

Chapitre I

STRUCTURE DU COSMOS

I - INTRODUCTION

1. – Quelques définitions

- **L'Univers** est l'ensemble de tout ce qui existe. On l'appelle également le Cosmos ou l'Espace lorsqu'on parle du milieu extraterrestre.
- **La Cosmologie** est l'étude de la structure, de l'origine et de l'évolution de l'Univers.
- **L'Astronomie** est la science des corps célestes. (céleste est un mot qui est relatif au ciel).
- **L'Astrophysique** est l'étude des propriétés physiques des corps célestes

2. – L'échelle des distances pour mesurer l'Univers

a) - *L'année lumière notée al*

c'est la distance parcourue en un an par la lumière.

$$1 \text{ al} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

b) - *L'unité astronomique notée UA*

C'est la distance entre la Terre et le Soleil

$$1 \text{ UA} = 150.000.000 \text{ km environ.}$$

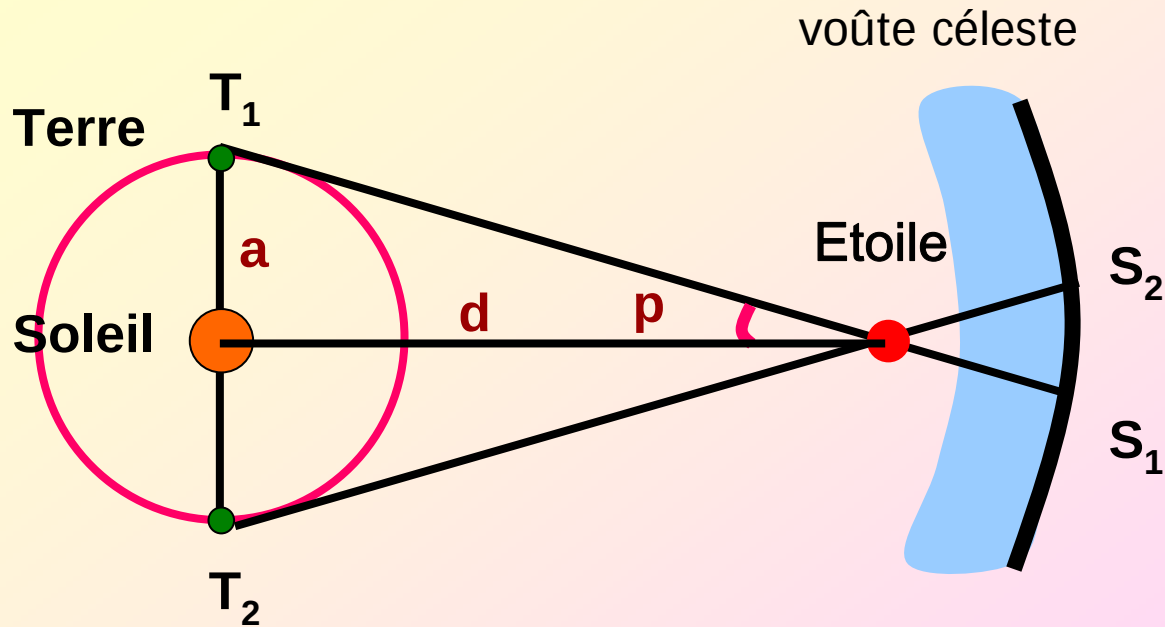
c) – *Le parsec noté pc*

Il correspond à la distance, d'un astre (depuis le Soleil) dont la **parallaxe annuelle** correspond à 1 seconde.

$$1 \text{ parsec} = 206.265 \text{ UA} = 3,23 \text{ al} = 3100 \text{ milliards de km}$$

$$1 \text{ Mpc} = 1 \text{ mégaparsec} = 1 \text{ million pc}$$

fig.1 : la parallaxe annuelle



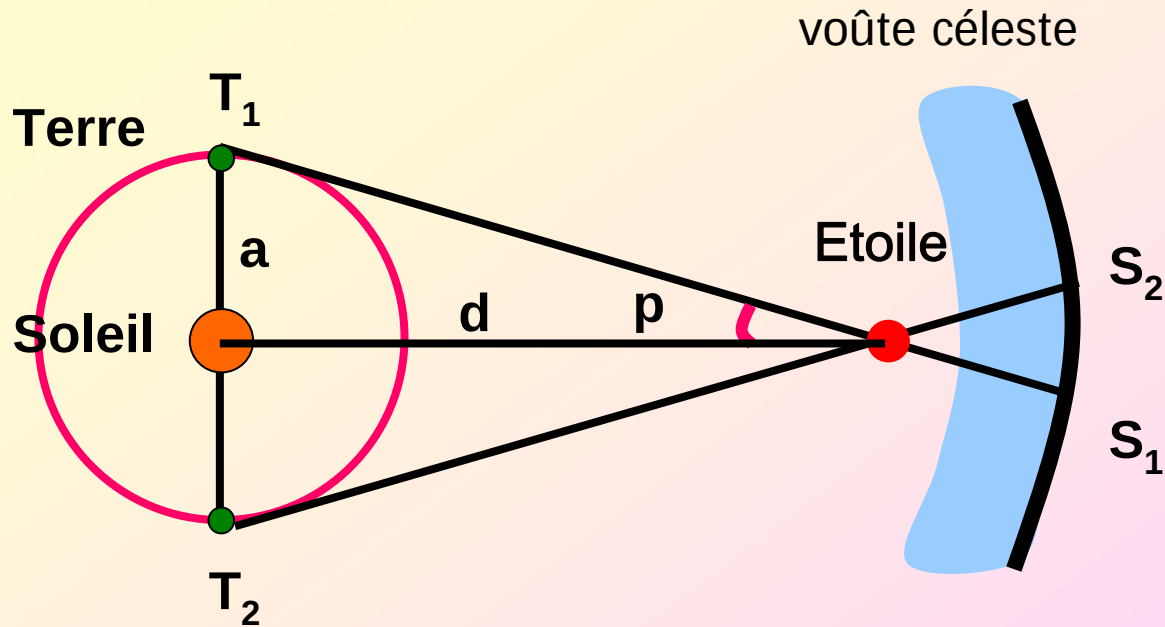
a = le rayon moyen de l'orbite terrestre = 1 UA

d = distance recherchée en parsec

p = la parallaxe annuelle en radians = l'angle sous lequel on voit (a) lorsqu'un observateur sur Terre se trouve à deux moments de l'année dans T_1 et T_2 en regardent un étoile dont on veut connaître sa distance d .

L'étoile se projette sur le fond céleste en deux points différents S et S' .

fig.1 : la parallaxe annuelle



a = le rayon moyen de l'orbite terrestre = 1 UA

d = distance recherchée en parsec

p = la parallaxe annuelle en radians

$$p = a / d$$

Pour $p = 1'' = 1/60' = 1/3600^\circ = 1/206.265$ rad et $a = 1$ UA, on déduit que :

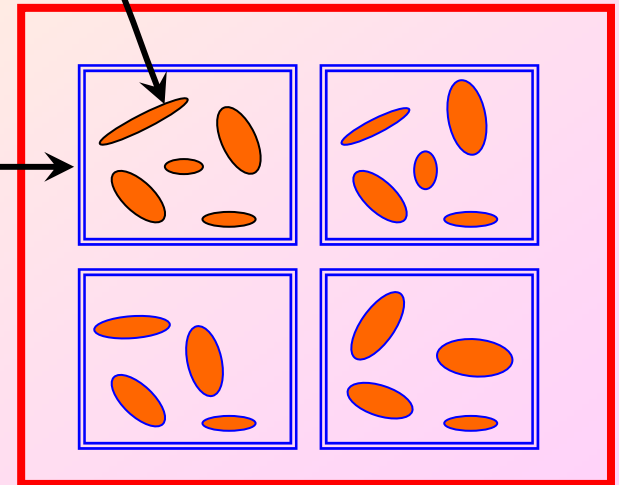
1 parsec = 206.265 UA = 3,23 al = 3100 milliards de km

3.- La hiérarchie de l'Univers

Une **galaxie** est une entité de base de l'Univers ; elle est constituée de milliards d'*étoiles*.

fig.2 : hiérarchie de l'Univers

Un **amas** est constitué de milliards *galaxies*



Un **superamas** est constitué de quelques à plusieurs milliers d'*amas*

Notre *galaxie*, notée **la Galaxie** et appelée **la Voie Lactée**, n'est qu'une parmi les milliards de galaxies ; elle constituée de milliard d'étoiles. Le Soleil est l'une de ces d'étoiles

Fig.3 : La voix lactée vue du haut



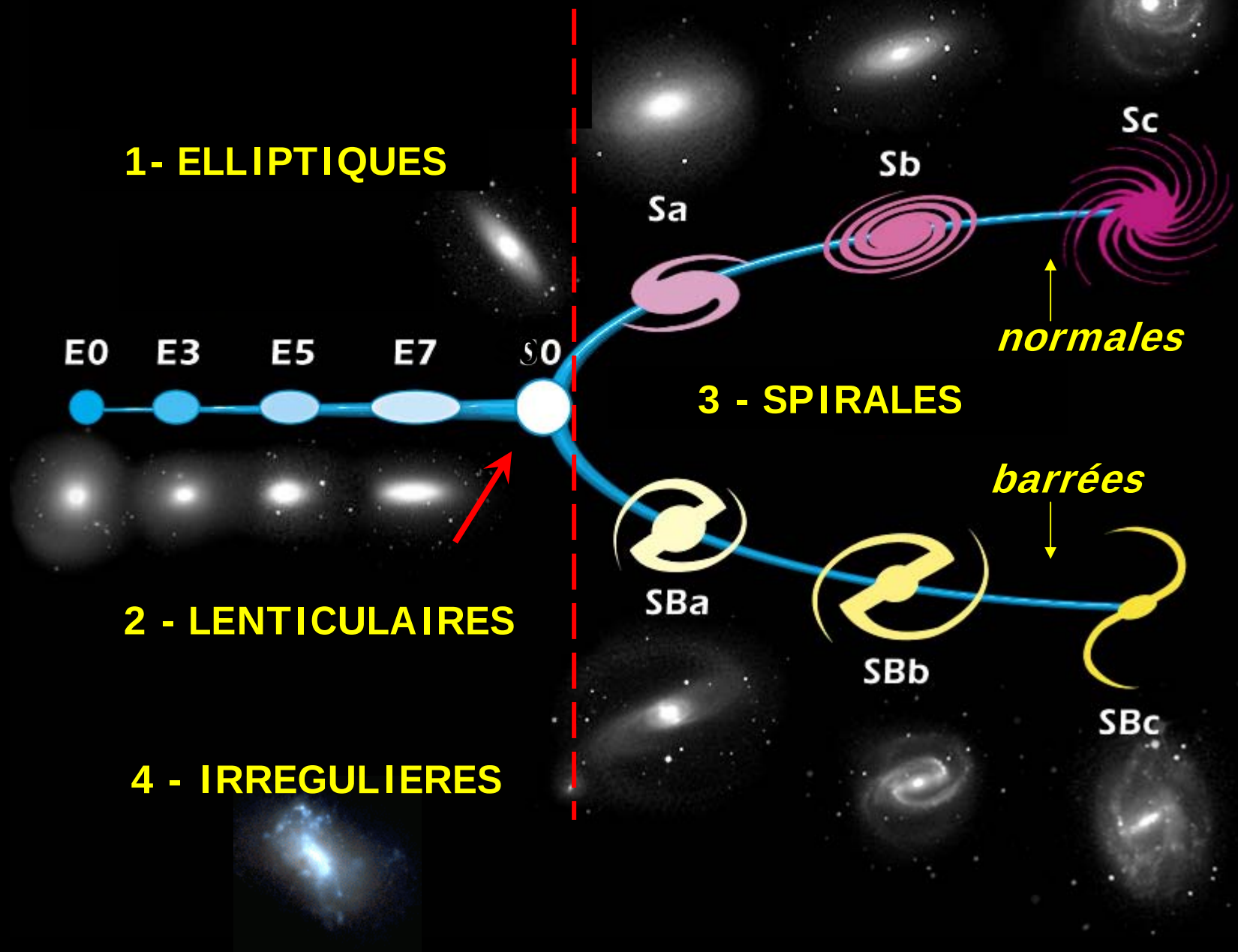
Soleil

Fig.3 : notre Galaxie vue de profil



Fig.4 : Trou noir

Fig.4 : Les différents types de galaxies



Quelques exemples de galaxies

Les Galaxies en spirales normales (S)



Sb : M 81

IRAC



Sb : NGC 4414



Sc (NGC 1232)

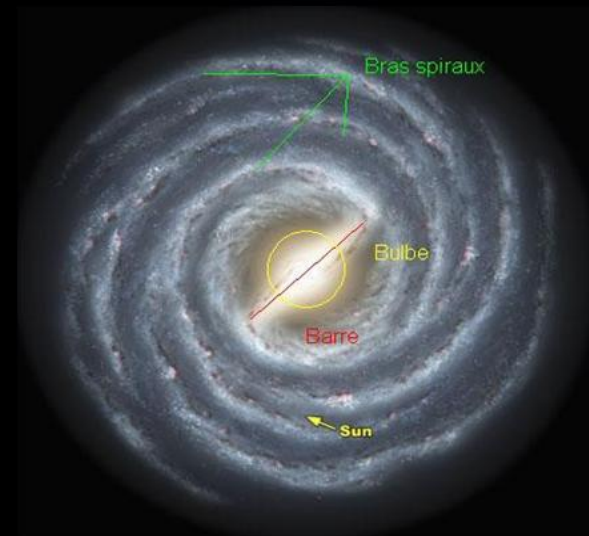
Les Galaxies en spirales barrées (SB)



M 101 SBb



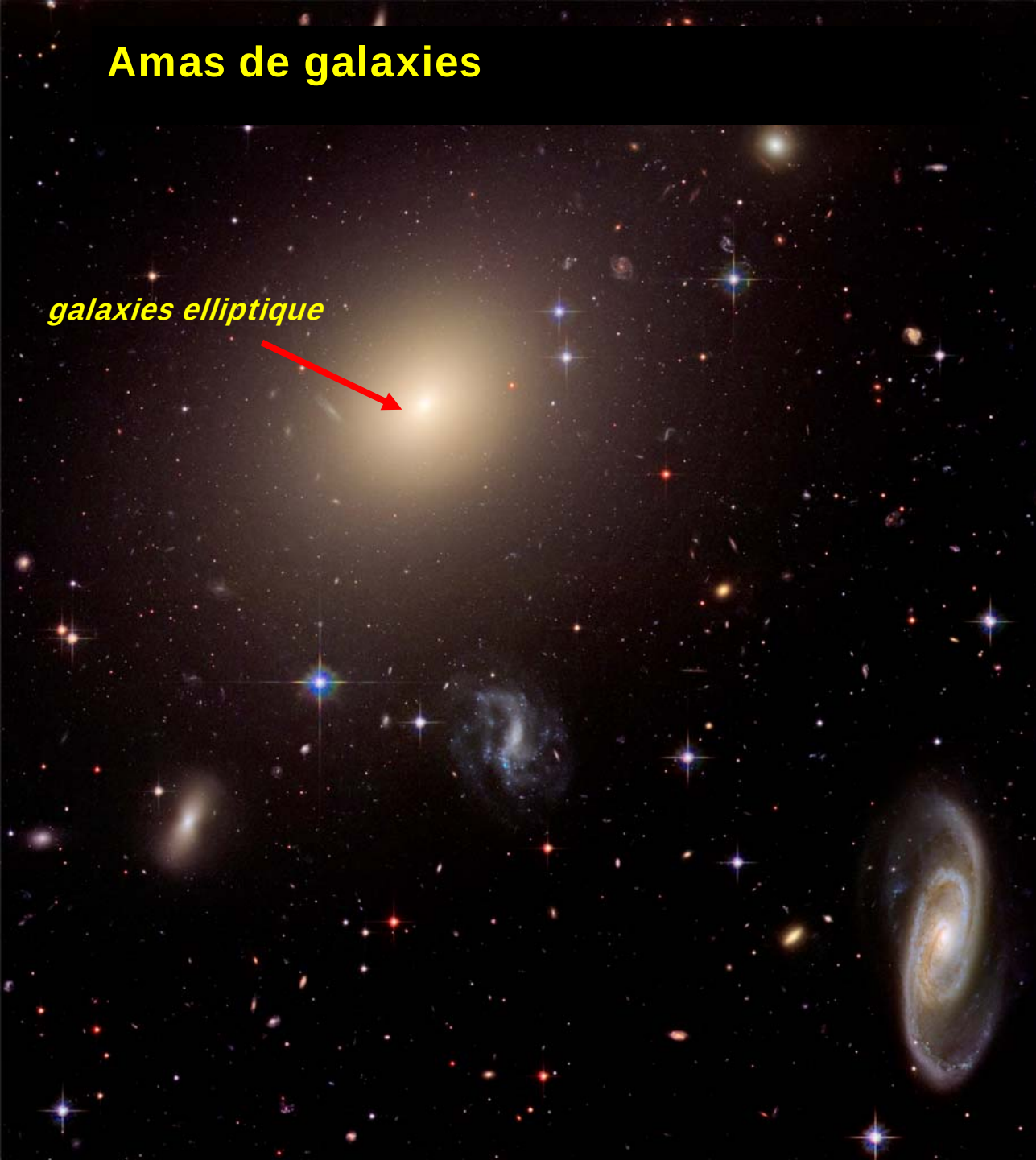
SBa M 83



La Voie Lactée

Amas de galaxies

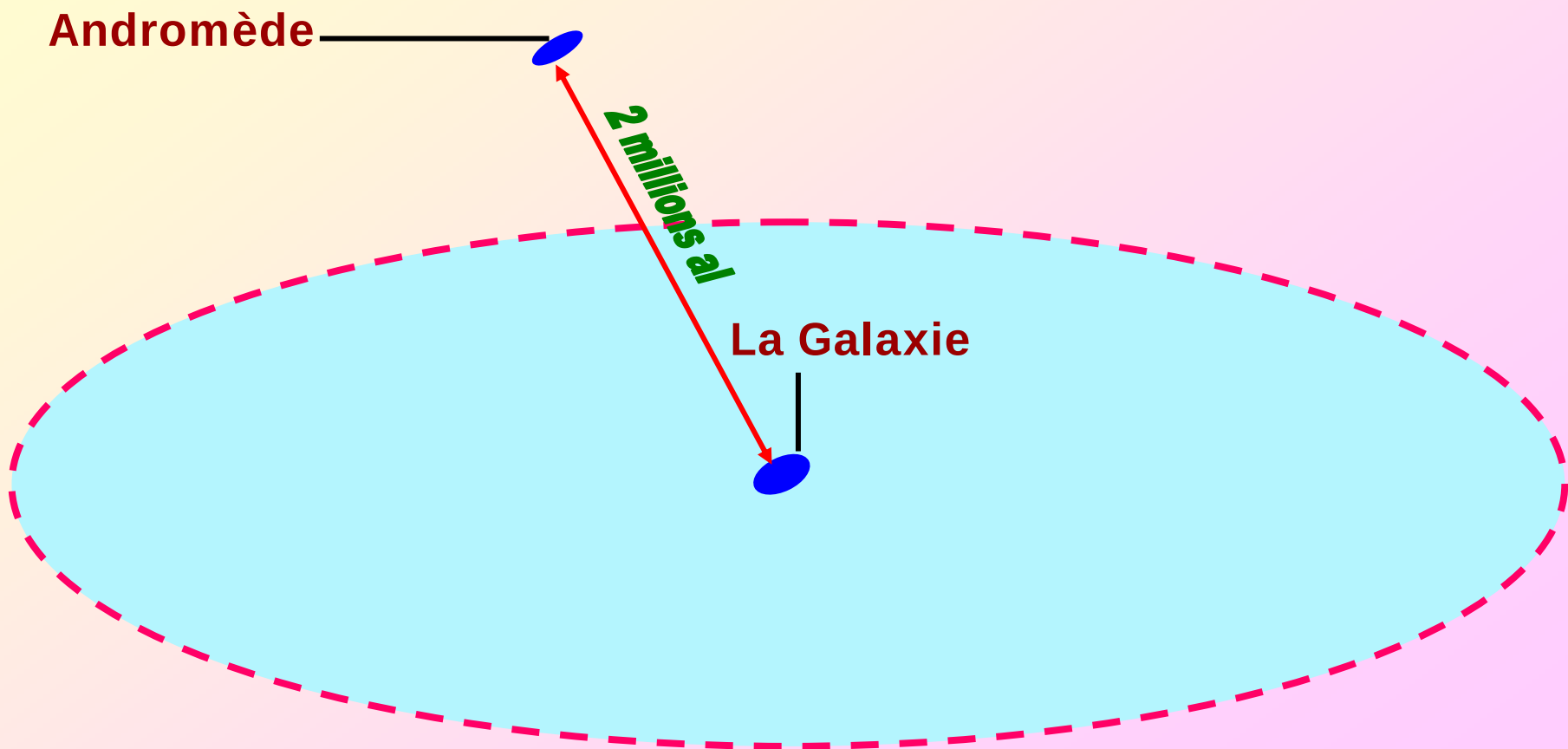
galaxies elliptique



Collision entre deux galaxies



Fig. 6 : Groupe Local



Galaxies Amas local



M33, galaxie du triangle



Andromeda Galaxy
Visible light image (John Gleason)

- M31, galaxie d'Andromède = galaxie spirale de type Sb.**
- Bulbe lumineux à grand nombre de vieilles d'étoiles.
 - Bras spiraux composés principalement de gaz, poussières et d'étoiles jeunes.

