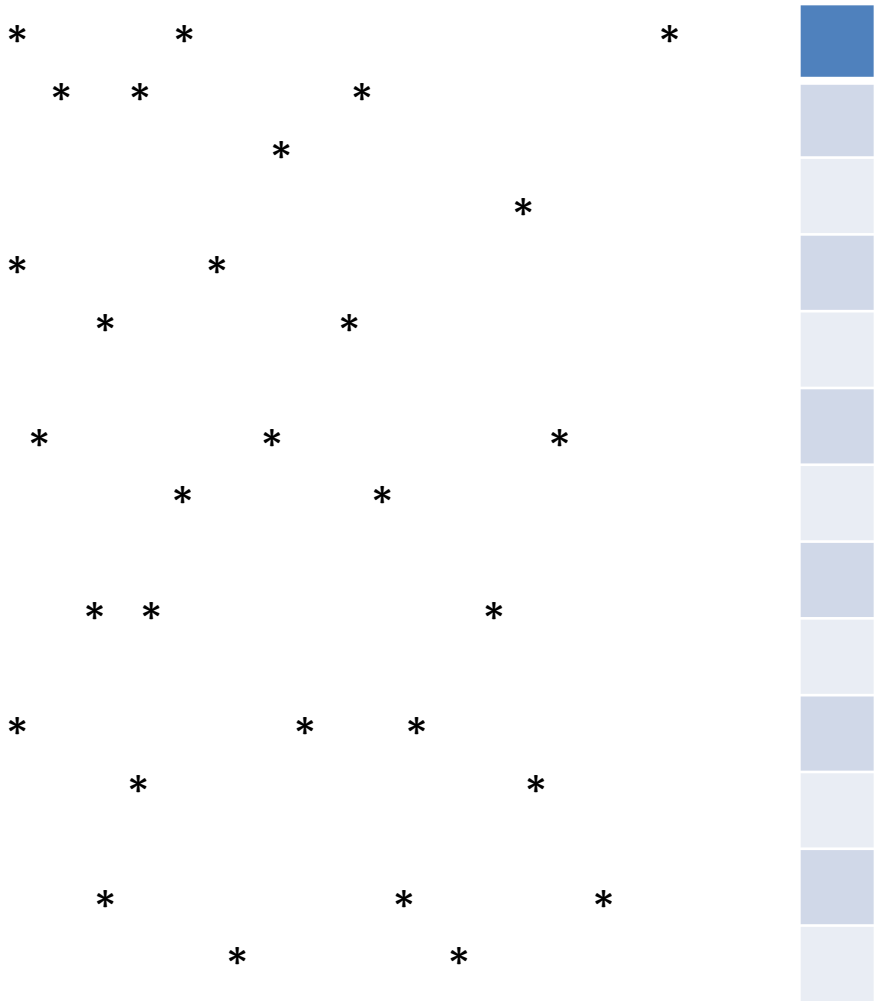
Le principe TDI: scanner le ciel



Lecture de la colonne de pixels à chaque fois que les étoiles ont avancé de la largeur de la colonne

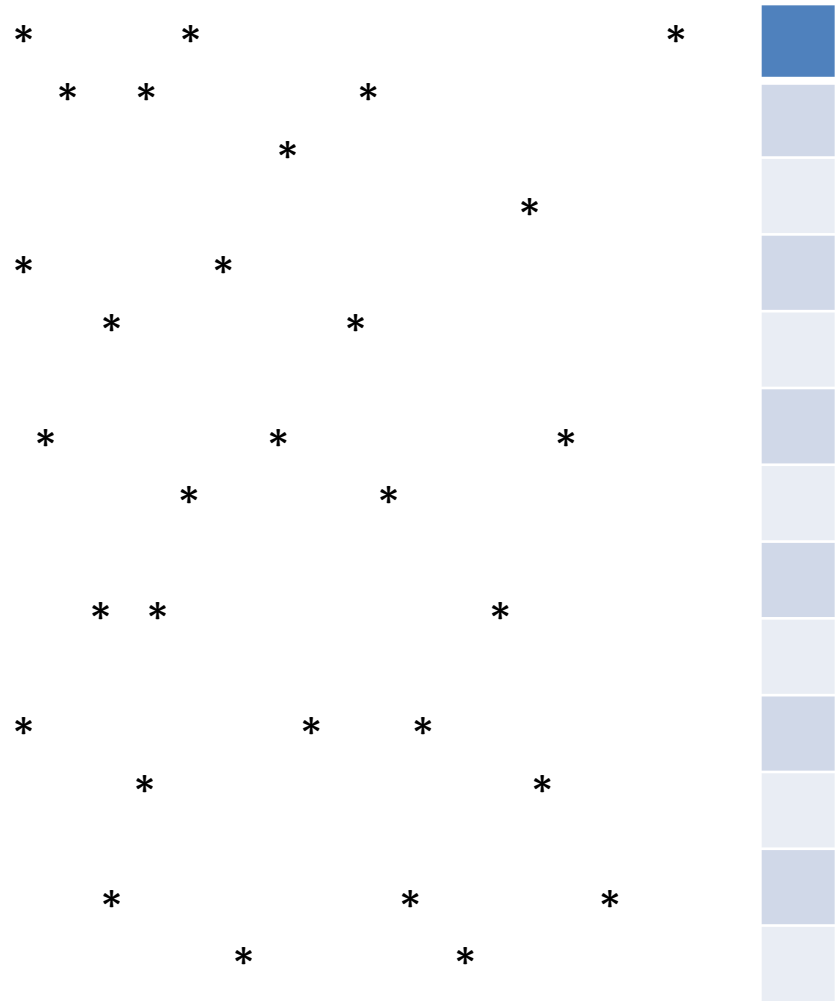
→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel



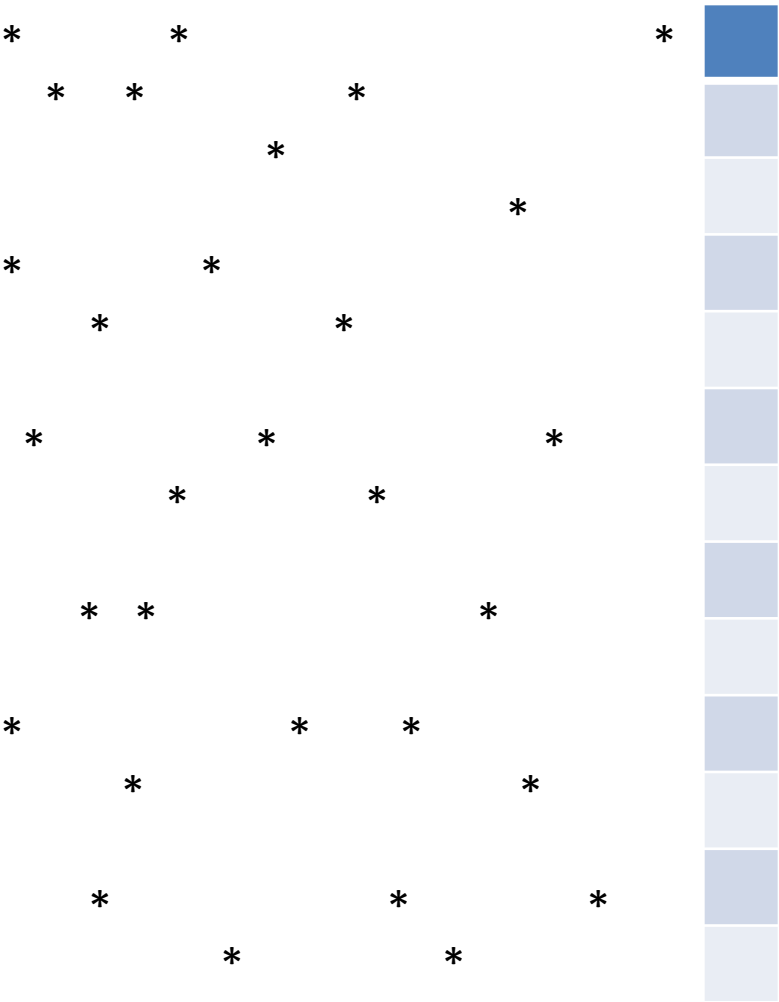
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



