

Physique de la Terre I

- Situation dans l'Univers
- Histoire
- Mouvements

Notions utilisées :

1. Introduction
7. Mécanique classique

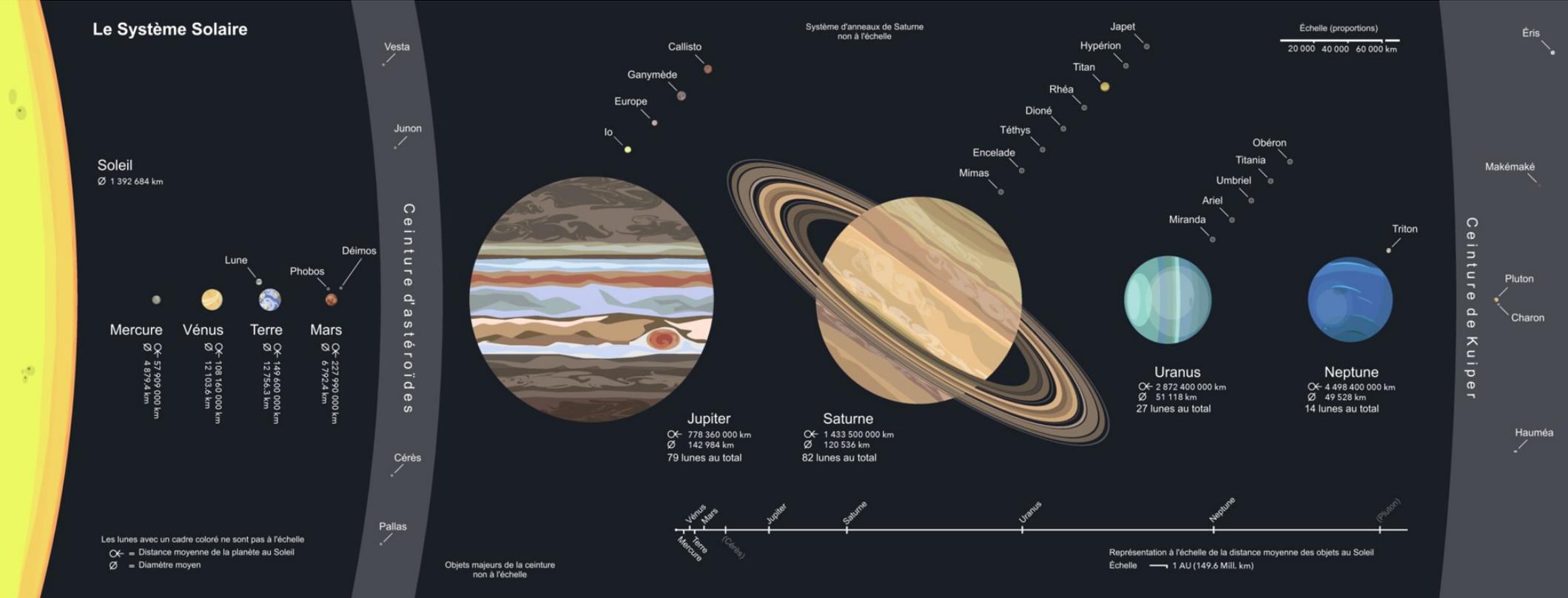


Donnez-moi un point fixe et un levier et je soulèverai la Terre.

Archimède

Pour une meilleure compréhension, certaines explications pourront être légèrement simplifiées/tronquées
Images : Wikipedia sauf mention contraire

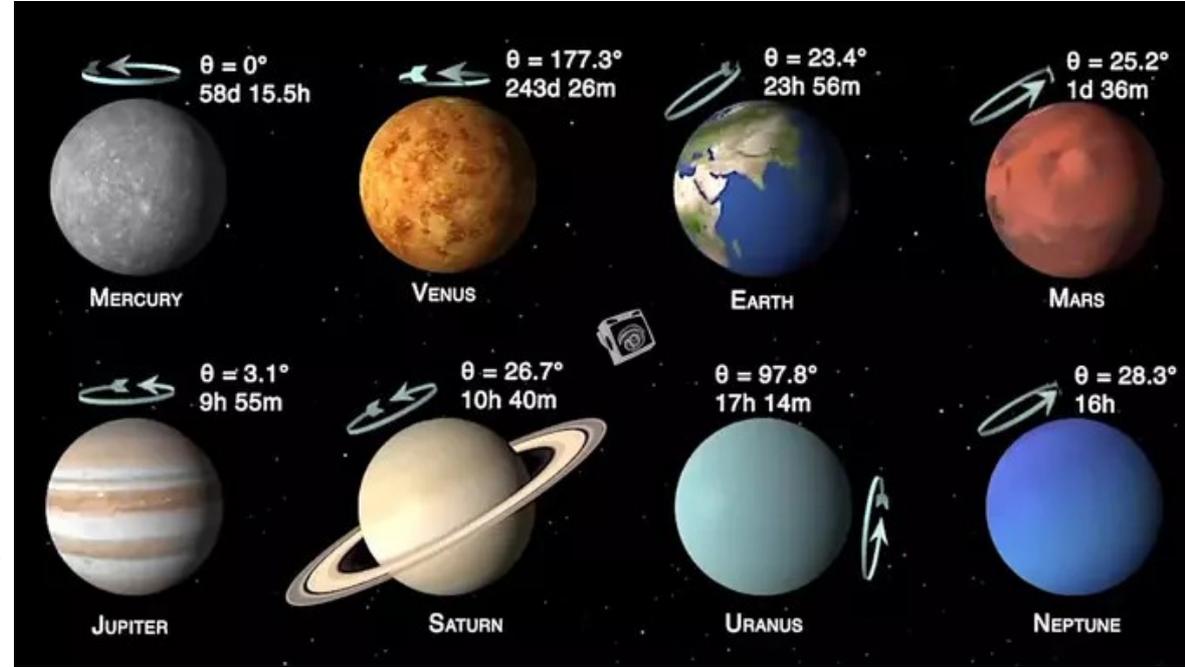
Où sommes nous ?



Ceinture de Kuiper : zone en forme d'anneau s'étendant au-delà de l'orbite de Neptune (entre 30 et 55 unités astronomiques) principalement composée de petits corps, restes de la formation du Système solaire, et d'au moins 4 planètes naines : Pluton, Makémaké, Éris et Hauméa

