

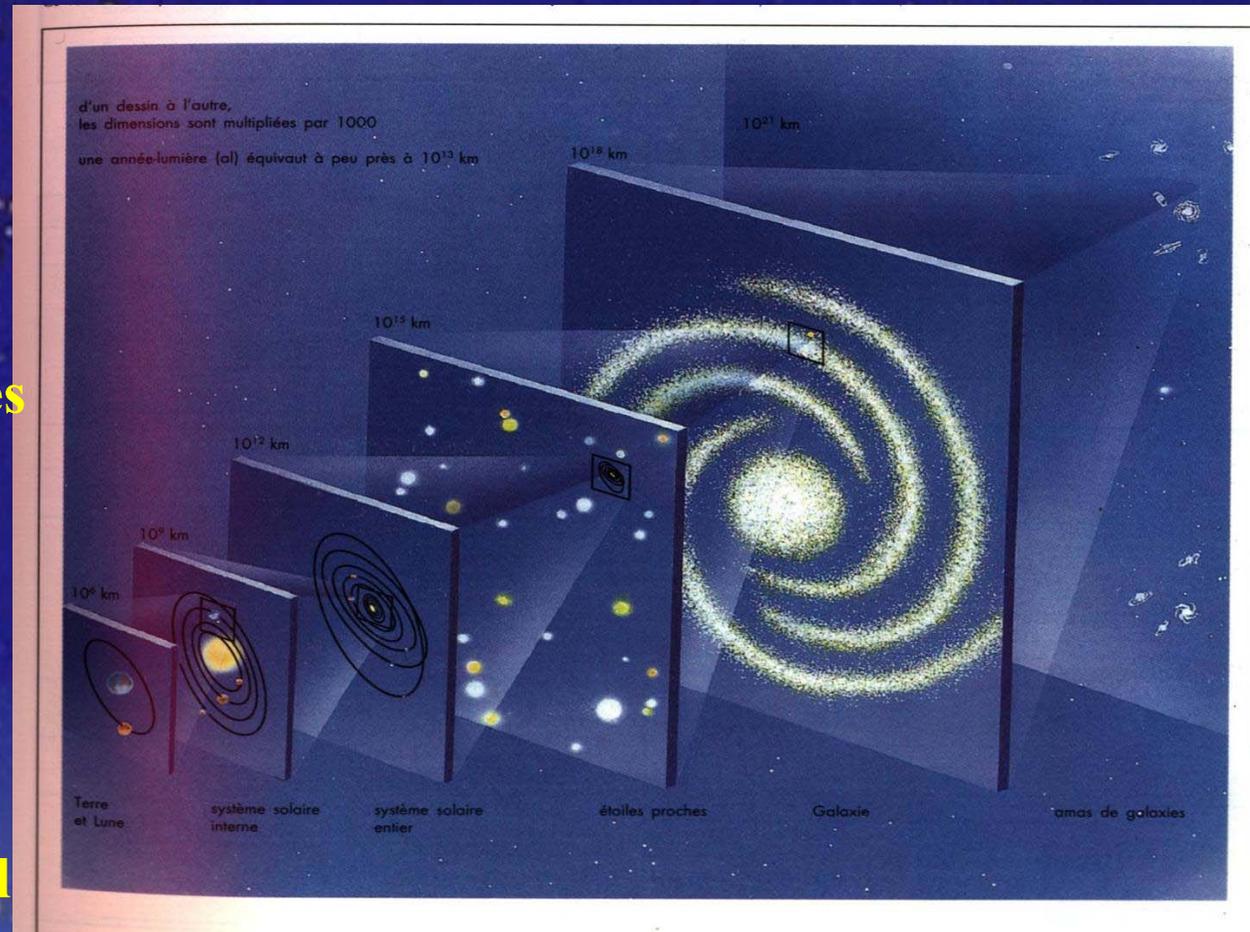
La place de la Terre

Les distances dans l'univers



Notre adresse

- ✓ Planète: Terre
- ✓ Etoile: Soleil (3ème orbite)
- ✓ Galaxie: Voie Lactée (entre les bras du Sagittaire-Carène et de Persée)
- ✓ Groupe: Groupe Local
- ✓ Superamas: Superamas Local



Introduction

Laboratoire hors norme

**Astronomie: observations du ciel (science la plus ancienne)
positions et mouvements des sources**

**Astrophysique: analyse de la lumière et des mécanismes qui la produisent
(après 1860) ⇔ flux, couleur, raies, polarisation...**

Dimensions et temps:

- ✓ **Densité:** MIS: < 1 particule/cm³ (air: 10^{19} mol/cm³ \approx 0.001 g/cm³ \approx 10^{-3} g/cm³)
Centre \odot : ≈ 150 g/cm³
H à neutrons: qq 10^9 t/cm³ (1 pétrolier géant dans une tête d'épingle)
- ✓ **Pression:** MIS: très \ll meilleur vide de labo
Centre \odot : 237 milliards d'atmosphères
H à neutrons: noyaux atomes se touchent

Introduction

v Températures:

nuages moléculaires < 10 K Triton: 35 K

Centre \odot : $15 \cdot 10^6$ K

centre des H massives évoluées: qq 10^9 K

v Echelles de temps:

durée vie du \odot : $10 \cdot 10^9$ années

durée de vie des H massives: qq 10^8 années

durée coalescence de deux H à neutrons: qq 10 secondes

© L'astrophysique fait appel à beaucoup d'autres sciences

© L'astrophysique a établi *l'universalité de la constitution de la matière*

Introduction

Méthodes et moyens

Astronome = observateur, pas expérimentaliste

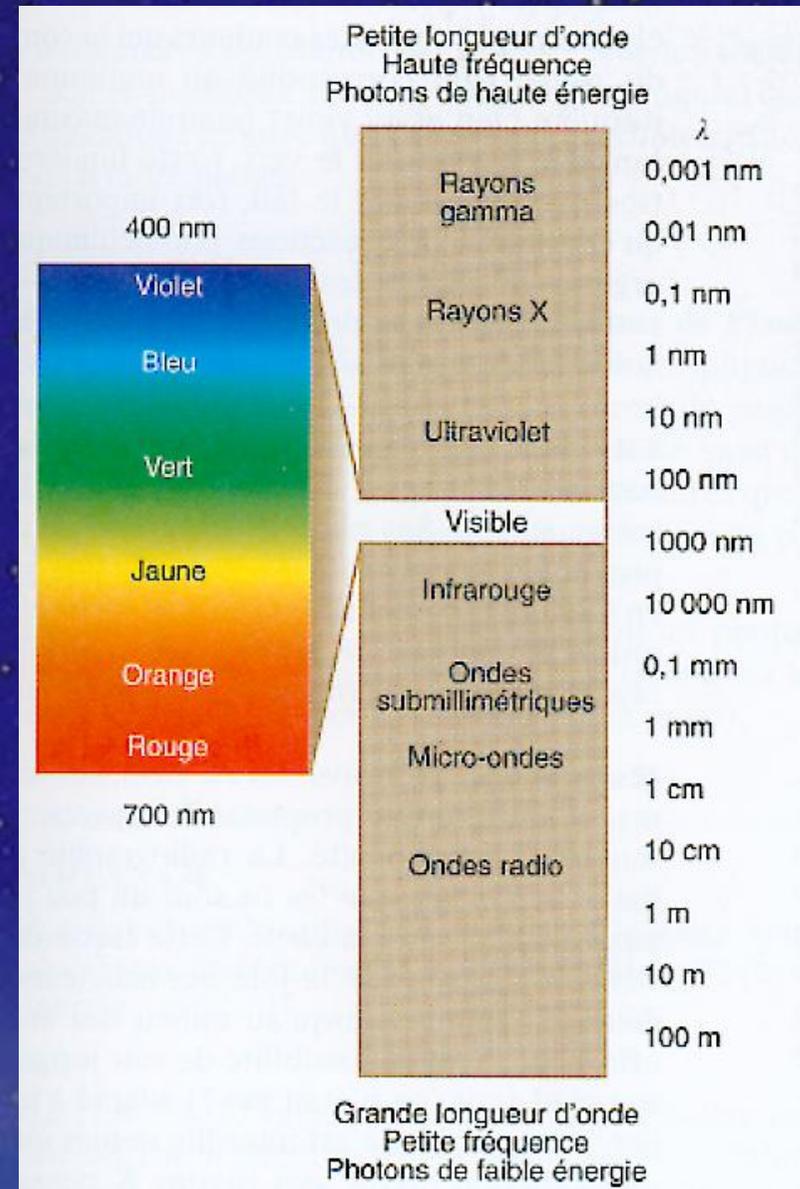
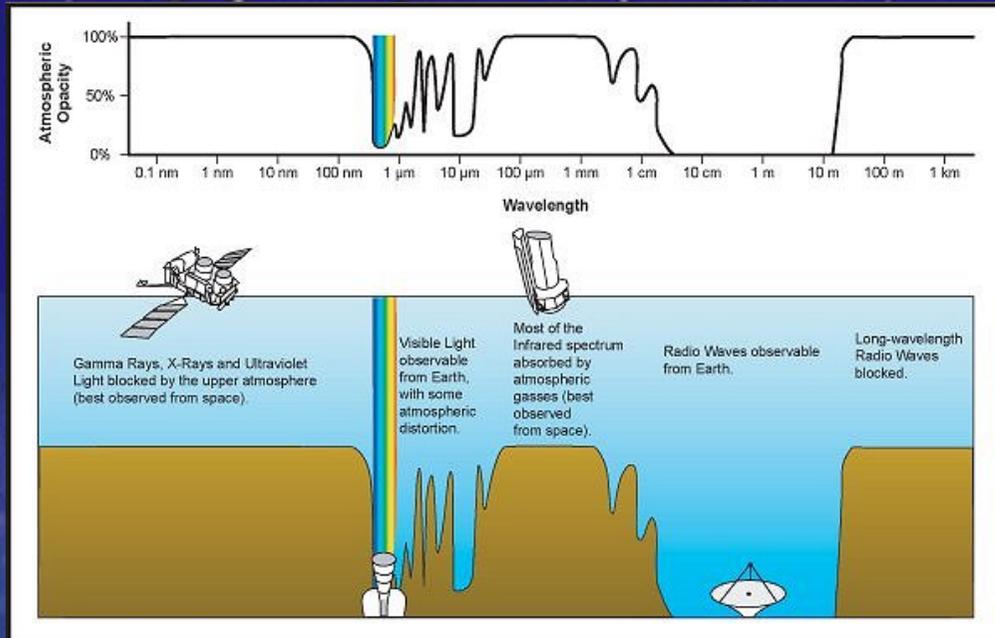
Pas de changement de paramètre possible (ni de vérification!)