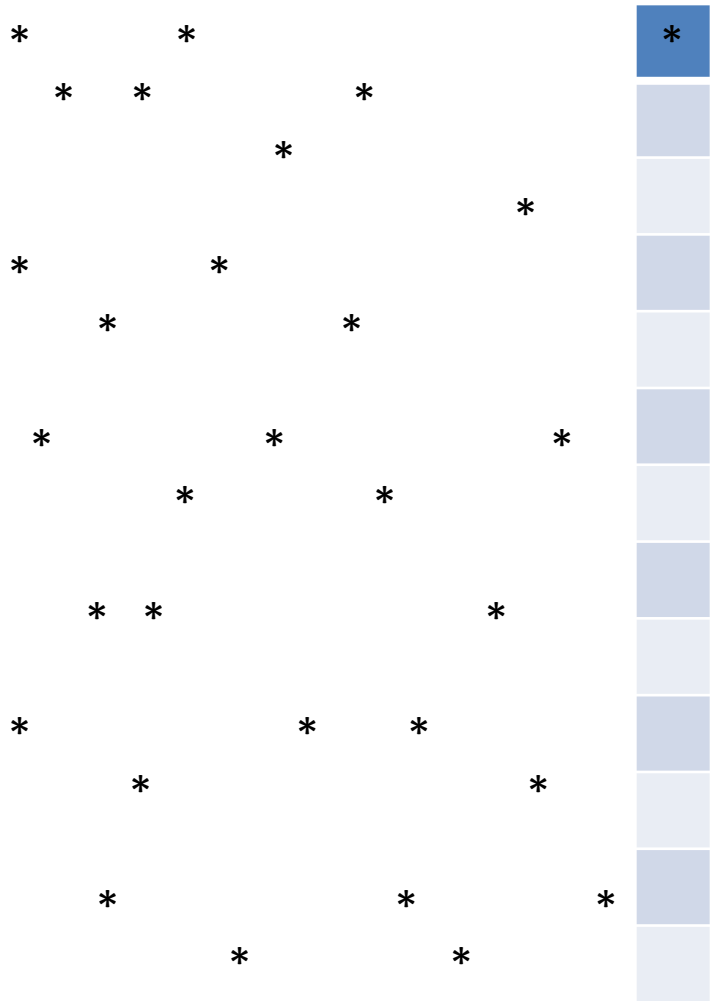
→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel



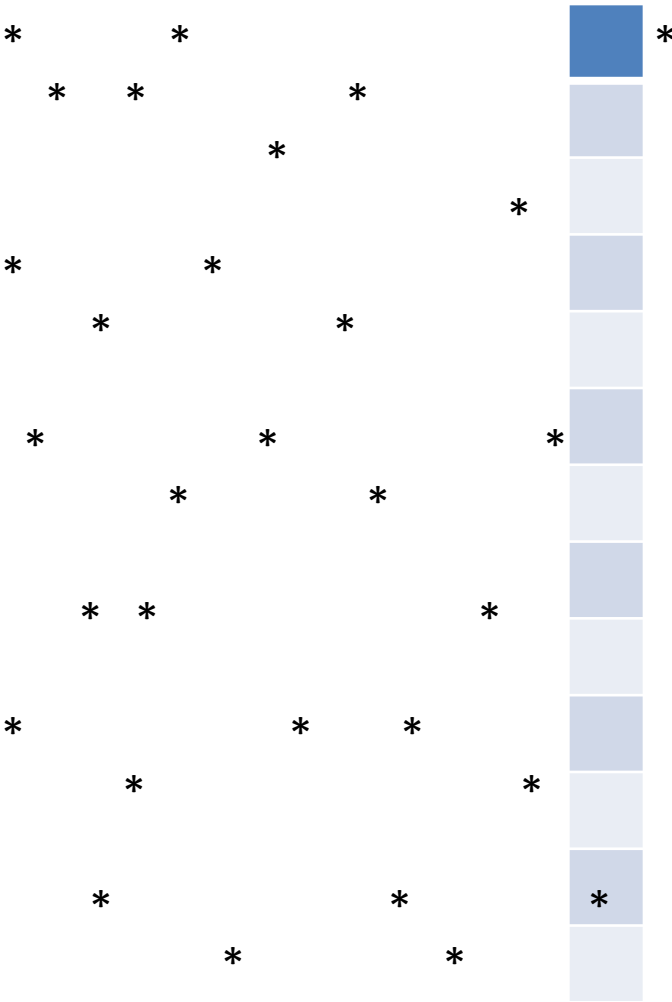
→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel



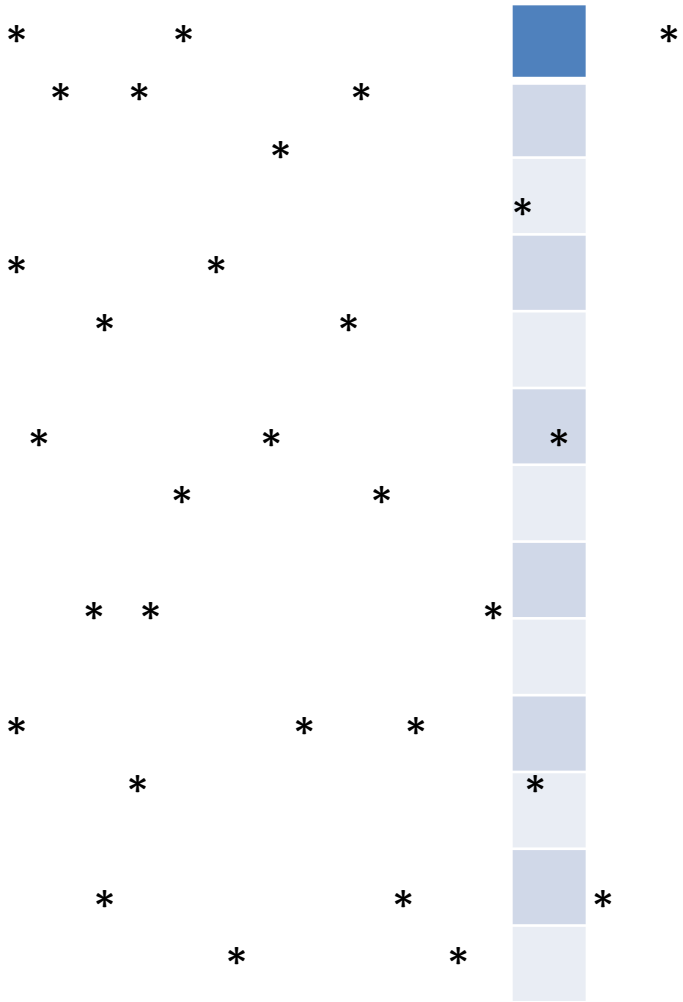
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