Le Système solaire

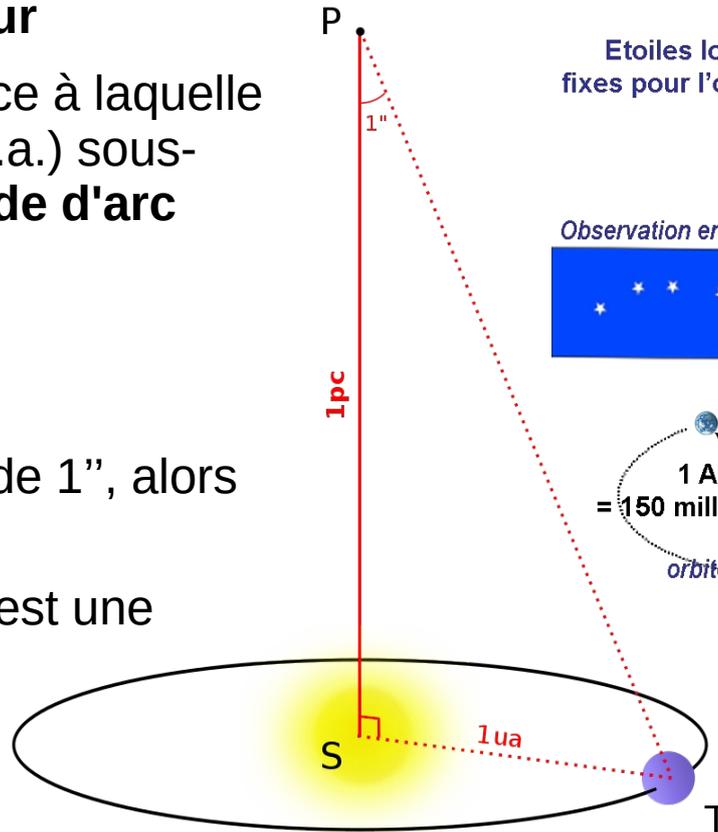
- Distance :
 - Terre-Soleil : 150 Mkm (1 u.a.)
 - Orbite Neptune : 10 Gkm
 - Influence gravitationnelle prépondérante du Soleil : ~ 3 a.l.
- Contenu :
 - 1 étoile
 - 8 planètes
 - 5 planètes naines (Cérès, Pluton, Hauméa, Makémaké et Éris)
 - 600+ satellites
 - 1 000 000+ corps répertoriés



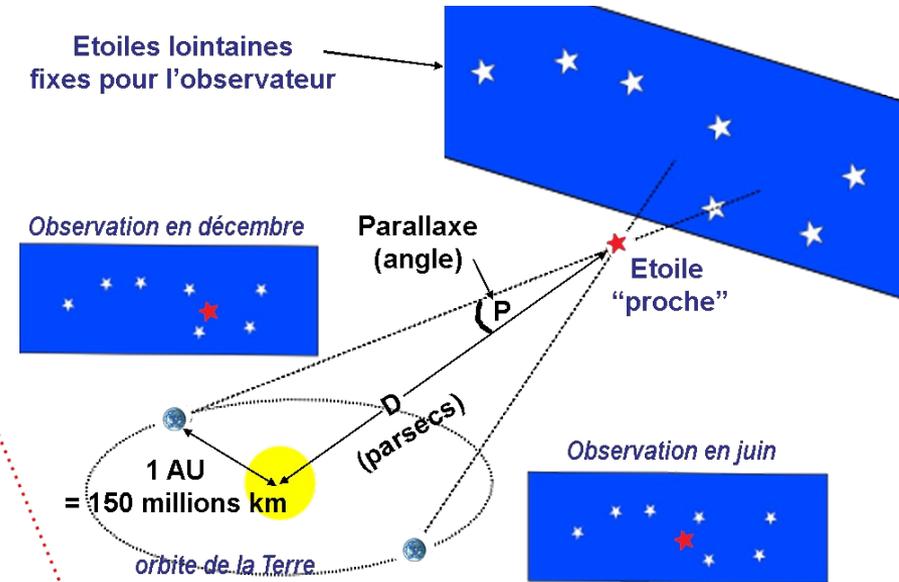
Mon Vieux Tu Me Jettes Sur
Une Nouvelle « Planète »

Le parsec

- Contraction de « **parallaxe-seconde** »
- Le parallaxe est l'**effet du changement de position de l'observateur**
- Définition historique : distance à laquelle une **unité astronomique (u.a.)** sous-tend un **angle d'une seconde d'arc**
 - 1 cercle correspond à 360°
 - $1'$ (minute d'arc) = $1^\circ/60$
 - $1''$ (seconde d'arc) = $1^\circ/3600$
- « Si le parallaxe annuel est de $1''$, alors l'étoile est située à 1 pc »
- Tout petit angle \Rightarrow le parsec est une très grande distance !
 - $206\,265 \text{ u.a.} = 3 \times 10^{16} \text{ m}$
 $= 3,26 \text{ a.l.}$

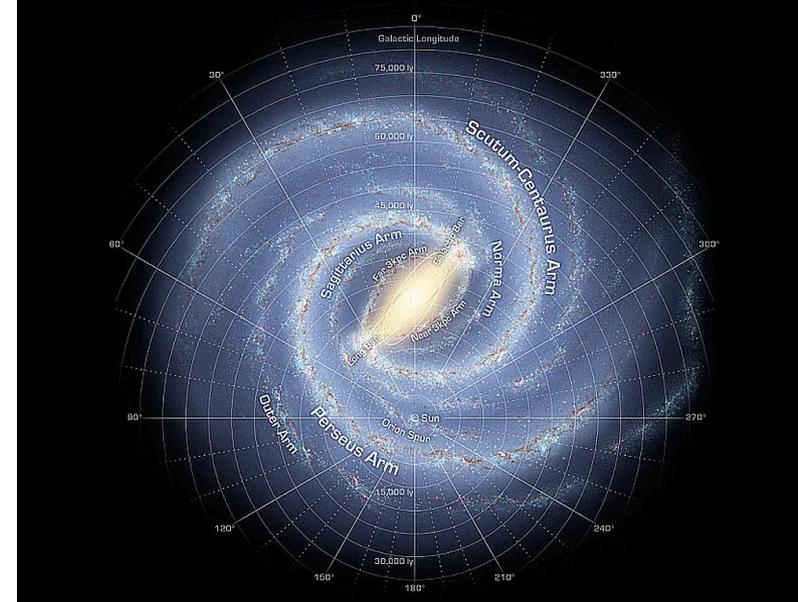


- Définition actuelle : **rayon d'un cercle** dont l'arc, soutenu par un angle au centre d'une seconde d'arc, mesure exactement une unité astronomique.
 - Différence faible : 200 km



