

# Physique de la Terre I

- Situation dans l'Univers
- Histoire
- Mouvements

## Notions utilisées :

1. Introduction
7. Mécanique classique

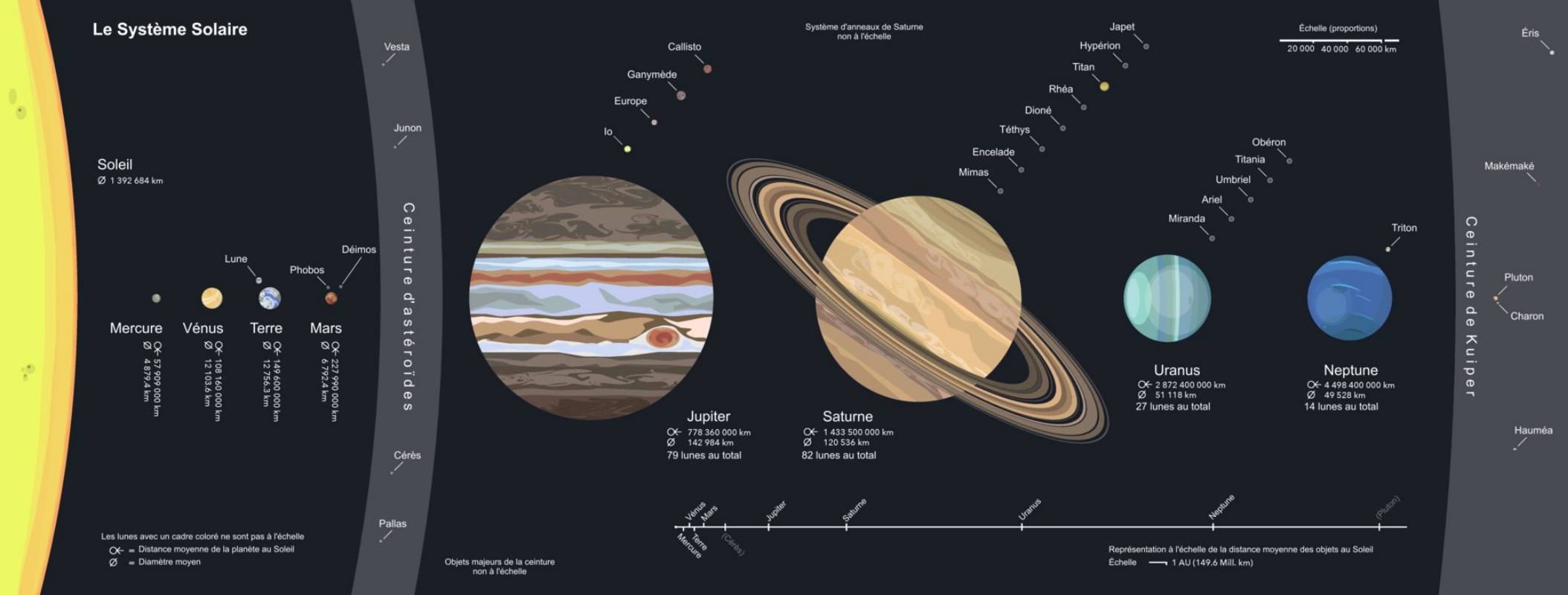


Donnez-moi un point fixe et un levier et je soulèverai la Terre.

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

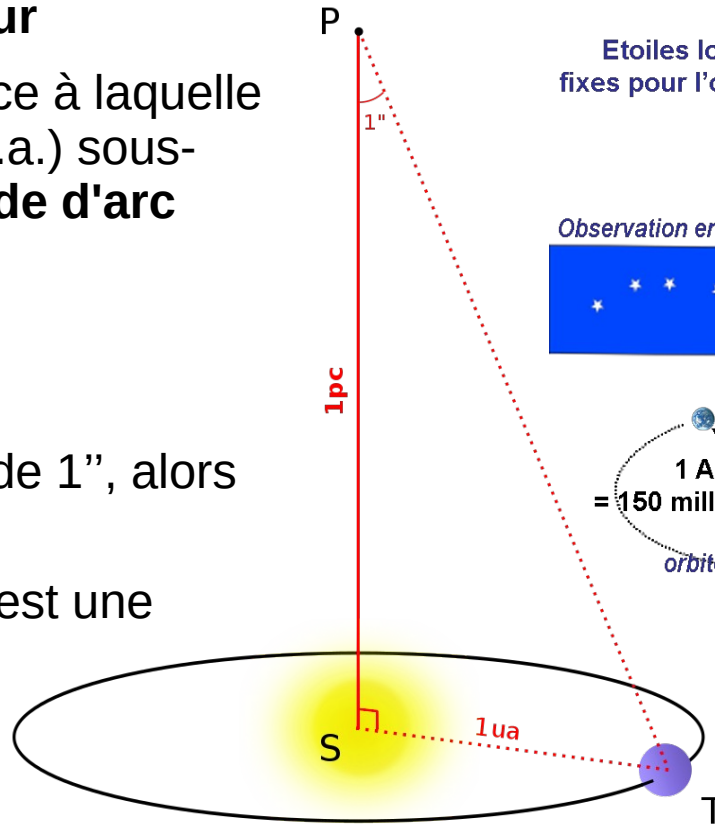
- Distance :
  - Terre-Soleil : 150 Mkm (1 u.a.)
  - Orbite Neptune : 10 Gkm
  - Influence gravitationnelle prépondérante du Soleil : ~ 3 a.l.
- Contenu :
  - 1 étoile
  - 8 planètes
  - 5 planètes naines (Cérès, Pluton, Hauméa, Makémaké et Éris)
  - 600+ satellites
  - 1 000 000+ corps répertoriés



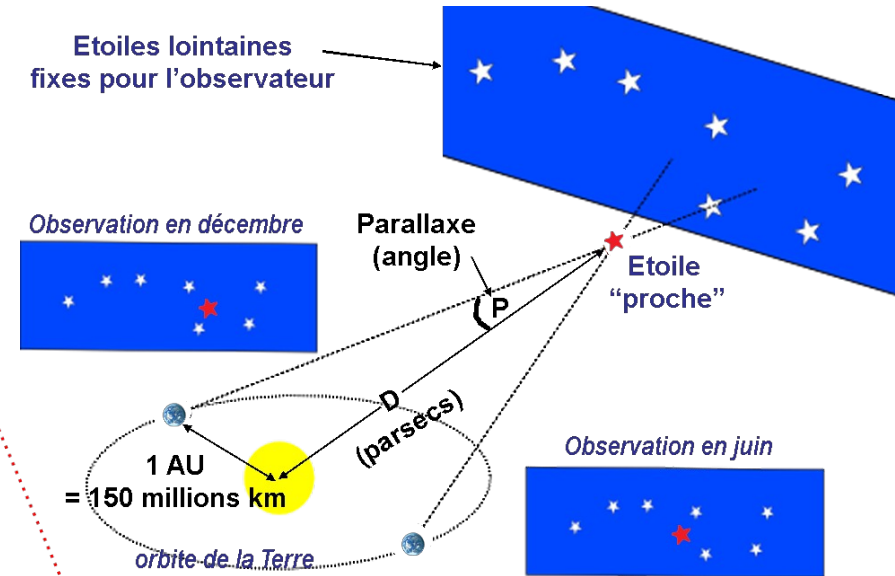
Mon Vieux Tu Me Jettes Sur  
Une Nouvelle « Planète »