Seule info disponible: celle qui vient vers nous

Messagers (vecteurs de l'info)

- ✓ ***Photons*** (source principale, confins Univers - γ à radio - filtrés par l'atmosphère)
- ✓ ***Rayons cosmiques*** (particules \odot très énergétiques, interagissent avec atmosphère)
- ✓ ***Météorites*** (petits cailloux provenant du système solaire)
- ✓ ***Neutrinos*** (produits aux cœurs des étoiles, "passe-murailles" de l'univers)
- ✓ ***Ondes gravitationnelles*** (prédites par la relativité générale - VIRGO)

L'astronomie s'intéresse à *tous* les domaines de longueur d'onde mais l'atmosphère terrestre filtre les longueurs d'ondes



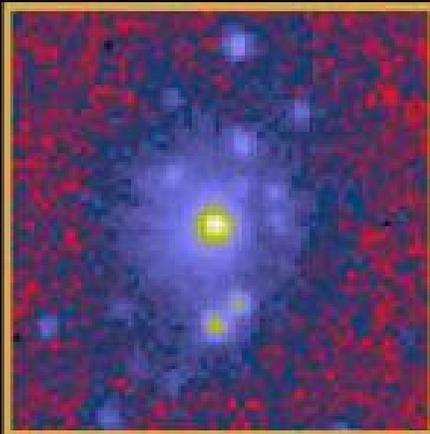
Crédits NASA/IPAC

M81 – Spiral Galaxy (Type Sb)

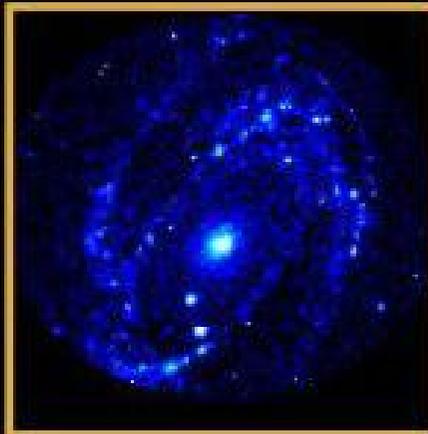
Distance: 12,000,000 light-years (3.7 Mpc)

Image Size = 14 x 14 arcmin

Visual Magnitude = 6.9



X-Ray: RCSAT



Ultraviolet: ASTRO-1



Visible: DSS



Visible: R. Gendler



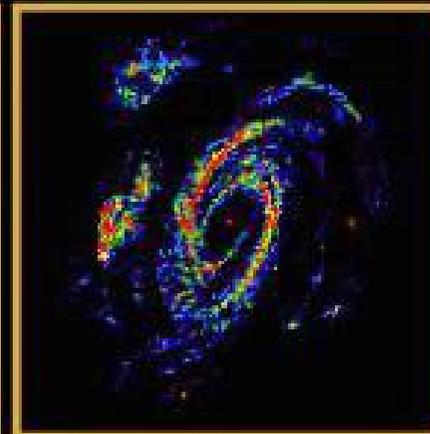
Near-Infrared: Spitzer



Mid-Infrared: Spitzer



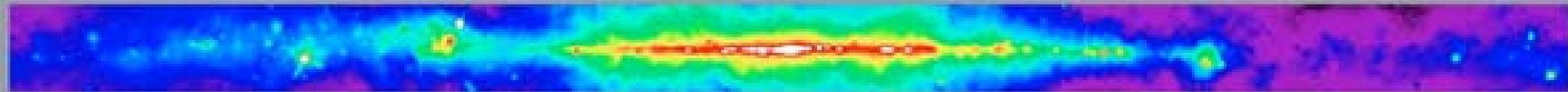
Far-Infrared: Spitzer



Radio: VLA

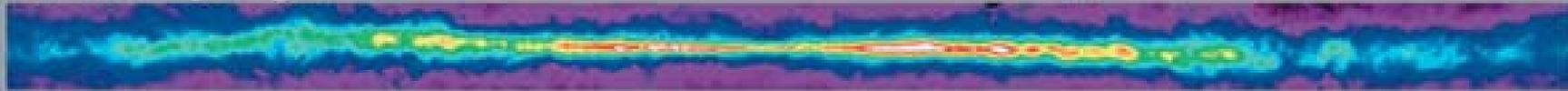
Radio Continuum

408 MHz Bonn, Jodrell Banks, & Parkes



Atomic Hydrogen

21 cm Leiden-Dwingeloo, Maryland-Parkes



Radio Continuum

2.4-2.7 GHz Bonn & Parkes



Molecular Hydrogen

115 GHz Columbia-GISS



Infrared

12, 60, 100 μm IRAS



Near Infrared

1.25, 2.2, 3.5 μm COBE/DIRBE



Optical

Laustsen et al. Photomosaic



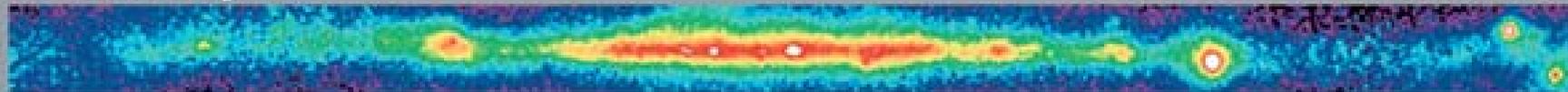
X-Ray

0.25, 0.75, 1.5 keV ROSAT/PSPC



Gamma Ray

>100 MeV CGRO/EGRET



La planète Terre

- ✓ **Forme sphérique** *5ème siècle avant JC, Aristote (-350)*
- ✓ **Rayon: $R_T = 6\,400\text{ km}$** *Eratosthène (-230)*
- ✓ **Tourne sur elle-même en 24h** *Copernic (1543), Galilée (1610), Foucault (1851)*
- ✓ **Tourne autour du Soleil en 365,25 jours (3ème orbite)** *Copernic (1543), Galilée (1610), Bradley (1727), parallaxes stellaires (1835-1840)*



Le système Terre-Lune

✓ $R_L = 0.27R_T = 1\,700\text{ km}$

Aristarque de Samos (-250)

✓ **Distance moyenne à la Terre:**

$60 R_T = 384\,000\text{ km}$

Aristarque de Samos (-250), Ptolémée (+140), Lalande-Lacaille (1751)