Fig. 6 : Groupe Local

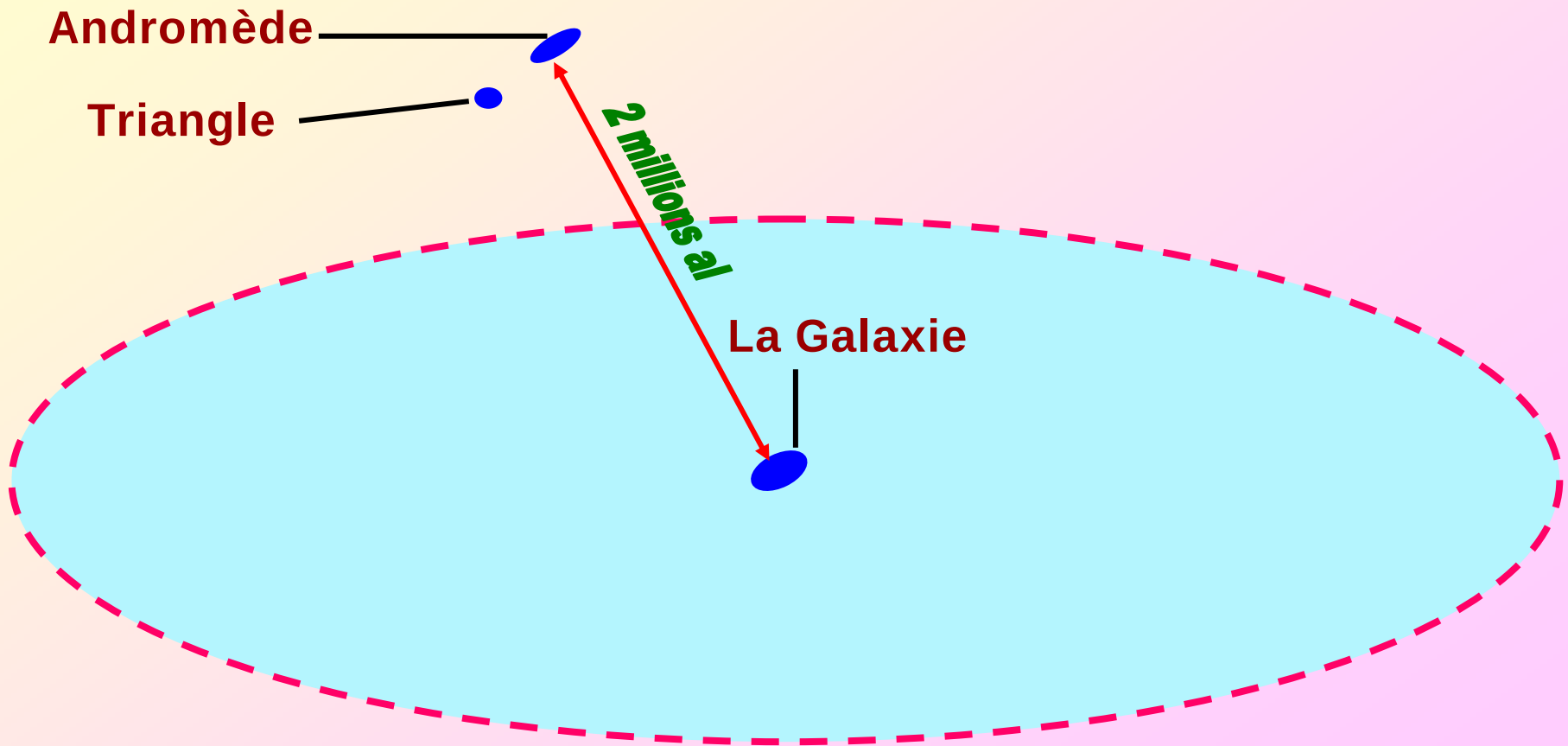


Fig. 6 : Groupe Local

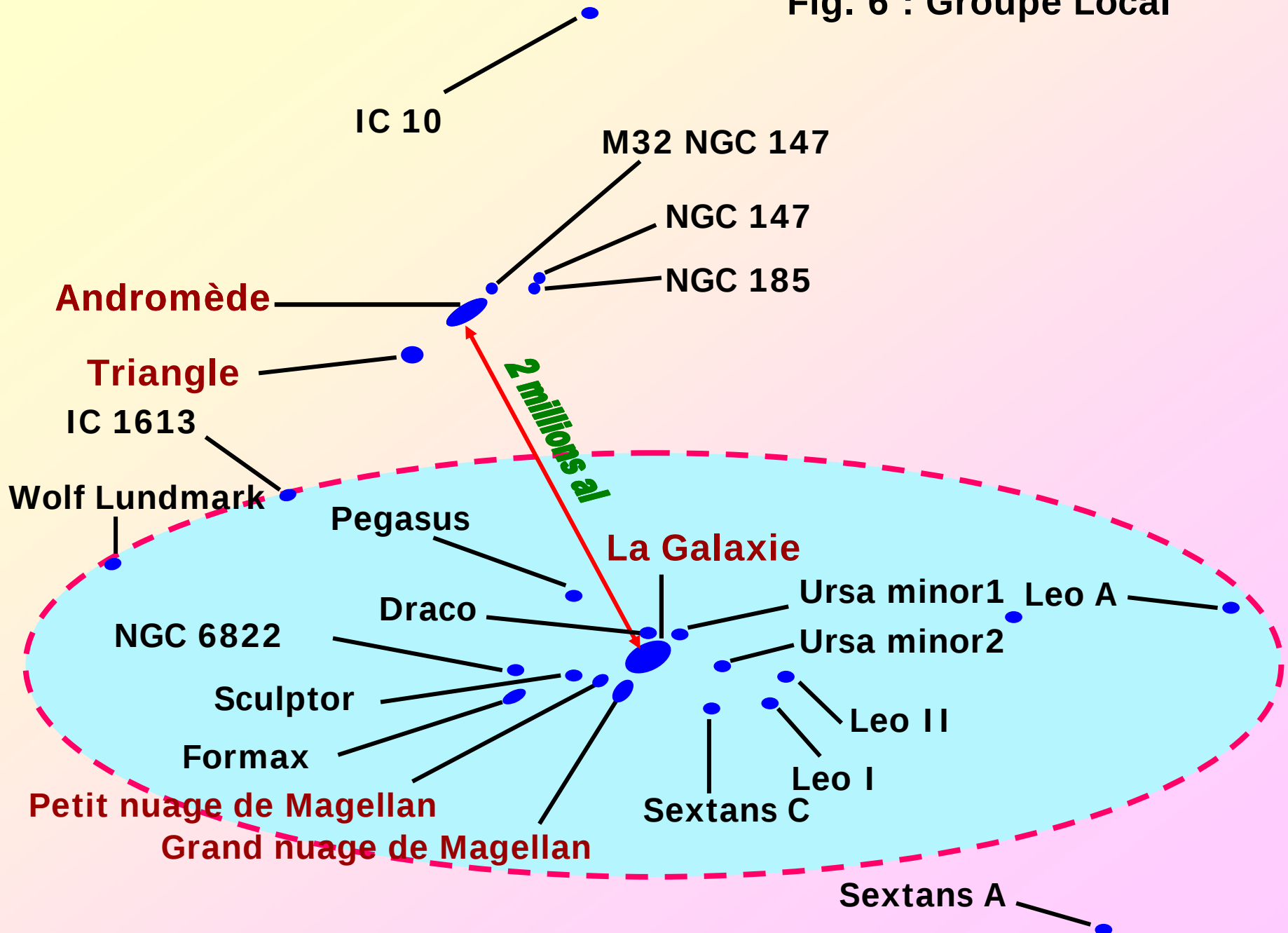
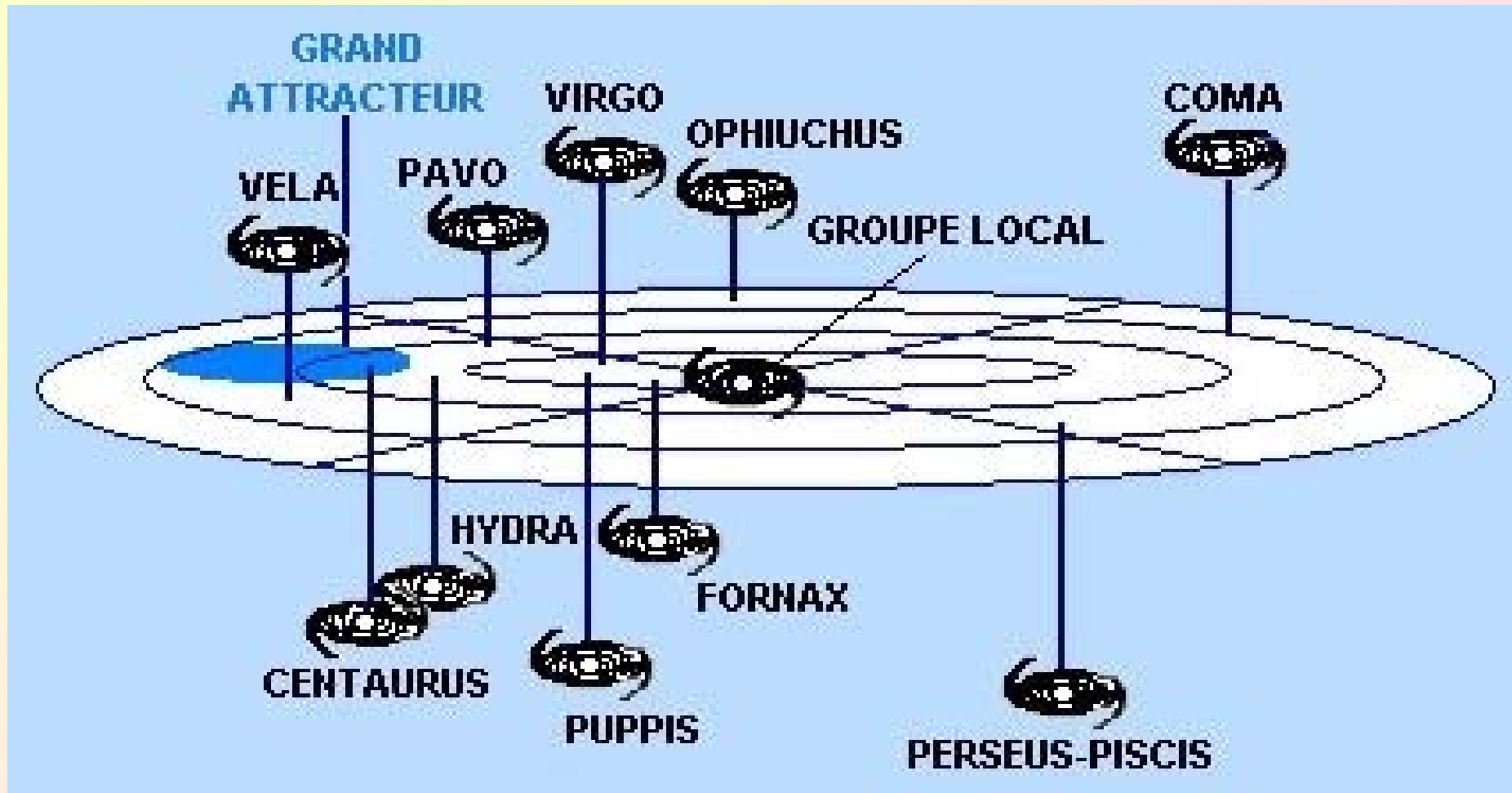


Fig. 7 : Superamas Local



3. – L'éloignement des galaxies : l'expansion de l'Univers

L'effet Doppler-Fizeau

Le son est plus aigu quand une voiture s'approche d'un observateur et plus grave quand la voiture s'éloigne.

son aigu = ondes sonores comprimées = longueur d'onde est plus courte

son grave = ondes sonores décomprimées = longueur d'onde est plus longue

Ce qui est vrai pour le son est vrai pour la lumière

l'aigu au bleu et le grave correspond au rouge

L'effet Doppler sur la lumière est caractérisé par un décalage vers le rouge des raies spectrales

Ce décalage Z permet de calculer la vitesse radiale des galaxies v à partir de la formule suivante:

$$Z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

La loi de Hubble

$$V = H * d$$

V = la vitesse radiale (exprimée en kilomètres par seconde)

d = la distance exprimée en mégaparsecs = Mpc

H est nommée *constante de Hubble* elle exprimée en *km/sec/Mpc*

La valeur de H est réajustée un certain nombre de fois entre 50 et 70

Plus une galaxie est lointaine, et plus sa vitesse d'éloignement est grande.

La loi de Hubble conduit à l'image d'un *Univers en expansion* depuis son origine qu'on appelle **Big Bang** (chapitre II)

4. - Les quasars

Les *quasars* = galaxies impossibles à distinguer des étoiles sur les clichés du ciel

Elles sont 100 fois plus lumineuses que les galaxies normales

Elles sont caractérisées par :

- un forte émission radio

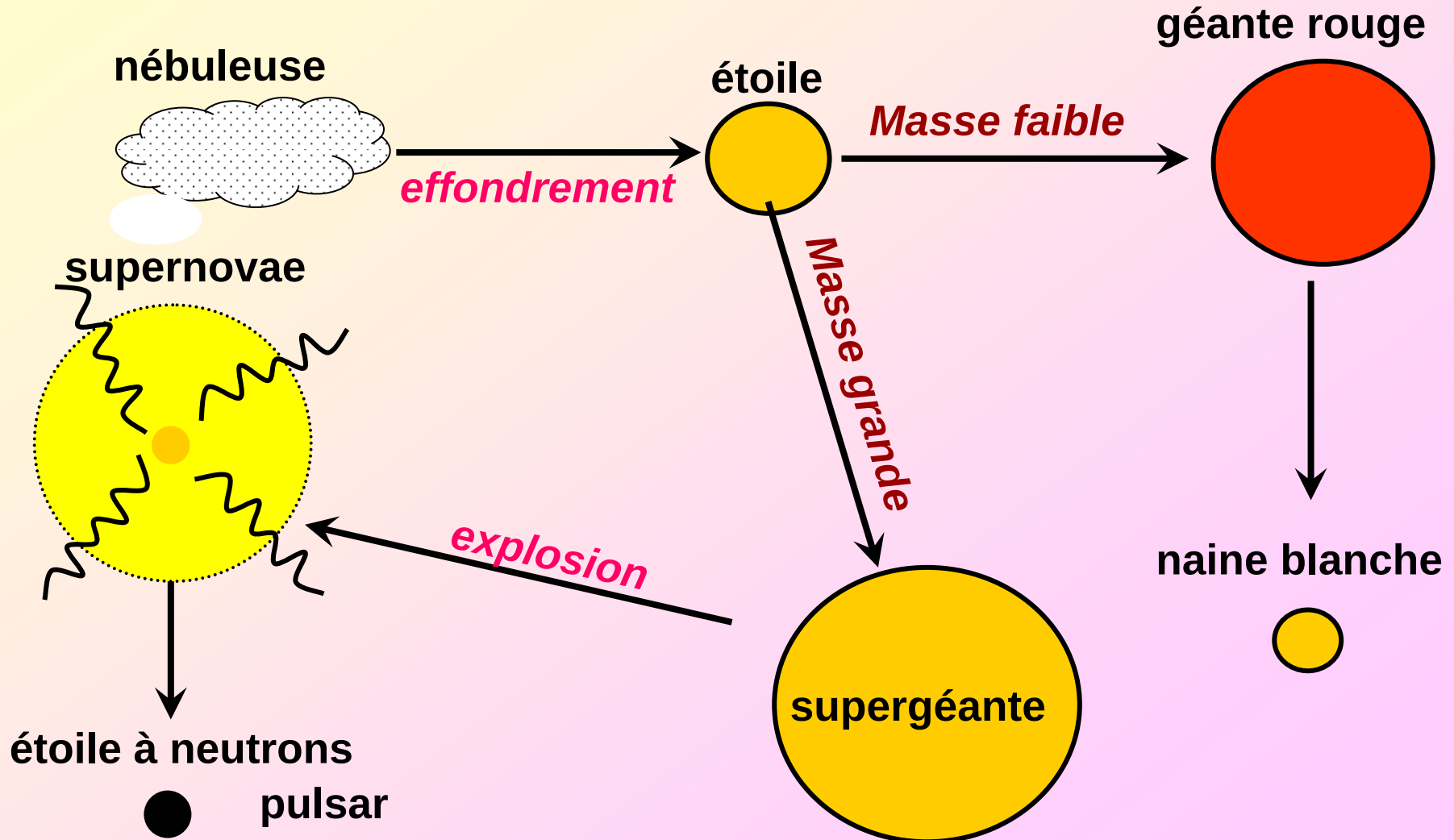
- une très forte émission de rayonnements g, X et uv.

- Cette énergie est d'origine gravitationnelle provenant d'un trou noir massif, situé au centre de la galaxie

Grâce à l'énorme quantité d'énergie, la matière interstellaire peut-être chauffée et ionisée jusqu'à des distances très grandes, nous révélant ainsi l'existence d'une composante gazeuse aussi éloignée.

IV - LES ETOILES

Fig.8: Evolution des étoiles



2. – Couleur et luminosité des étoiles

Fig. 8 : position de quelques étoiles dans le diagramme HR

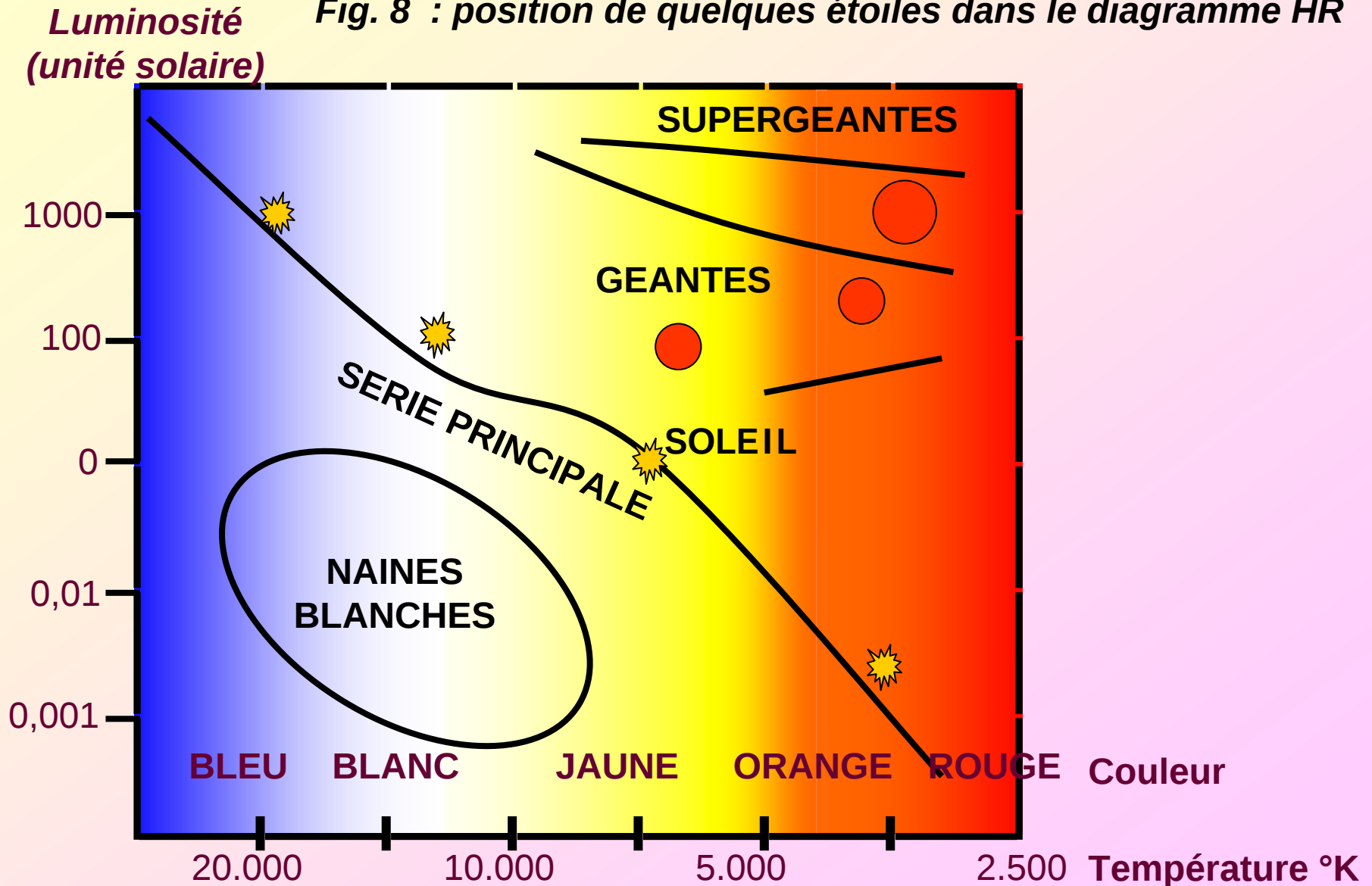
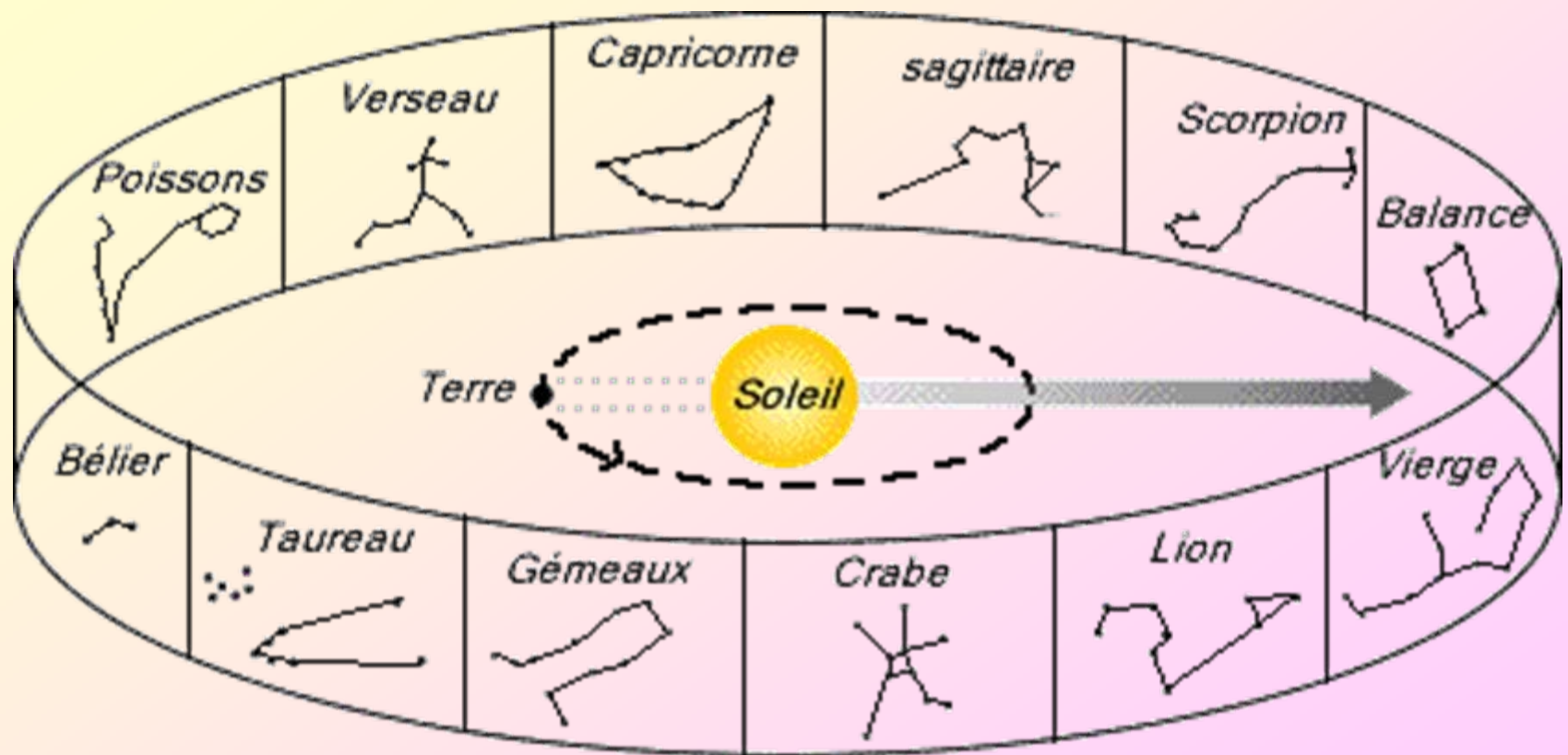


Fig.9 : Les constellations



V. – LA COMPOSITION DU MILIEU INTERSTELLAIRE

zones relativement denses et froides (103 particules par cm³)

- Les nuages moléculaires  étoiles
- Les régions H II chaudes à hydrogène ionisé, chauffées par des étoiles (1.000 °K).
- Les restes de supernovae

zones dilués et chaudes (0,01 à 10 particules par cm³)

- Les régions H I à hydrogène neutre (1 atome par cm³)
la température = 50 et 150 °K

- Les régions inter nuages (0,05 à 0,2 atome par cm³)

La température = 6 000 °K.