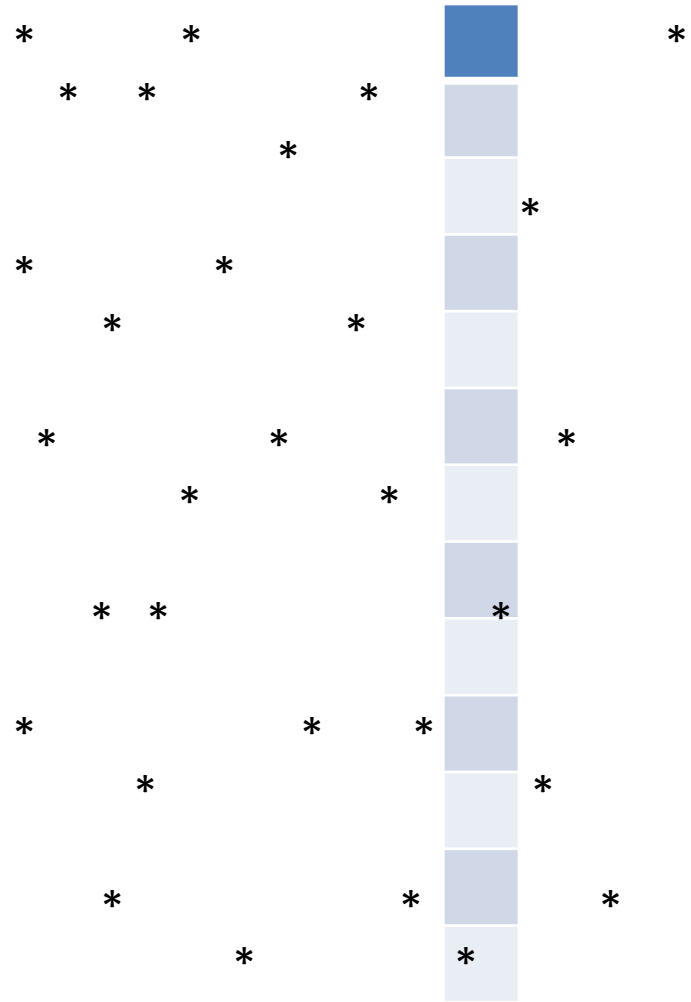
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



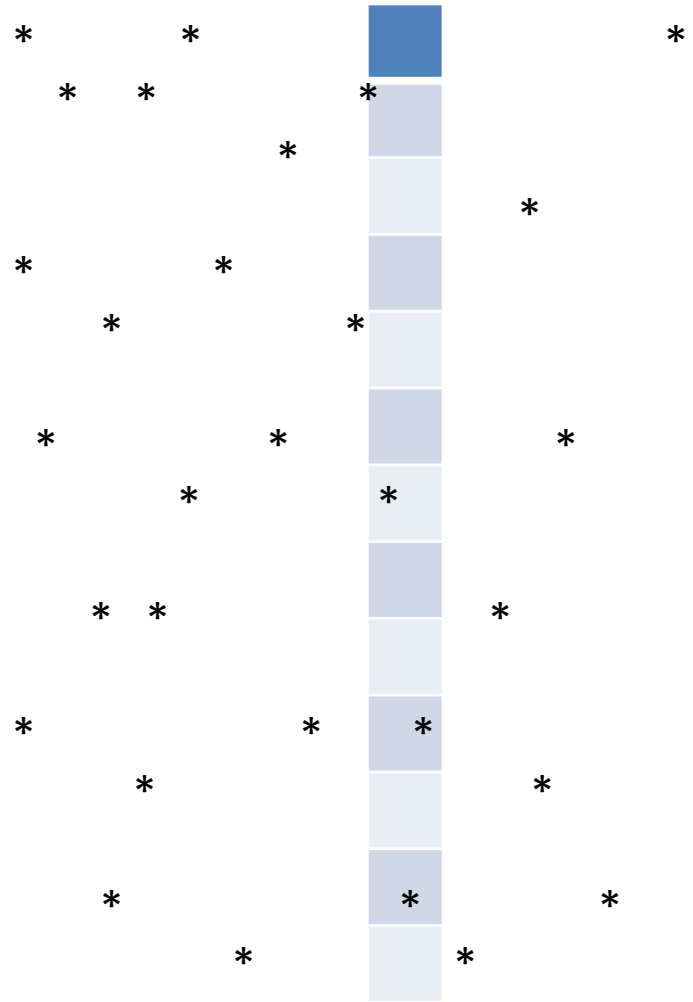
→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel



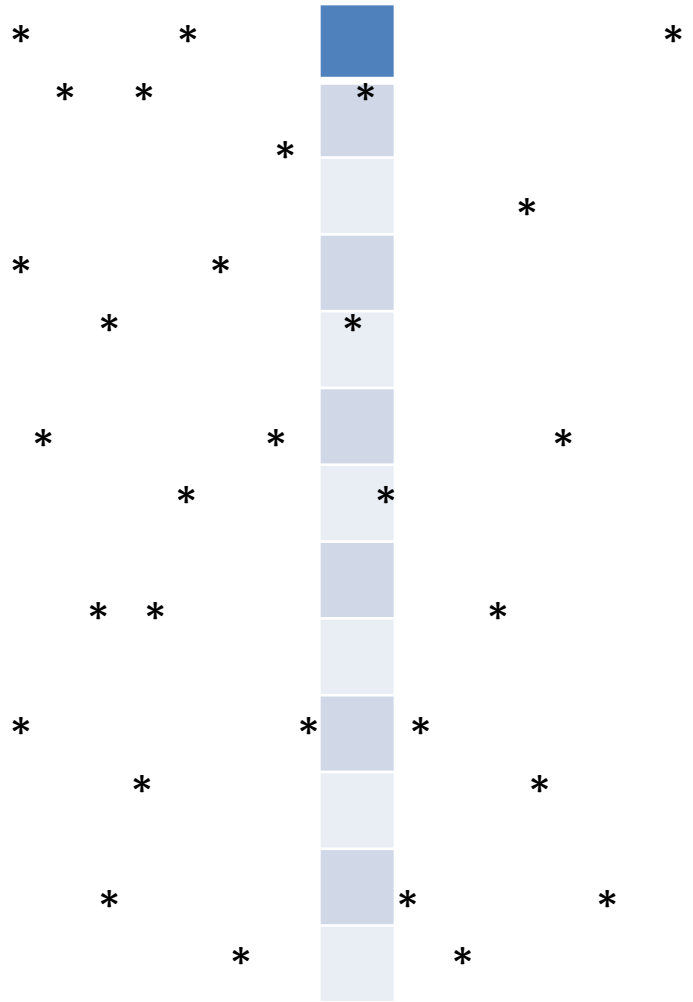
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



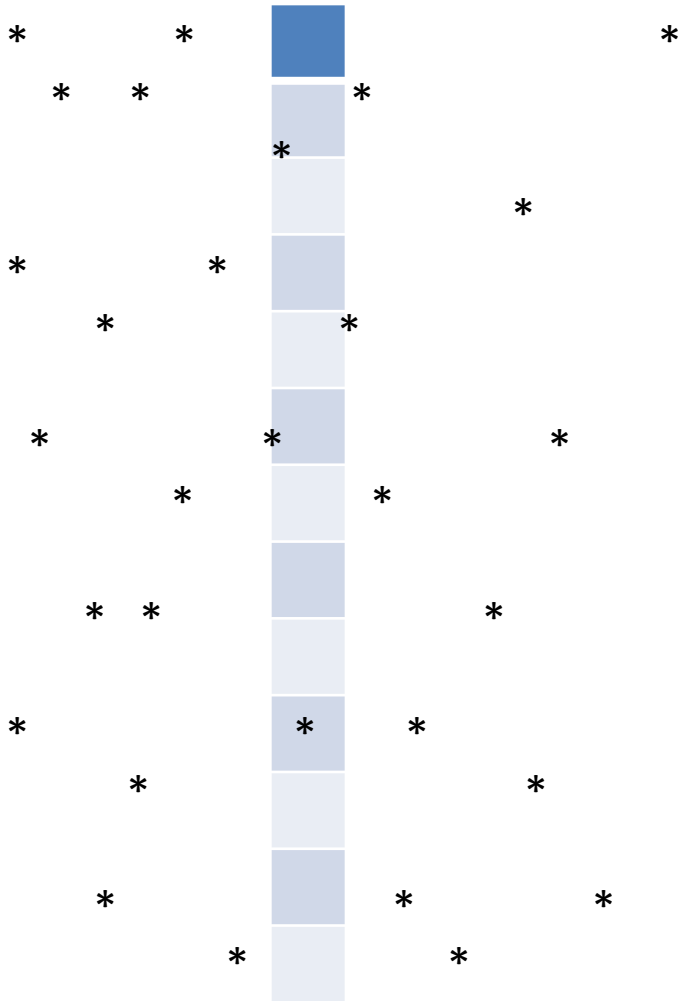
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