# 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  $360^\circ$
  - $1'$  (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 !
  - $206\,265 \text{ u.a.} = 3 \times 10^{16} \text{ m}$   
 $= 3,26 \text{ a.l.}$

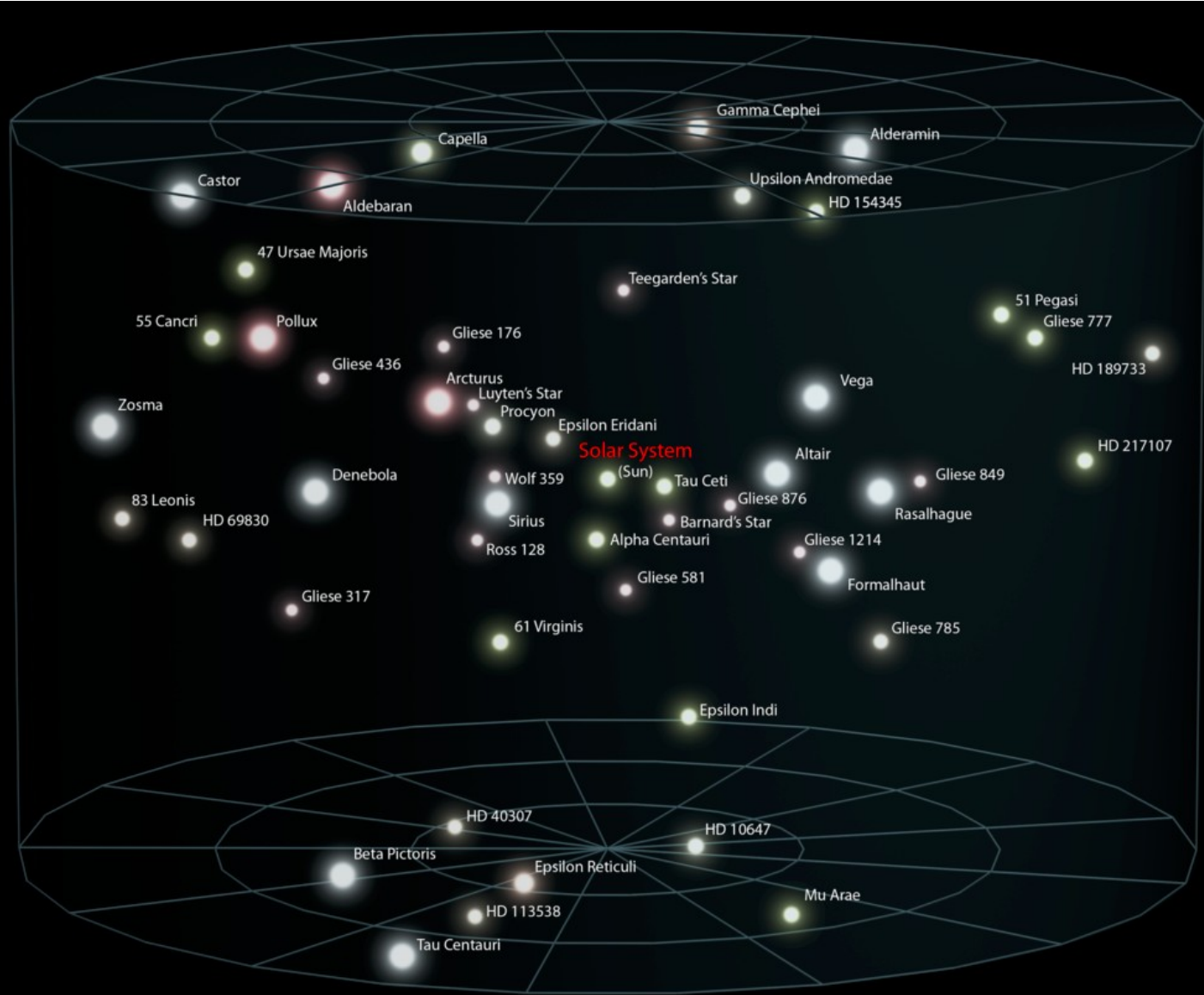


- Définition actuelle : **rayon d'un cercle** dont l'arc, soutenu par un angle au centre d'une seconde d'arc, mesure exactement une unité astronomique.
  - Différence faible : 200 km



# Nuage interstellaire local

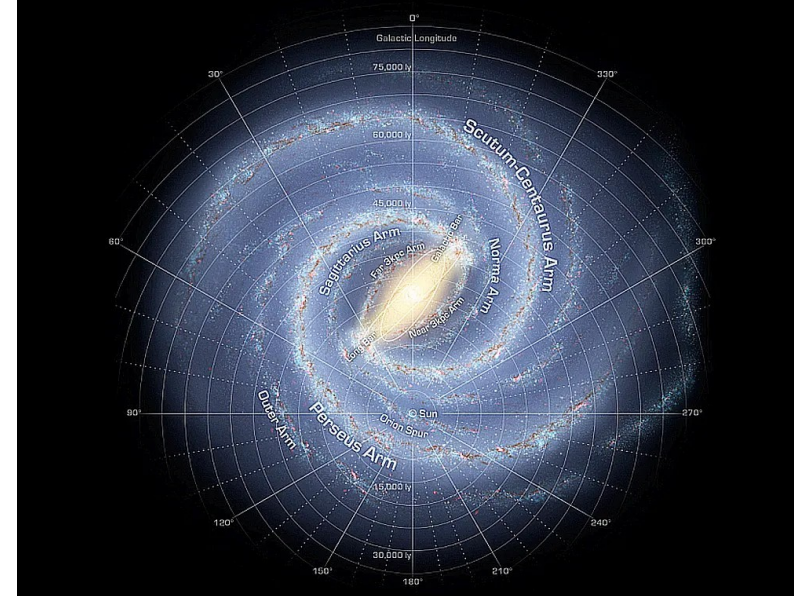
- Distances :
  - 9 pc  $\approx$  30 a.l.