✓ **Tourne autour de la Terre en
29,5 jours**

✓ **En rotation synchrone**



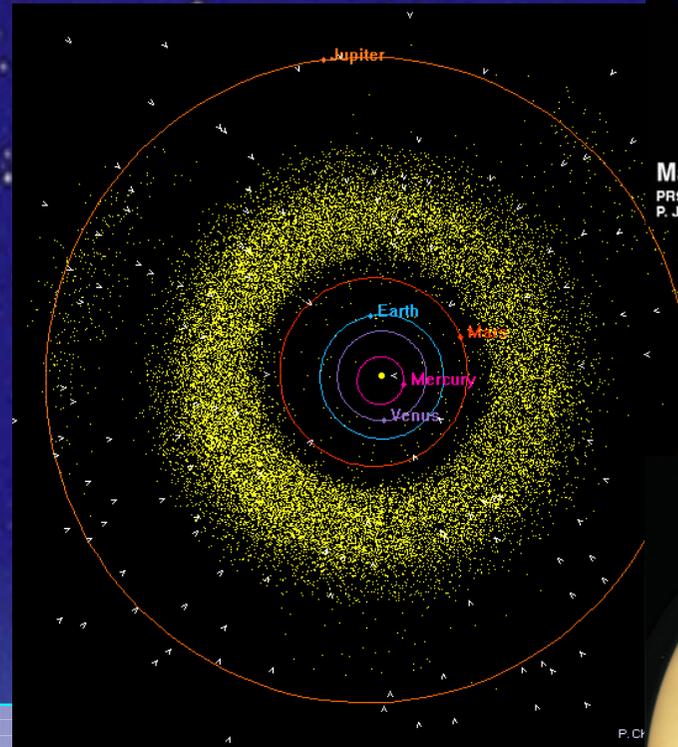
Terre = ballon de football

☐ Lune = balle de tennis placée à 6m

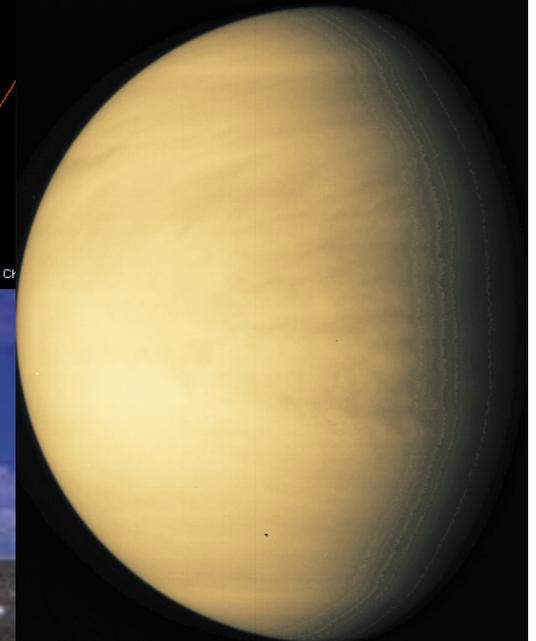
Trajet Terre-Lune: sonde spatiale (10 000 km/h): 36 h
la lumière: 1.3 s

Les planètes les plus proches de la Terre: Vénus et Mars

- ✓ **Vénus = planète inférieure** (*Galilée, 1610*), **Mars = planète supérieure**
- ✓ **Distance minimale à la Terre: 40 Mkm (Vénus), 57 Mkm (Mars)** *Cassini-Richer (1672)*
- ✓ **Taille: Vénus ~ Terre, Mars ~ Terre / 2**



Mars - February 1995
PR95-17 - ST ScI OPO - March 21, 1995
P. James (U.Toledo), S. Lee (U.CO), NASA



Terre = ballon de football

□ Vénus et Mars = ballons situés à 600 m et 900 m

Trajet: sonde spatiale: Vénus ~ 3 mois, Mars ~ 6 mois
la lumière: 2 et 3 mn

Le Soleil et le système solaire

✓ Distance moyenne Terre-Soleil:

$$a = 150\,000\,000\text{ km} = 1\text{ UA}$$

Cassini-Richer (1672), transits de Vénus (1761, 1769, 1874, 1882)

✓ Soleil = Sphère gazeuse de rayon

$$R = 109R_T = 700\,000\text{ km}$$

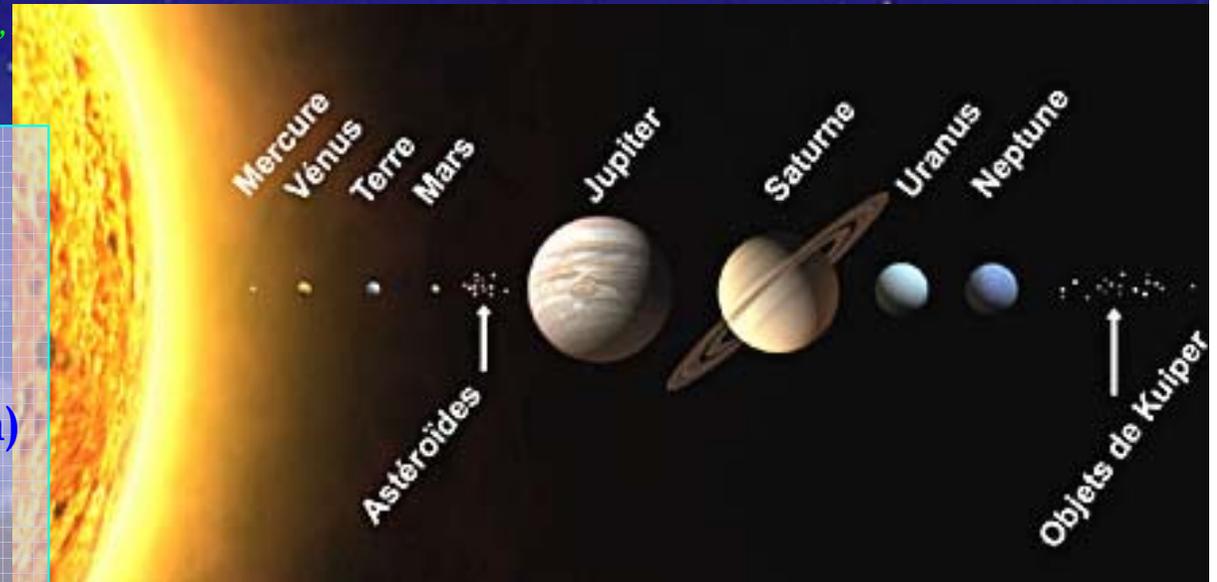
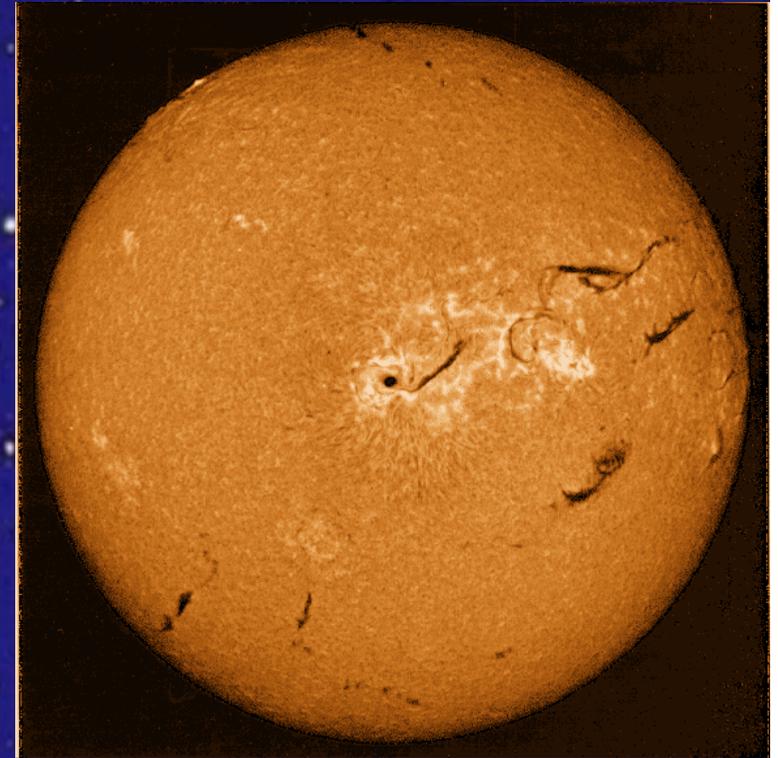
✓ Tourne sur lui-même en 25-35 jours

Galilée-Fabrizius (1610-11), Schwabe (1844-1851)

✓ Entouré de 8 planètes distantes

de 0.4 UA (Mercure) à 30 UA (Neptune)

Copernic (1543), Galilée (1610), Képler (1609), Richer (1672)



Terre = ballon de football

□ Jupiter = sphère de 2.43 m

située à 13,3 km (Pluton à 100 km!)