VII – AGE DE L'UNIVERS

L'âge de l'Univers a été estimé à *15 ± 5 milliards d'années*. Il a été obtenu par trois méthodes indépendantes les unes des autres :

- le mouvement des galaxies,
- l'âge des plus vieilles étoiles (en examinant leurs spectres)
- l'âge des plus vieux atomes (chapitre VI).

Fig. 10: LES DIMENSIONS DE L'UNIVERS

Les dimensions et la survie de l'Univers dépendent d'une valeur critique de sa masse qu'on note VC

la masse de l'Univers $> VC$ $\longrightarrow$ forces de gravitation importantes
l'Univers serait fini et il s'effondrera sur lui-même = Big Crunch

la masse de l'Univers $< VC$ $\longrightarrow$ forces de gravitation faibles
l'expansion se poursuivra éternellement en s'accroissant
l'Univers serait spatialement infini

la masse de l'Univers = valeur critique

Rapprochement des objets massifs et l'expansion sera ralenti
sans jamais s'arrêter

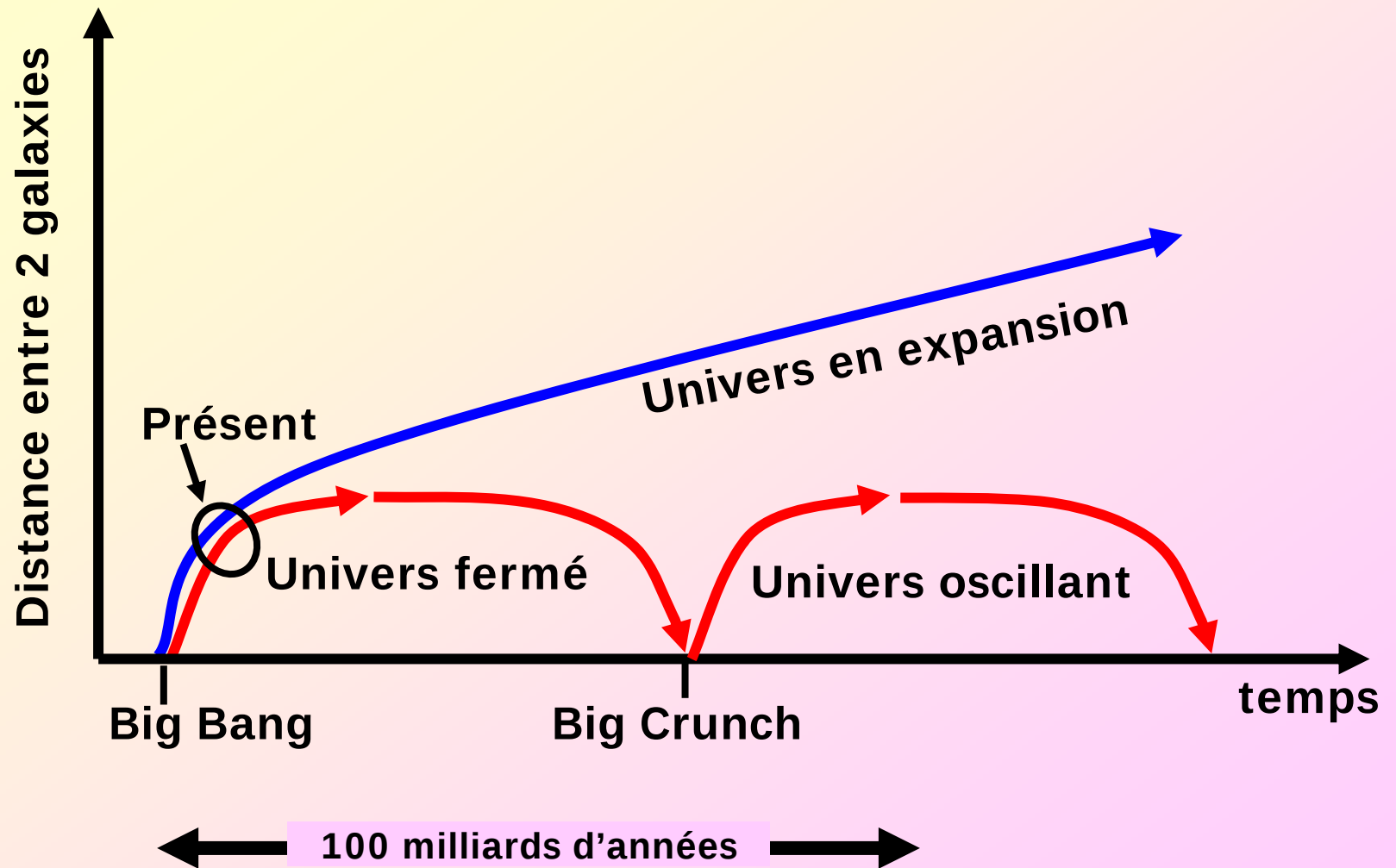
l'Univers est dit "plat".

VC calculée = $5 \cdot 10^{-30}$ gramme de matière par mètre cube

VC observée = $5 \cdot 10^{-32}$ gramme de matière par mètre cube

VC réelle = une grande inconnue à cause de la présence de
matière noire très dense non inventoriée

Le Devenir de l'Univers



FIN

**CE DOCUMENT EST DESTINÉ AUX ETUDIANTS
DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE RABAT
(MAROC)**

**LE CONTENU DE CE DOCUMENT EST COMMENTÉ DANS LE
DETAIL PENDANT LES SEANCES DE COURS ET DES TD**

POUR TOUT AUTRE USAGE IL CONVIENT DE CITER LA SOURCE

Chapitre 2

NUCLEOSYNTHESE ET EVOLUTION DE L'UNIVERS

INTRODUCTION

Deux types de matière :

La matière ordinaire :

- *- % faible de la masse de l'Univers
- *- Propriétés physiques connues

La matière noire :

- *- % grand de la masse de l'Univers
- *- Propriétés physiques sont inconnues : on parle de *singularité*

(physique)

On s'intéresse à la matière ordinaire de l'Univers

La matière ordinaire correspond à la combinaison des éléments chimiques définis dans le tableau de Mendeleïv

Nucléosynthèse = ensemble de processus physiques conduisant à la synthèse d'atomes

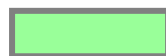
Fig.1 : TABLEAU DES ELEMENTS CHIMIQUES DE LA MATIERE

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12	noyau très stable										Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109									

Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103



nucléosynthèse 3mn après la création de l'Univers jusqu'à 300.000 ans



nucléosynthèse stellaire (300.000 ans après la création de l'Univers)



nucléosynthèse interstellaire (*réaction de spallation*)



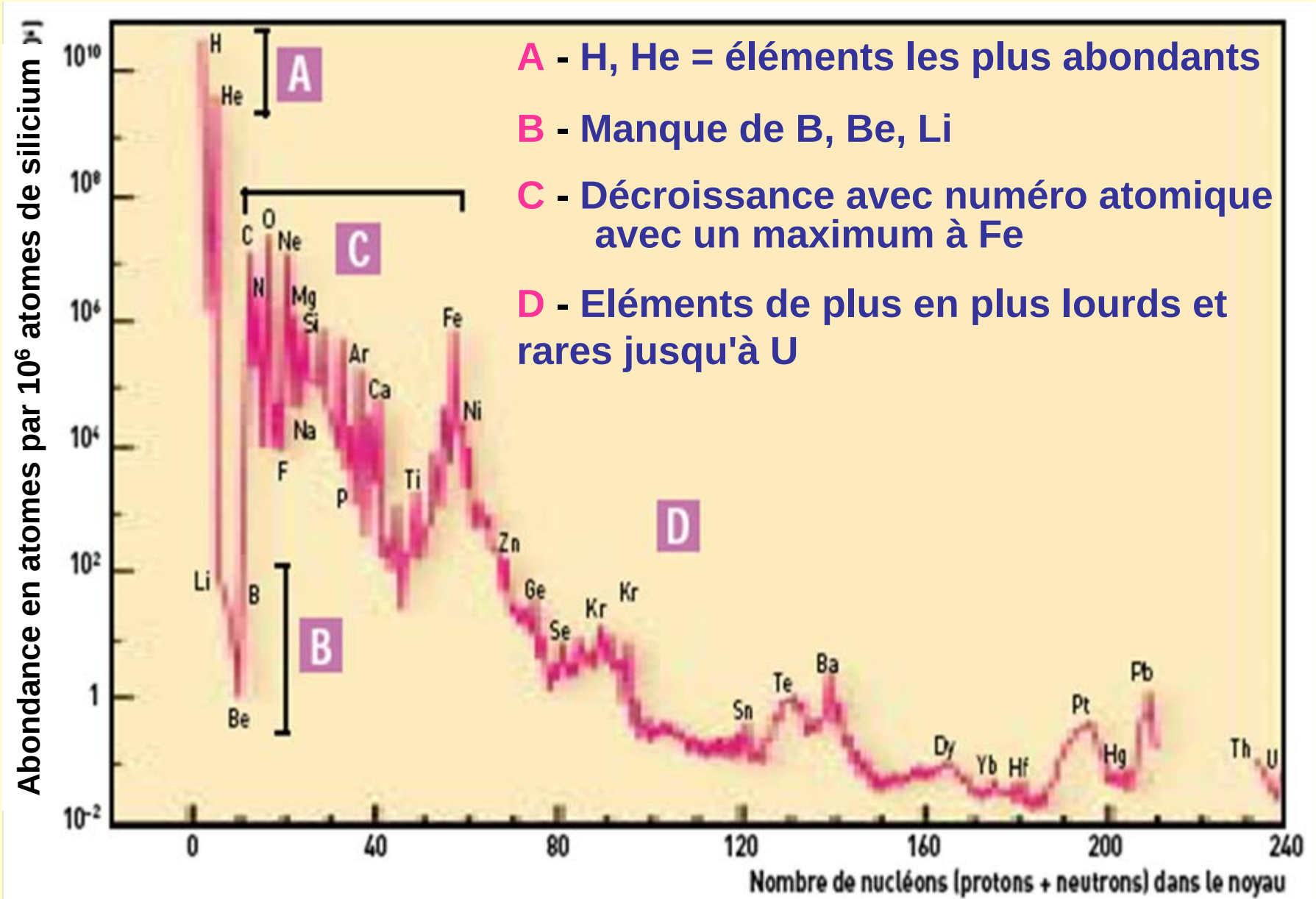
nucléosynthèse après explosion des étoiles (*capture de neutrons*)



nucléosynthèse artificielle

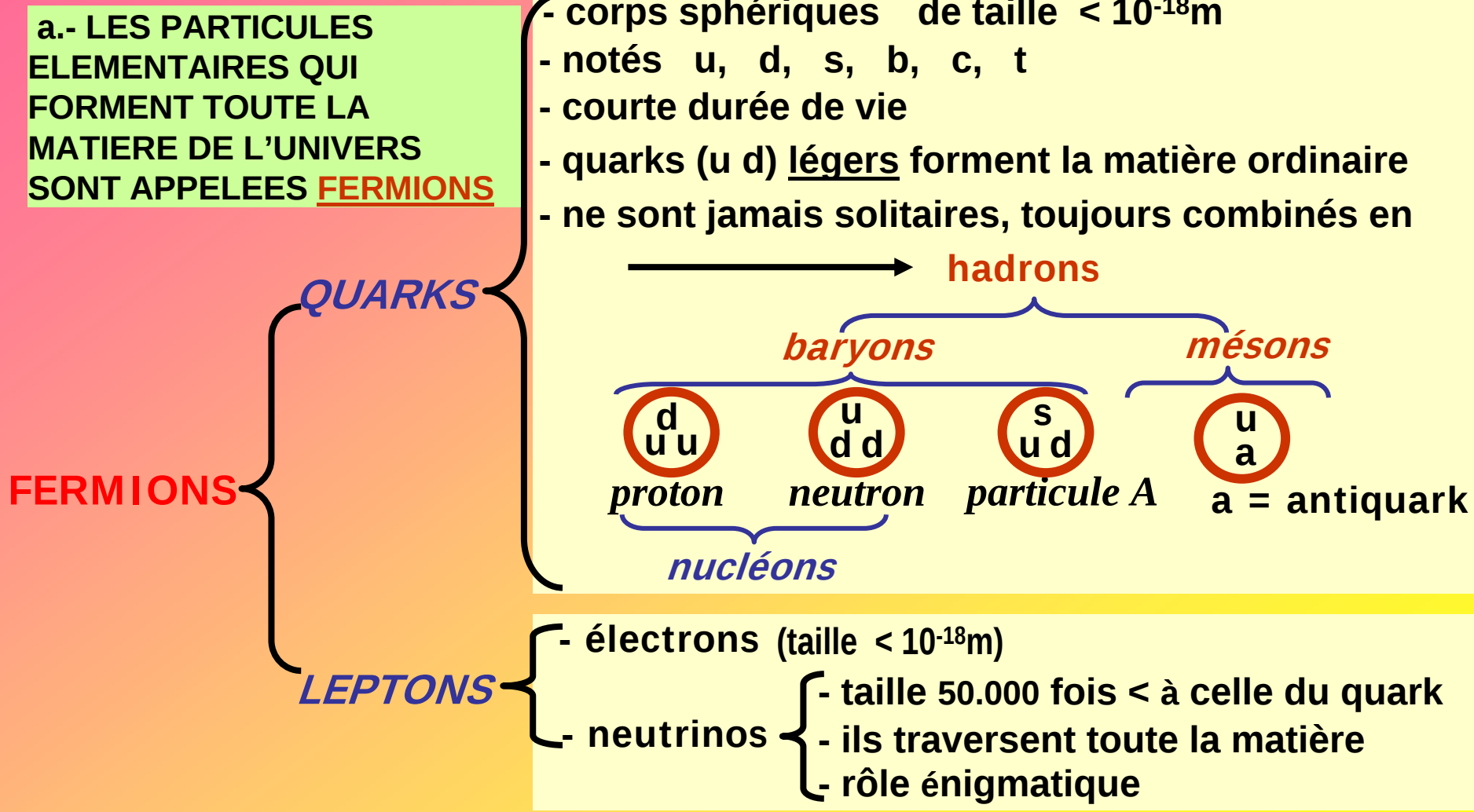
Fig.2 : ABONDANCE DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA MATIERE DANS L'UNIVERS

source : www.cea.fr



I - NUCLEOSYNTHESE PRIMORDIALE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

1 – LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE L'UNIVERS (fig.3)



b. - POUR SE COMBINER, LES FERMIONS AURONT BESOIN D'AUTRES PARTICULES PORTEUSES DE « FORCES » APPELEES **BOSONS** :

(Pr. Driss FADLI) - PHOTONS, - GRAVITONS, - GLUONS, - W-,W+,Z°,

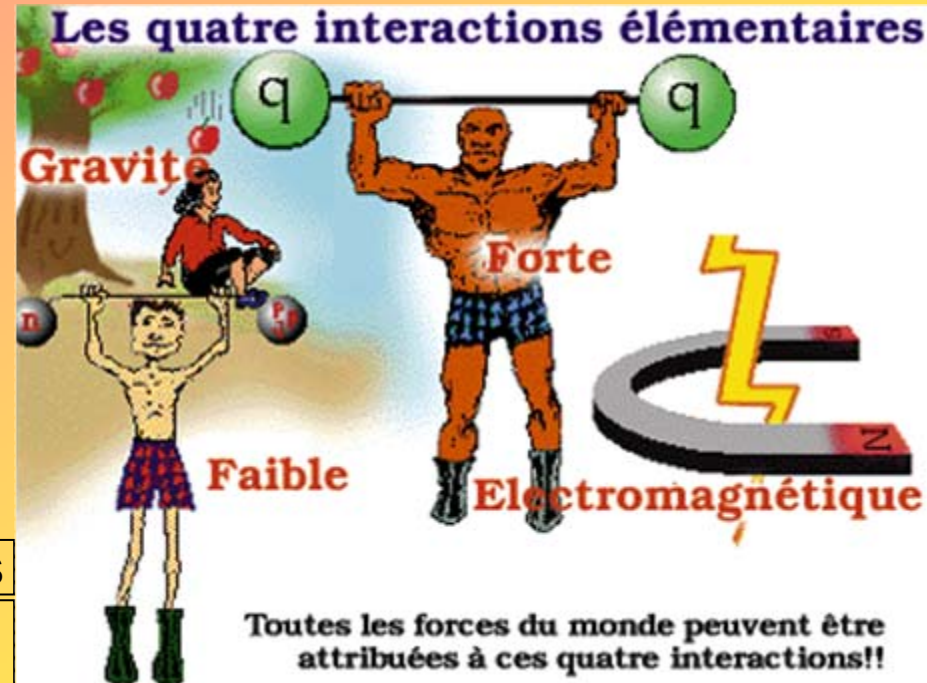
a.- LES PARTICULES ELEMENTAIRES QUI FORMENT TOUTE LA MATIERE DE L'UNIVERS SONT APPELEES **FERMIONS**

b. - POUR SE COMBINER, LES FERMIONS AURONT BESOIN D'AUTRES PARTICULES PORTEUSES DE « FORCES » APPELEES **BOSONS** :

c. - FERMIONS ET BOSONS AURONT AURONT BESOIN DE **4 INTERACTIONS FONDAMENTALES** POUR FORMER LA MATIERE :

- LA GRAVITATION
- L'INTERACTION NUCLEAIRE FORTE
- L'INTERACTION NUCLEAIRE FAIBLE
- L'INTERACTION ELECTROMAGNETIQUE

INTERACTION	BOSONS	AGIT SUR	FERMIONS
gravité	graviton		
faible	W^-, W^+, Z^0		Leptons
Électromagnétique	photon		Quarks
forte	gluon		

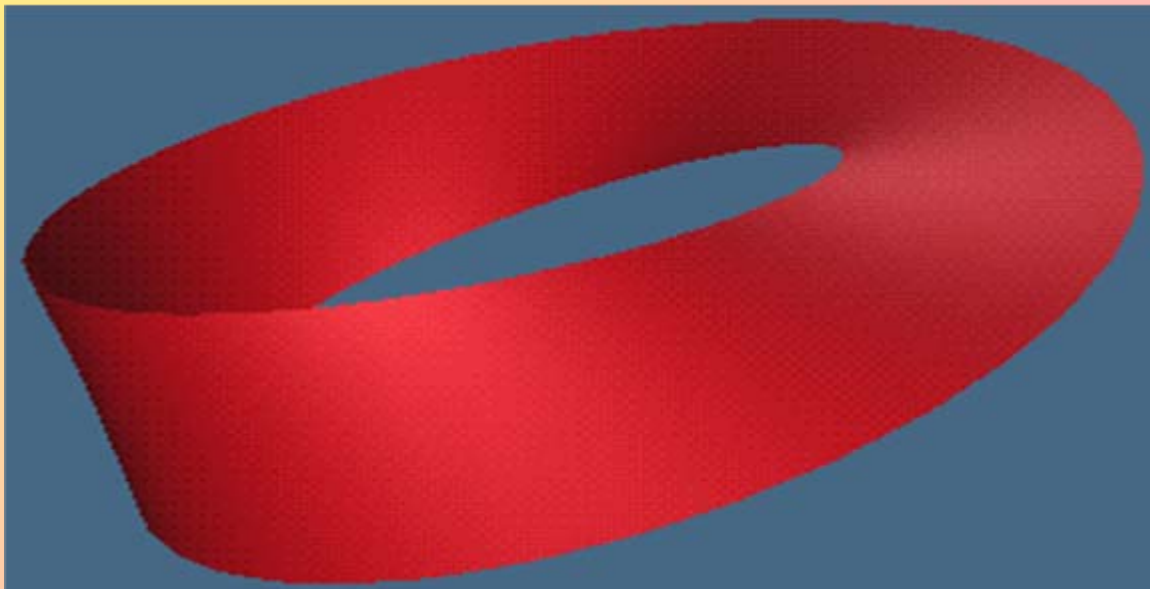


I - NUCLEOSYNTHESE PRIMORDIALE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

L'ANTIMATIERE

- A chaque particule correspond une antiparticule (de courte durée de vie)
- Dans la réaction matière-antimatière, la conversion est total, le rendement est de 100%
- A l'heure actuel seul des éléments comme des positons et des anti-protons ont été détectés.
- Hypothèse : l'Univers serait un ruban de mœubius avec une "face" de matière et "l'autre" d'antimatière.