# La Voie Lactée

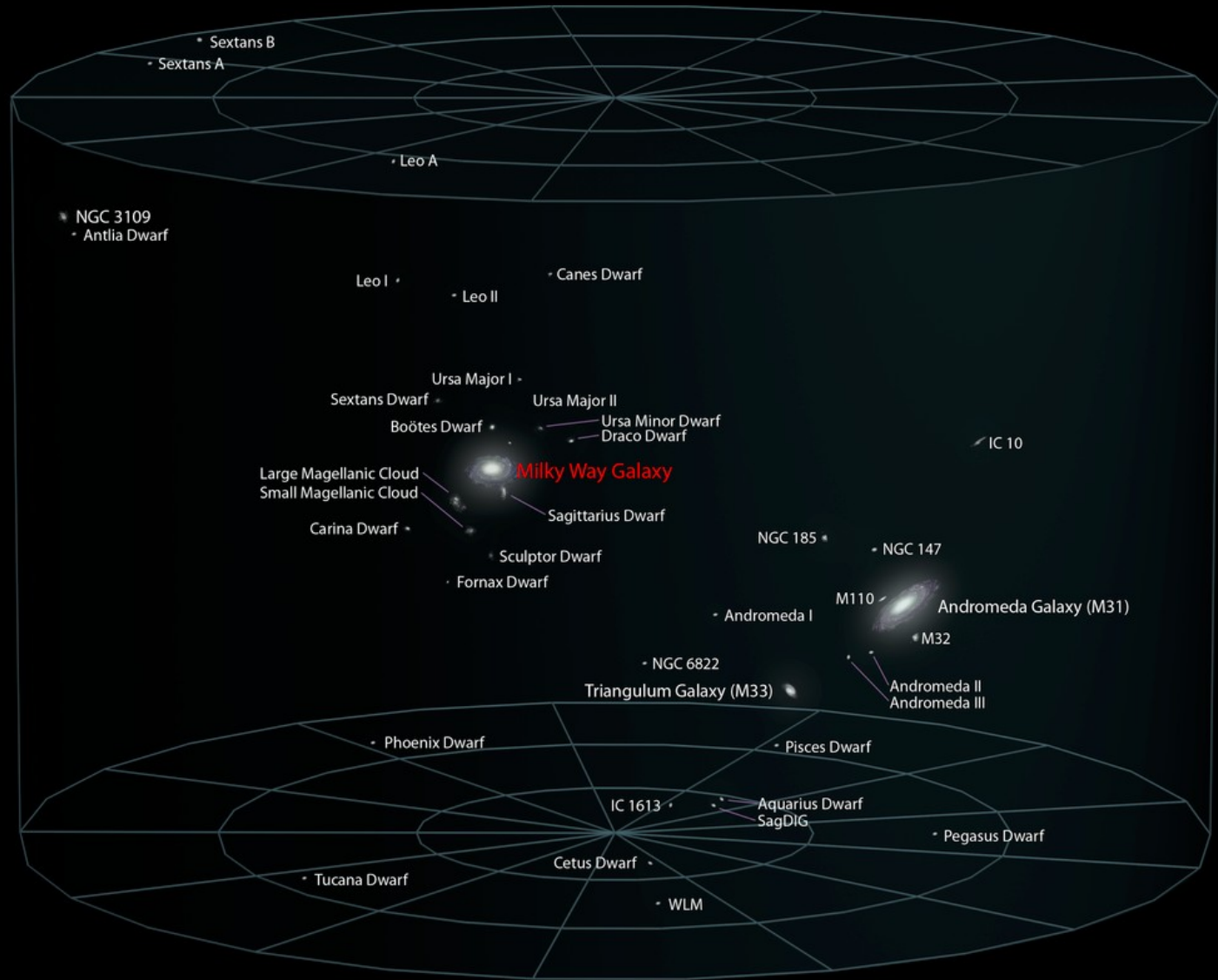
- **Galaxie spirale**
  - Diamètre : 30000 pc  $\approx$  100 000 a.l.
  - Nous sommes à **26 000 a.l.** du centre
  - **200-400 milliards d'étoiles**, 100 milliards de planètes
- Situation du Système solaire probablement un **facteur dans l'émergence et le développement de la vie sur Terre**
  - Orbite **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)