Trajet Terre-Pluton (5.7 milliards de km)

sonde spatiale: ~ 15 ans

Lumière: 5.3 h

Le Soleil et le système solaire

✓ Distance moyenne Terre-Soleil:

$$a = 150\,000\,000 \text{ km} = 1 \text{ UA}$$

Cassini-Richer (1672), transits de Vénus (1761, 1769, 1874, 1882)

✓ Soleil = Sphère gazeuse de rayon

$$R = 109R_T = 700\,000 \text{ km}$$

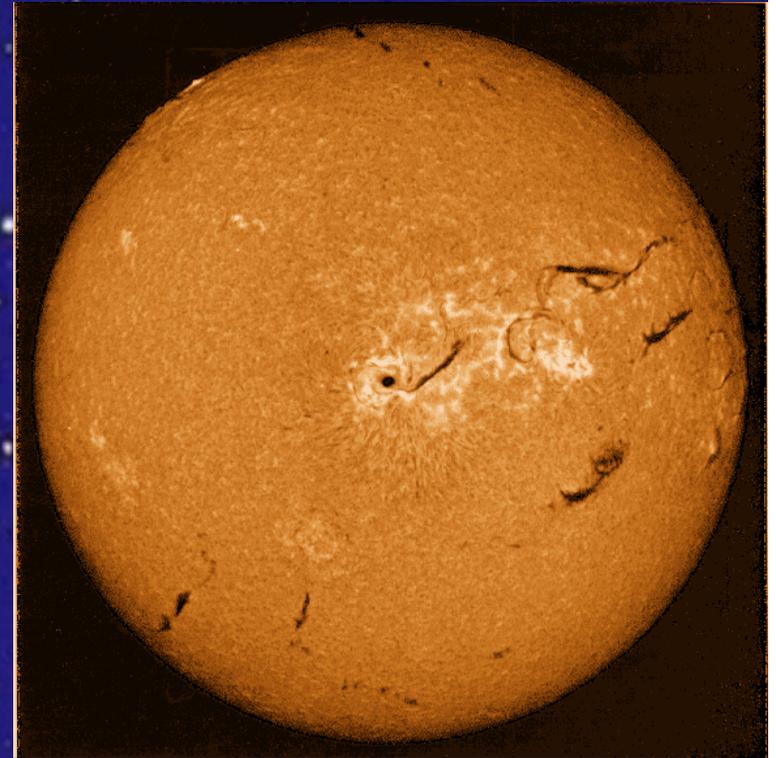
✓ Tourne sur lui-même en 25-35 jours

Galilée-Fabrizius (1610-11), Schwabe (1844-1851)

✓ Entouré de 8 planètes distantes

de 0.4 UA (Mercure) à 30 UA (Neptune)

Copernic (1543), Galilée (1610), Képler (1609), Richer (1672)



Terre = ballon de football

□ Jupiter = sphère de 2.43 m

située à 13,3 km (Pluton à 100 km!)

Trajet Terre-Pluton (5.7 milliards de km)

sonde spatiale: ~ 15 ans

Lumière: 5.3 h



Notre adresse

- v Planète: Terre
- v Etoile: Soleil (3ème orbite)
- v Galaxie: Voie Lactée (entre les bras du Sagittaire-Carène et de Persée)
- v Groupe: Groupe Local
- v Superamas: Superamas Local



Unités de mesure des distances

Année-lumière:

distance que parcourt la
lumière en 1 an

$$1 \text{ a.l.} = 9.46 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

(\approx dix mille milliards de km)

$$1 \text{ al} = 63\,241 \text{ ua}$$

Sous-multiples:

$$\text{heure-lumière: } 1.08 \cdot 10^9 \text{ km}$$

$$\text{jour-lumière: } 26 \cdot 10^9 \text{ km}$$

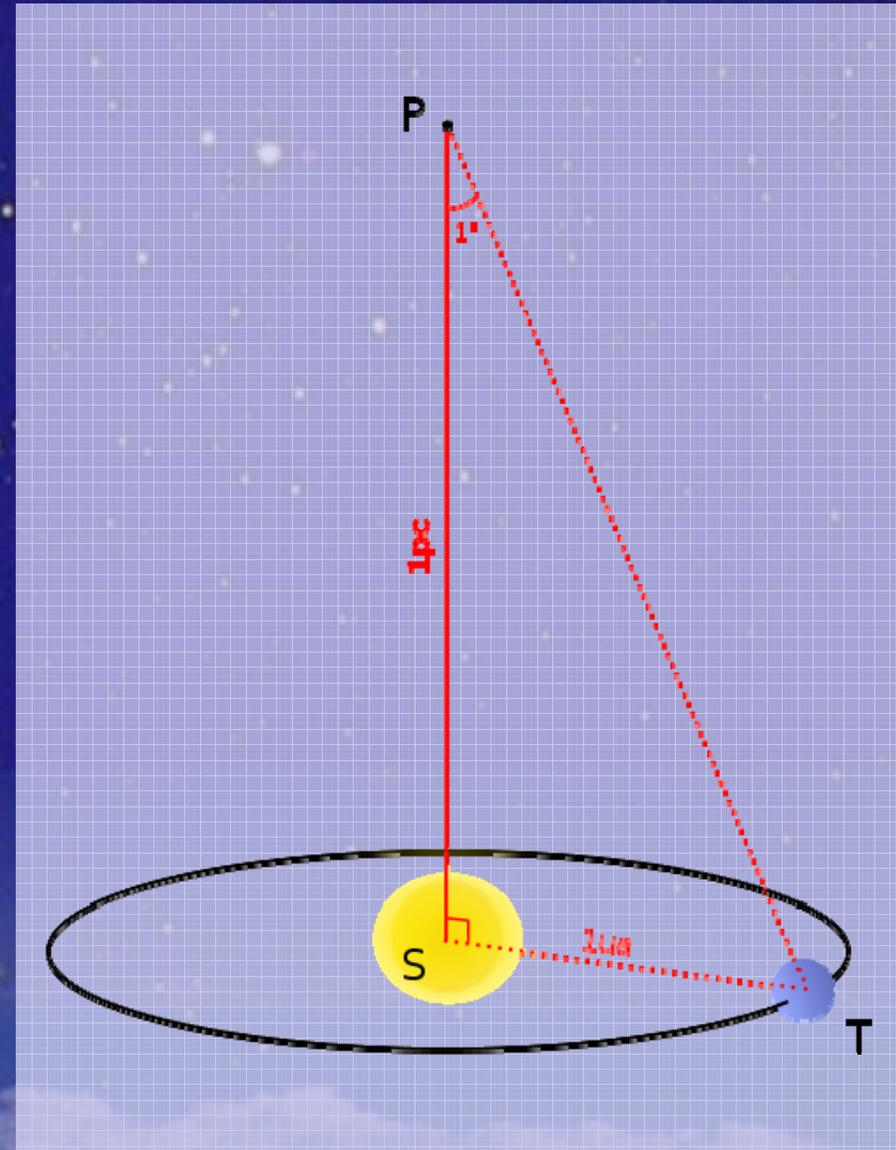
Parsec:

$$1 \text{ pc} = 3.09 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ a.l.}$$

$$1 \text{ pc} = 1 / \tan(1'') = 206\,265 \text{ ua}$$

Multiples: Kpc, Mpc



Les étoiles les plus proches

- ✓ **Etoile la plus proche du Soleil:
Proxima Centauri à $d = 4.2$ a.l**

Struve, Bessel, Henderson (1835-1840)

- ✓ **Dans une sphère centrée sur le Soleil
de rayon 10 a.l:**

**une quinzaine d'étoiles, dont 4 simples
(dont Soleil, étoile de Barnard), 4
doubles (dont Sirius, à 8.7 a.l), une
triple, α Centauri à 4.2 a.l**