La Voie Lactée

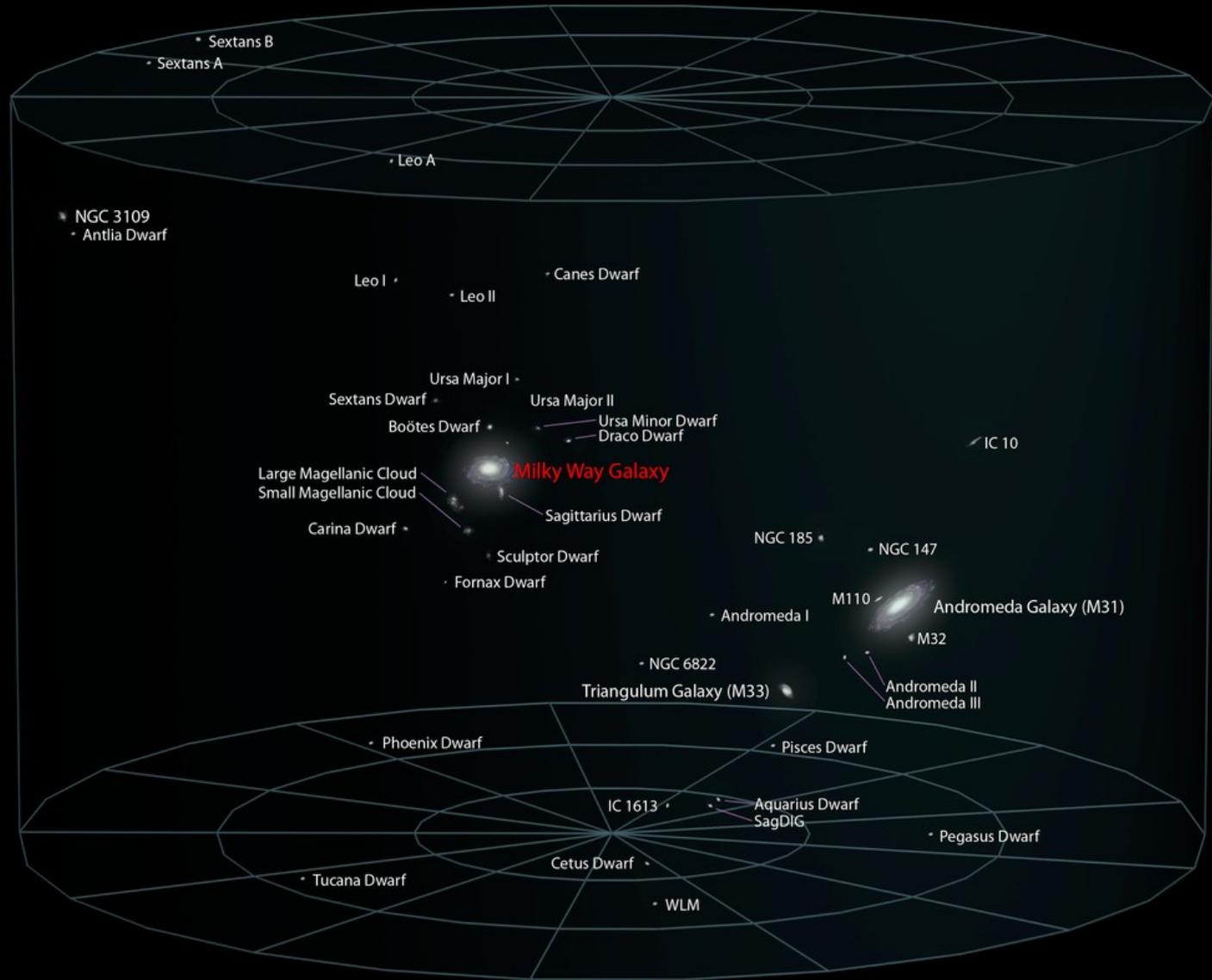
- **Galaxie spirale**
 - Diamètre : 30000 pc \approx 100 000 a.l.
 - Nous sommes à 26 000 a.l. du centre
 - 200-400 milliards d'étoiles, 100 milliards de planètes
- Situation du Système solaire probablement un **facteur dans l'émergence et le développement de la vie sur Terre**
 - Orbite **presque circulaire**, \sim même vitesse de rotation que les **bras spiraux** (\sim 200 km/s) \rightarrow ne les traverse que rarement.
 - Bras en spirale abritent bcp de **supernovas potentiellement dangereuses** (rayonnements et instabilités gravitationnelles)
 - \rightarrow **longues périodes de stabilité interstellaire favorables à la vie**



Vue à 360° de la Voie lactée (photomontage à partir de photos prises dans les hémisphère nord et sud)

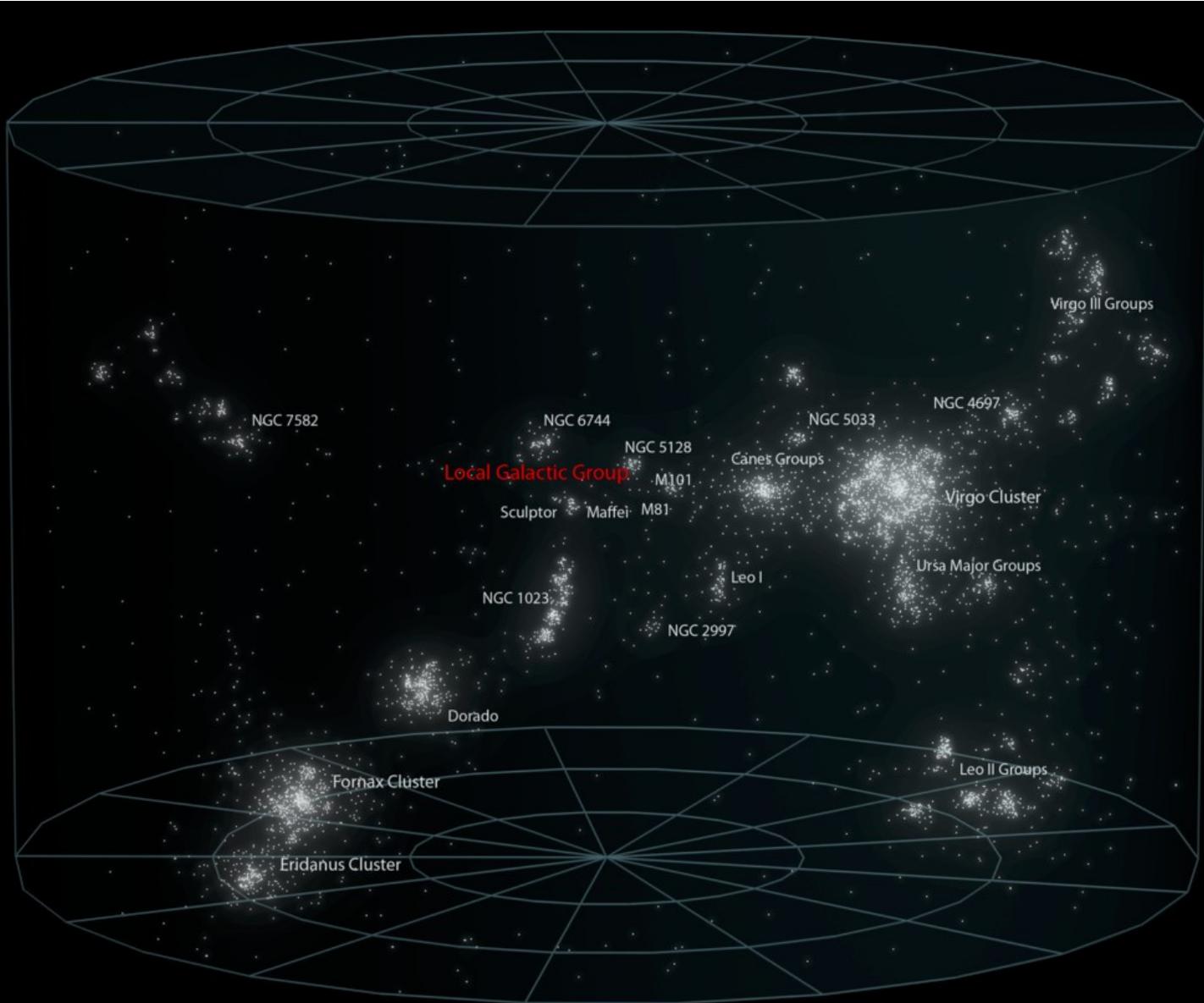
Le groupe local

- Ordres de grandeur :
 - Distances :
 $3 \text{ Mpc} \approx 10 \text{ Mal}$
 - Vitesse vers le centre du groupe local :
 $\sim 65 \text{ km/s}$