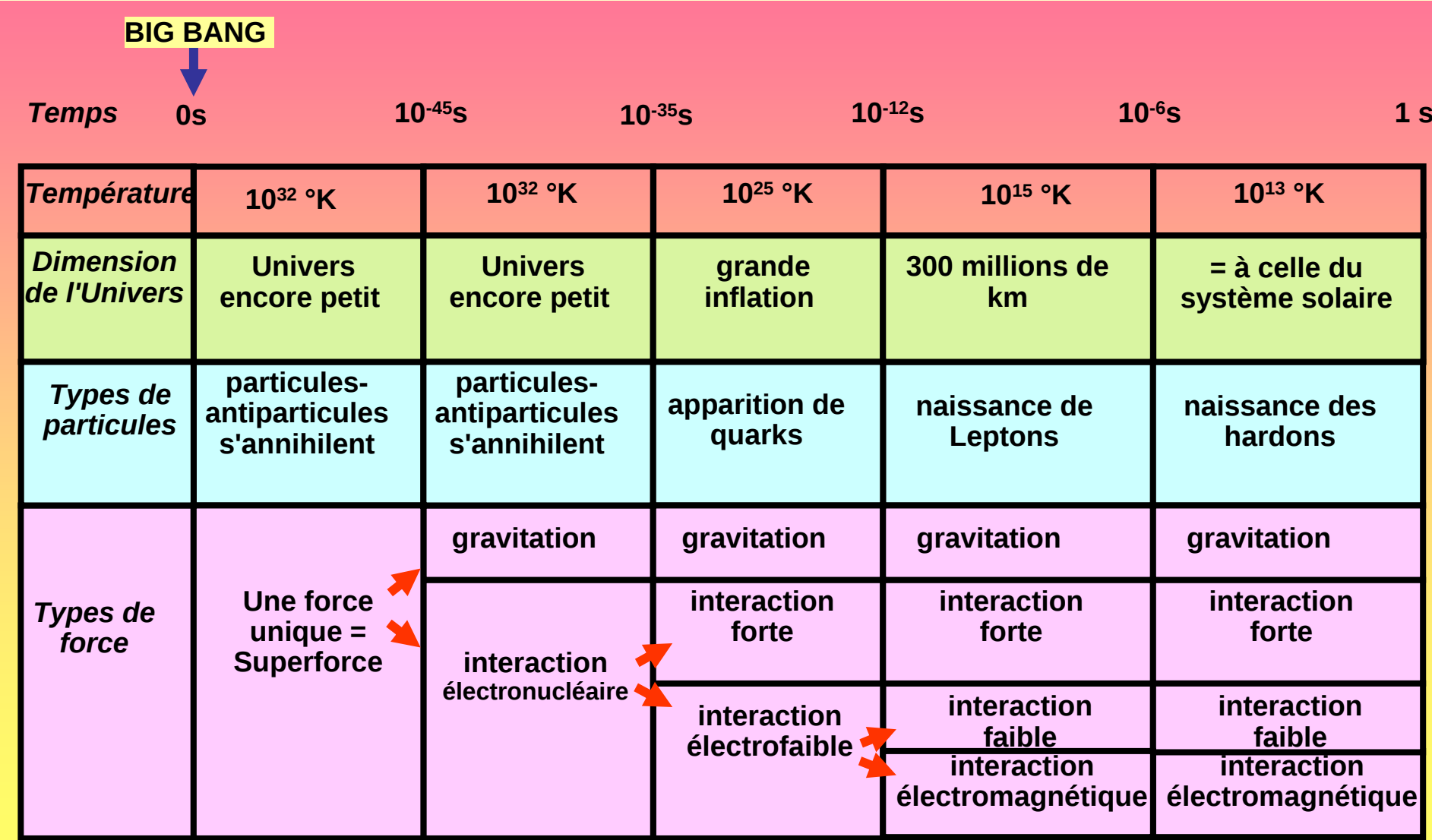
Nous passerions donc de l'une à l'autre sans en ressentir les conséquences



I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

1 - LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE L'UNIVERS

2 - LA PREMIERE SECONDE DE LA CREATION DE L'UNIVERS : **LE BIG BANG** (fig.4)



I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

1 - LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE L'UNIVERS

2 - LA PREMIERE SECONDE DE LA CREATION DE L'UNIVERS : **LE BIG BANG**

3 - FORMATION DES NOYAUX ATOMIQUES D'HYDROGENE ET D'HELIUM

→ **NUCLEOSYNTHESE PRIMORDIALE (1 s à 3 mn)**

- La température chute à 10^6 °K
- L'Univers encore sombre
- Les électrons encore libres
- Protons d'hydrogène déjà présents continuent de se former
- Les noyaux d'hydrogène + neutrons → *noyaux d'hélium* (2 protons + 2 neutrons)

Réaction H, He



75 % d'hydrogène, 25 % d'hélium

I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

1 - LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE L'UNIVERS

2 - LA PREMIERE SECONDE DE LA CREATION DE L'UNIVERS : **LE BIG BANG**

3 - FORMATION DES NOYAUX ATOMIQUES D'HYDROGENE ET D'HELIUM

→ **NUCLEOSYNTHESE PRIMORDIALE (1 s à 3 mn)**

4 - NAISSANCE DES ATOMES D'HYDROGENE ET D'HELIUM

→ **TRANSPARENCE DE L'UNIVERS (3 mn à 3.10^5 ans)**

- 3 mn après le Big Bang

Capture des électrons : formation des atomes d'H et He

Photons réémis puis absorbés → **Univers avait une structure de corps noir**

- 300.000 ans après le Big Bang

Expansion de l'Univers → chute température à 3.000 °K

conséquences {
- fin de la nucléosynthèse H et He
- libération de photons
- **l'Univers devint alors "brusquement" transparent**
} → découplage matière-rayonnement

ce rayonnement est actuellement perceptible dans l'Univers à une $T^{\circ} 2,73^{\circ} \text{ K}$
→ **rayonnement fossile**

Découverte du rayonnement fossile

- Etape 1

En 1965 A. Penzias et R. Wilson en essayant de capter les signaux micro-ondes d'un satellite de communication, se rendirent compte qu'ils captaient un signal « parasite » identique dans toutes les directions.

Ils vérifièrent tout l'appareillage, mais sans succès

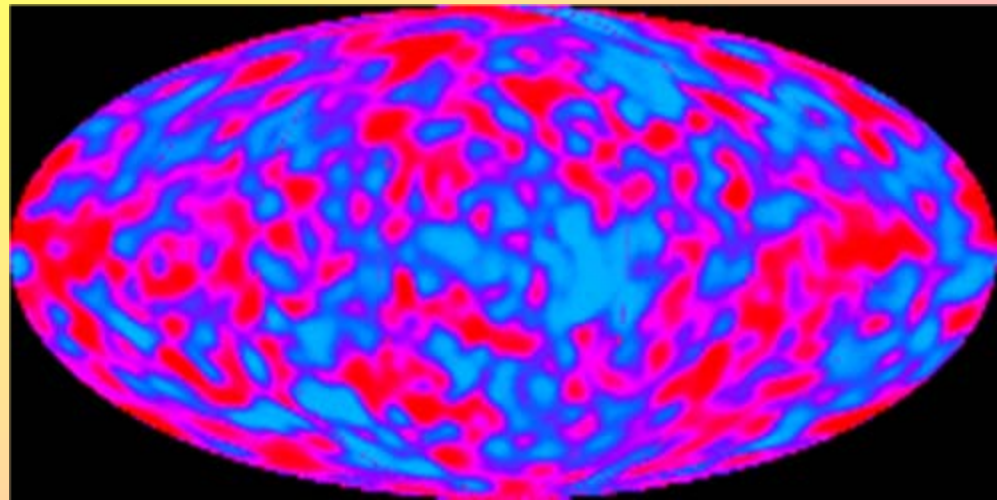
Leurs recherches sur ce bruit les conduisent à conclure qu'il s'agit d'un rayonnement cosmique fossile à 3°K (Prix Nobel)

- Etape 2

En 1989, le satellite COBE fournit une carte de ce rayonnement cosmique fossile avec un spectre qui correspondait à celui d'un corps noir de température 2,73 kelvins

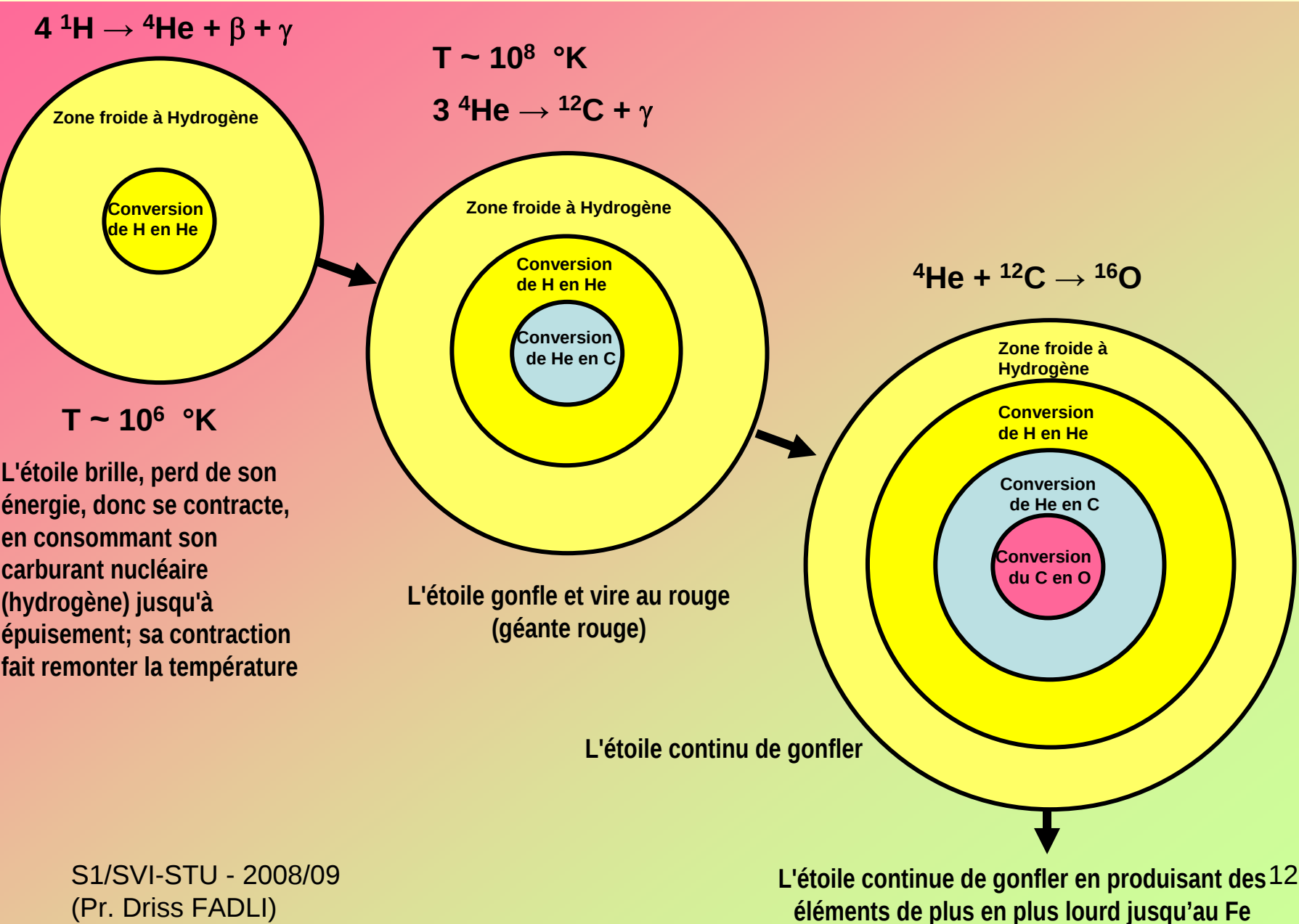
Cette lumière micro-onde constituait bien une preuve que l'Univers était passé par une phase extrêmement dense et chaude

les variations relatives de température (couleur rouge pour les plus chaudes, couleur bleu pour les plus froides) sont interprétées en termes de variation de densité de l'Univers primordial. Ces inhomogénéités de densité seraient à l'origine de la formation des galaxies observées aujourd'hui

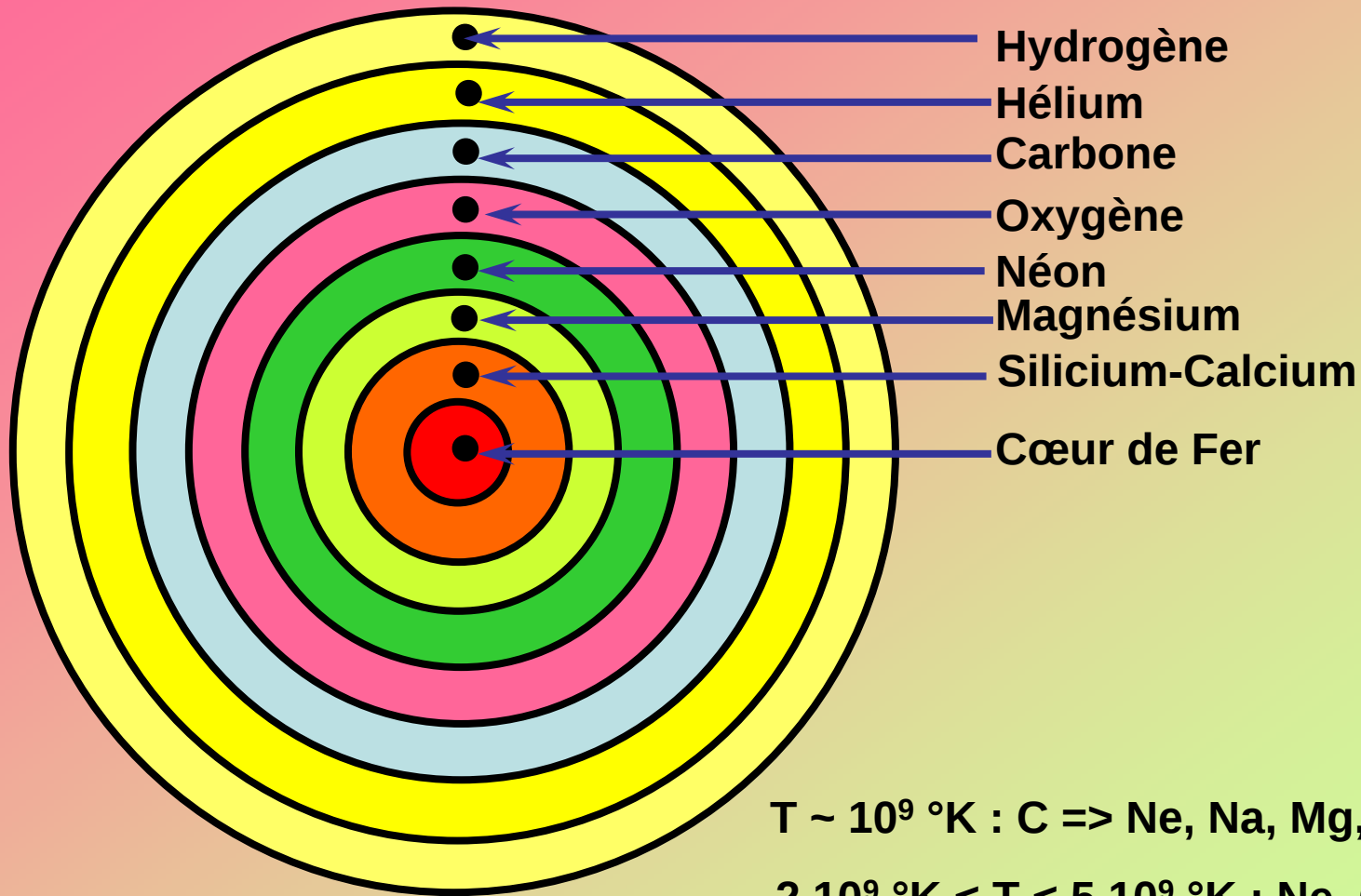


I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

II - NUCLEOSYNTHESE STELLAIRE (fig.5)



Coupe d'une étoile ayant une masse 25 fois celle du Soleil



$T \sim 10^9 \text{ }^\circ\text{K} : \text{C} \Rightarrow \text{Ne, Na, Mg, Al, Si, ...}$

$2 \cdot 10^9 \text{ }^\circ\text{K} < T < 5 \cdot 10^9 \text{ }^\circ\text{K} : \text{Ne, O, Si} \Rightarrow \text{Fe}$

$T \sim 5 \cdot 10^9 \text{ }^\circ\text{K} : \text{l'étoile explose en supernovae}$

Les éléments issus de la nucléosynthèse stellaire sont disséminés dans l'espace à la suite de l'explosion de l'étoile

**Exemple de supernovae = *nébuleuse du Crabe* (M1C)
située à 6000 années lumière, et elle a fait son apparition en 1054**



Source : European Southern Observatory

A ce stade d'autres éléments de la matière seront synthétisés à la suite de réactions de *spallation* et de *capture de neutrons*

I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

II - NUCLEOSYNTHESE STELLAIRE

III - NUCLEOSYNTHESE SPALLATIVE : PRODUCTION DE B, Be ET Li

B, Be et Li

- peu abondants dans l'Univers
- faits dans l'espace interstellaire
- résultent des réactions de « Spallation »

→ noyaux atomiques de C, N et O bombardés par des protons
(rayonnement cosmique) puis brisés



fragments = noyaux de B, Be et Li

I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

II - NUCLEOSYNTHESE STELLAIRE

III - NUCLEOSYNTHESE SPALLATIVE : PRODUCTION DE B, Be ET Li

IV - NUCLEOSYNTHESE DES ELEMENTS LOURDS ET RARES

- Temps estimé de l'évolution d'une étoile en une supernovae entre 2 à 5 Milliard d'années**
- Dans les étoiles géantes, les réactions nucléaire produisent des neutrons libres**
- $T \sim 5.10^9$ K : l'étoile explose en supernova**
- A partir de cet instant commence la formation d'atomes lourds par addition de neutrons selon différents processus thermonucléaires jusqu'à l'Uranium**

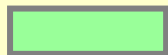
NUCLEOSYNTHESE : RECAPITULATIF

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109									

Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103



3mn après la création de l'Univers jusqu'à 300.000 ans



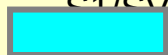
nucléosynthèse stellaire (300.000 ans après la création de l'Univers)



nucléosynthèse interstellaire (*réaction de spallation*)

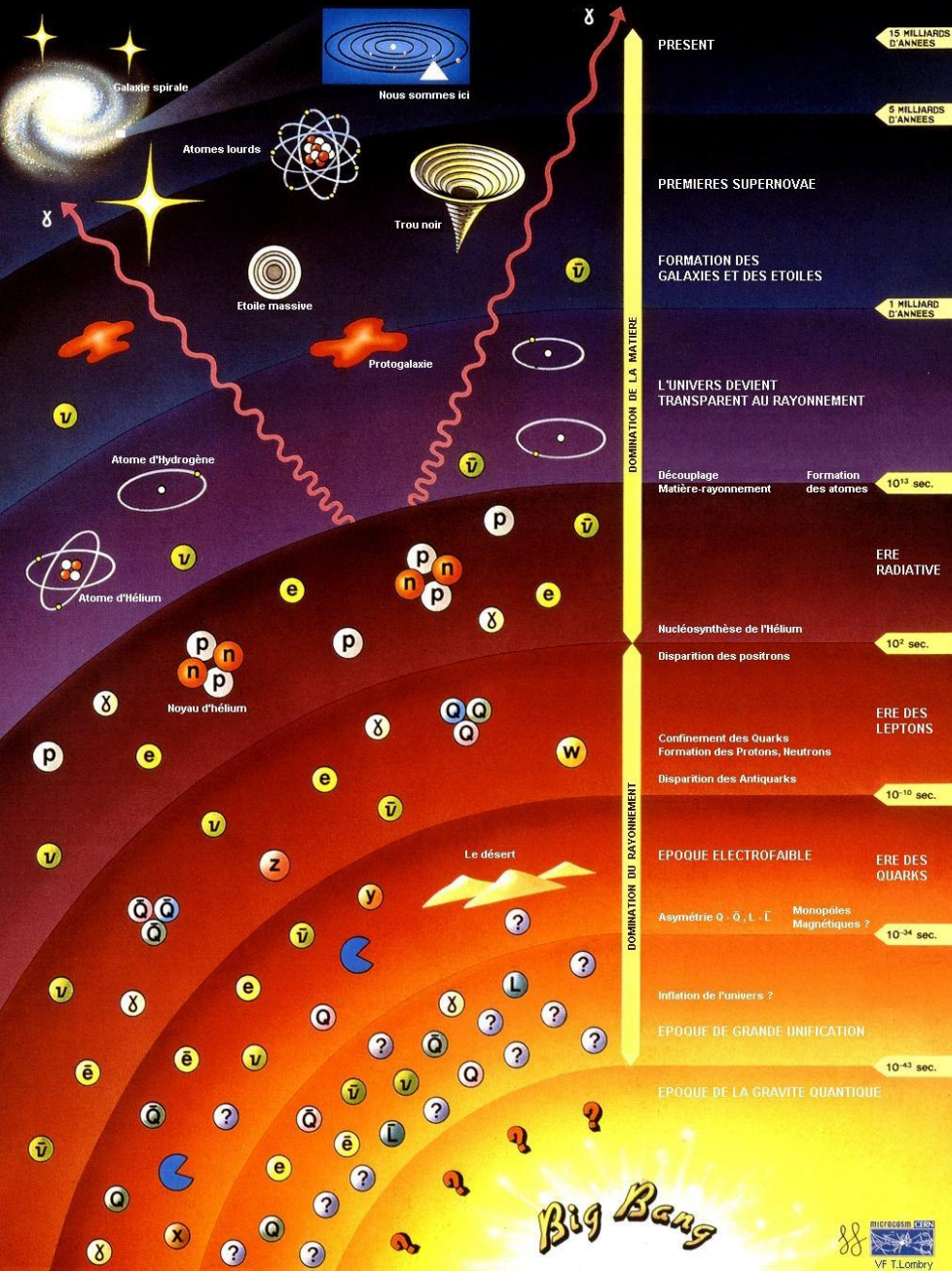


nucléosynthèse après explosion des étoiles (*capture de neutrons*)



nucléosynthèse artificielle

L'Histoire de L'Univers

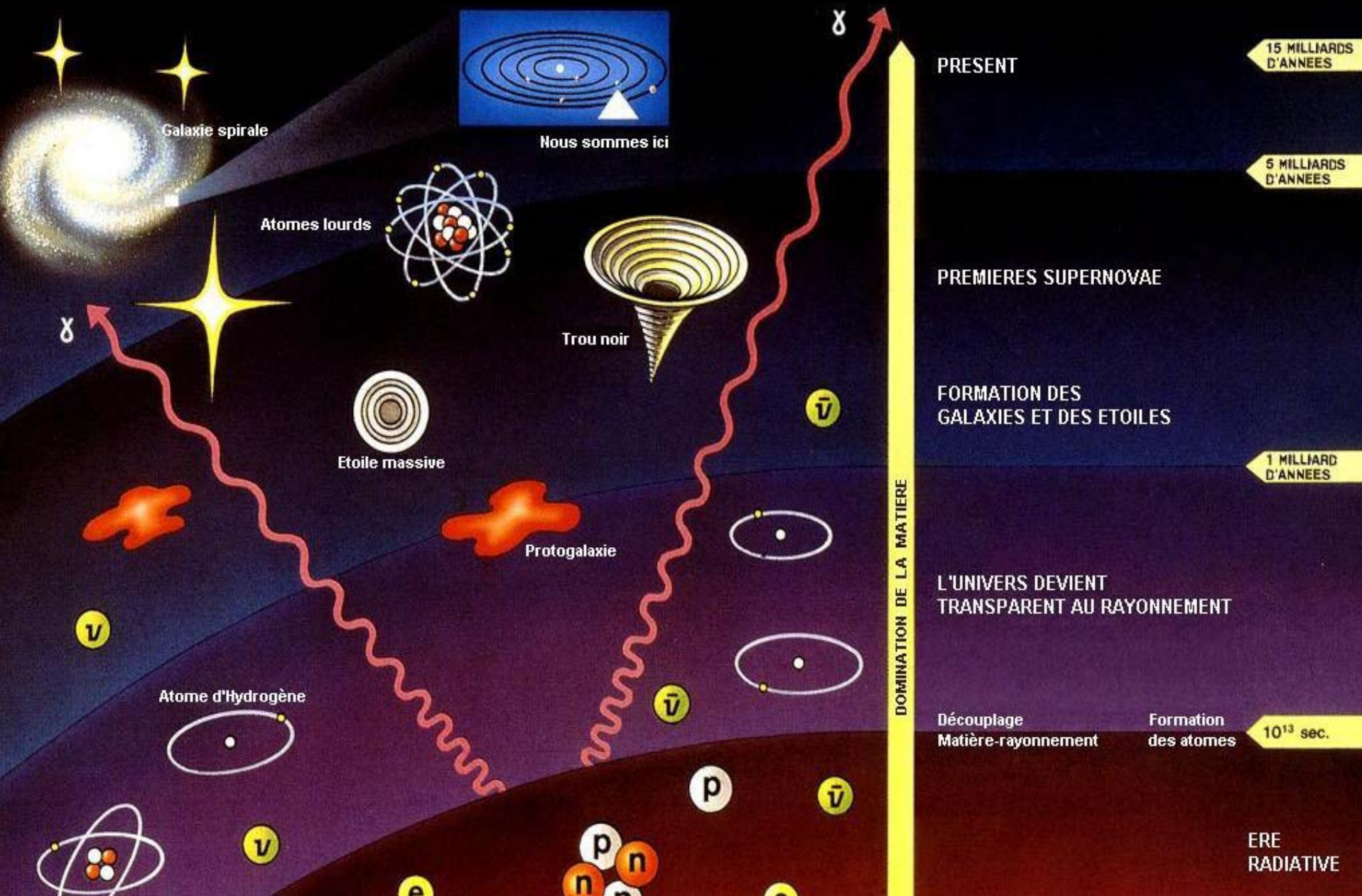


Source : <http://www.astrosurf.com/>

EVOLUTION DE L'UNIVERS : RECAPITULATIF 1/2



EVOLUTION DE L'UNIVERS : RECAPITULATIF 2/2



I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

II - NUCLEOSYNTHESE STELLAIRE

III - NUCLEOSYNTHESE SPALLATIVE : PRODUCTION DE B, Be ET Li

IV - NUCLEOSYNTHESE DES ELEMENTS LOURDS ET RARES

IV - SYNTHSE MOLECULAIRE INTERSTELLAIRE

milieu interstellaire se compose de restes de supernovas et de nébuleuses planétaires

milieu froid (qq dizaines de degrés) favorable aux réactions nucléaires électromagnétiques



formation d'atomes à partir des noyaux et la combinaison de l'hydrogène avec les éléments lourds pour former des molécules complexes: l'eau, l'ammoniac et des molécules organiques