Soleil = pamplemousse placé sur la place Bellecour

⇒ étoile la plus proche = autre pamplemousse à Varsovie

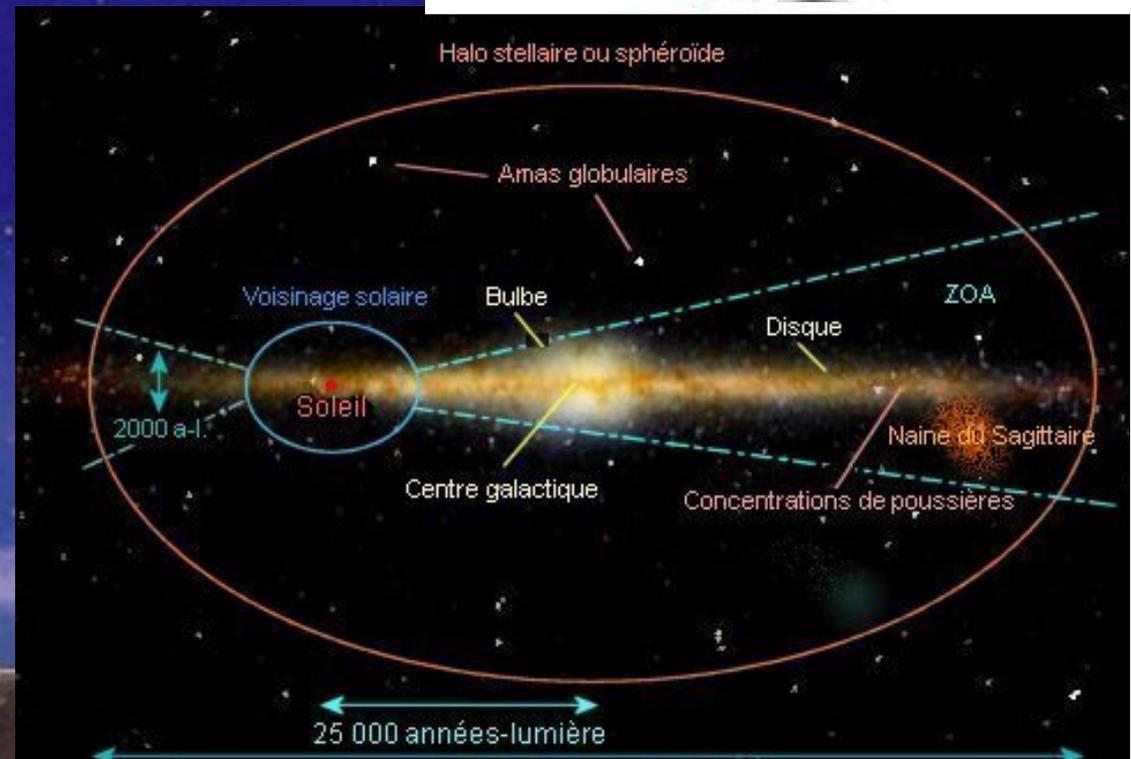
Trajet Soleil-Proxima à 10 000km/h: 400 000 ans

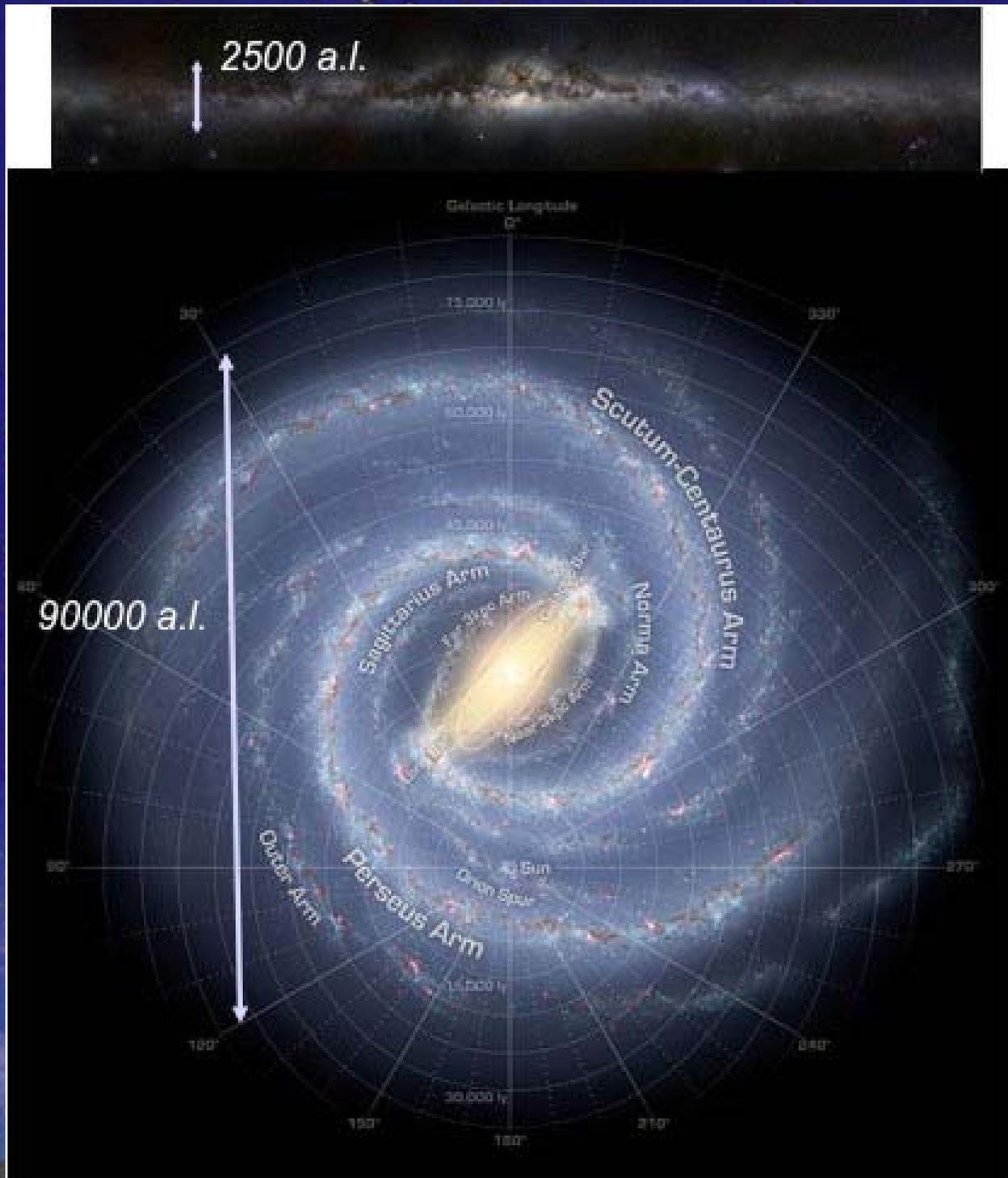
la lumière: 4.2 années



Notre Galaxie, la Voie Lactée

- v **Forme: bulbe central + disque aplati (bras) + halo sphérique**
W. Herschell (1785) → H. Shapley (1918)
- v **Taille: $\Phi = 100\ 000$ a.l**
- v **Contenu: de l'ordre de 200 milliards d'étoiles, simples ou multiples (amas) + gaz et poussières (nébuleuses)**
- v **Distance Soleil-centre galactique: 30 000a.l** *H. Shapley (1918)*
- v **Disque en rotation différentielle.**
 $v = 220$ km/s au niveau du Soleil
J.H.Oort, B.Lindblad (1927)

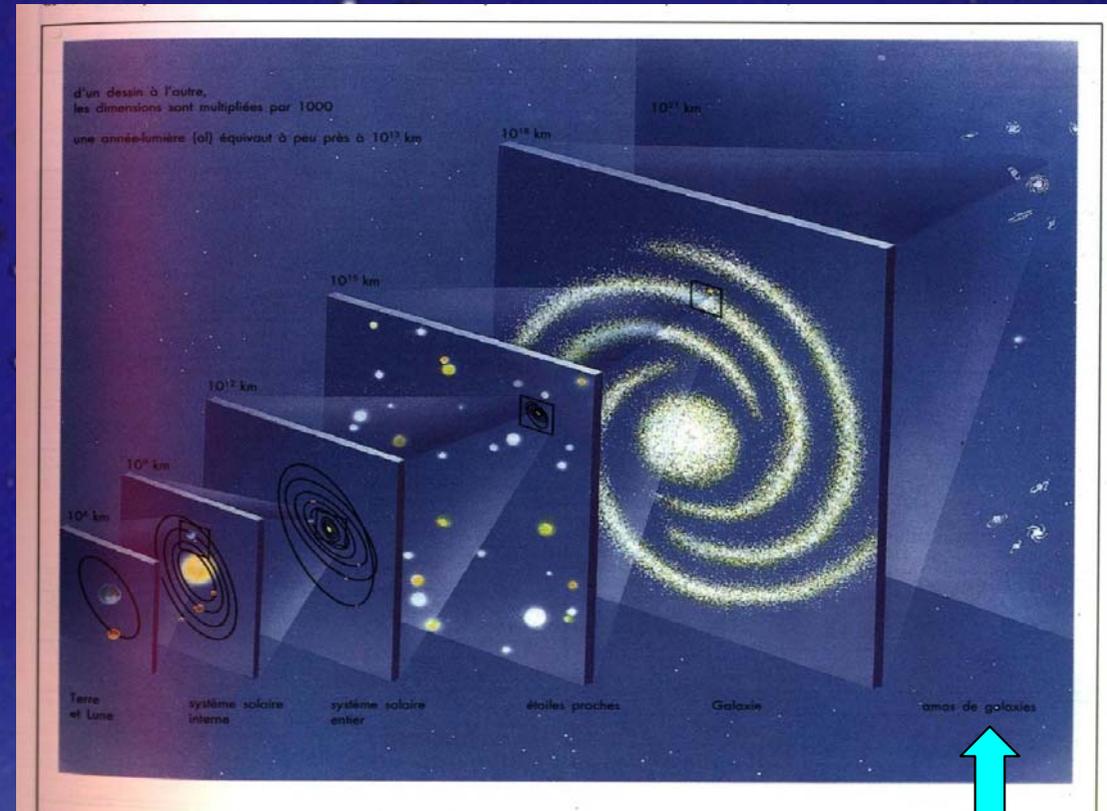




montage d'une image ESO/Serge Brunier et d'une image NASA

Notre adresse

- v Planète: Terre
- v Etoile: Soleil (3ème orbite)
- v Galaxie: Voie Lactée (entre les bras du Sagittaire-Carène et de Persée)
- v Groupe: Groupe Local
- v Superamas: Superamas Local