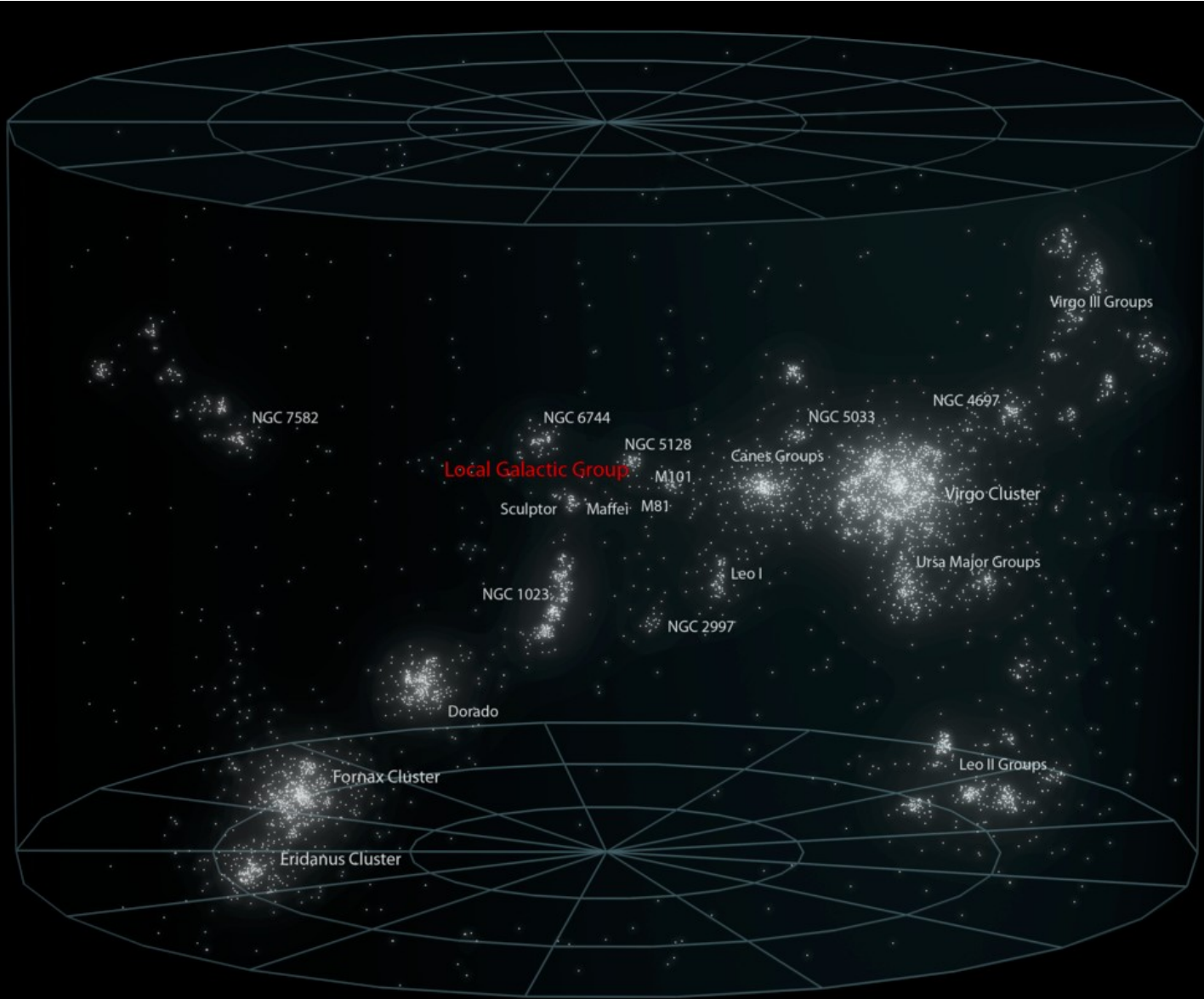
# Le groupe local

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



# Le superamas de la Vierge

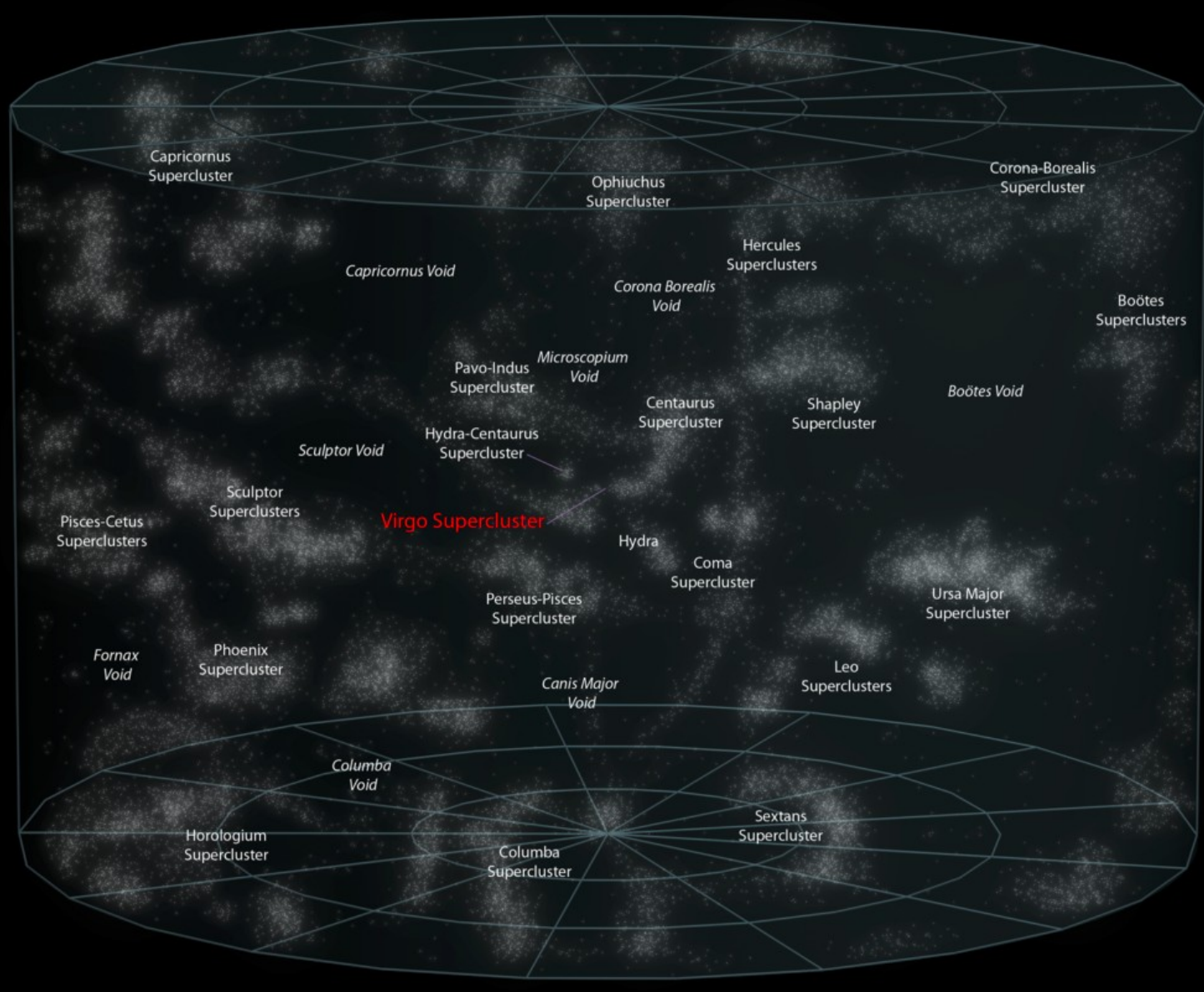
- Ordres de grandeur
  - Distances :  
30 Mpc  $\approx$  100 Mal
  - Vitesse : 600 km/s
- A donné son nom à l'expérience Virgo
  - Horizon des détections envisagées





# Le super-amas local

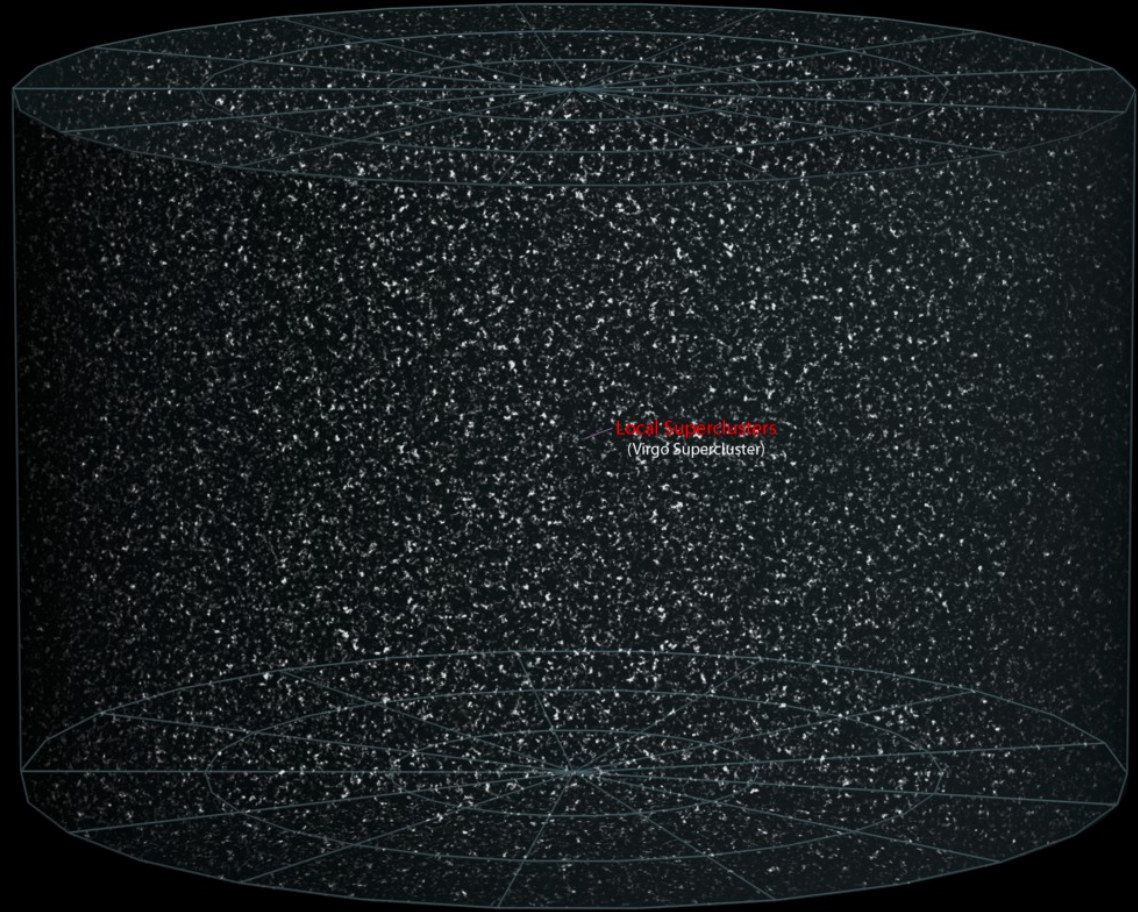
- Distances :  
160 Mpc  $\approx$   
500 Mal