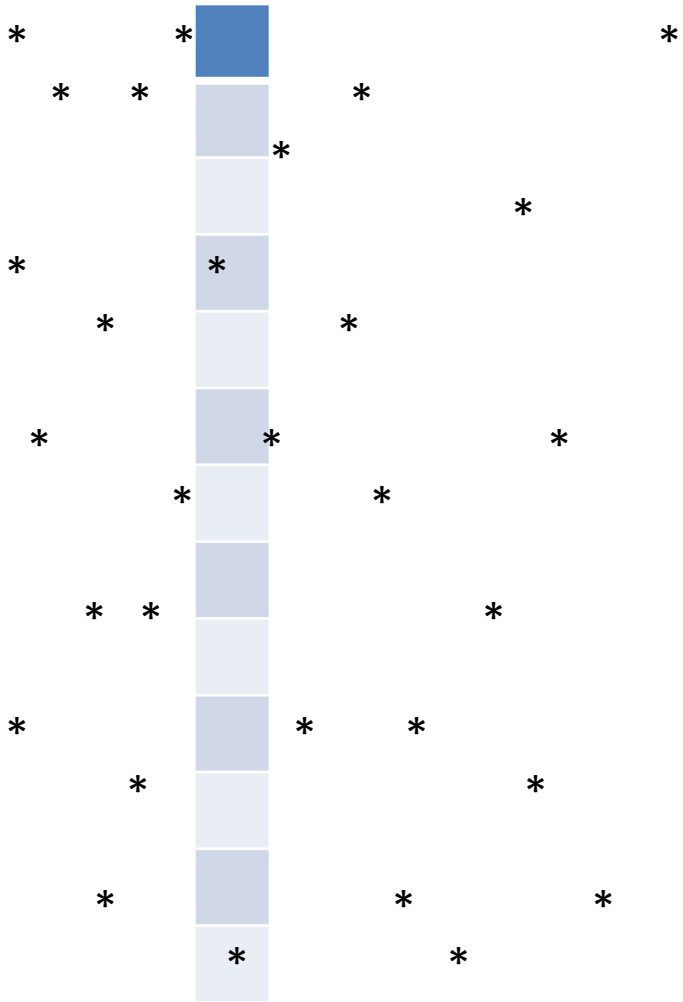
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



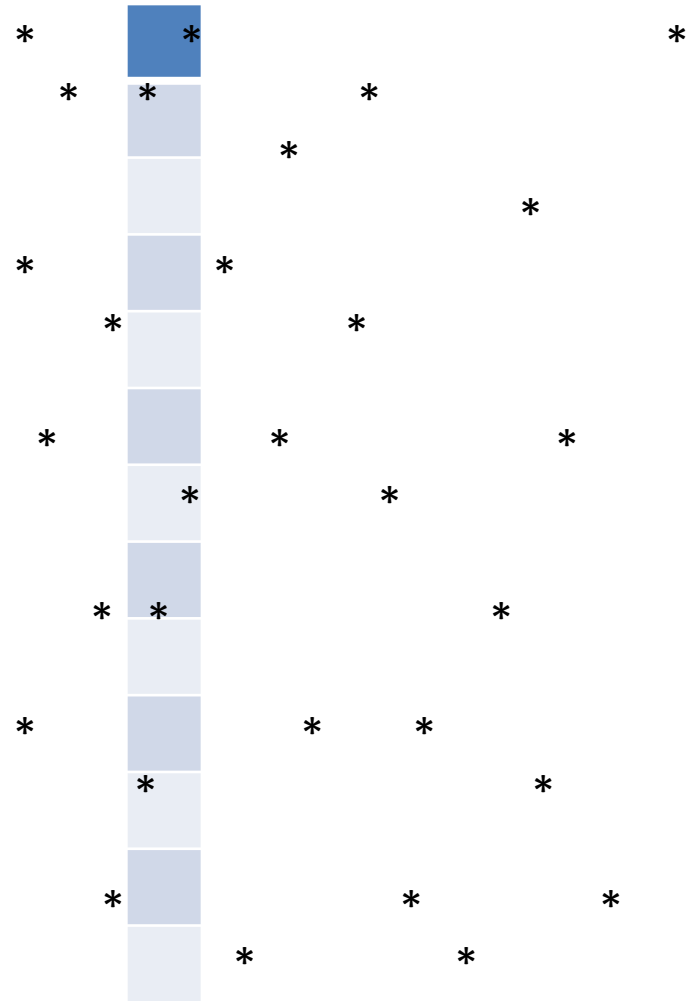
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



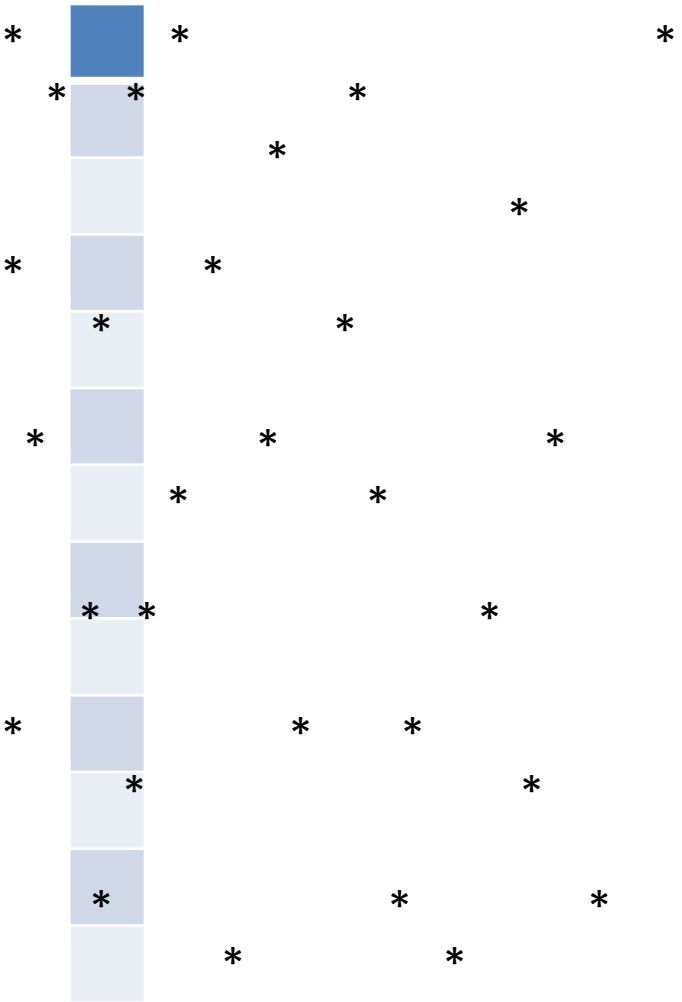
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