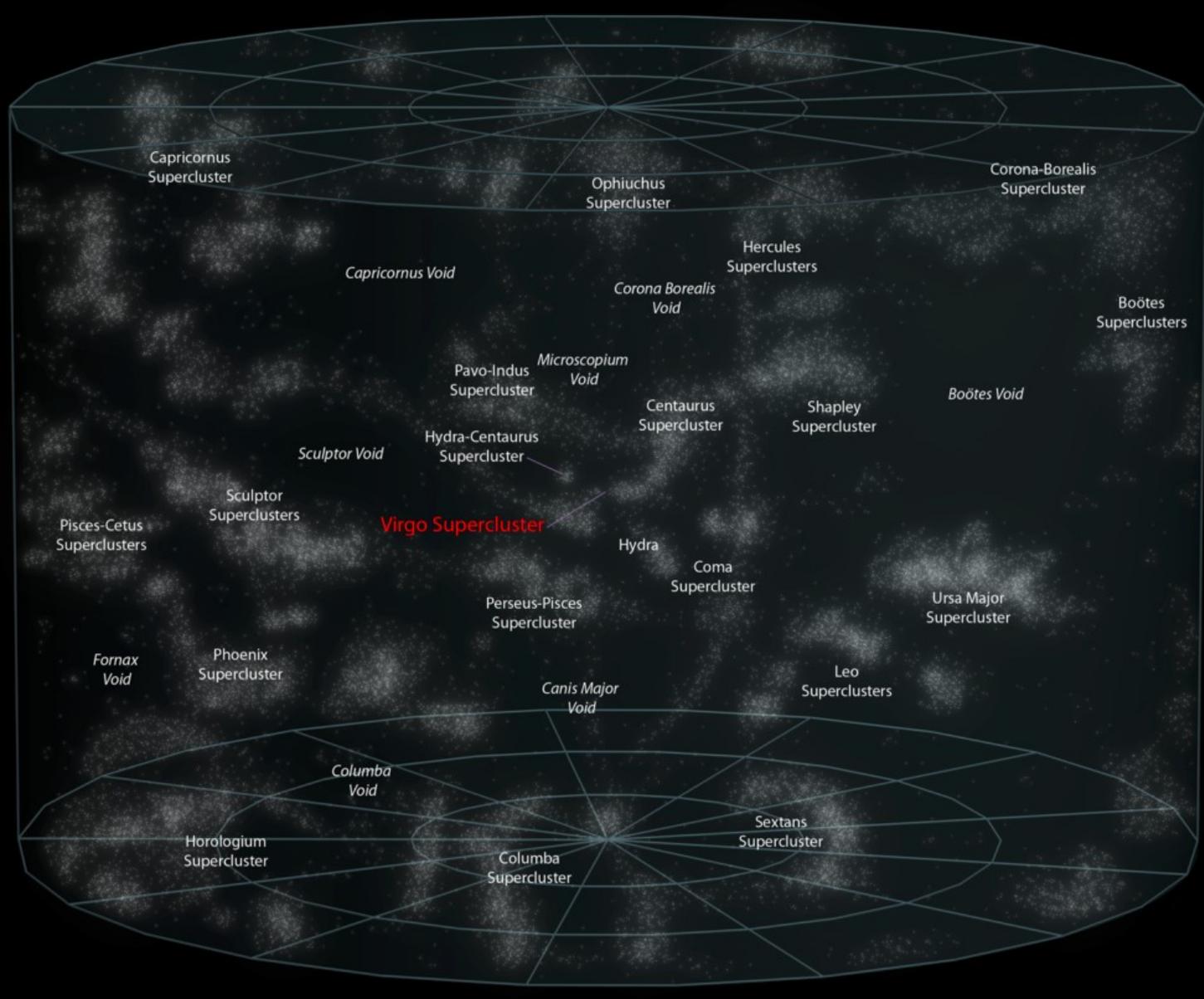
Le superamas de la Vierge

- Ordres de grandeur
 - Distances :
30 Mpc \approx 100 Mal
 - Vitesse : 600 km/s
- A donné son nom à l'expérience Virgo
 - Horizon des détections envisagées



Le super-amas local

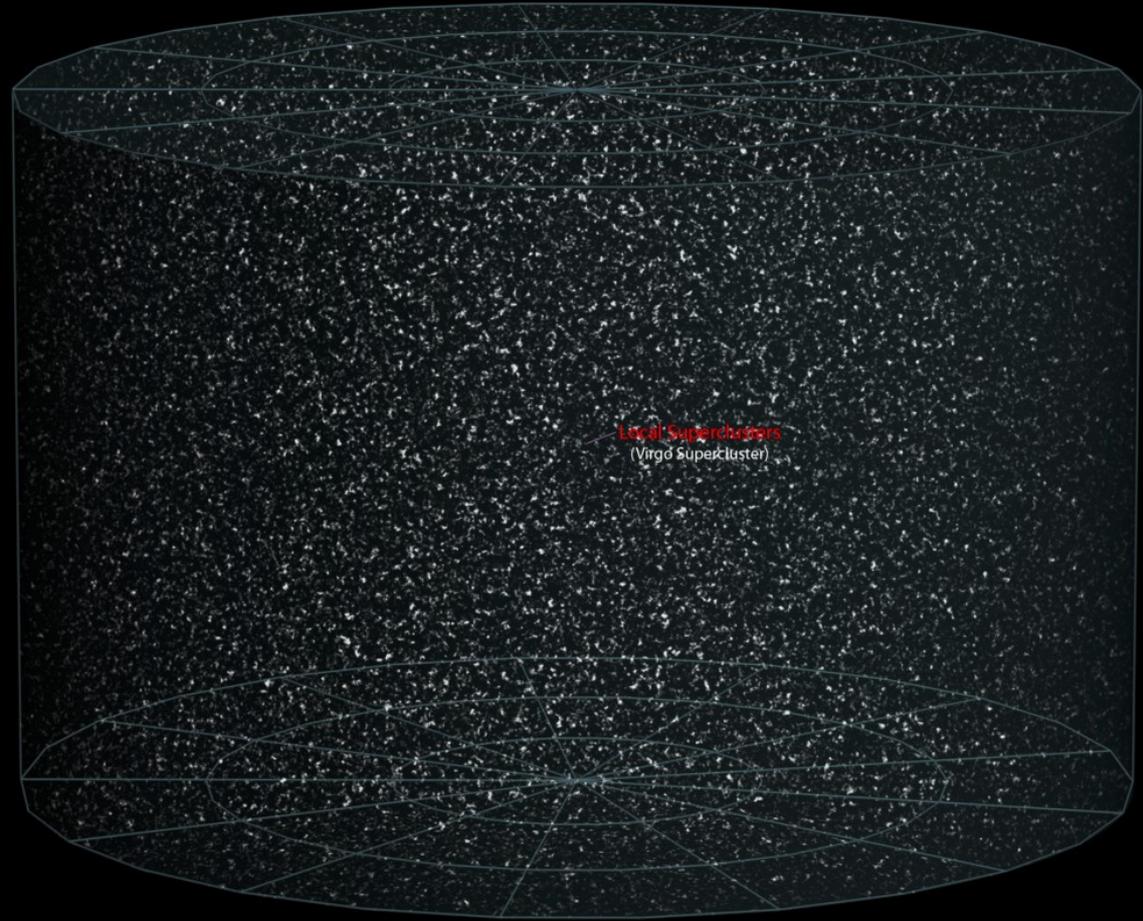
- Distances :
160 Mpc \approx
500 Mal



L'Univers observable

- = ce qui est **observable & mesurable**
- Vitesse de la lumière = vitesse limite \Rightarrow tout ce qui est situé **au-delà de l'horizon cosmologique ne peut être observé ni influencer ce qui peut être observé**
 - Le rayon de l'Univers visible est **une année-lumière plus grand chaque année**
- À quelle distance se situent **actuellement** les objets dont nous recevons la lumière qu'ils ont émise il y a 13,8 milliards d'années ?
 - **Modèle standard de la cosmologie** : distance actuelle de l'horizon cosmologique \approx **46,5 milliards d'années-lumière** \Rightarrow **diamètre de l'Univers observable \approx 93 milliards d'a.l.**
- Puis Univers...