# 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

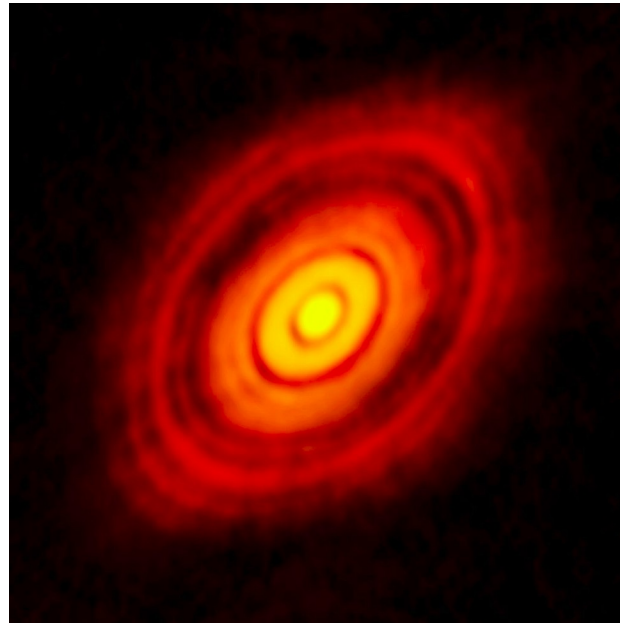


# Formation du système solaire

- 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



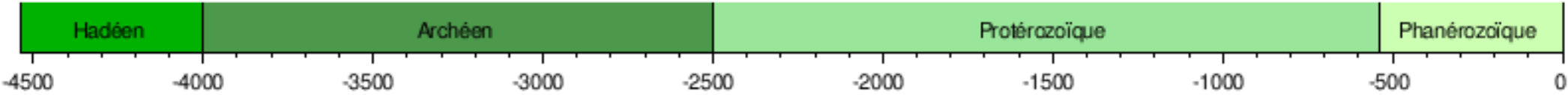
# Formation de la Terre

- 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 !)

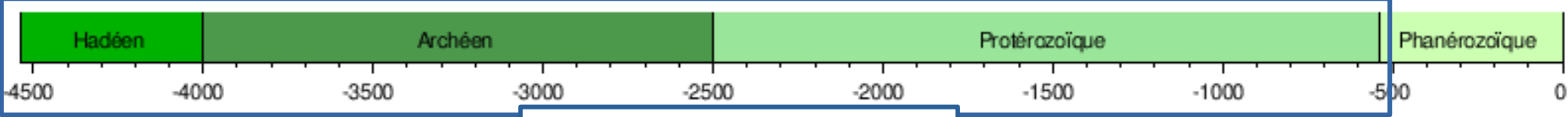
- Archéen

- = **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**



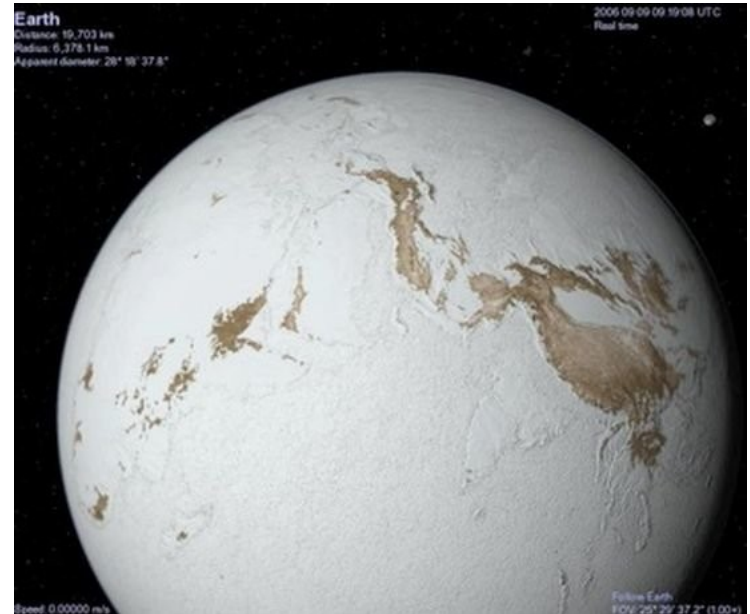
# Les 4 « éons » de la Terre (2)



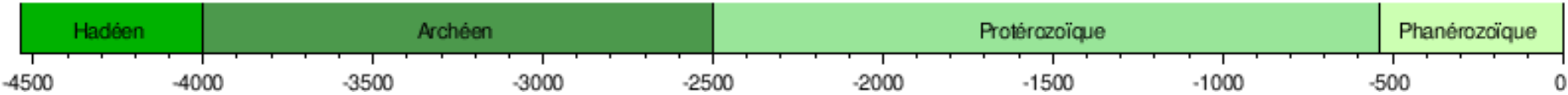
Précambrien = superéon

## • 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 »

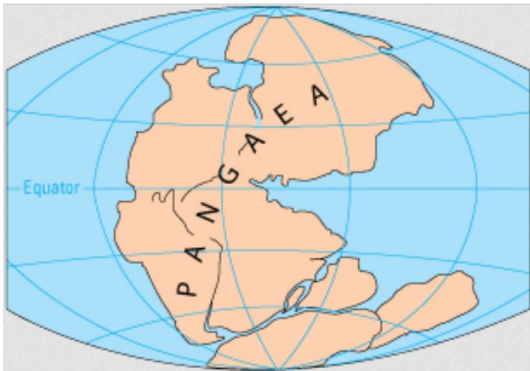


# Les 4 « éons » de la Terre (3)



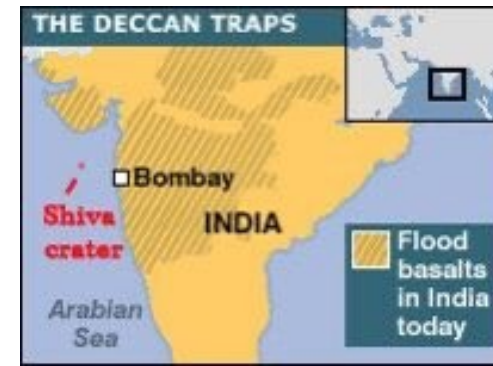
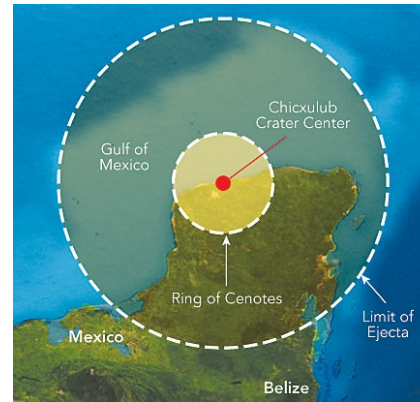
## • Phanérozoïque