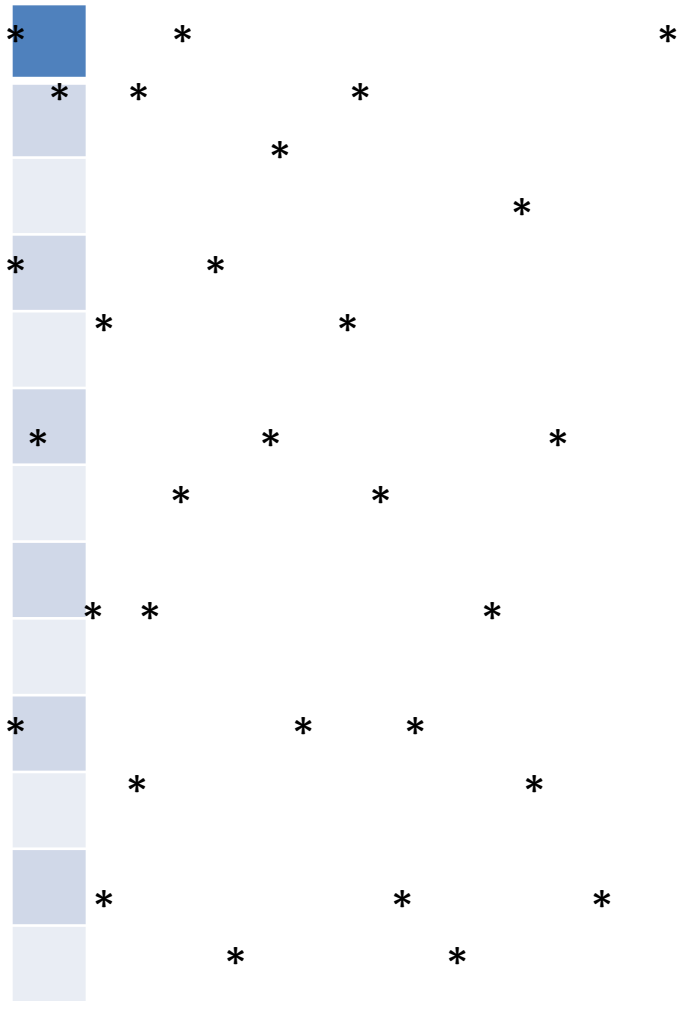
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