OBSERVABLE UNIVERSE

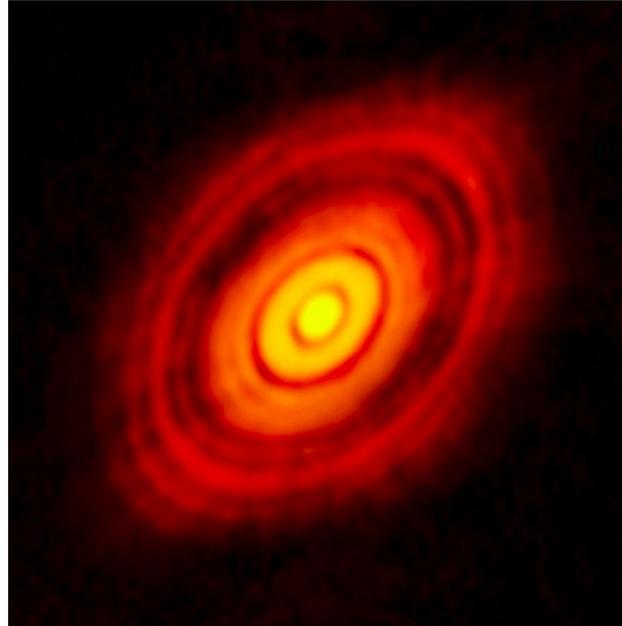


Formation du système solaire

- Il y a **4,6 milliards d'années** : **effondrement gravitationnel** d'une petite partie d'un nuage de gaz et de poussière géant (nébuleuse $\sim 10\ 000$ u.a.)
 - À l'intérieur d'un amas stellaire et à proximité de supernovas
 - → Soleil (plus grande partie) & **disque « protoplanétaire »**
 - La fusion nucléaire démarre dans le Soleil au bout de **quelques millions d'années**



Plusieurs disques protoplanétaires dans la nébuleuse d'Orion.



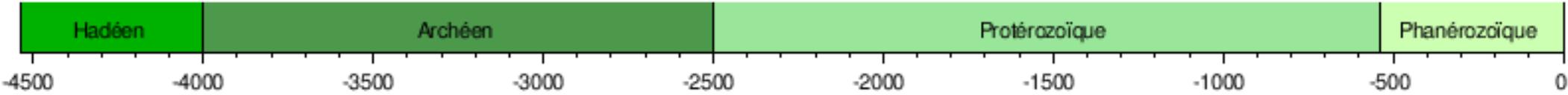
HL Tauri, une masse stellaire jeune entourée d'un disque protoplanétaire similaire au Soleil lors de sa formation

Formation de la Terre

- Excédent de masse de la nébuleuse solaire :
0,1% – 10 % M_{\odot}
- Gravité, pression des gaz et champs magnétiques → **aplatissement de la nébuleuse** en disque « **protoplanétaire** »
- Modèle de formation par **accrétion**
 - agglomération, chocs → formation de « **planétésimaux** »
- La Terre se forme **en même temps que les autres planètes** en moins de **20 millions d'années**
- Composition
 - **Force centrifuge** : les éléments les plus lourds s'éloignent du centre du nuage
 - **Température élevée** : l'hydrogène et de l'hélium peuvent dépasser la vitesse de libération du fait de leur agitation thermique
 - **Pas de champ magnétique** pour protéger des vents « proto-solaires »
 - Donc composition de la Terre est **très différente** de la composition moyenne de l'Univers



Les 4 « éons » de la Terre (1)



• Hadaïque :

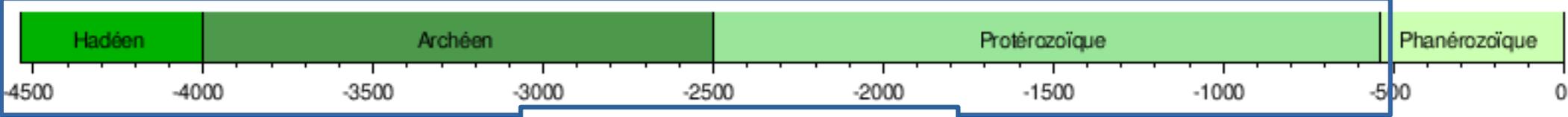
- Formation du **noyau**, solidification de la **croûte**
- Formation de la **Lune** par impact de Théia
- **Refroidissement** progressif
- - 4,2 Ga : formation des **océans**
- - 4 Ga : grand bombardement tardif (vaporisation de tout ou partie des océans !)

• Archéen

- = **apparition de la vie** sur Terre
- -3,5 Ga : Tp des océans baisse vers ~ 70°C
- Réactions chimiques pouvant se catalyser entre elles → complexification croissante
- **Pas de limite franche** entre un **système autocatalytique** et la **vie** (date d'apparition de la première cellule **inconnue**)
 - Un système assez stable et robuste pour assurer une **reproduction suffisamment fidèle** dans des conditions environnementales plus variées est qualifié d' « **autopoïétique** »
 - la « vie » commence et se répand en **quelques centaines à milliers d'années**
 - Caractéristiques essentielles : **délimitation** (membrane cellulaire), **réplication** (ADN), **métabolisme**



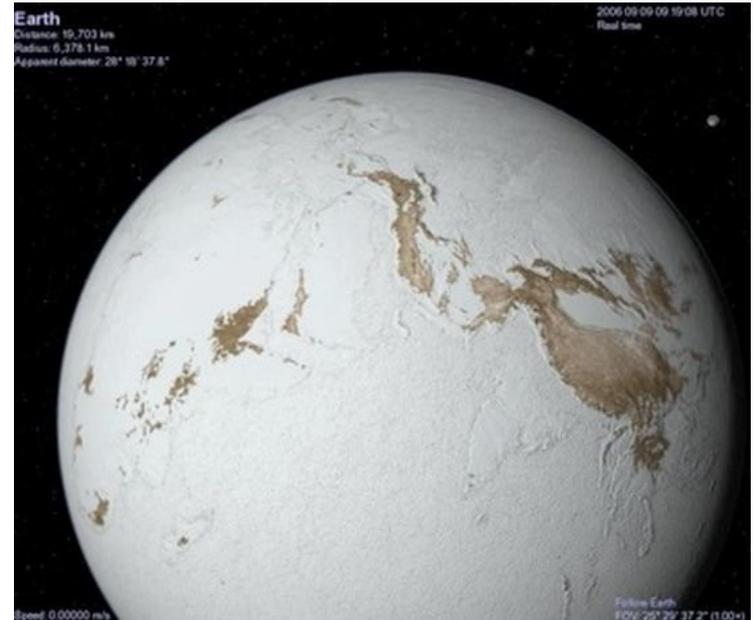
Les 4 « éons » de la Terre (2)