Les galaxies les plus proches. Le Groupe Local



- ✓ Notre Galaxie est accompagnée de deux galaxies satellites: le PNM et le GNM à 200 000 et 170 000 a.l

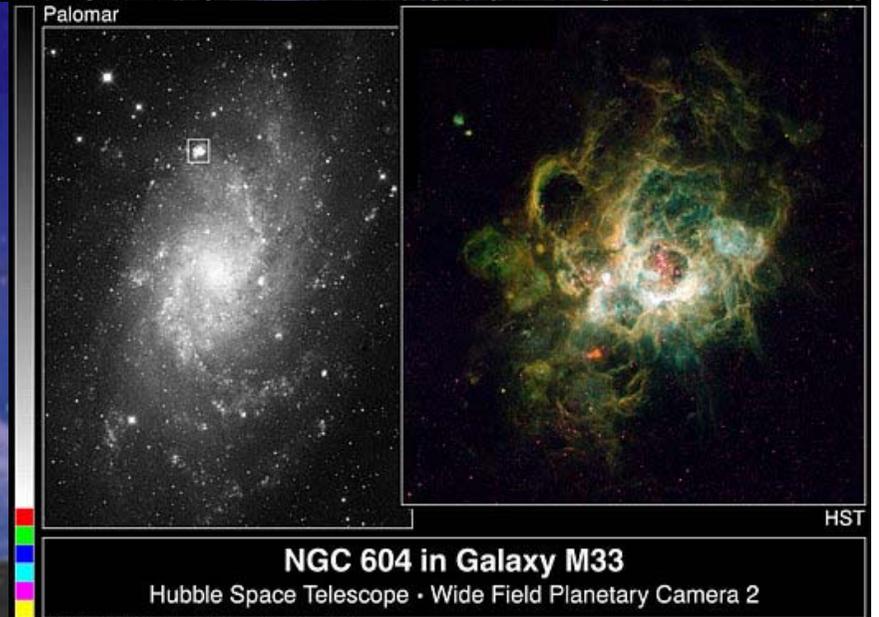
H. Leavitt (1912), E.Hertzsprung (1913)

- ✓ Au-delà: M31 (galaxie d'Andromède) et M33 (galaxie du Triangle) à 2.5 et 2.4 Ma.l *E.Hubble (1925), W. Baade (1952)*

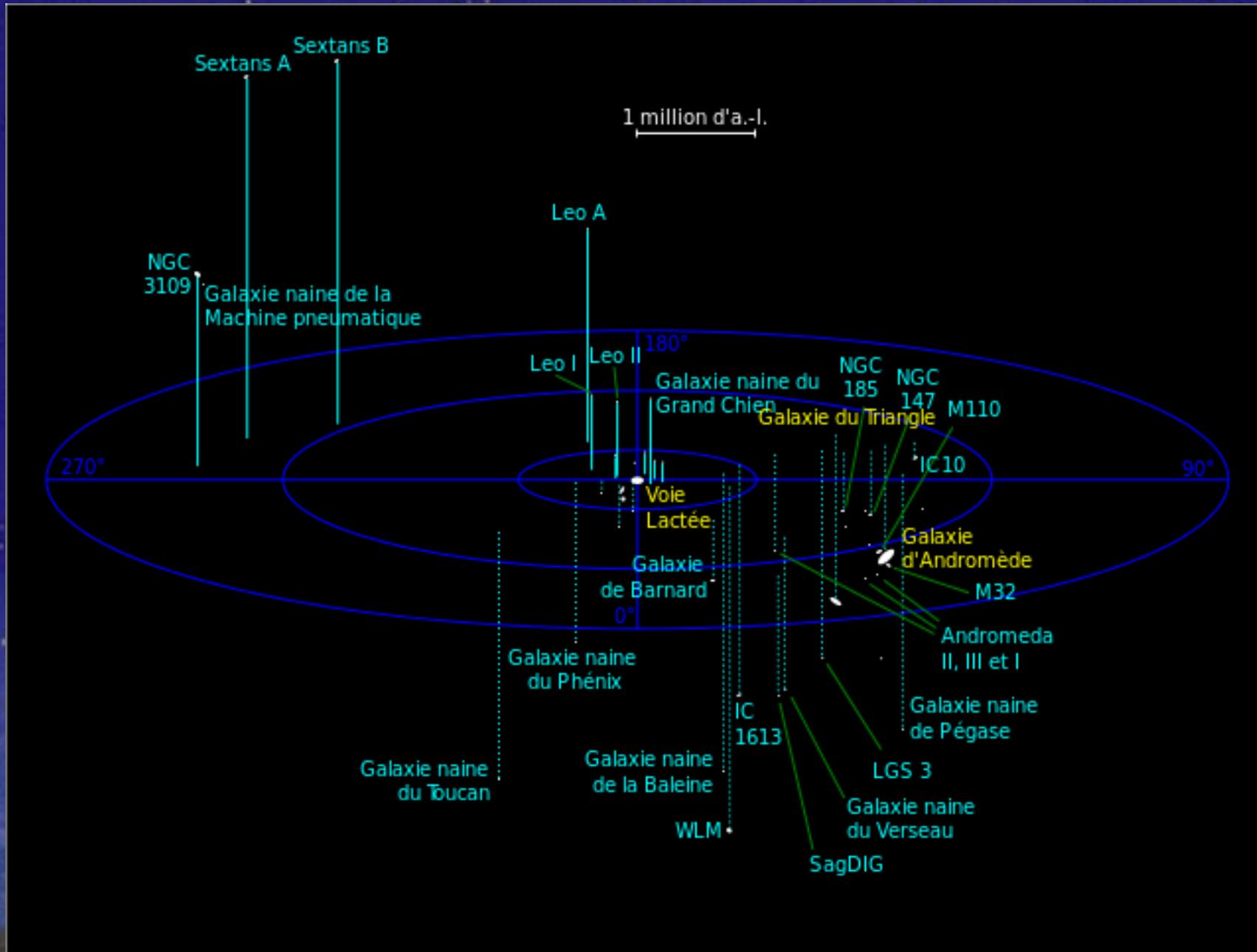
- ✓ Groupe Local:

une quarantaine de galaxies dont M31, la Voie Lactée et M33 (spirales), des galaxies naines sphériques, des irrégulières et qqz elliptiques

- ✓ Diamètre du Groupe Local: ~ 10 Ma.l

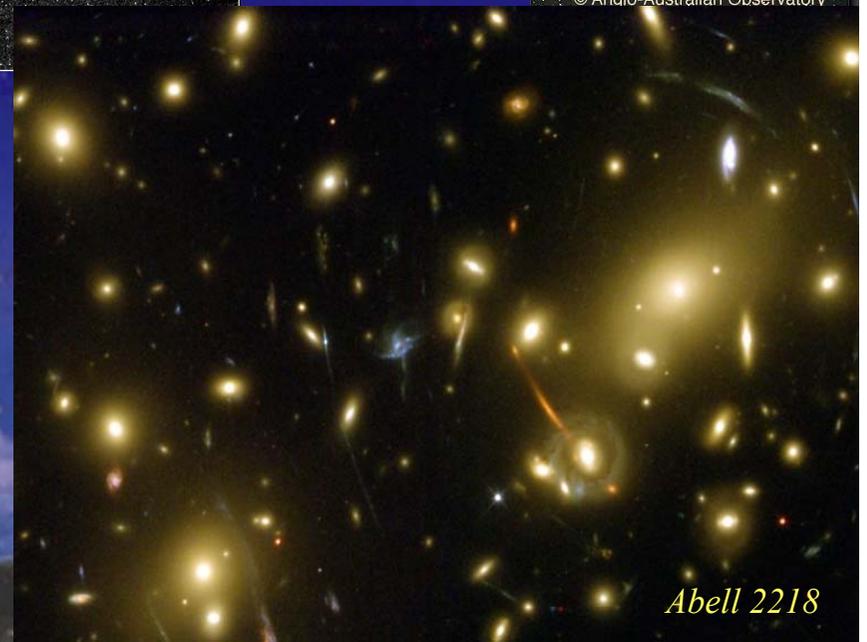
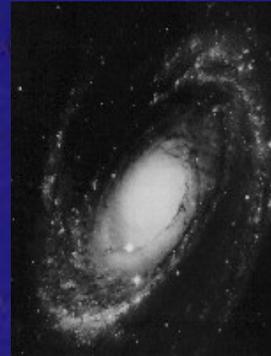