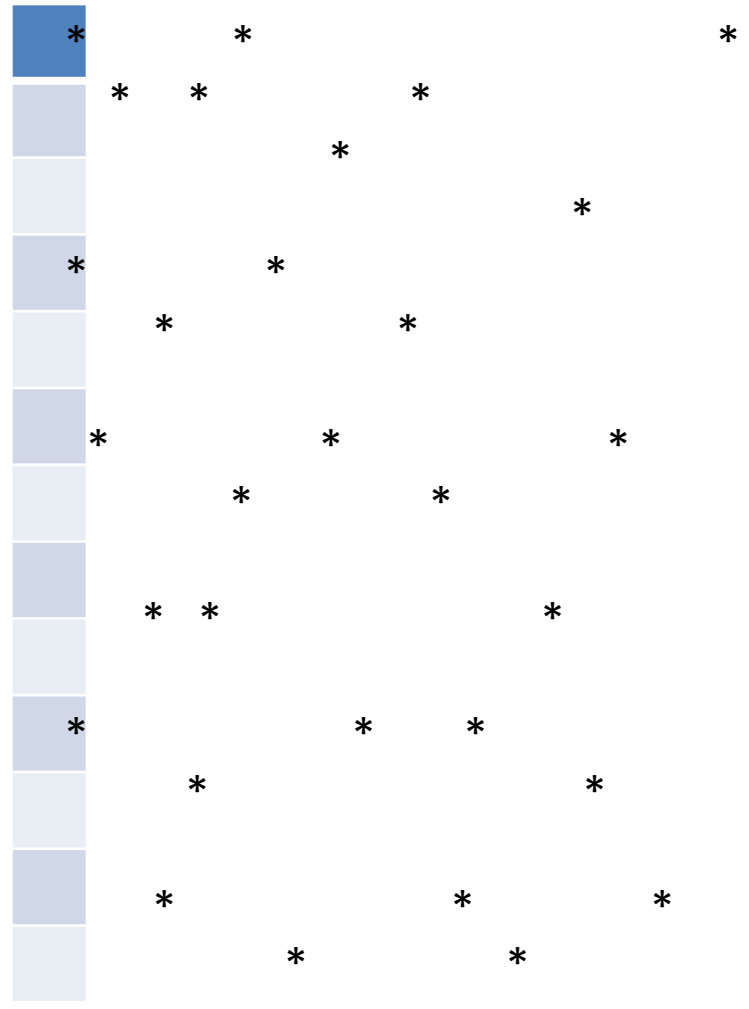
➔ le ciel défile ➔

Le principe TDI: scanner le ciel



➔ le ciel défile ➔

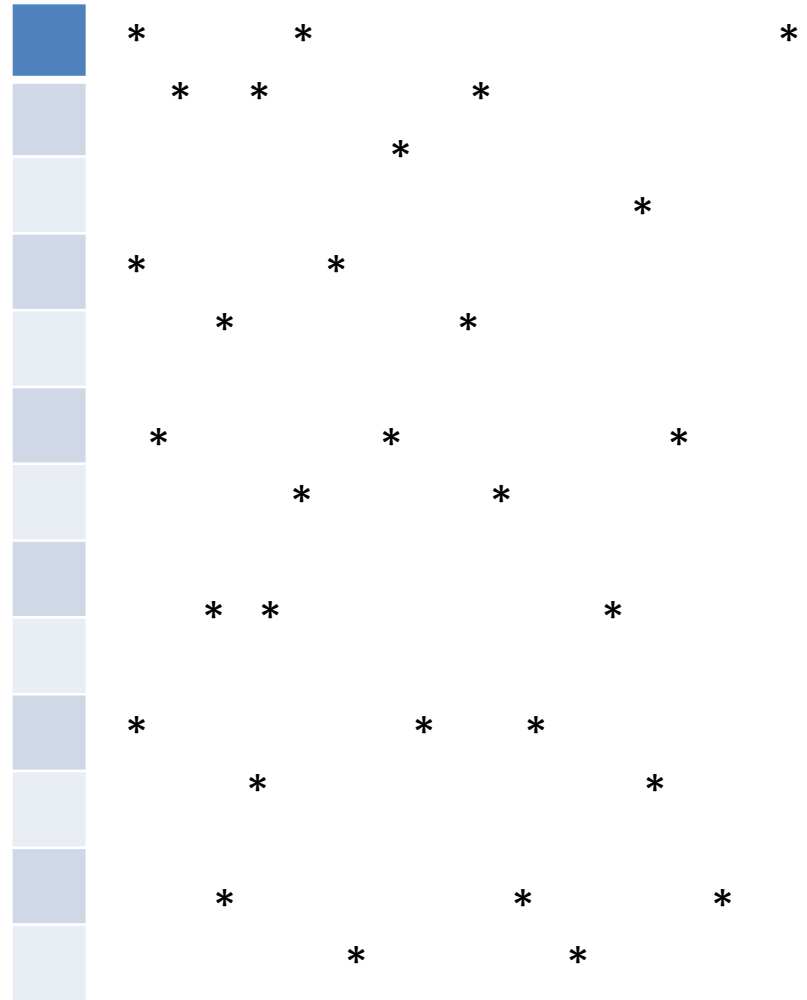
Le principe TDI: scanner le ciel



➔ le ciel défile ➔

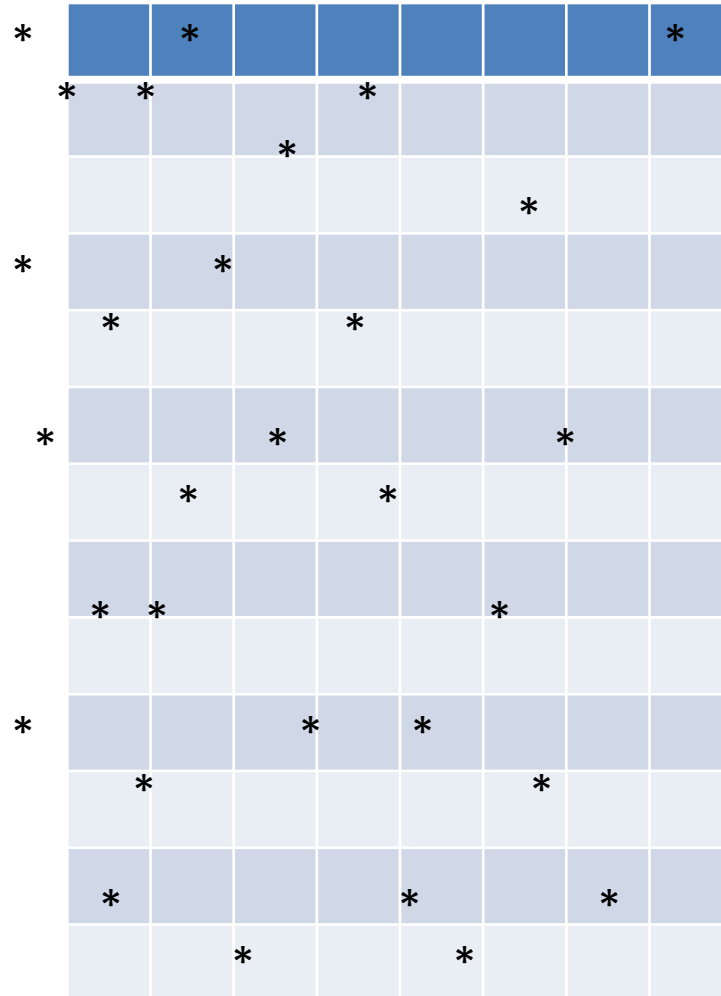
Le principe TDI: scanner le ciel

Lecture de la colonne de pixels à chaque fois que les étoiles ont avancé de la largeur de la colonne
→ reconstruction de l'image



Le principe TDI: scanner le ciel

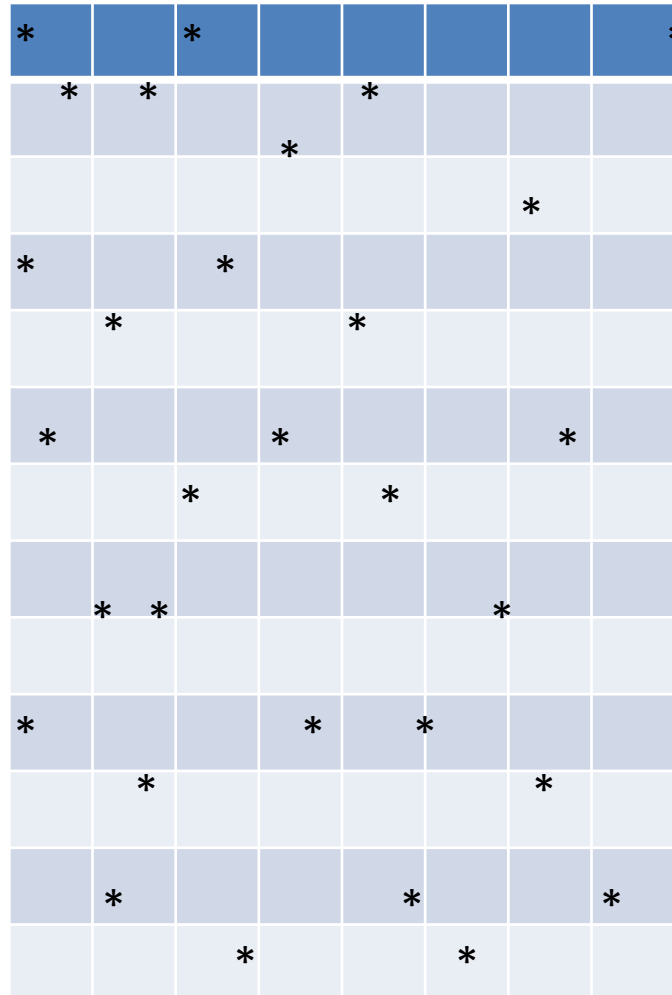
Si on remplace la colonne par une matrice CCD classique, on sommerait les images d'une même étoile faites sur chacune des colonnes.
La longueur de l'image ne dépend que de la durée d'observation.



→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel

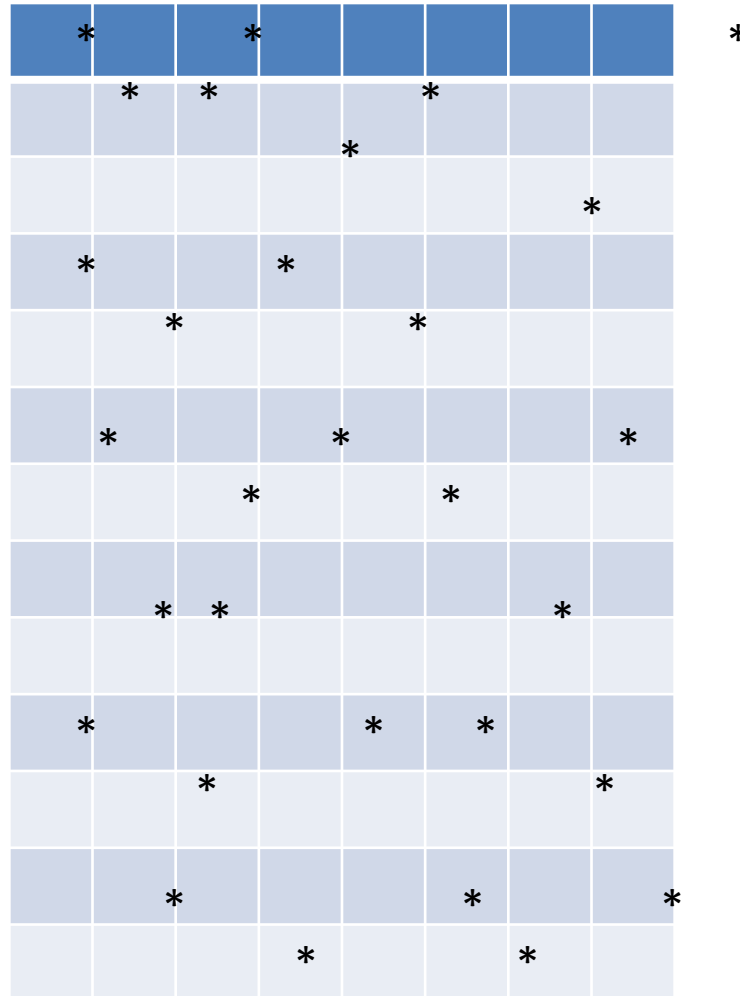
Si on remplace la colonne par une matrice CCD classique, on sommerait les images d'une même étoile faites sur chacune des colonnes.
La longueur de l'image ne dépend que de la durée d'observation.



→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel

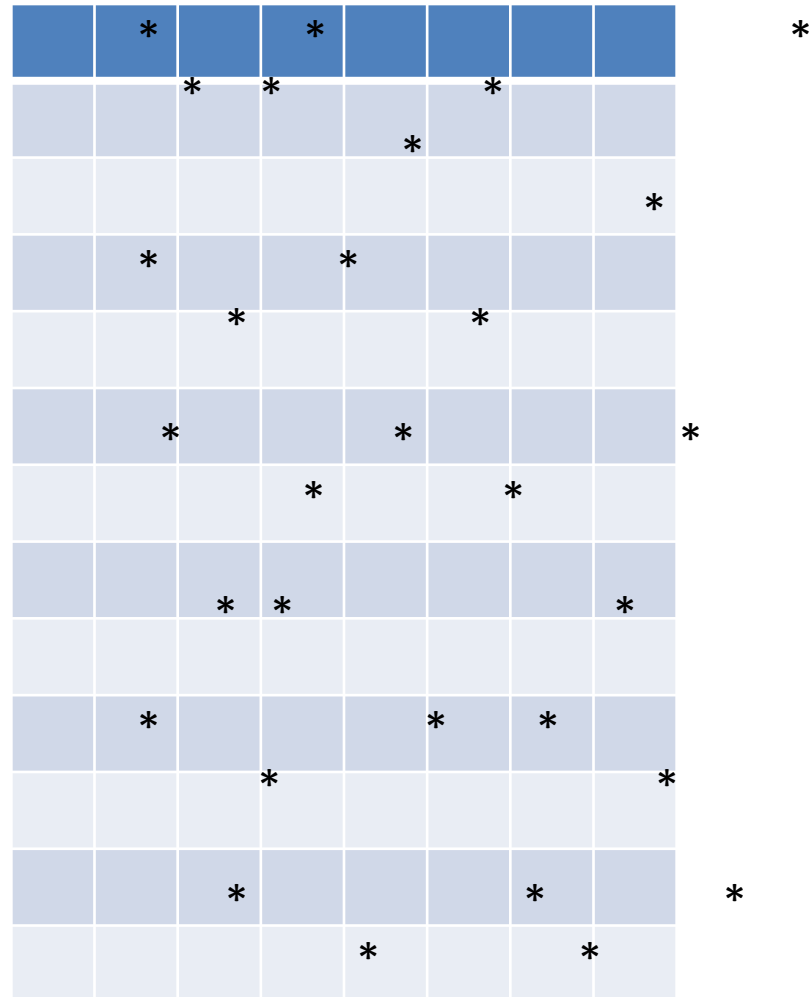
Si on remplace la colonne par une matrice CCD classique, on sommerá les images d'une même étoile faites sur chacune des colonnes.
La longueur de l'image ne dépend que de la durée d'observation.