- « **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



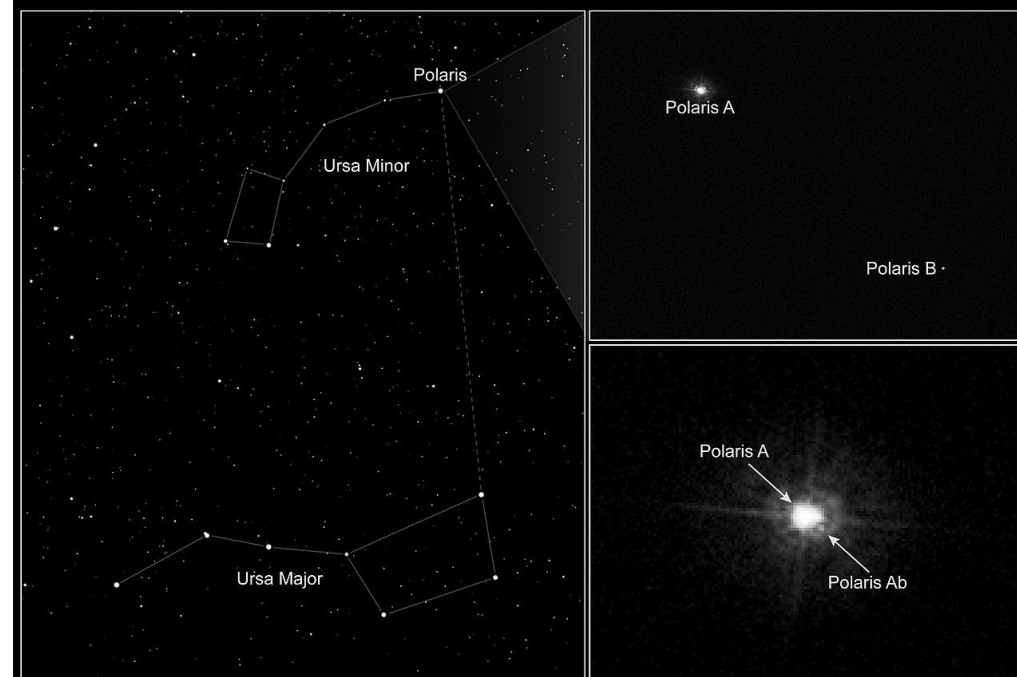
## • Diverses extinctions :

- -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

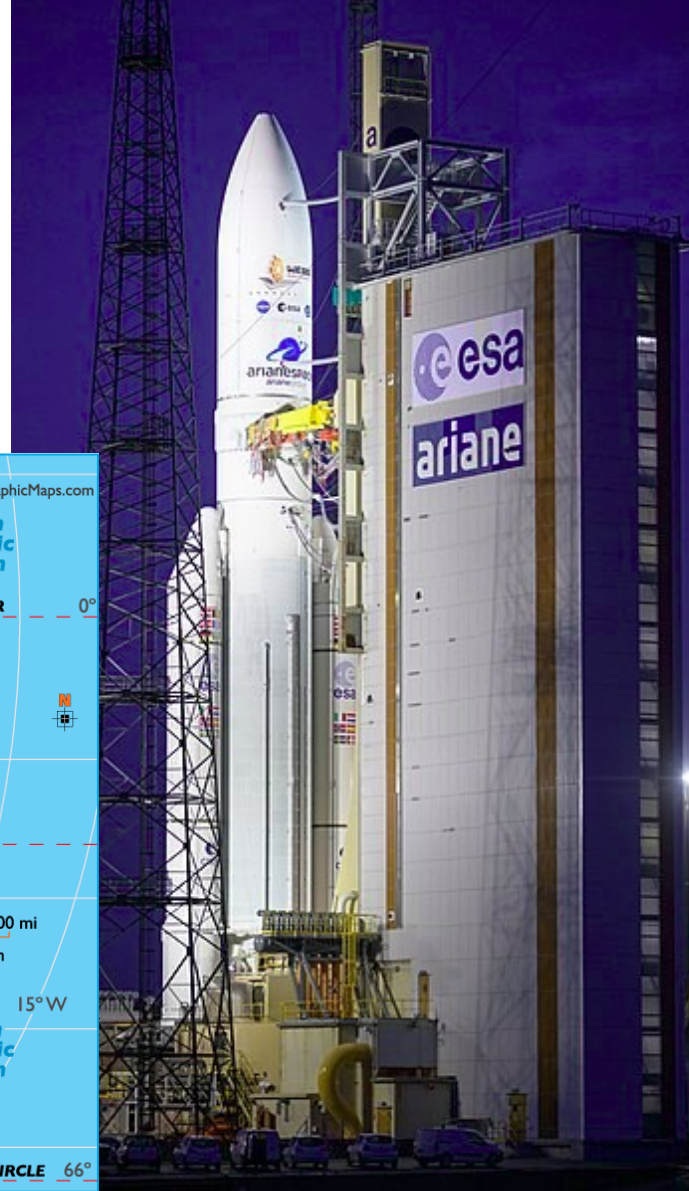




# Lancement des fusées

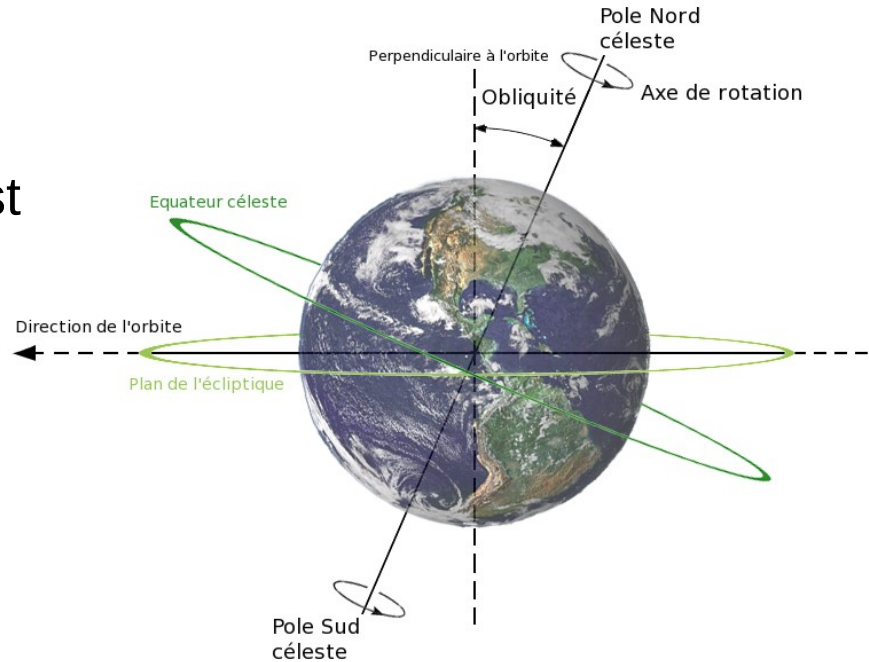
- La vitesse est plus élevée à l'équateur
- D'où l'utilisation de la base de Kourou en Guyane