Structure du Groupe Local



Groupes et amas de galaxies

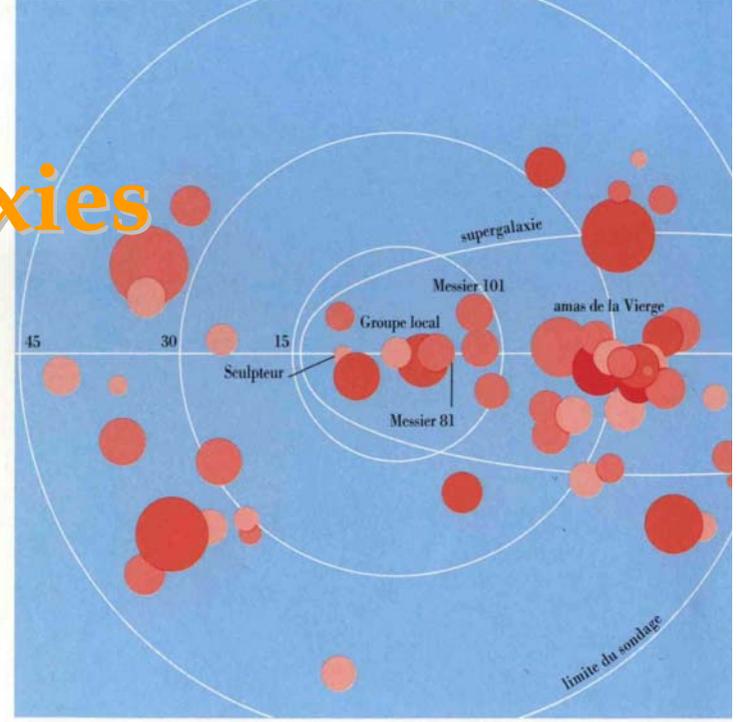
- v Les galaxies se concentrent en *groupes* et *amas*.
- v Les groupes les plus proches sont ceux de M81 (12 Ma.l), M94 (14 Ma.l), M101 (23.5 Ma.l), ..., M51 (31.6 Ma.l)
- v Distances moyennes intergroupes:
~ 10 Ma.l
- v L'amas de galaxies le plus proche est l'amas de la Vierge, à 50 Ma.l.
Contient plus de 2 500 galaxies.
- v Autres amas de galaxies: Hydre - Centaure (140 Ma.l), Chevelure de Bérénice (300 Ma.l), ...



Abell 2218

Superamas de galaxies

- ✓ Les groupes et les amas de galaxies se concentrent en *superamas*
- ✓ Le Superamas Local comprend qqz dizaines de groupes + l'amas de la Vierge. Forme d'ellipsoïde aplati de 100 Ma.l de diamètre
- ✓ Les autres superamas sont associés à des amas très riches (ex. Hydre-Centaure, Chevelure de Bérénice)
- ✓ Structure « alvéolée » de l'univers à grande échelle
- ✓ Univers en expansion