→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel

Si on remplace la colonne par une matrice CCD classique, on sommerá les images d'une même étoile faites sur chacune des colonnes.
La longueur de l'image ne dépend que de la durée d'observation.

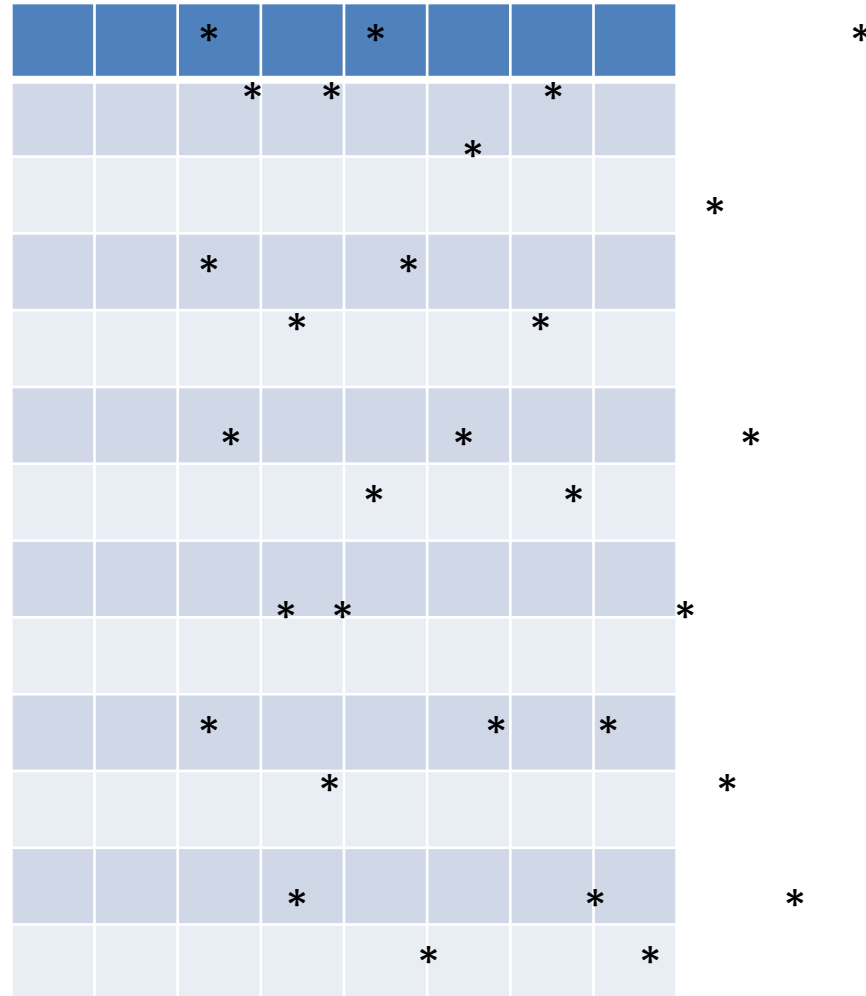


→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel

Si on remplace la colonne par une matrice CCD classique, on sommerait les images d'une même étoile faites sur chacune des colonnes.

La longueur de l'image ne dépend que de la durée d'observation.

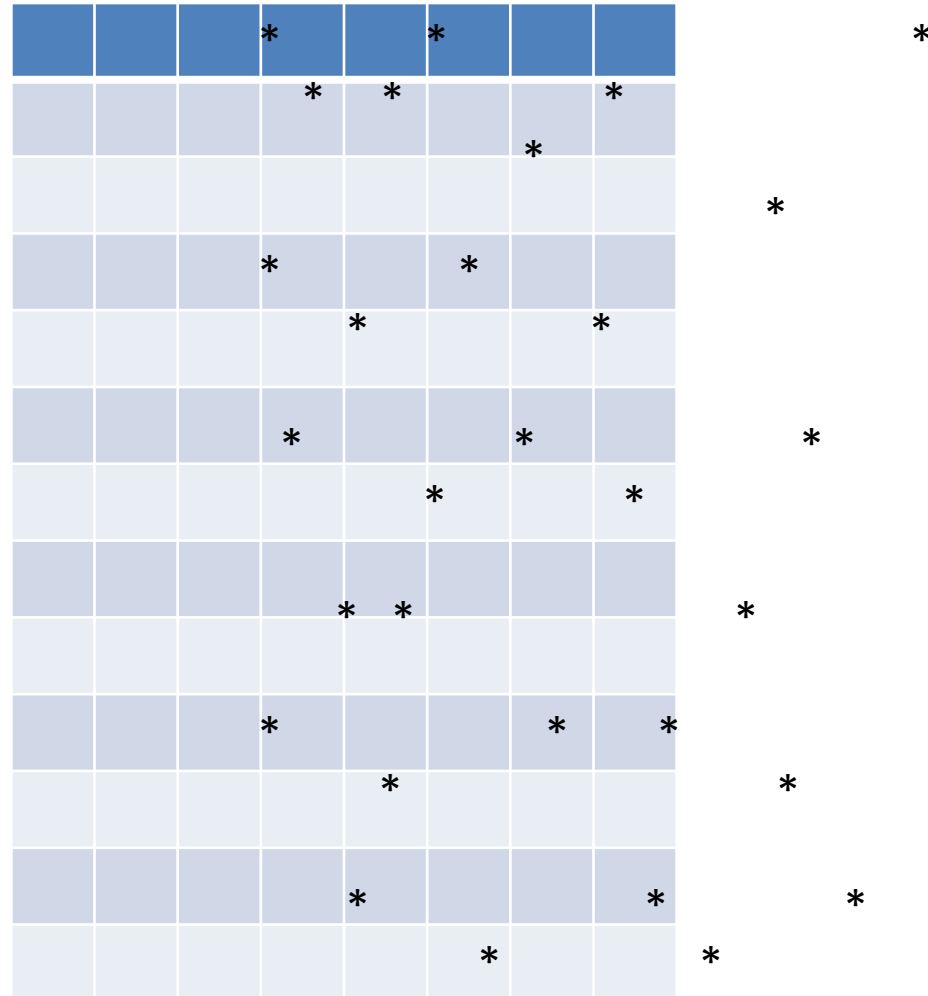


→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel

Si on remplace la colonne par une matrice CCD classique, on sommerait les images d'une même étoile faites sur chacune des colonnes.

La longueur de l'image ne dépend que de la durée d'observation.