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



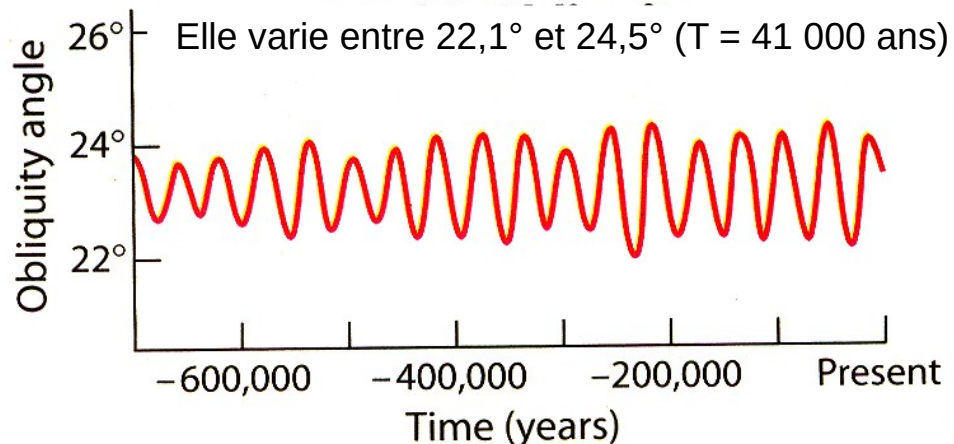
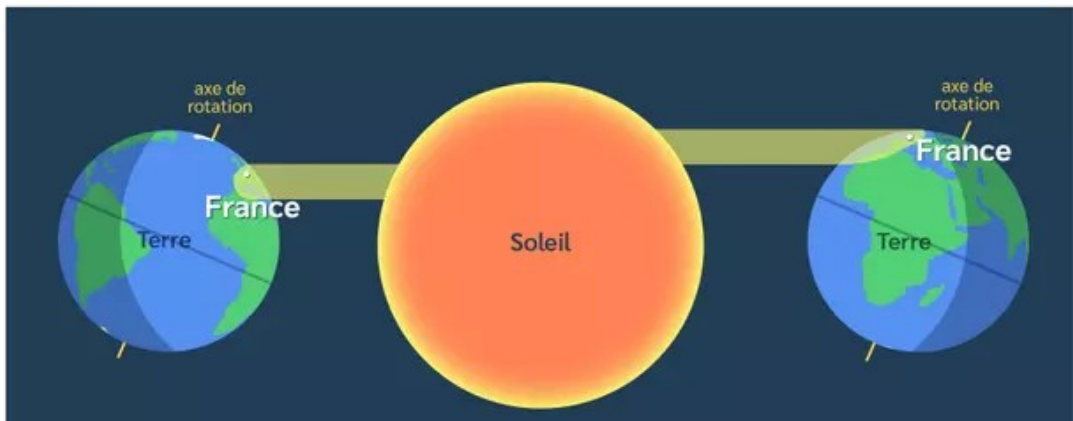
# Les saisons

- 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)



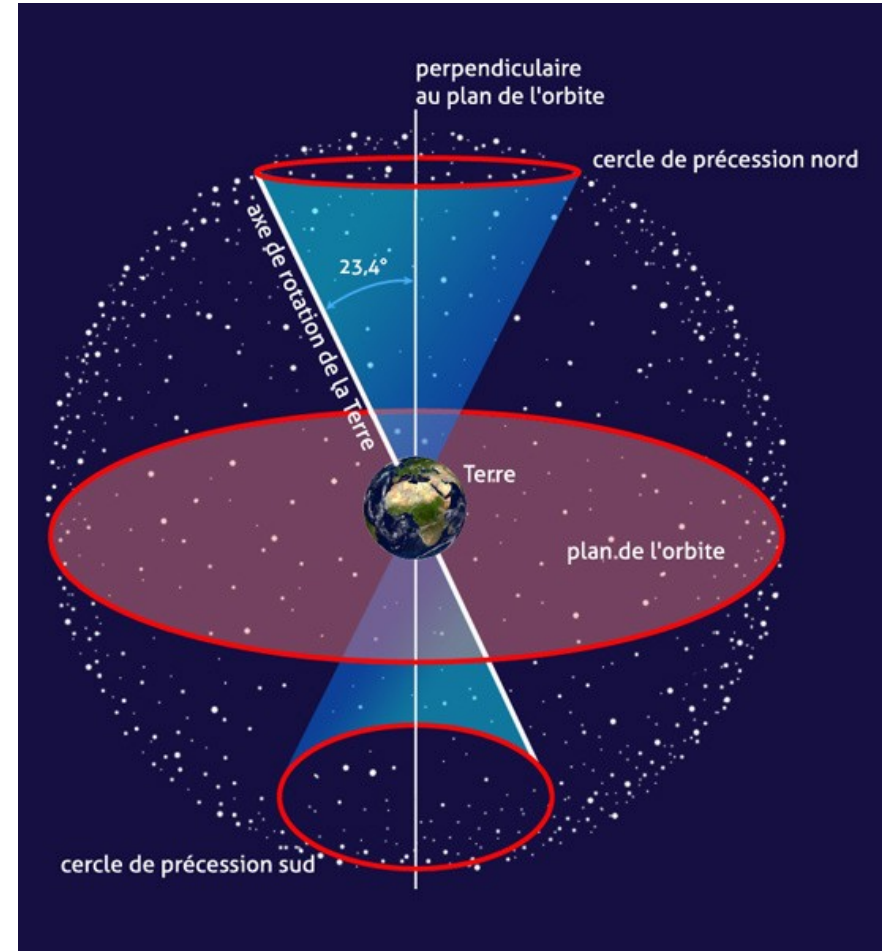
C'est l'été en France.

C'est l'hiver en France.