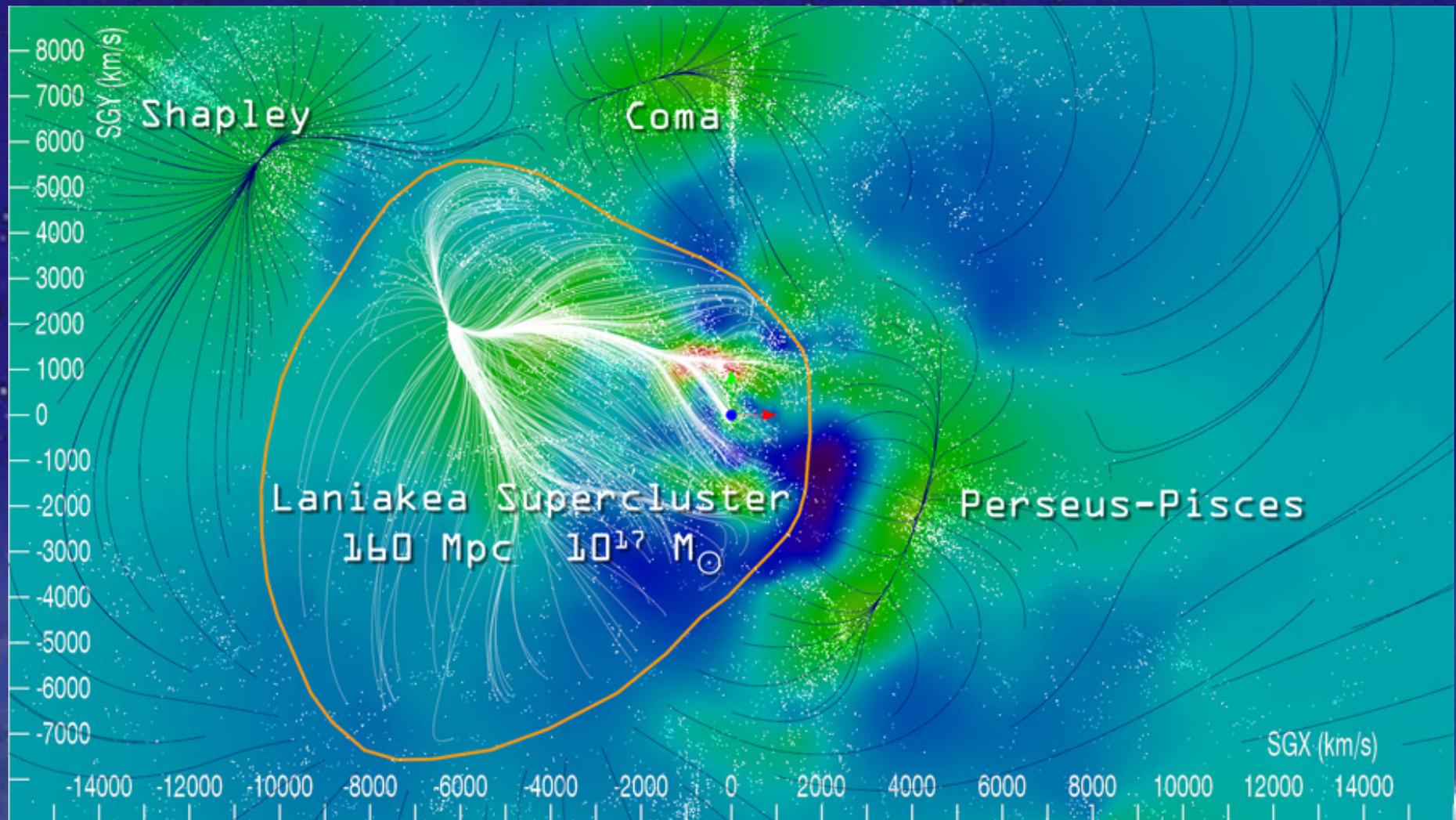


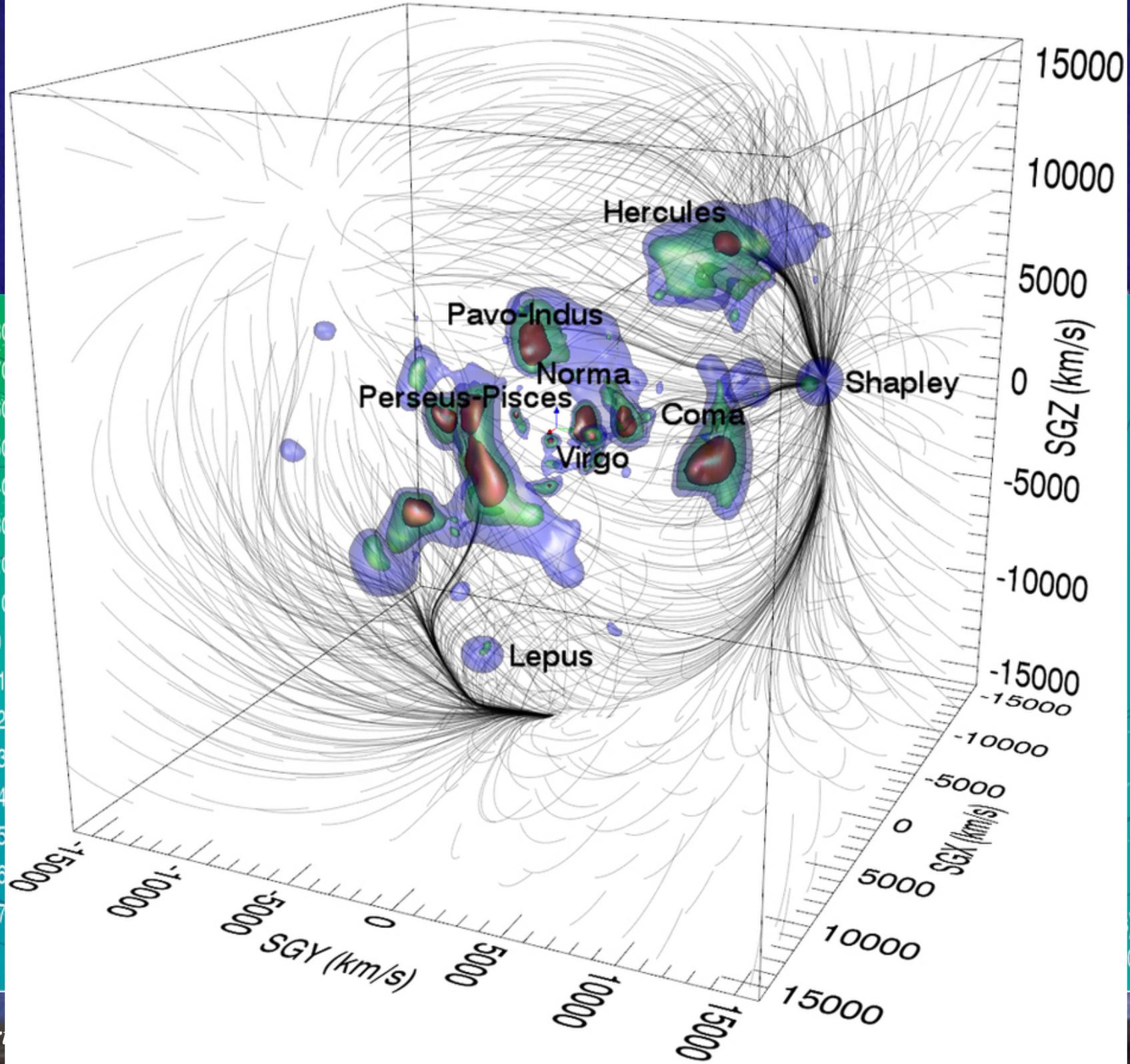
Hubble Ultra Deep Field

Laniakea

Super-amas de galaxies dont fait partie la Voie lactée, représentée ici par un point bleu.

Laniakea s'étend sur plus de cinq cent millions d'années-lumière et compte des centaines de milliers de galaxies.



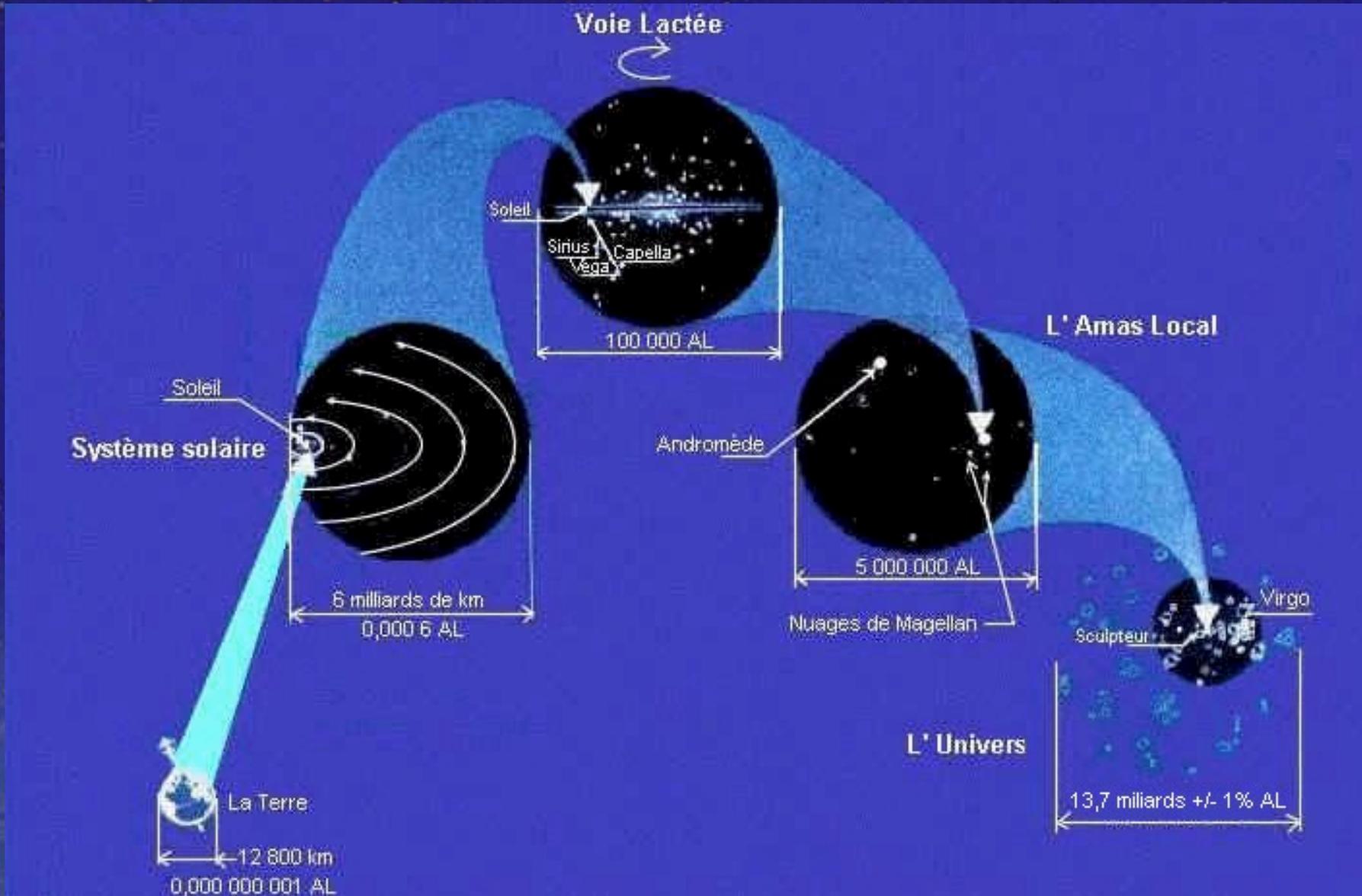


La place de la Terre dans l'univers

- I- Echelle spatiale

OBJET	TAILLE	RAYON REEL
Univers	Terre (R = 6 400km)	13.7 milliards al
Superamas Local	Agglomération lyonnaise	50 millions al
Groupe Local	Presqu'île lyonnaise	3 millions al
Voie Lactée	Salle de spectacle	50 000 al
Système Solaire	Grain de poussière (1 μm)	100 UA
Soleil	atome	700 000 km

Le grand tour



La place de la Terre dans l'univers

-II- Echelle temporelle

Date	Heure	Événement	Nb d'années
1er janvier		Formation de l'Univers	13.7 milliards
19 janvier		Formation de notre Galaxie	13 milliards
31 août		Formation du système solaire	4,6 milliards
16 septembre		Origine de la vie	4 milliards
5 décembre		Premiers métazoaires	1 milliard
16 décembre		Début de l'ère primaire (algues + invertébrés marins)	600 millions
21 décembre		La vie (plantes et animaux) envahit les terres émergées	400 millions
25 décembre		Début de l'ère secondaire (dinosaures)	240 millions
30 décembre	6h	Début de l'ère tertiaire (mammifères)	65 millions
31 décembre	11 h	Premiers primates	20 millions
	17 h	Premiers hominidés	10 millions
	22 h 43mn	Début de l'ère quaternaire. Premiers hommes	2 millions
	23h 36mn	Homo Sapiens	100000 ans
	23h 59mn 14s	Invention de l'agriculture	20000 ans
	23h 59mn 46s	Début de l'Histoire	6000 ans
	23h 59mn 56s	Naissance du Christ	2000 ans
	23h 59mn 59s	Renaissance	500 ans
	24h 00mn 00s	Aujourd'hui	0