**pellicules de glace sur la poussière
recombinées grâce au rayonnement cosmique**

I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

II - NUCLEOSYNTHESE STELLAIRE

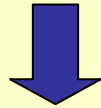
III - NUCLEOSYNTHESE SPALLATIVE : PRODUCTION DE B, Be ET Li

IV - NUCLEOSYNTHESE DES ELEMENTS LOURDS ET RARES

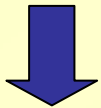
IV - SYNTHSE MOLECULAIRE INTERSTELLAIRE

V - SYNTHSE DE MOLECULES MINERALES PLANETAIRE

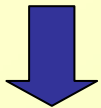
condensation de la poussière interstellaire : nébuleuse diffuse



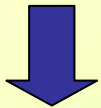
synthèse de nouvelles molécules minérales : nébuleuse planétaire



agglomération des éléments synthétisés et nouvelles recombinaisons



astéroïdes et protoplanètes



planètes

Cette phase planétaire sera examinée en détail dans le chapitre 3



FIN

**CE DOCUMENT EST DESTINÉ AUX ETUDIANTS
DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE RABAT
(MAROC)**

**LE CONTENU DE CE DOCUMENT EST COMMENTÉ
DANS LE DETAIL PENDANT LES SEANCES DE COURS**

POUR TOUT AUTRE USAGE IL CONVIENT DE CITER LA SOURCE

QUELQUES DEFINITIONS

L'Union Astronomique Internationale a décidé le 25 août 2006 de faire la distinction entre deux catégories de planètes de notre Système solaire :

Une planète est un corps céleste qui :

- est en orbite autour du Soleil,
- possède une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique (sous une forme presque sphérique),
- a éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche.

Une planète naine est un corps céleste qui :

- est en orbite autour du Soleil,
- a une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique, sous une forme presque sphérique,
- n'a pas éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche,

Fig.1 : ORGANISATION DU SYSTEME SOLAIRE

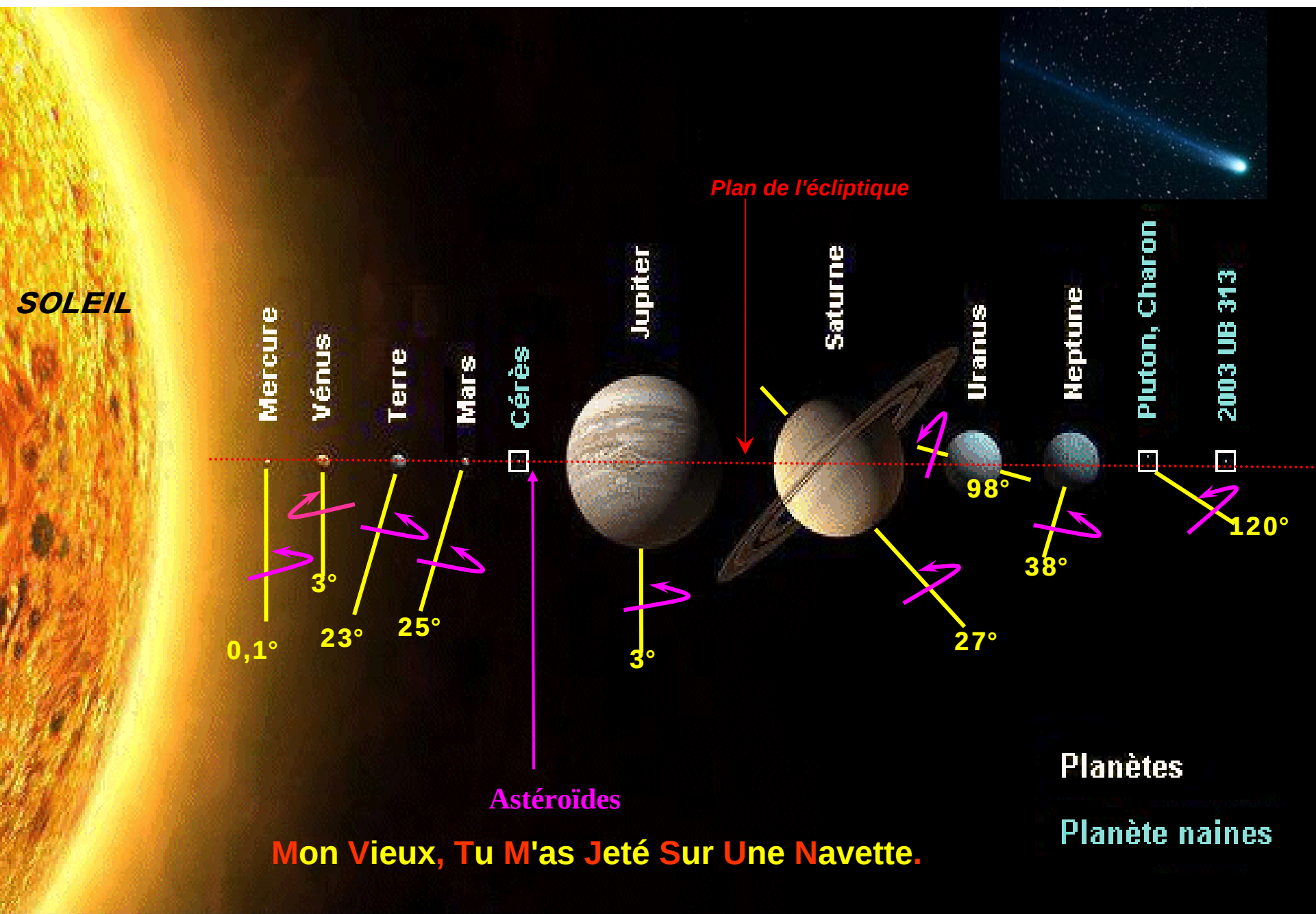
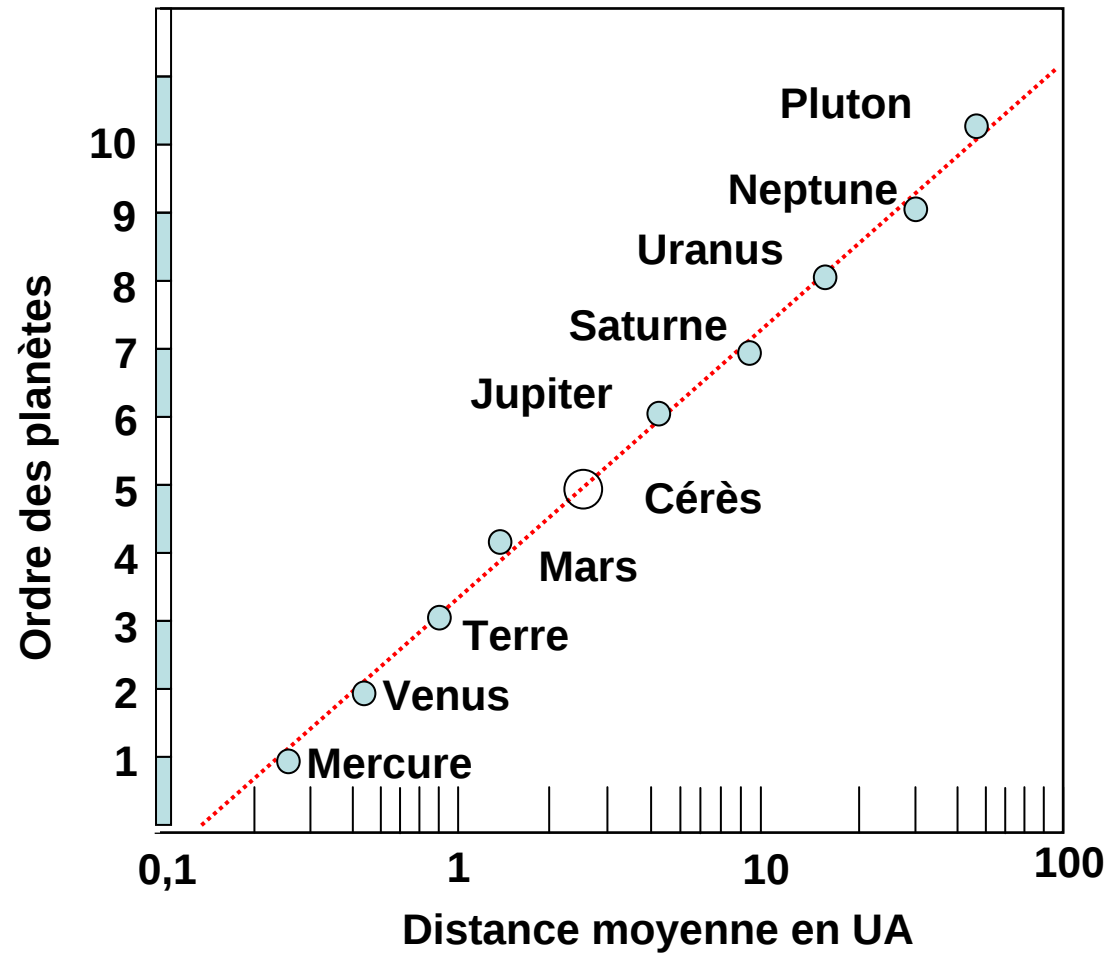


Fig.2 : La loi de Bode

Chaque planète est deux fois plus éloignée du soleil que sa voisine intérieure



relation empirique :

$d = 0,4 + 0,3 \times 2^n$ en UA

n = rang des planètes et des planètes naines
n = - ∞ Mercure,
n = 0 pour Vénus
n = 5 pour Uranus

soit la suite : 0 - 03 - 06 - 12 - 24 - 48 - 96 - 192 - 384
ajouter 4 : 4 - 07 - 10 - 16 - 28 - 52 - 100 - 196 - 388
diviser par 10 : 0,4 - 0,7 - 1,0 - 1,6 - 2,8 - 5,2 - 10 - 20 - 039.

Fig.3 : DIMENSIONS ET LIMITES

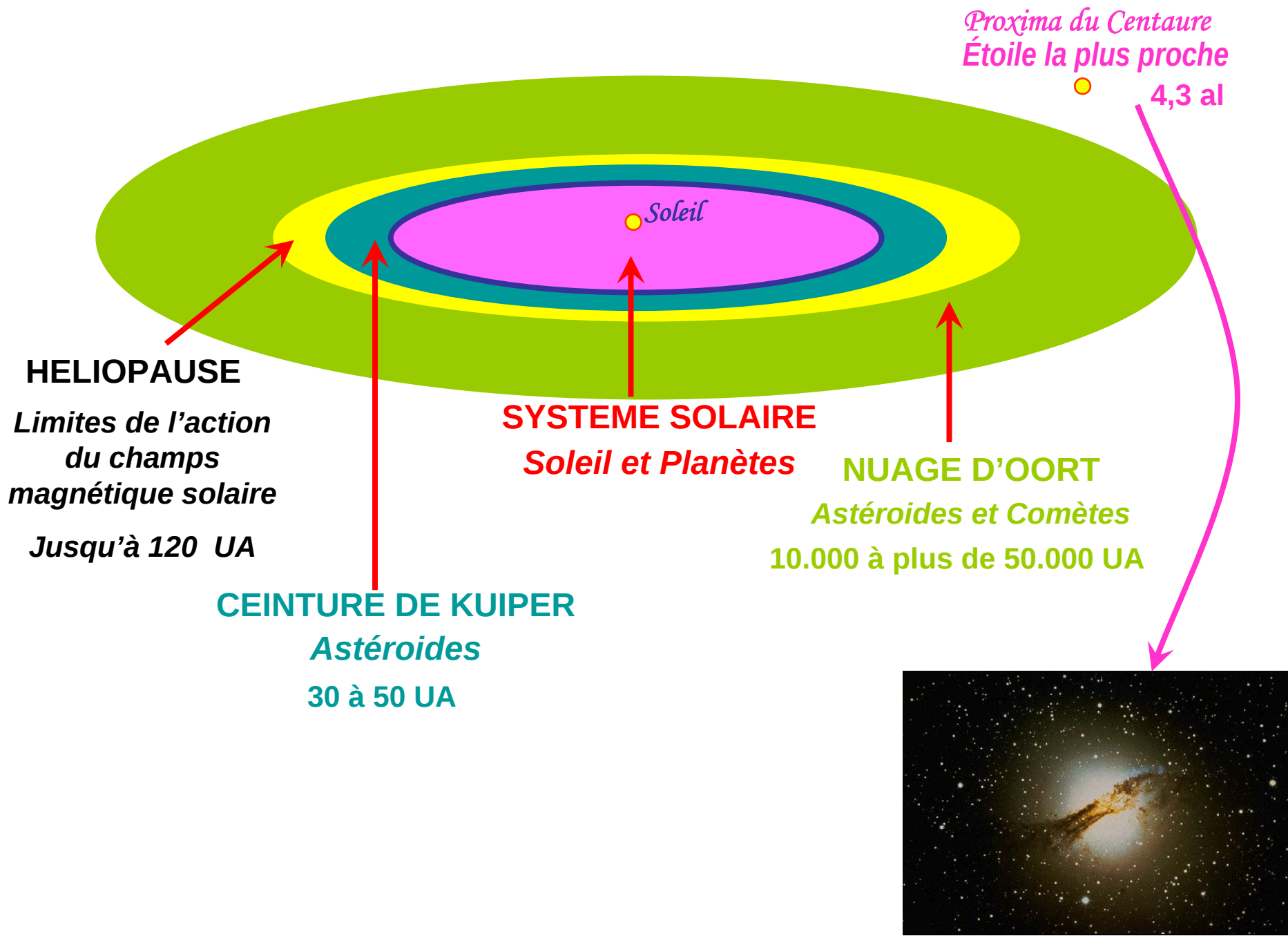
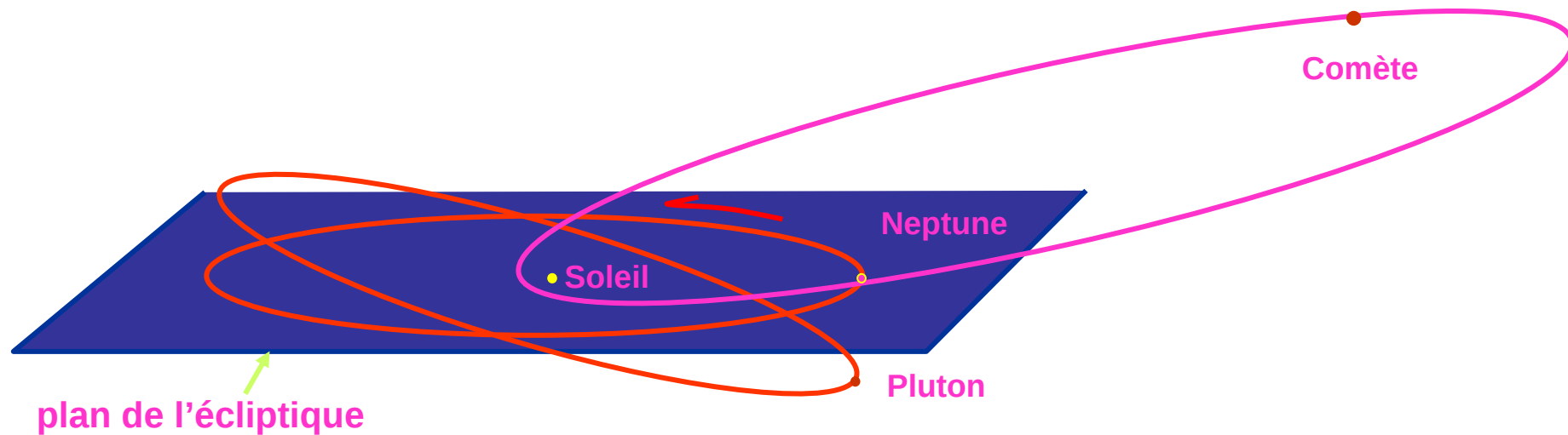


Fig.4 : Orbites et rotations des planètes et des planètes naines

- gravitation des planètes dans le plan de l'*écliptique* sauf Pluton (orbite inclinée de $17^{\circ} 15'$)
- gravitation dans le sens anti-horaire si regarde le nord du Soleil à partir du haut
- orbites circulaires sauf pour Pluton (orbite elliptique)
- orbites des comètes très allongées vers le milieu extra système solaire



- axe de rotation presque perpendiculaire à l'écliptique sauf pour Uranus et Pluton
- rotation antihoraire des planètes sauf pour Vénus

Masse

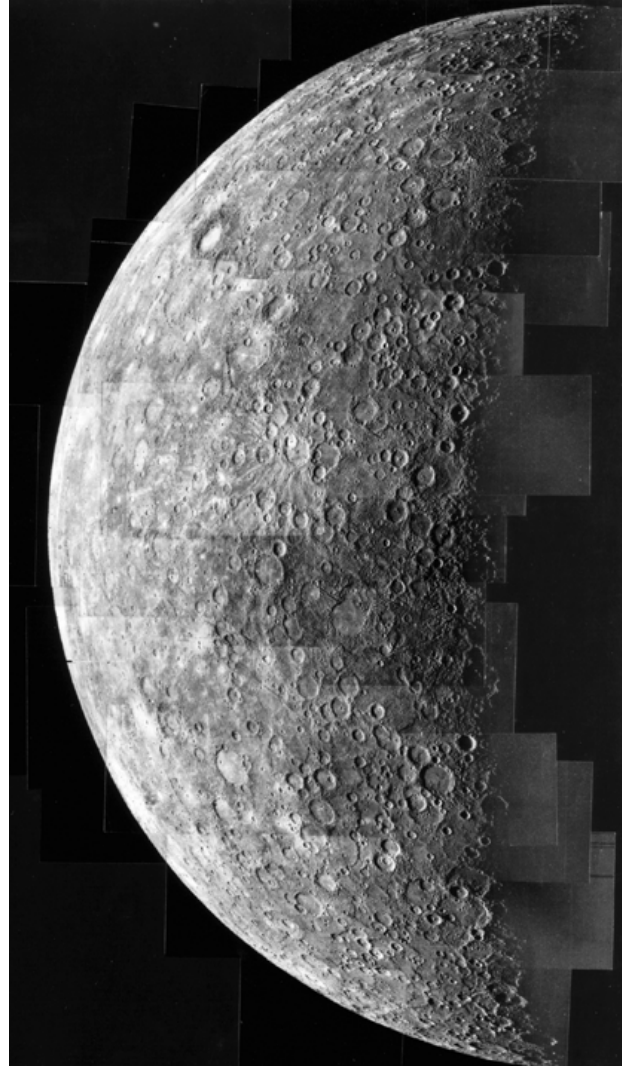
- Soleil = 99,85%;
- Planètes = 0,13%
- Comètes + Satellites + Astéroïdes + Milieu Interplanétaire = 0,02%

CARACTERES GENERAUX DES PLANETES ET DES PLANETES NAINES

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Incli_orbite / écliptiques	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm³)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Mercure	0,39	2.962	0,05	87	58,7 j	0	7°	0, 3°	0,21	5,43
Vénus	0,72	6.051	0,89	224	243 j	0	3,39°	3°	0,01	5,25
Terre	1,0	6.378	1,00	365	24 h	1	0,00	23°	0,02	5,52
Mars	1,5	3.392	0,11	686	24,6h	2	1,85°	25°	0,09	3,95
Jupiter	5,2	71.492	318	4.332	9,8 h	16	1,31°	3°	0,05	1,33
Saturne	9,5	60.268	95	10.759	10,6 h	18	2,49°	27°	0,06	0,69
Uranus	19,2	25.559	15	30.685	17,2 h	15	0,77°	98°	0,05	1,29
Neptune	30,1	24.764	17	60.190	16,1 h	8	1,77°	30°	0,01	1,64

Cérès	2,76	450	0,0002	21 681	9h	0	10,58	10,6°	0,08	2,12
Pluton	39,5	1.142	0,002	90.800	6,4 j	0	17,15°	120°	0,25	2,03
Charon	30 à 49	603	0,00013	586x365j	6 j	2	98°	17°	0,38	1,71
Eris	97	1.200	0,054	203 450 j	8h?	1	45°	?	0,44	2
MakeMake	45	900	?	112 000 j	?	?	?	?	0,15	?