# Précession des équinoxes

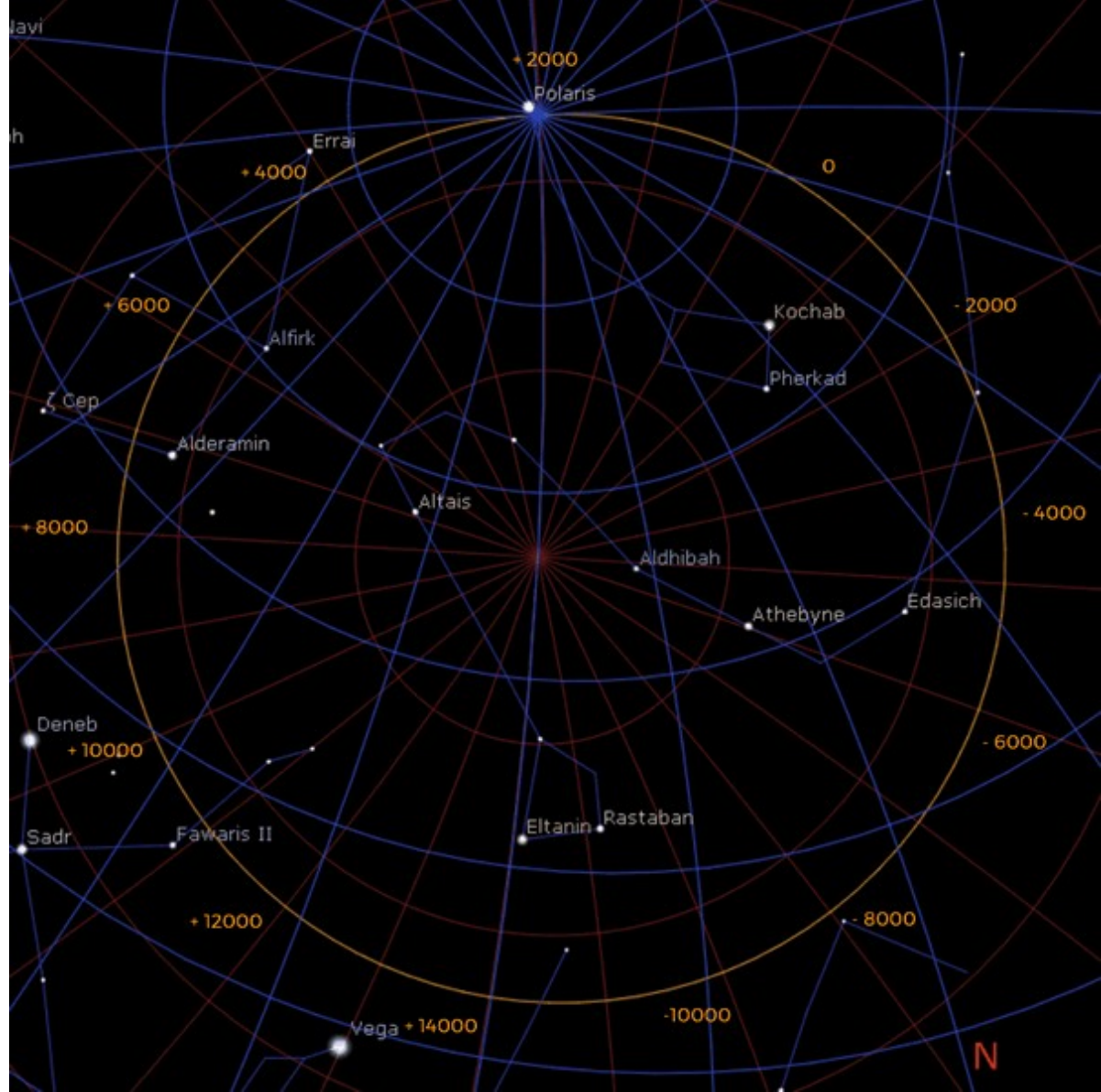
- Attractions du Soleil et de la Lune **non uniformes** à cause du **bouffélet équatorial** de la Terre
  - La Terre est soumise à la **précession** (**changement d'orientation de l'axe de rotation**,  $T = 26\ 000$  ans) : elle tourne sur elle-même **comme une toupie**





# L'étoile polaire

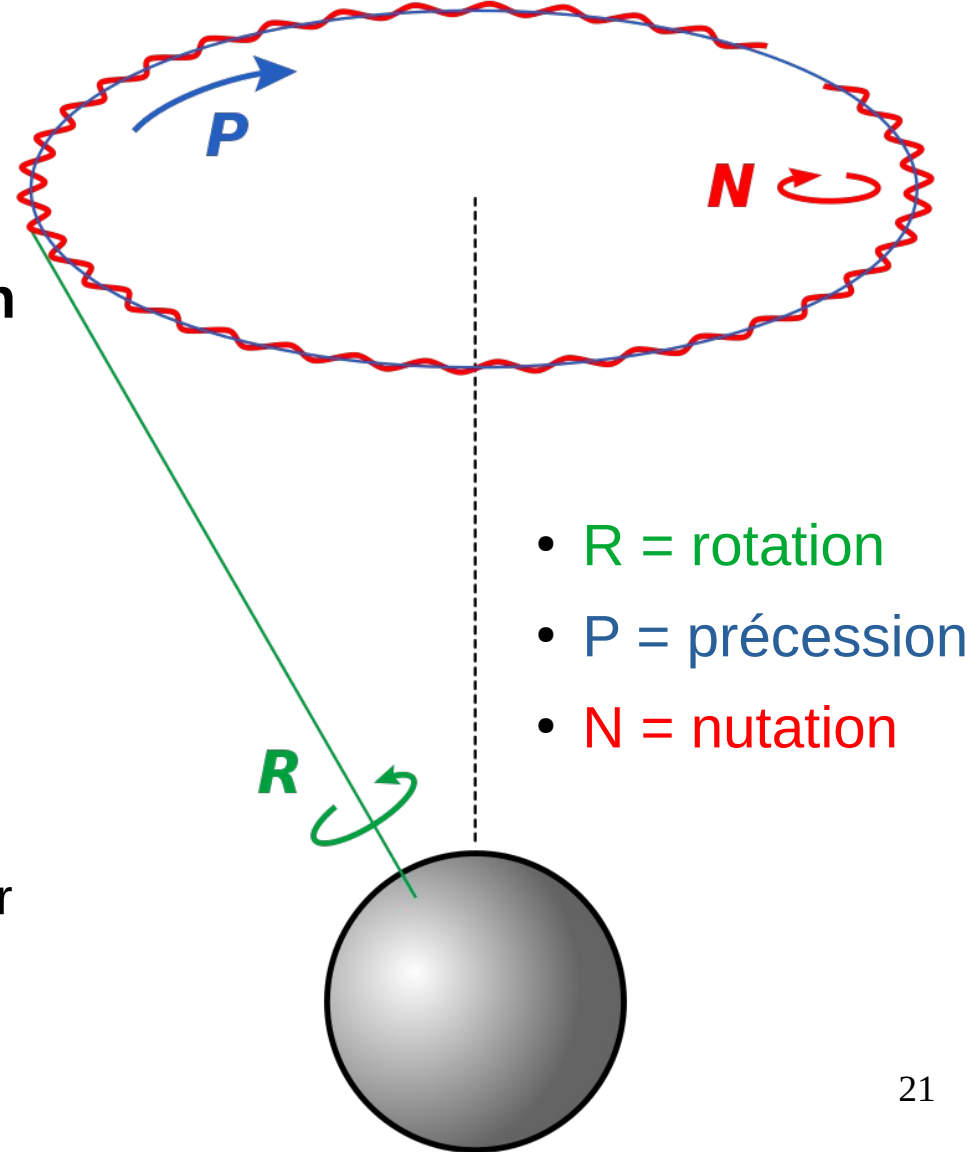
- Elle change !
- Dans 2 000 ans, ce sera le tour d'Errai (gamma de Céphée) et dans 12 000 ans environ, celui de la **Véga** (alpha de la Lyre)





# 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