Précambrien = superéon

• Protérozoïque :

- Le plus long (la moitié de la vie de la Terre)
- Augmentation du taux d'**oxgène** dans l'air
 - Apparition de la respiration **aérobie**
- **Grande glaciation** : « Terre boule de neige »
- -2,2 Ga : plus anciennes formes **multicellulaires** connues (découvertes au Gabon)
- - 565 Ma : **cristallisation du noyau**, qui a peut-être permis de restaurer le **bouclier magnétique** terrestre, qui offrit la protection nécessaire à l' « explosion cambrienne »

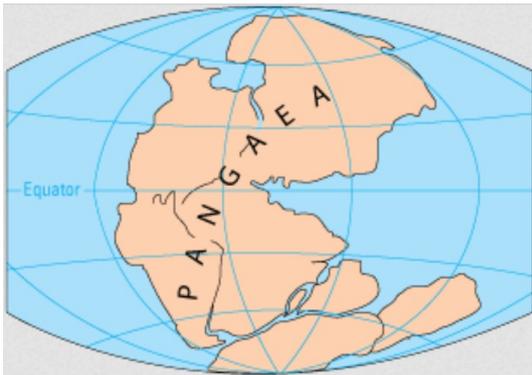


Les 4 « éons » de la Terre (3)



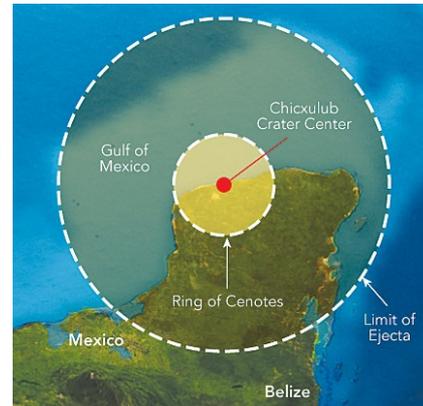
• Phanézoïque

- « **Explosion cambrienne** » : premiers poissons pourvus d'arêtes (ancêtres des vertébrés)
- Formation de la couche d'ozone, qui favorise l'aventure terrestre (« sortie des eaux »)
- -300 Ma : formation de la Pangée



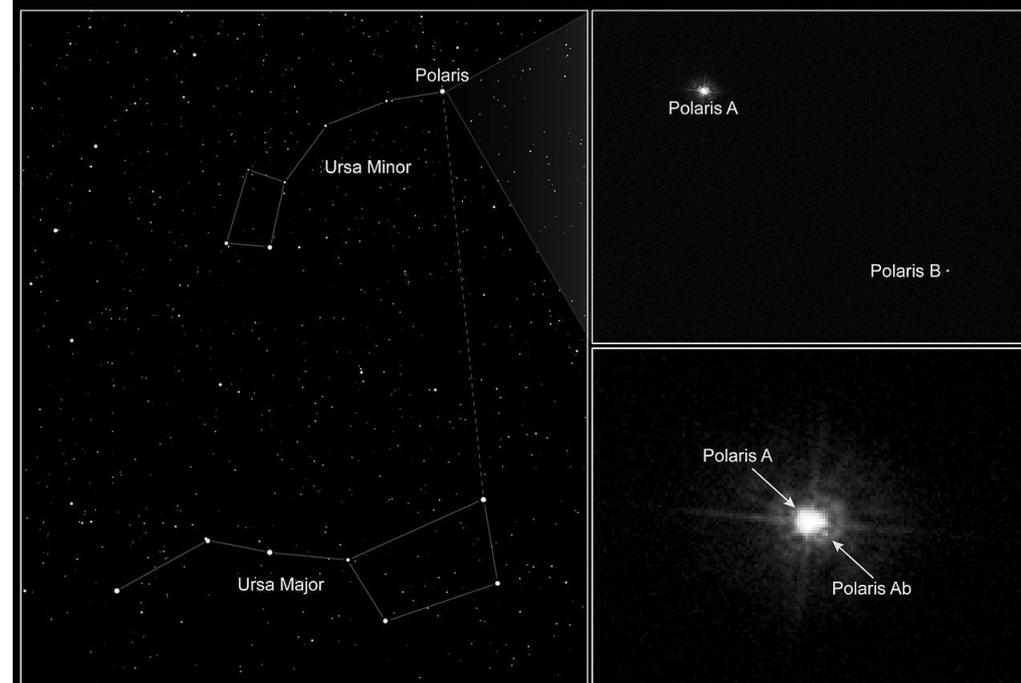
• Diverses extinctions :

- -250 Ma, « Grande Extinction » (supervolcan)
- -200 Ma, « Trias-Jurassique » : climat, astéroïdes, volcans
 - Permet l'« explosion radiative » des dinosaures et des mammifères en libérant des niches écologiques
- -65 Ma, « crétacé » : impacts massifs d'astéroïdes ?
- -600 000 ans : extinction de *l'homo erectus*



Les rotations de la Terre

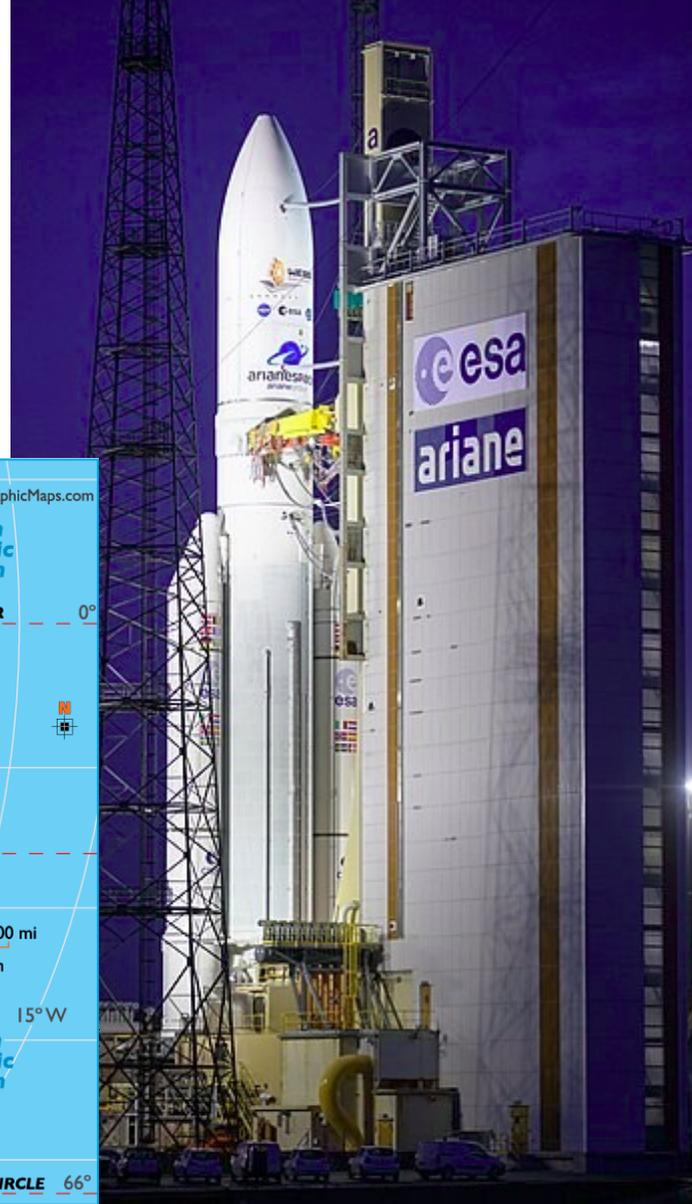
- Rotation **sur elle-même** en 23 h 56 min 4 s
 - Étoile polaire (Alpha Ursae Minoris) ~ sur l'axe de rotation
 - 24 h pour un jour solaire
 - 465 m/s à l'équateur (300 en France, 0 aux pôles)
- Rotation autour du **barycentre Terre-Lune** en 27,3 j
 - 29,5 j pour un mois lunaire
- Année **sidérale** (orbite autour du Soleil par rapport à des étoiles lointaines fixes) : 365,256 j
 - Année **tropique** (position apparente du Soleil ~ saisons) : 365,242 j
 - Différence : 20 minutes (précession des équinoxes)
 - Vitesse de 30 km/s
- Rotation autour du **centre de la galaxie**
 - $R = 26\ 000$ a.l., $T = 230\ 000\ 000$ années
 - Vitesse de 200 km/s