MERCURE



*-220 °C la nuit,
+ 400 °C le jour*

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm ³)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Mercure	0,39	2.962	0,05	87	58,7 j	0	7°	0, 3°	0,21	5,43



VENUS

atmosphère : vapeur d'eau et d'acide sulfurique

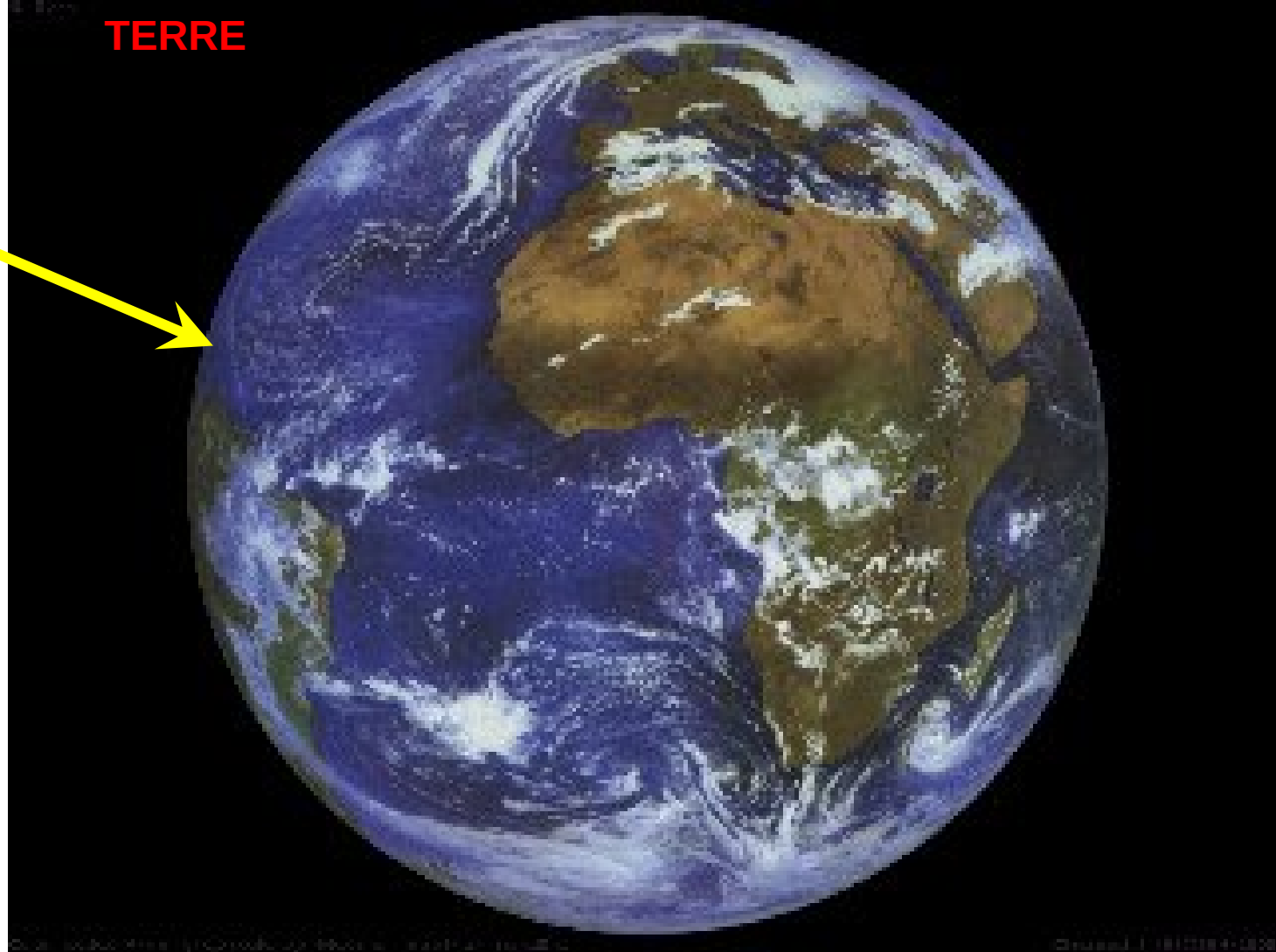
température : Environ 460 °C



	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm ³)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Vénus	0,72	6.051	0,89	224	243 j	0	3,39 °	3°	0,01	5,25



TERRE

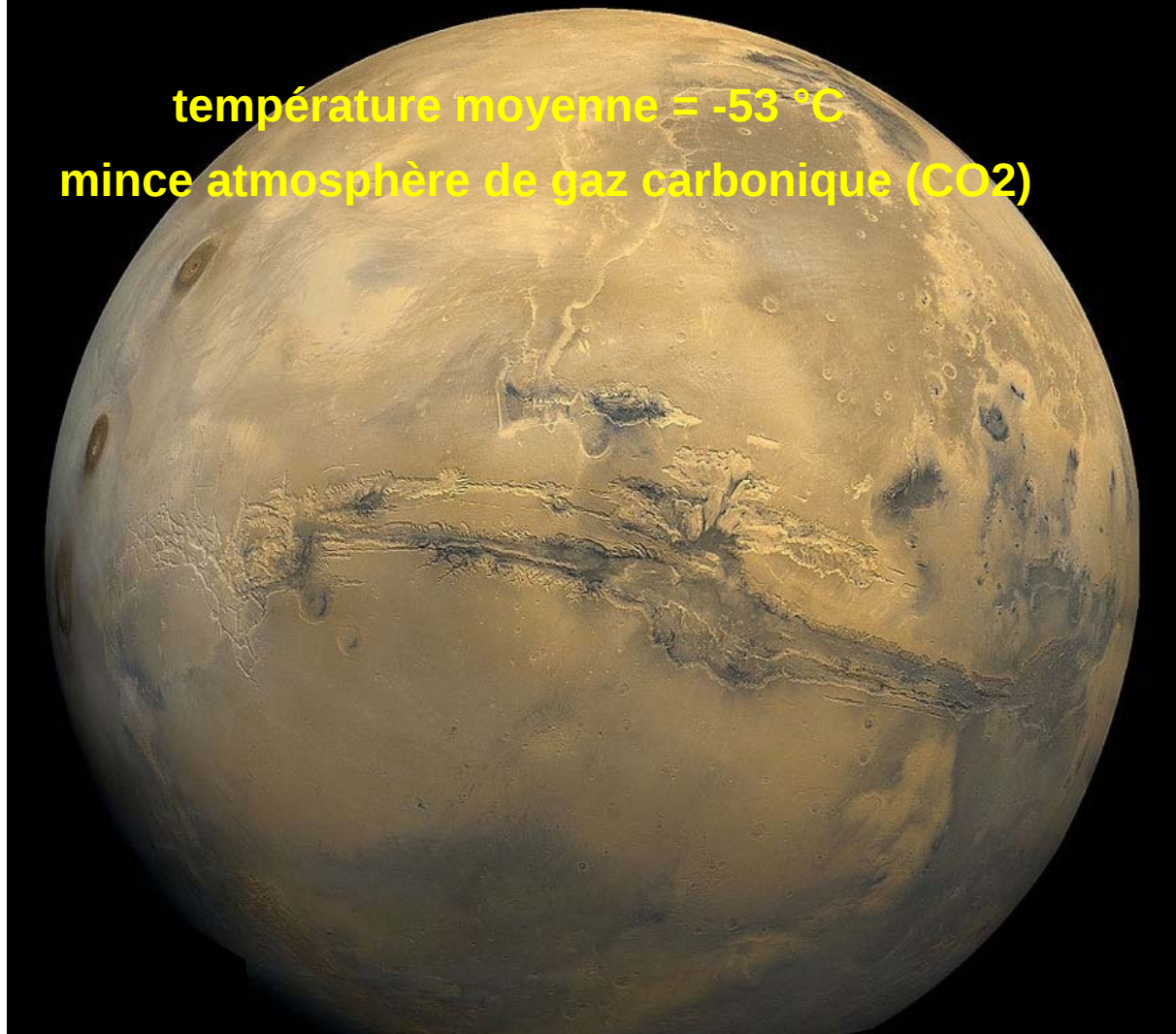


	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm ³)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Terre	1,0	6.378	1,00	365	24 h	1	0,00	23 °	0,02	5,52



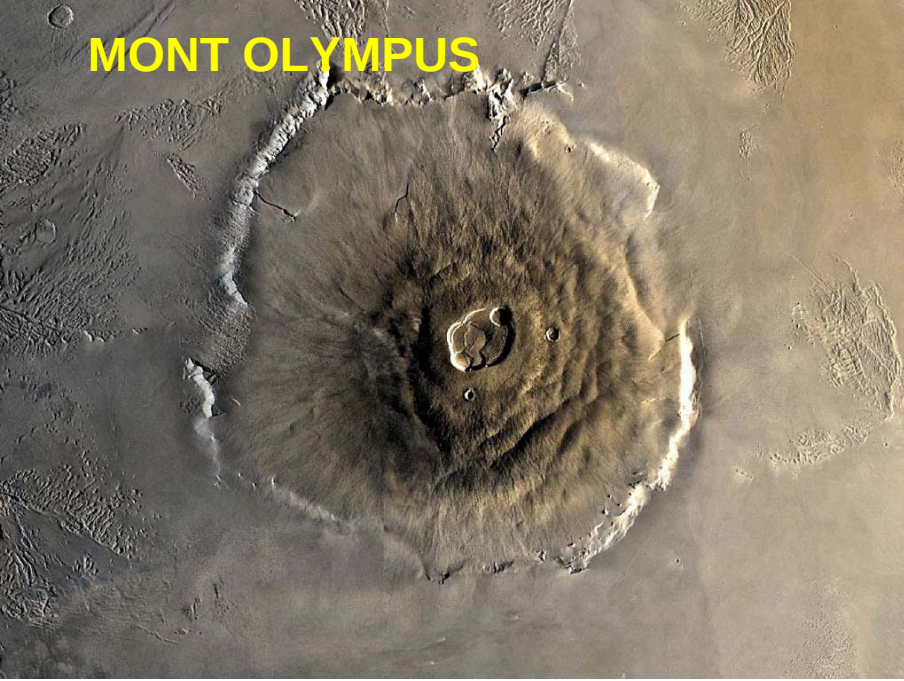
MARS

température moyenne = -53°C
mince atmosphère de gaz carbonique (CO_2)



	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm^3)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Mars	1,5	3.392	0,11	686	24,6h	2	$1,85^{\circ}$	25°	0,09	3,95

MONT OLYMPUS

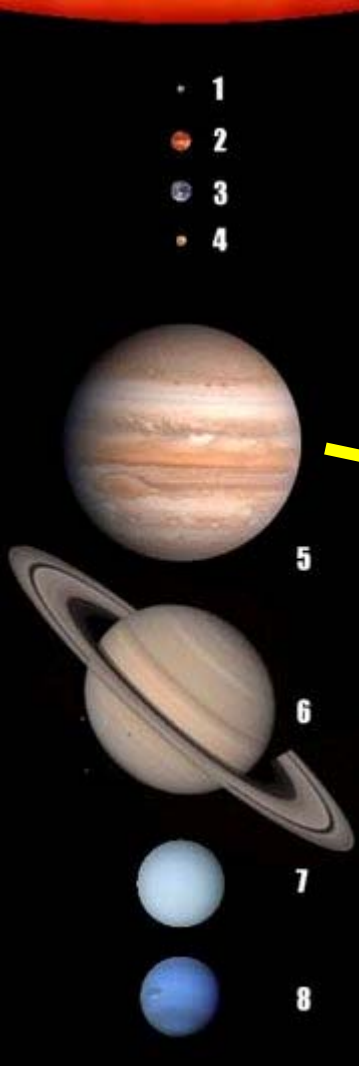


**CALLOTTE GLACIAIRE AU PÔLE NORD
DE MARS**



SOL MARTIEN

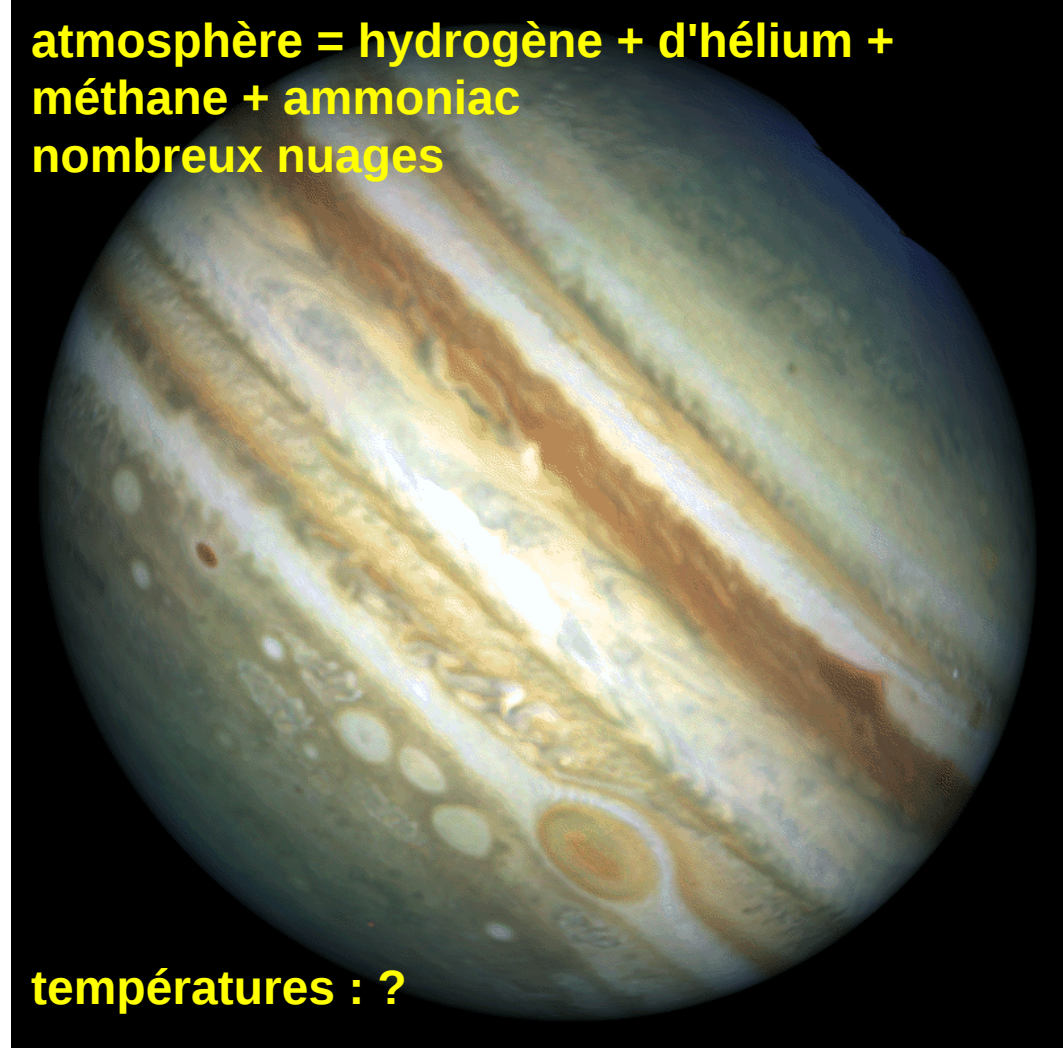




JUPITER

atmosphère = hydrogène + d'hélium +
méthane + ammoniac
nombreux nuages

températures : ?

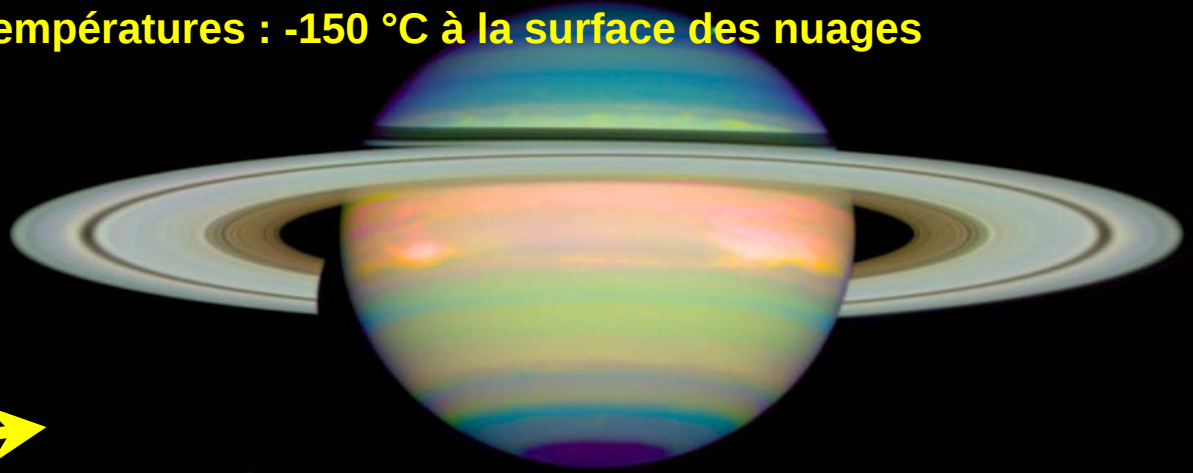


	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm ³)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Jupiter	5,2	71.492	318	4.332	9,8 h	16	1,31 °	3°	0,05	1,33



SATURNE

anneaux formés de blocs de glace de différentes tailles
 atmosphère est comparable à celle de Jupiter
 températures : -150 °C à la surface des nuages



Saturn • January 4, 1998
 Hubble Space Telescope • NICMOS

PRC98-18 • April 23, 1998 • ST ScI OPO • E. Karkoschka (University of Arizona) and NASA

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm ³)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Saturne	9,5	60.268	95	10.759	10,6 h	18	2,49 °	27°	0,06	0,69

URANUS

atmosphère comparable à celle de Jupiter et de Saturne, faible% en hydrogène

températures : ?

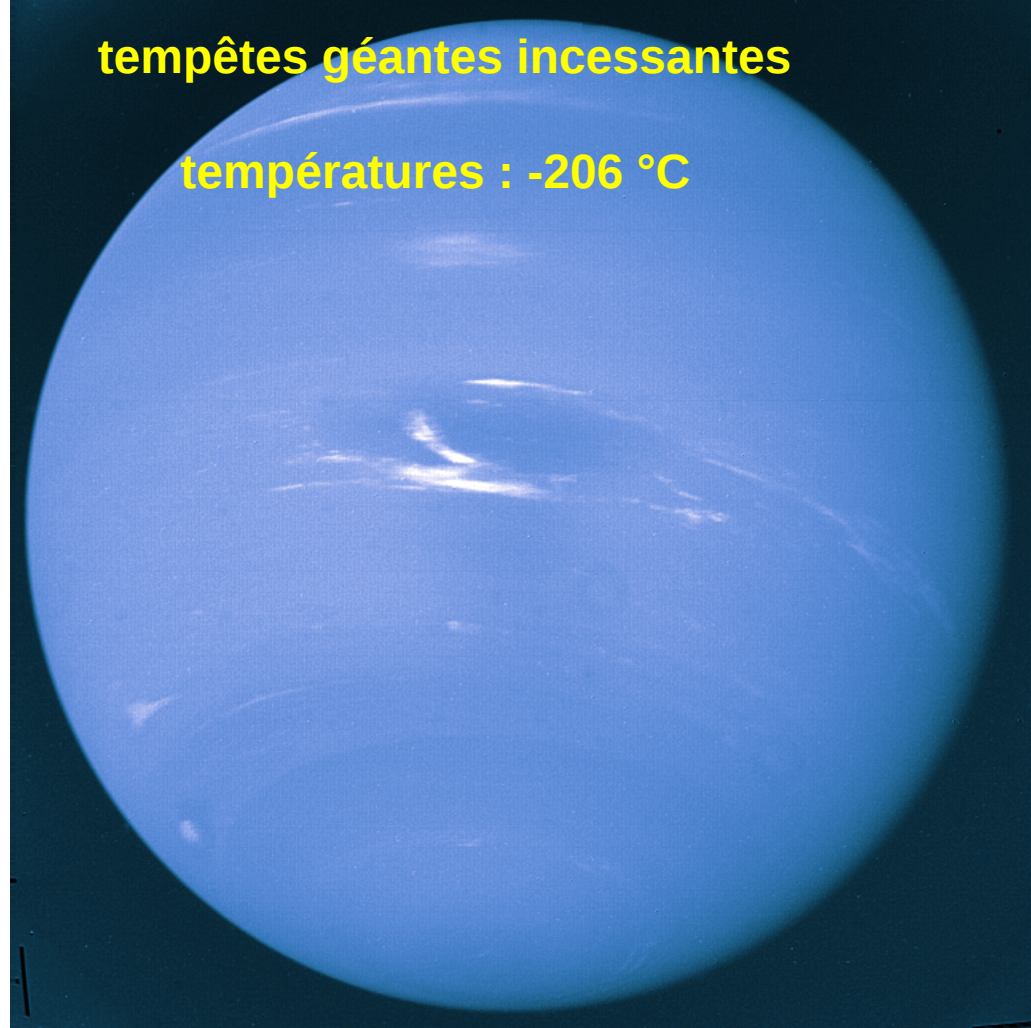


	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm ³)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Uranus	19,2	25.559	15	30.685	17,2 h	15	0,77 °	98°	0,05	1,29

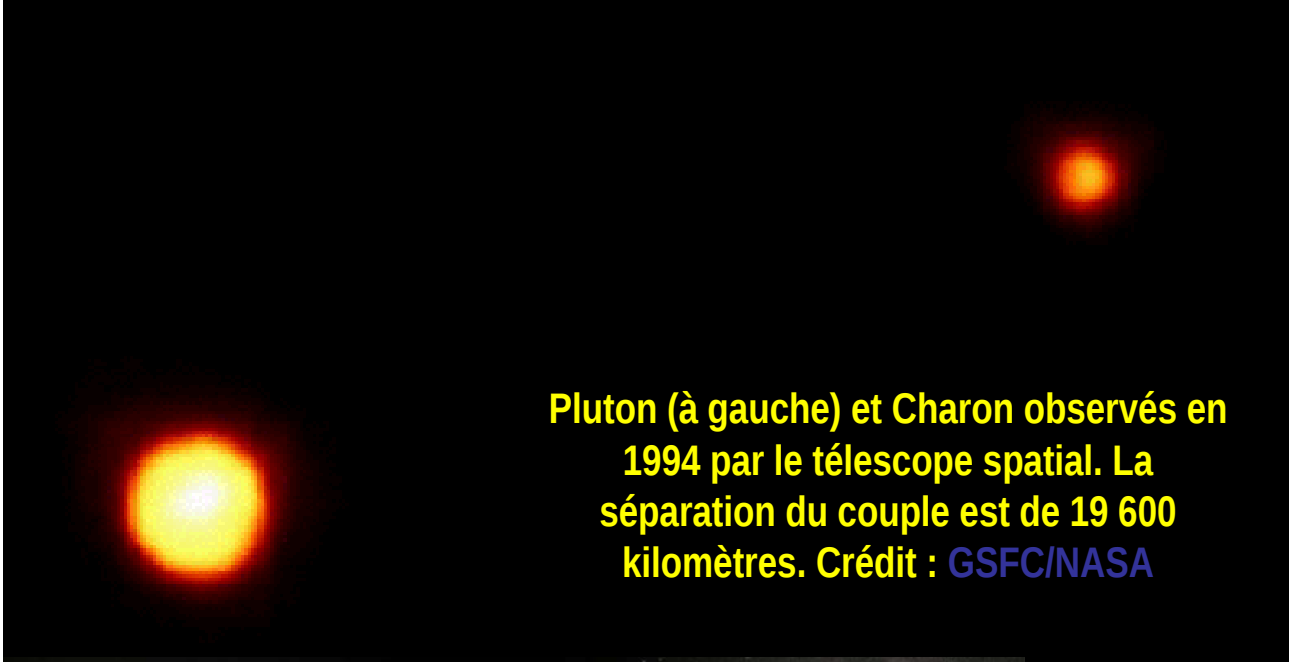
NEPTUNE

tempêtes géantes incessantes

températures : -206 °C



	Distance (AU)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm³)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Neptune	30,1	24.764	17	60.190	16,1 h	8	1,77 °	30°	0,01	1,64