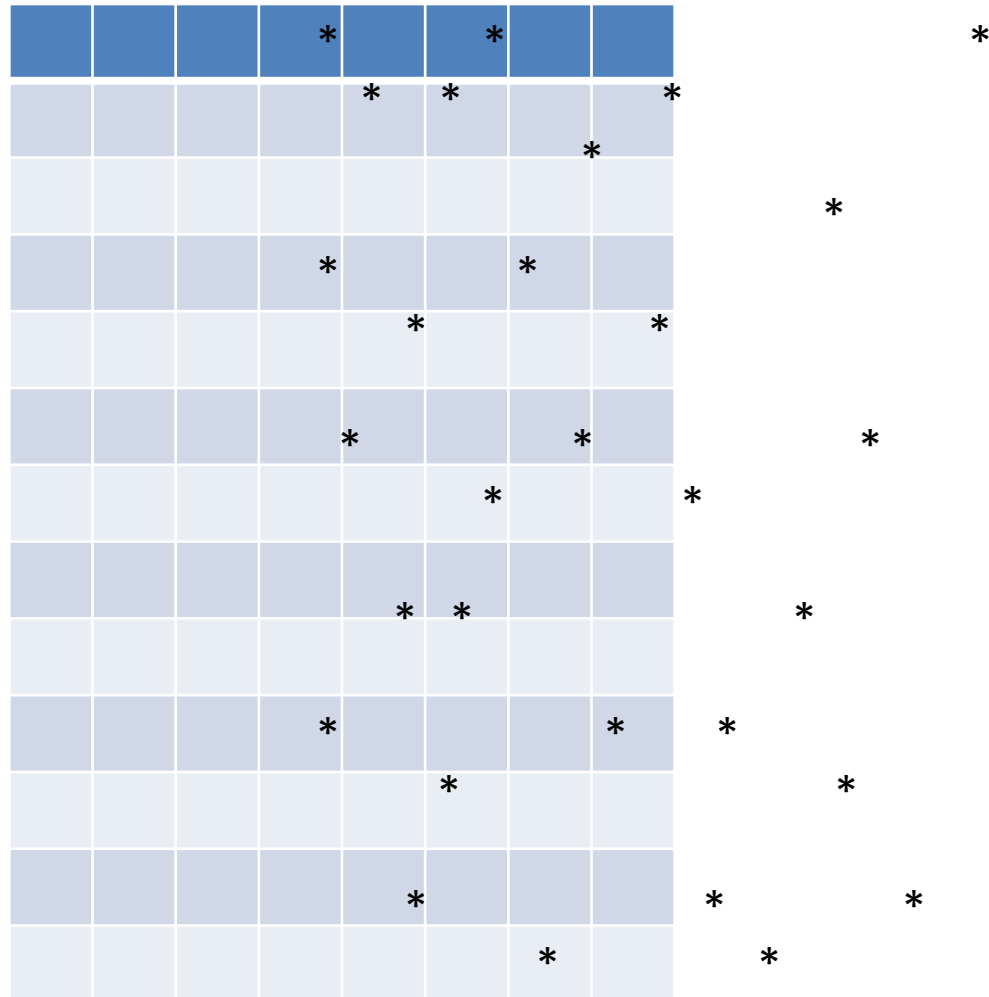


→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel

Si on remplace la colonne par une matrice CCD classique, on sommerait les images d'une même étoile faites sur chacune des colonnes.

La longueur de l'image ne dépend que de la durée d'observation.

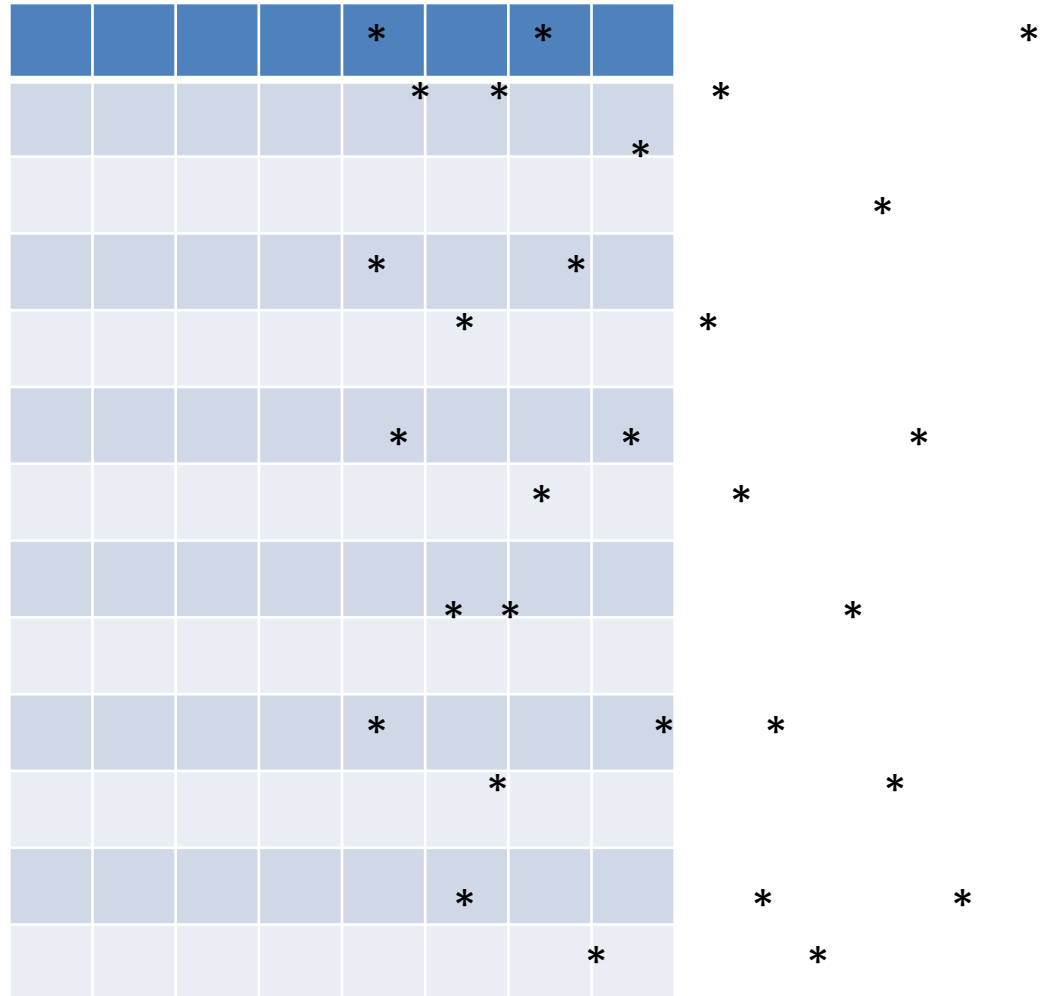


→ le ciel défile →

Le principe TDI: scanner le ciel

Si on remplace la colonne par une matrice CCD classique, on sommerait les images d'une même étoile faites sur chacune des colonnes.

La longueur de l'image ne dépend que de la durée d'observation.



→ le ciel défile →

Exploiter les images

- Observer le film du passage en temps réel (3,44 minutes) et déterminer l'instant de passage pour:
 - Une étoile
 - Une planète (Jupiter, Saturne)
 - La Lune
 - Le Soleil avec un filtre (à midi!)
- Utiliser l'observation aujourd'hui

Utiliser l'observation aujourd'hui

- Pour mesurer la longitude d'Hendaye
 - Les coordonnées de l'objet observé sont supposées connues
 - On compare l'instant de passage à Hendaye à l'instant de passage calculé à Greenwich
- Pour mesurer les coordonnées de l'objet observé
 - On mesure t temps de passage et h hauteur sur l'horizon
 - On applique la formule $H = T - \alpha$

En conclusion

- La lunette d'Abbadia est d'un fonctionnement aisé
- Elle montre comment la mesure du ciel s'est faite
- Elle est un outil pédagogique pour expliquer la sphère céleste
- Elle accueille des étudiants (ESTIA) et des amateurs (SAPCB) qui peuvent expliquer son fonctionnement