Lancement des fusées

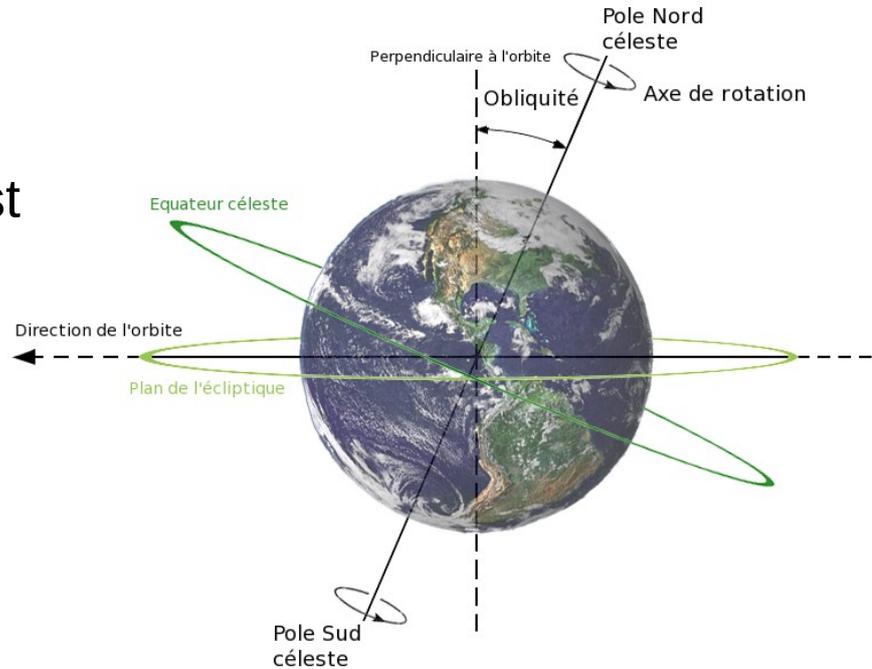
- La vitesse est plus élevée à l'équateur
- D'où l'utilisation de la base de Kourou en Guyane

- → **vitesse d'entraînement**
(= vitesse du référentiel en mouvement)



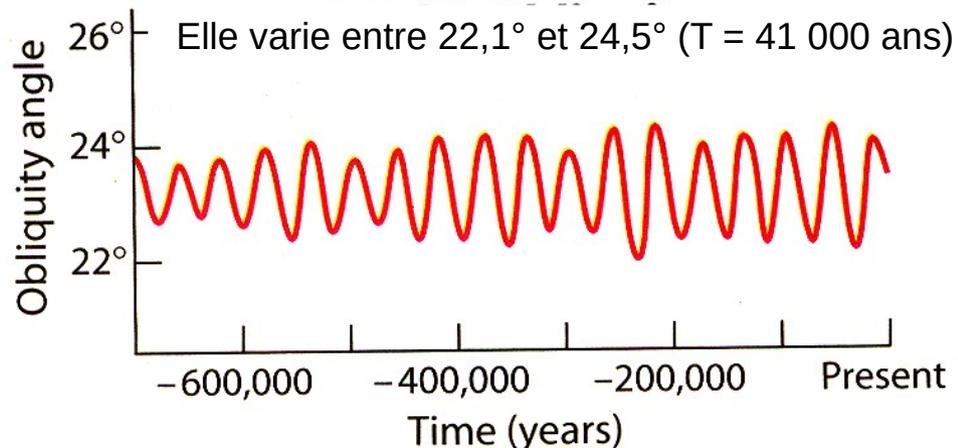
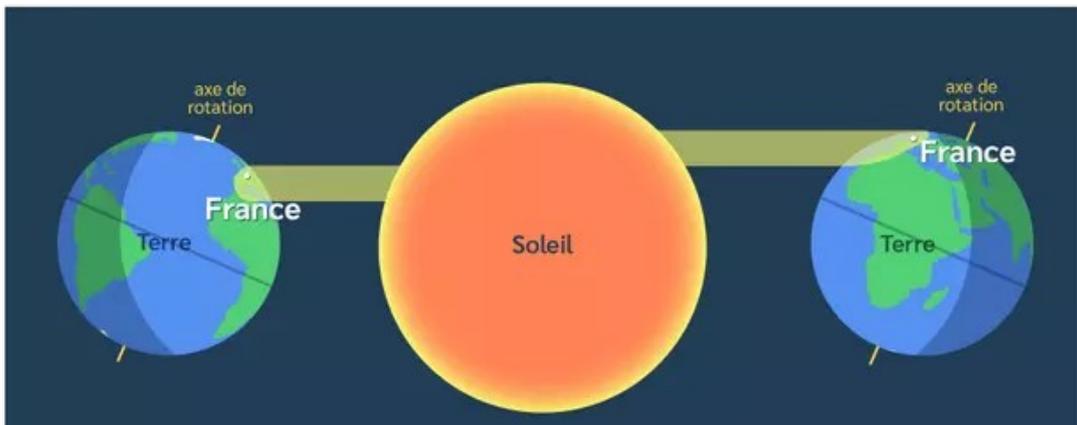
Les saisons

- L'axe de la rotation de la Terre sur elle-même n'est **pas perpendiculaire au plan de son orbite autour du Soleil** (= « plan de l'écliptique ») : angle = $23^{\circ}26'$
- L'**angle d'incidence** des rayons du Soleil varie donc au cours de l'année → **saisons**
 - (Pendant l'été de l'hémisphère nord, la Terre est au **plus loin** du Soleil)



C'est l'été en France.

C'est l'hiver en France.

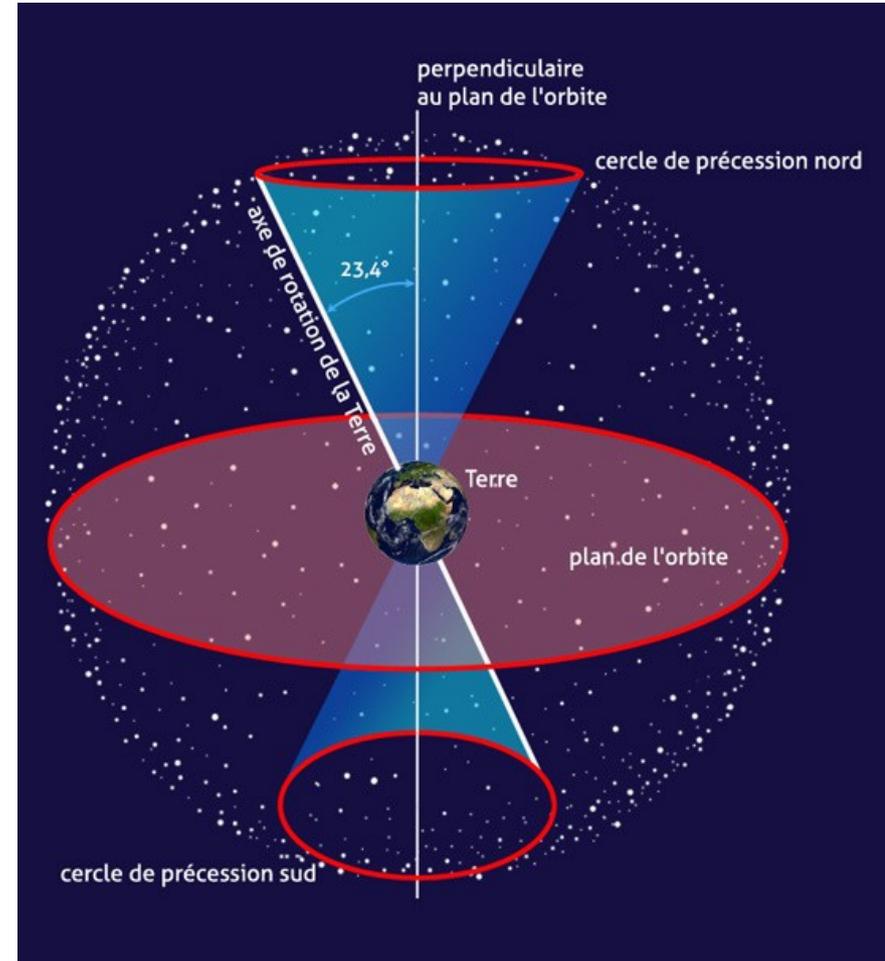


Précession des équinoxes

- Attractions du Soleil et de la Lune **non uniformes** à cause du **bouffélet équatorial** de la Terre
 - La Terre est soumise à la **précession** (**changement d'orientation de l'axe de rotation**, $T = 26\ 000$ ans) : elle tourne sur elle-même **comme une toupie**



Inception, C. Nolan, 2010



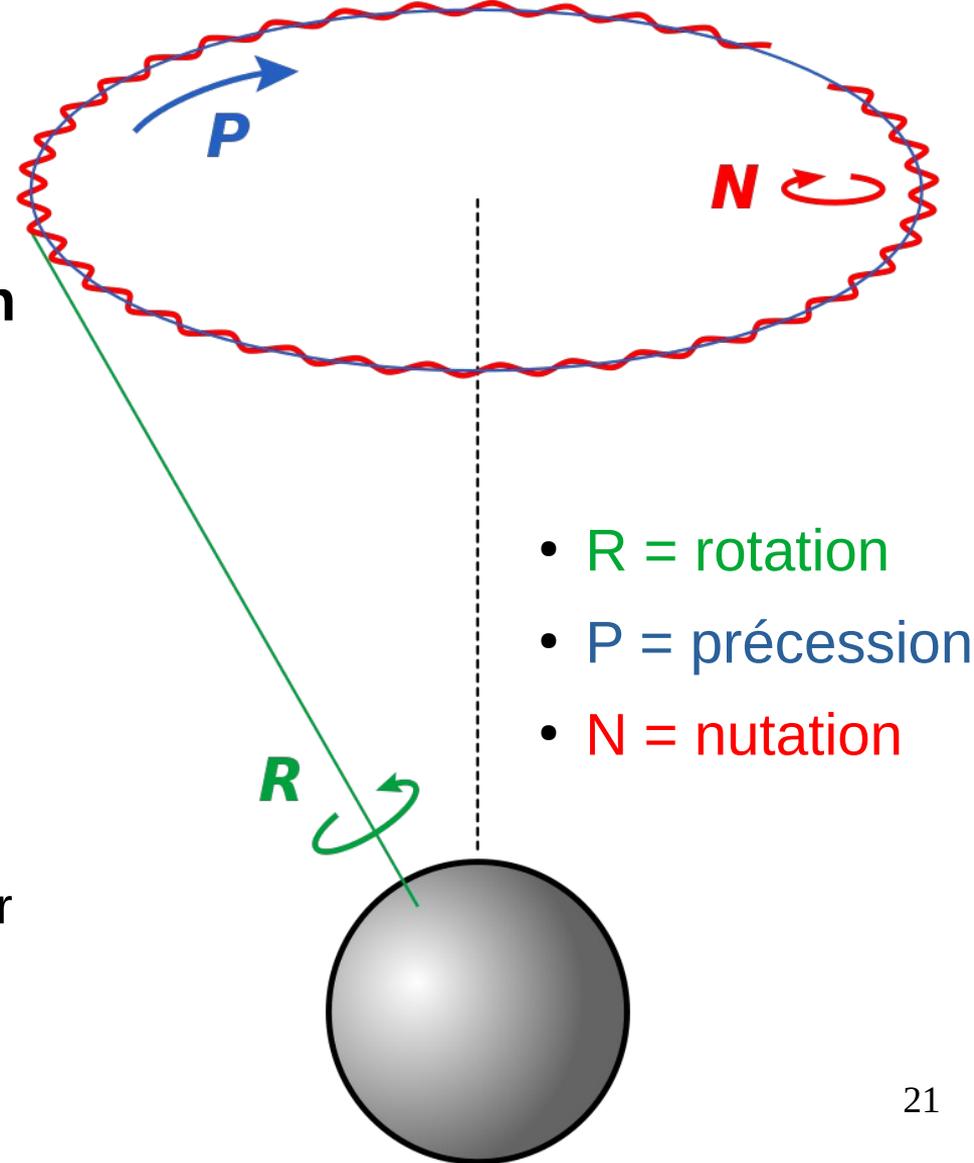
L'étoile polaire

- Elle change !
- Dans 2 000 ans, ce sera le tour d'Errai (gamma de Céphée) et dans 12 000 ans environ, celui de la **Véga** (alpha de la Lyre)



La nutation

- Mouvement **périodique** de l'axe de rotation d'un objet **autour de sa position moyenne**
- Due à l'attraction du Soleil et de la Lune (+ les autres planètes – 2%) sur une Terre **non sphérique**
- S'ajoute à la **précession**
- Découverte en 1748 par James Bradley
 - Premier à **confirmer** expérimentalement la **révolution de la Terre autour du Soleil** par des observations stellaires
 - Affine la mesure de la vitesse de la lumière



Les cycles de Milanković

- 3 paramètres :
 - **Excentricité**
 - **Obliquité**
 - **Précession des équinoxes**
- notamment utilisés dans le cadre de la théorie astronomique des **paléoclimats**
- « Solar forcing » = « forçage radiatif » = différence entre puissance radiative reçue et puissance radiative émise