Pluton (à gauche) et Charon observés en 1994 par le télescope spatial. La séparation du couple est de 19 600 kilomètres. Crédit : GSFC/NASA

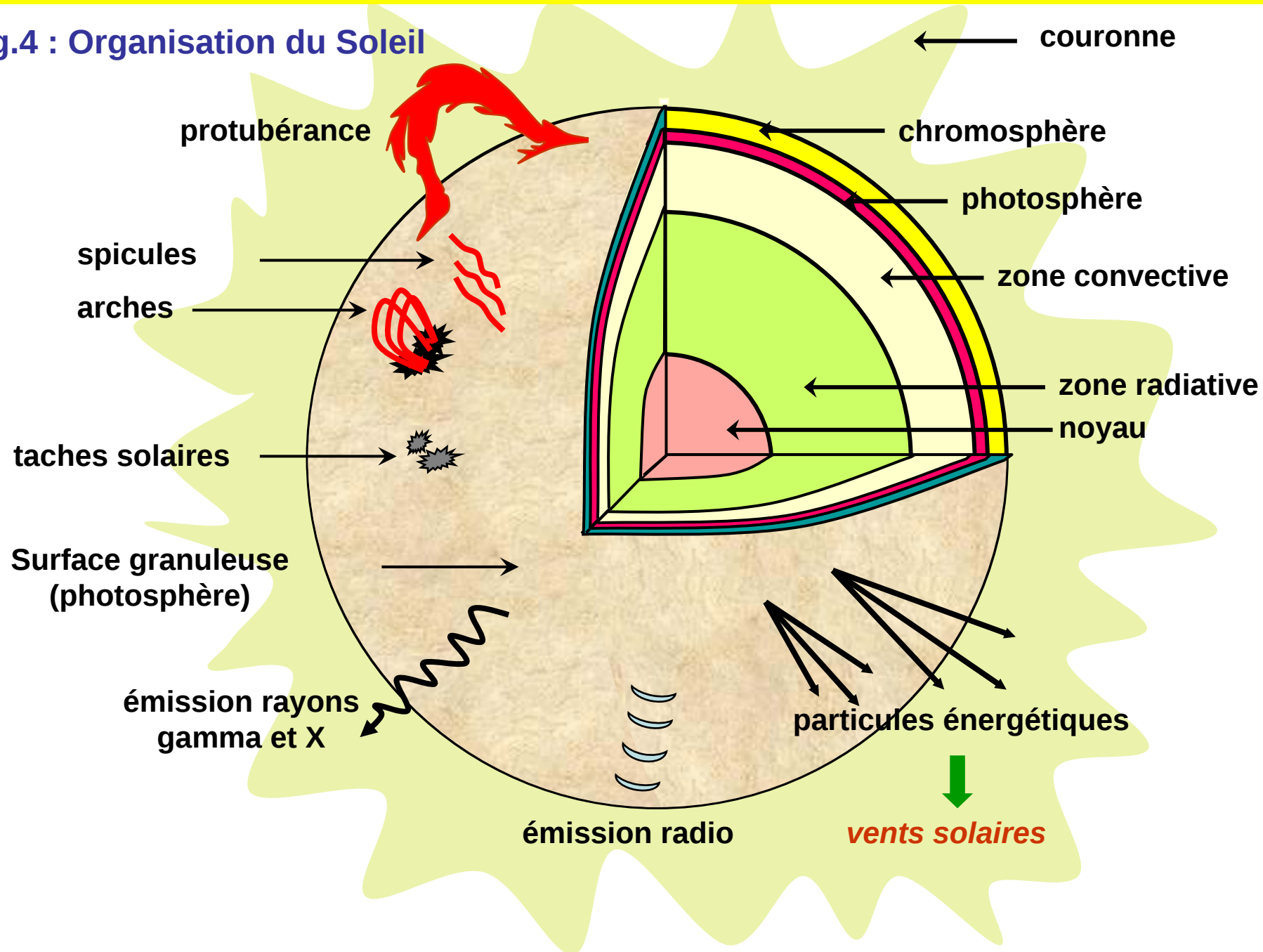


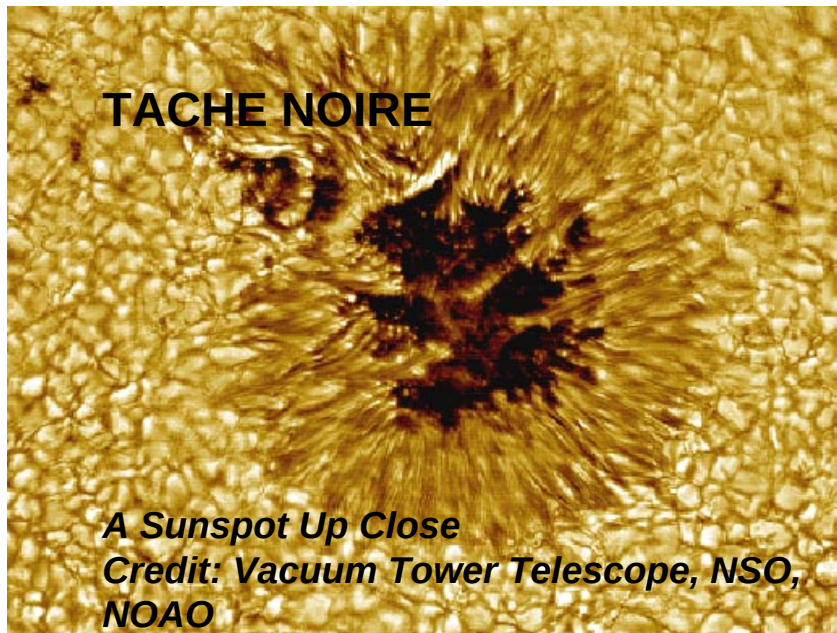
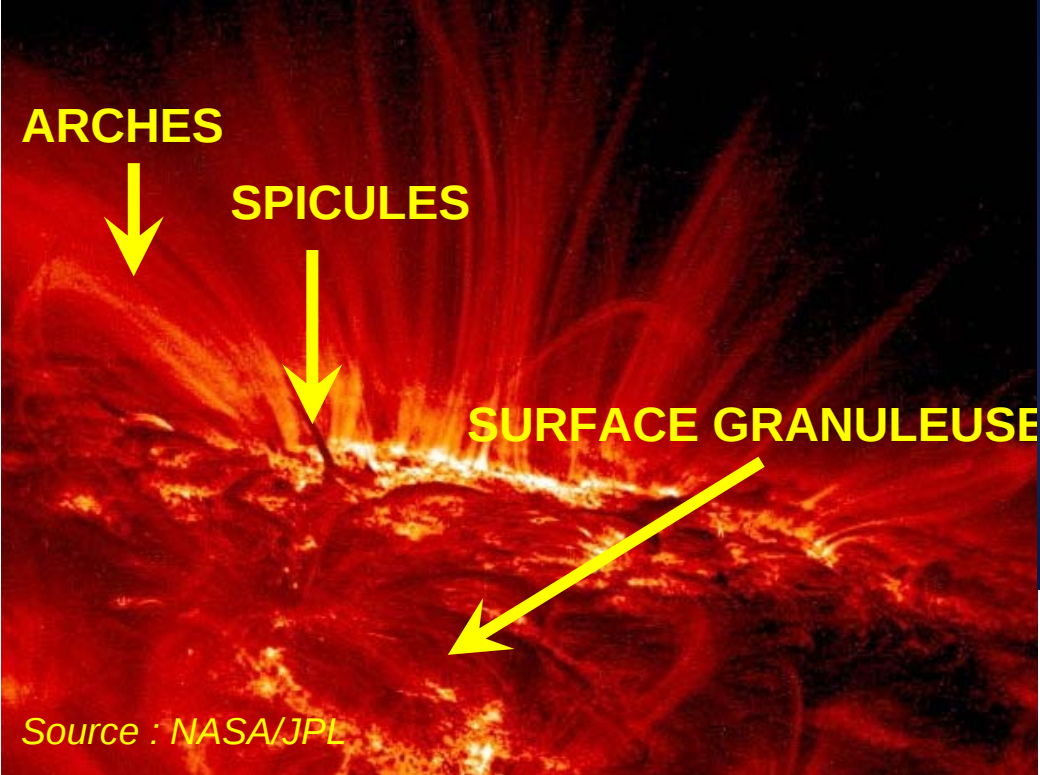
(-243 et -217 °C)

Vue d'artiste d'Éris et Dysnomie. Éris est l'objet principal, Dysnomia le petit point juste au-dessus

II. – LE SOLEIL

fig.4 : Organisation du Soleil





Source : NASA/JPL

VENT SOLAIRE

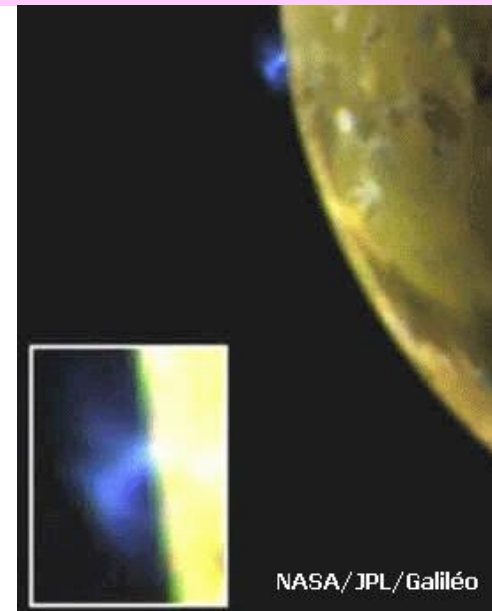
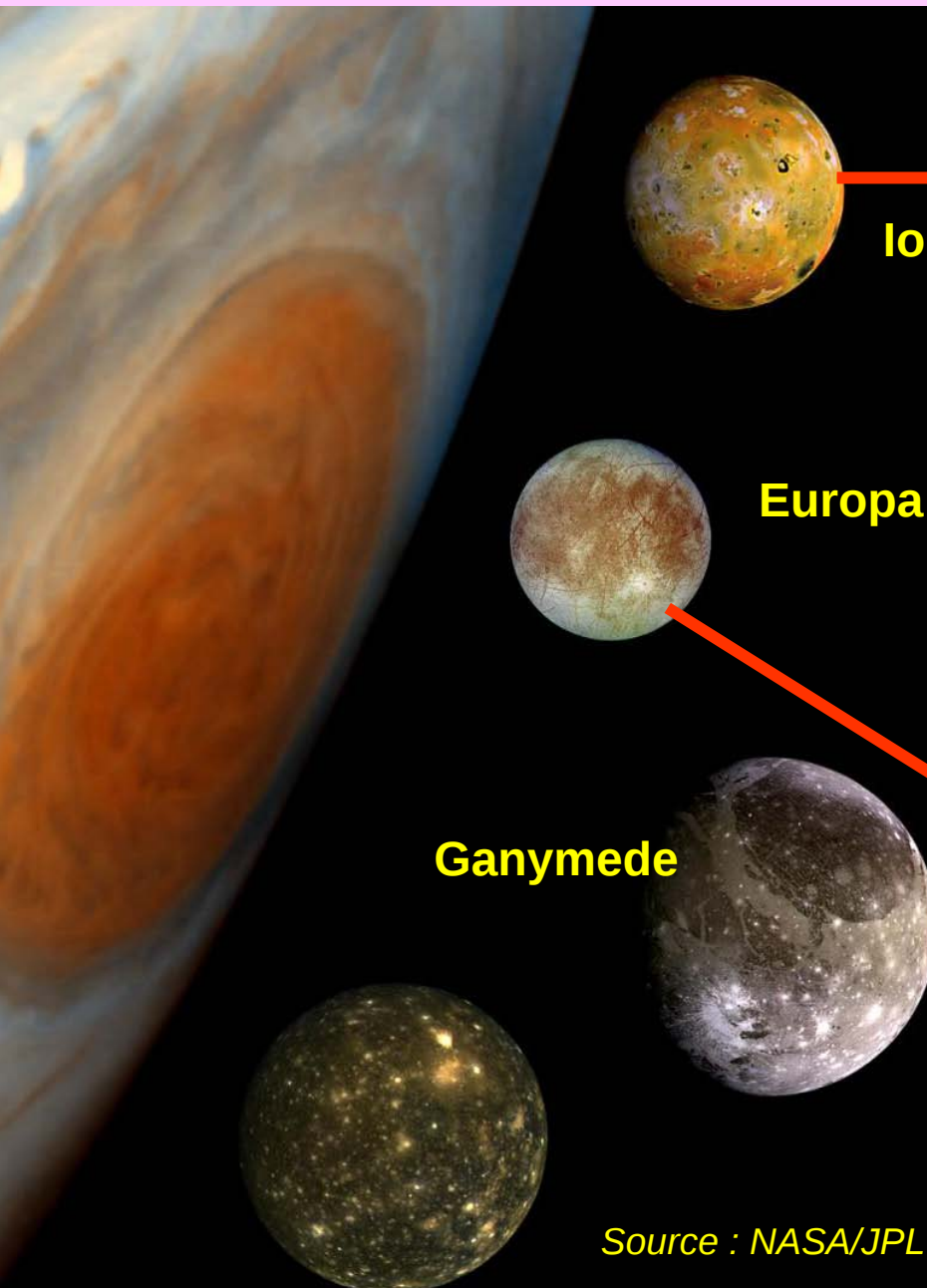
Source : <http://www.surebase.com/>



IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

1 - LES SATELLITES

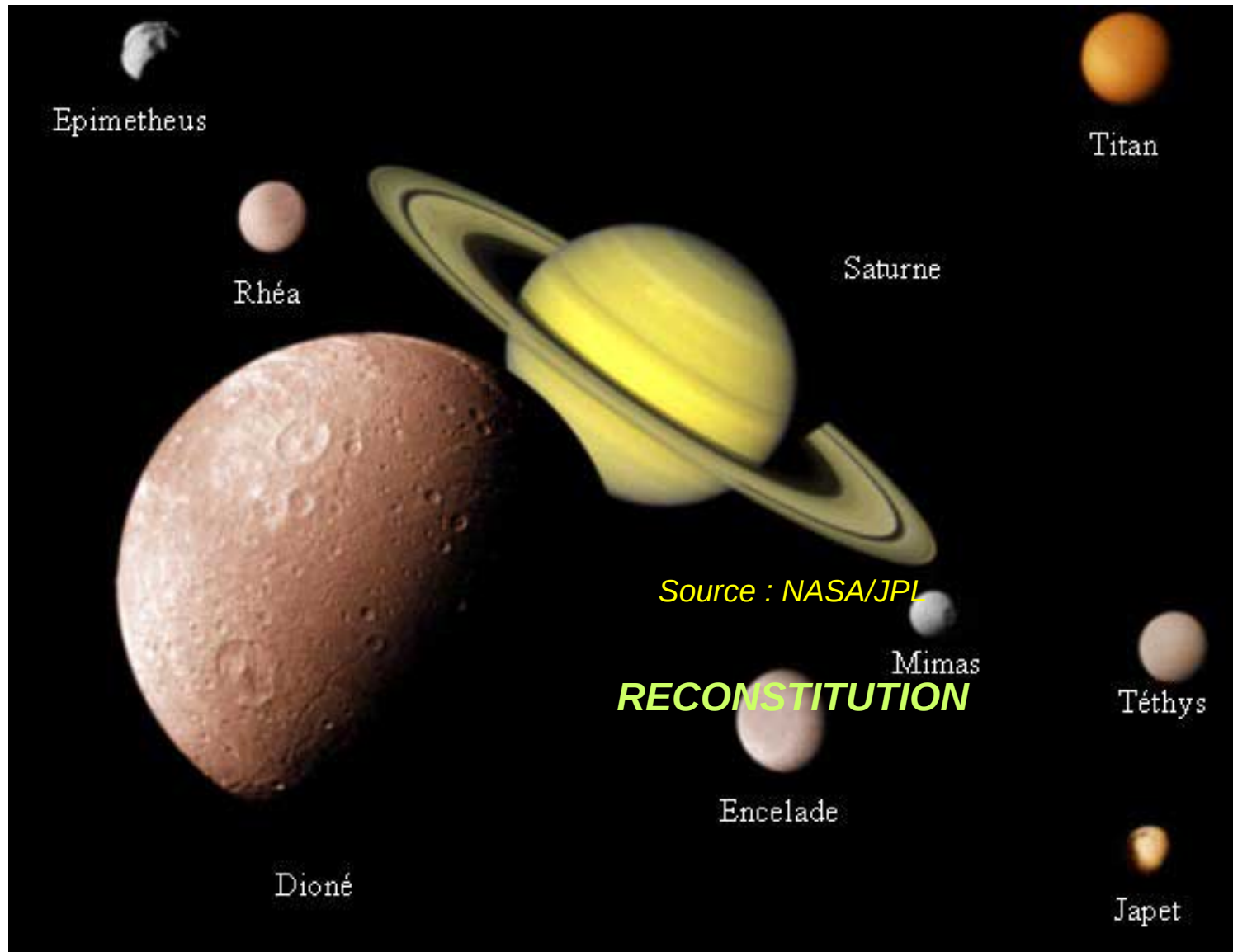
Exemple 1 : Jupiter et ses grands satellites



Io est le satellite galiléen le plus proche de Jupiter



Exemple 2 : Saturne et ses principaux satellites



IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

1 - LES SATELLITES

2 - LES COMETES

- forme irrégulière et taille est comprise entre 1 et 40 km
- orbites non-elliptiques autour du Soleil, en dehors de l'écliptique
- révolution : 76 ans (comète de Halley) à 2.400 ans (comète de Hall-Bopp).
- masse dépasse de 50 fois celle de la Terre
- Constitution : glaces et de poussières
- chauffage par la radiation solaire
- émission de quantités importantes de gaz et formation d'une queue
- origine serait la ceinture de Kuiper et/ou le nuage d'Oort

IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

1 - LES SATELLITES

2 - LES COMETES

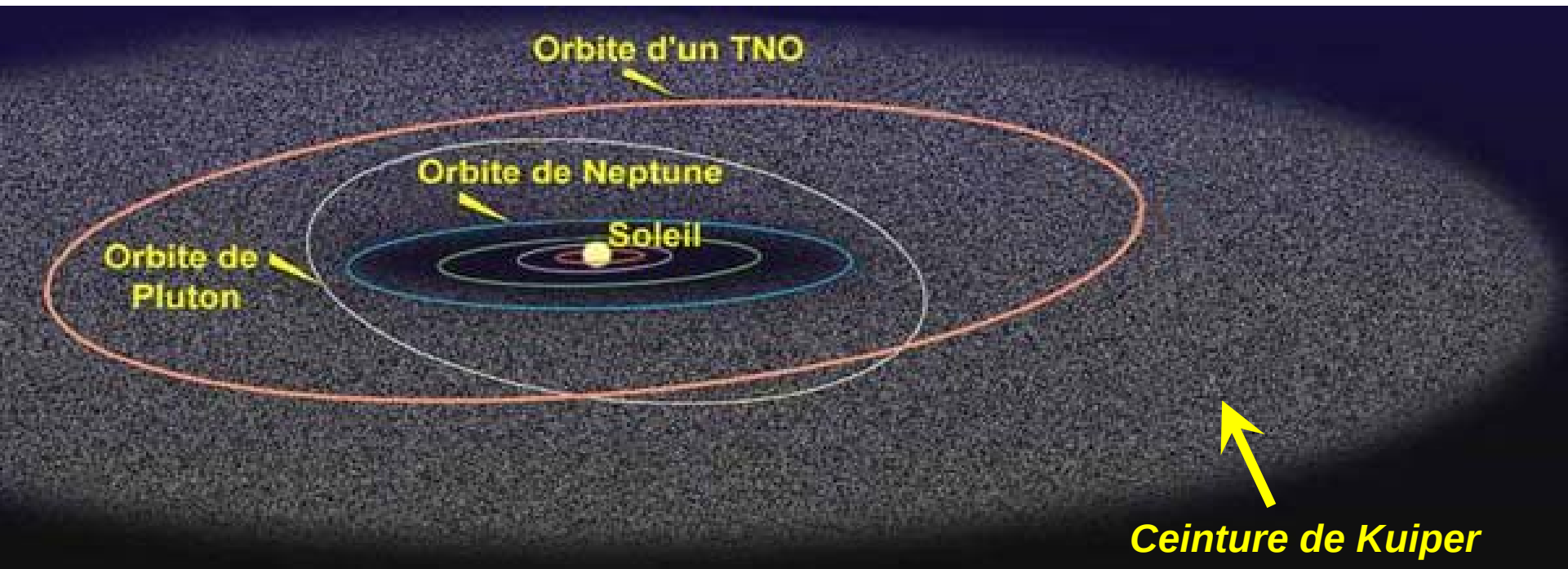
3 - LES ASTEROIDES

- corps rocheux en orbite autour du Soleil
- petits pour être considérés comme des planètes.
- dimensions variable entre 1000 km et quelques cm.
- on distingue trois groupes:

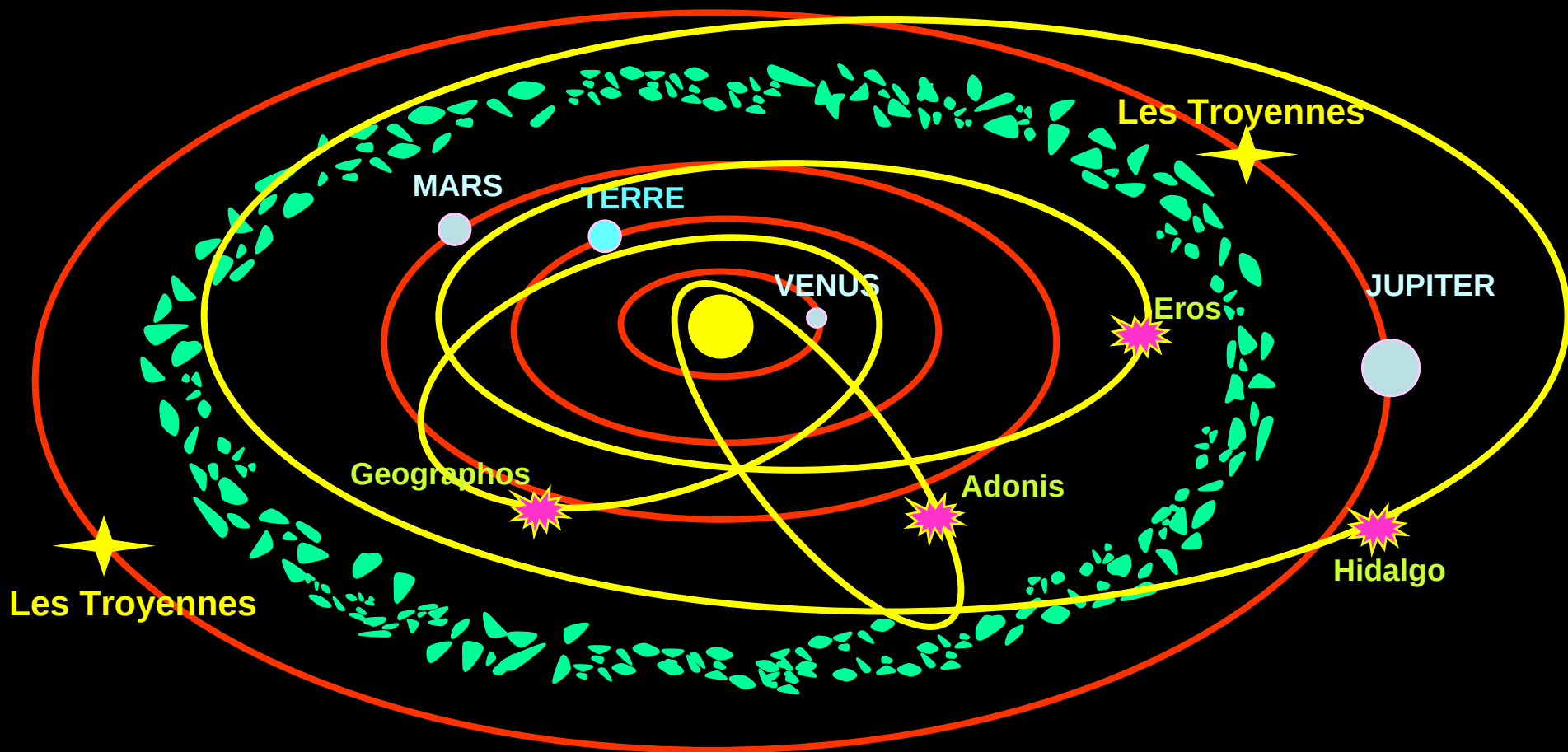
ceux de la *ceinture de Kuiper* en dehors de l'orbite de Pluton

ceux qui ont des orbites qui croisent celles des autres planètes

ceux de la *ceinture principale* entre les orbites de Mars et Jupiter



ORBITES DES ASTEROIDES DANS LE SYSTEME SOLAIRE



La Ceinture principale entre Jupiter et Mars

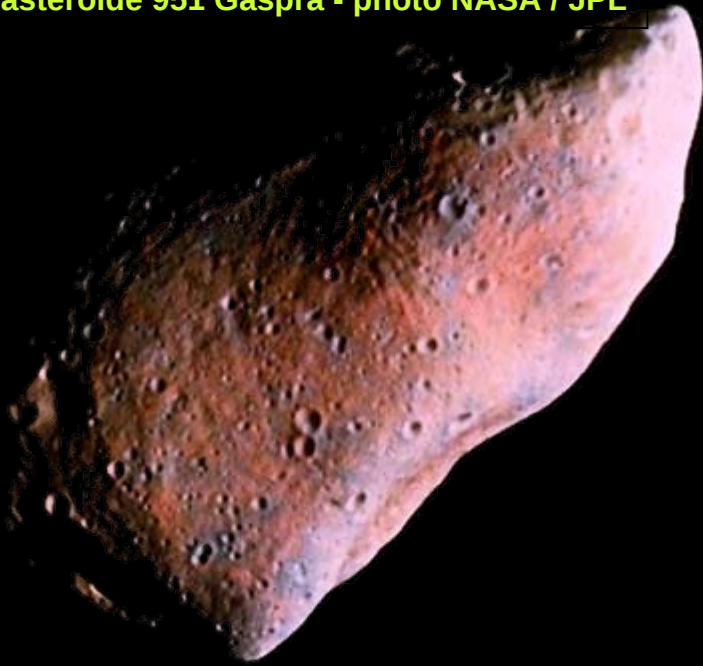


Les Troyennes : même orbite que Jupiter



Les Géocroiseurs : orbites croisent celui de la Terre

L'astéroïde 951 Gaspra - photo NASA / JPL



L'astéroïde 253 Mathilde - photo NASA / JPL



L'astéroïde 243 Ida et son satellite - photo NASA / JPL



L'astéroïde 433 Eros - photo NASA / JPL



NASA

RECONSTITUTION



Taille comparée des plus gros astéroïdes et de la Lune

NASA

IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

- 1 - LES SATELLITES
- 2 - LES COMETES
- 3 - LES ASTEROIDES
- 4 - LES METEORITES

QUELQUES DEFINITIONS

- **Un météoroïde** = un astéroïde situé sur une trajectoire de collision avec la Terre
- **Un météore** = «étoile filante » = un météoroïde qui entre dans notre atmosphère à haute vitesse et qui se désintègre par la friction en laissant une trace de lumière
- **une météorite** = un fragment rocheux qui frappe la surface de la Terre et qui résulte de la désintégration d'un météore lorsque ce dernier ne brûle pas complètement

- **les chondres** = des sphérules millimétriques observées dans une météorite

Ce sont des inclusions silicatées ayant la même composition chimique que la couronne solaire et le milieu interstellaire

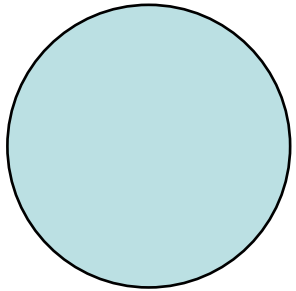
- **Les chondrites** = des roches formées en partie de chondres.

Les chondrites seraient les témoins de la condensation de la nébuleuse initiale.

Leur datation radiométrique donne un âge de **4.600 million d'années**

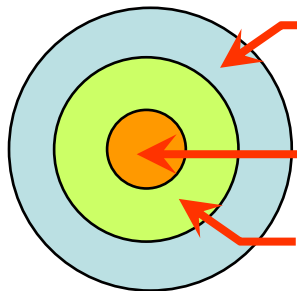
CLASSIFICATION DES METEORITES

INDIFFERENCIEES



- chondrites ordinaires (olivine, pyroxène, métal) 80%
- chondrites carbonées (composition solaire + carbone) 80%

DIFFERENCIEES



- croûte* - achondrites (pyroxène + autres) 8%
- noyau* - métalliques (Fe + Ni) 6%
- manteau* - métallo-pierreuses (métal + silicates) 2%

Météorite pierreuse : Chondrite



Météorite métallique : Sidérite



IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

1 - LES SATELLITES

2 - LES COMETES

3 - LES ASTEROIDES

4 - LES METEORITES

5 - LE MILIEU INTERPLANETAIRE

- poussières

= particules solides microscopiques issues des comètes et les astéroïdes

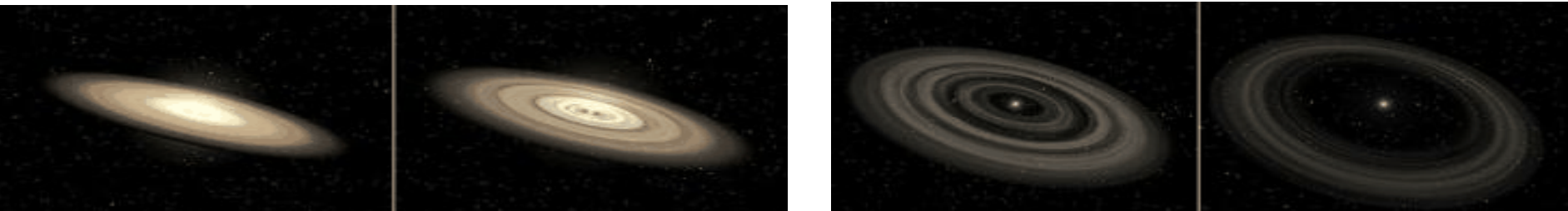
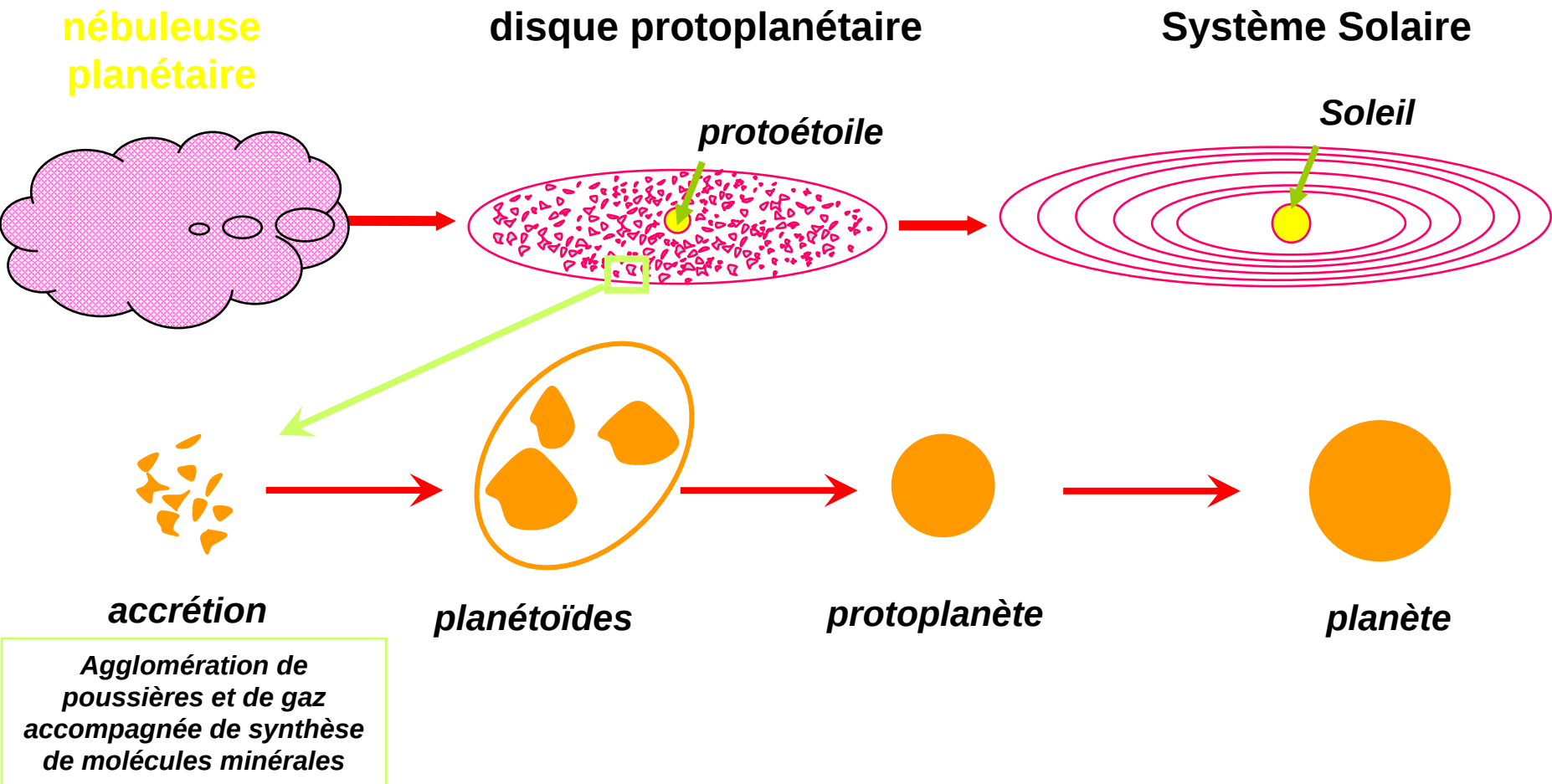
- vent solaire

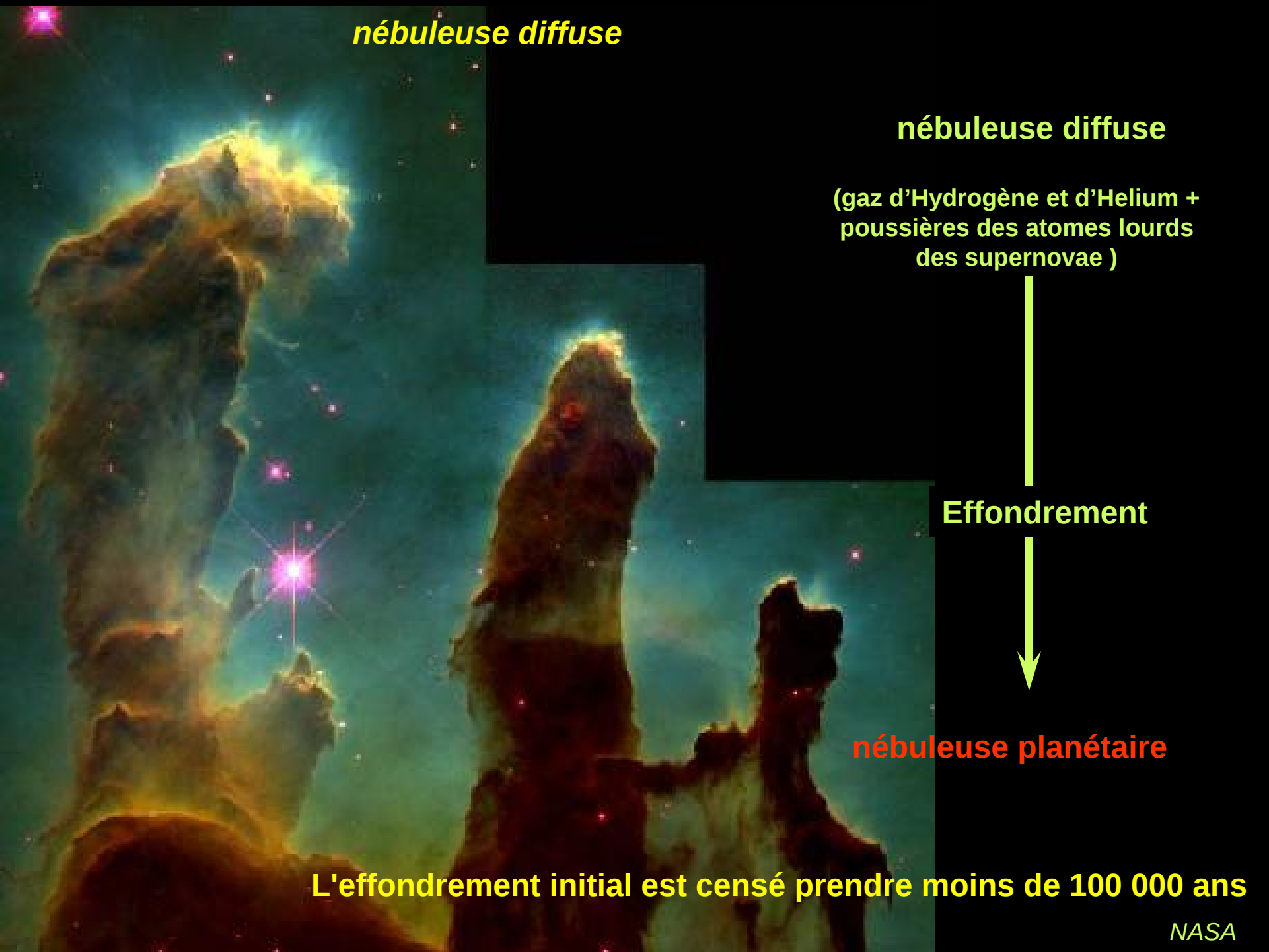
= plasma entièrement ionisé et magnétisé, constitué de noyaux (d'hydrogène et d'hélium) mélangés à des électrons à très haute température

- rayons cosmiques

= vent solaire mélangé à des noyaux et atomes plus lourds

V - FORMATION DU SYSTEME SOLAIRE





nébuleuse diffuse

nébuleuse diffuse

(gaz d'Hydrogène et d'Helium +
poussières des atomes lourds
des supernovae)

Effondrement

nébuleuse planétaire

L'effondrement initial est censé prendre moins de 100 000 ans

NASA

nébuleuse diffuse



nébuleuse planétaire
Planetary Nebula IC 418

(filtre vert (Sahai))

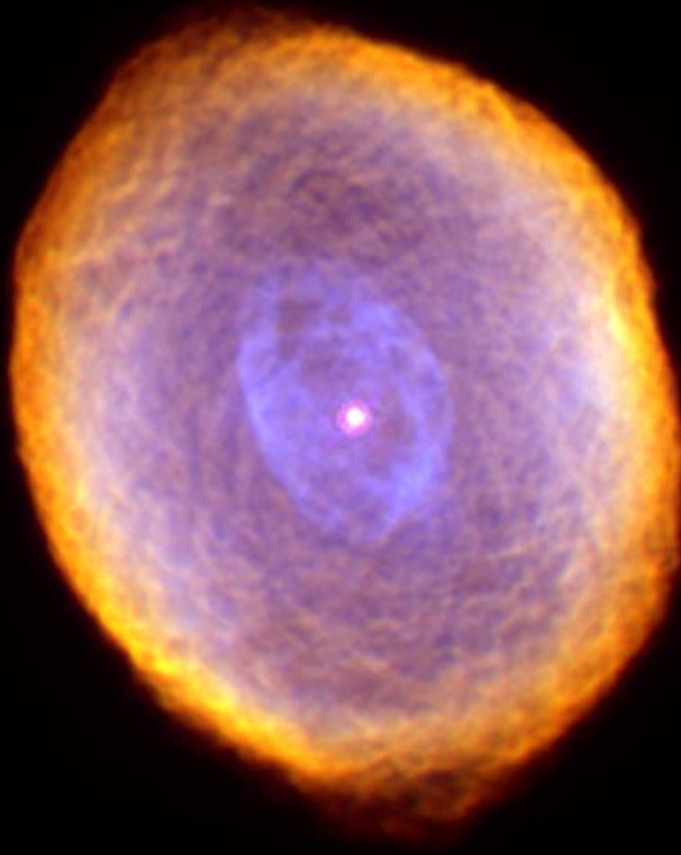


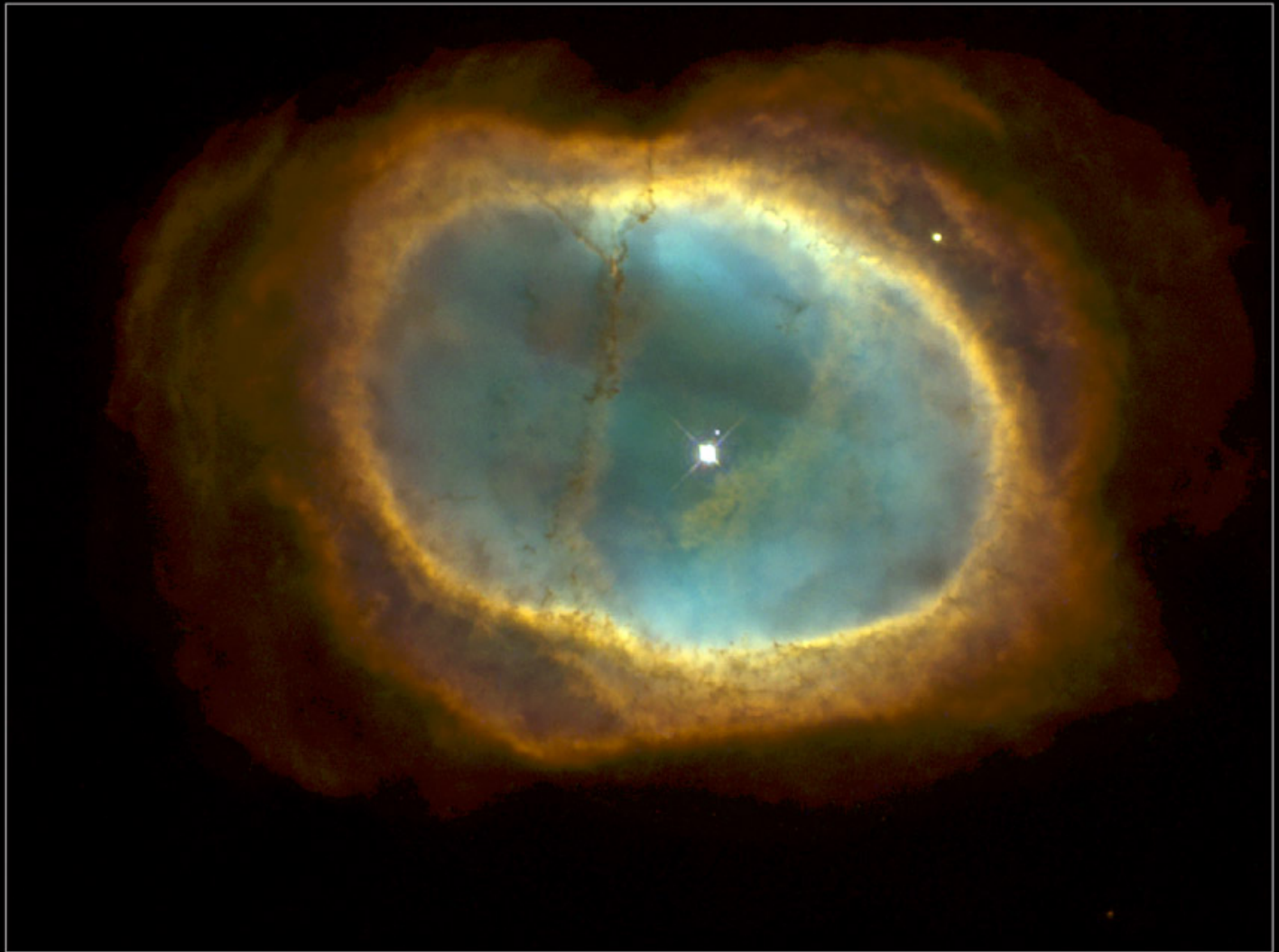
photo. émise le (7 septembre 2000), en fausses couleurs

se situe dans la constellation du Lièvre à 2 000 al

Hubble
Heritage

Planetary Nebula NGC 3132

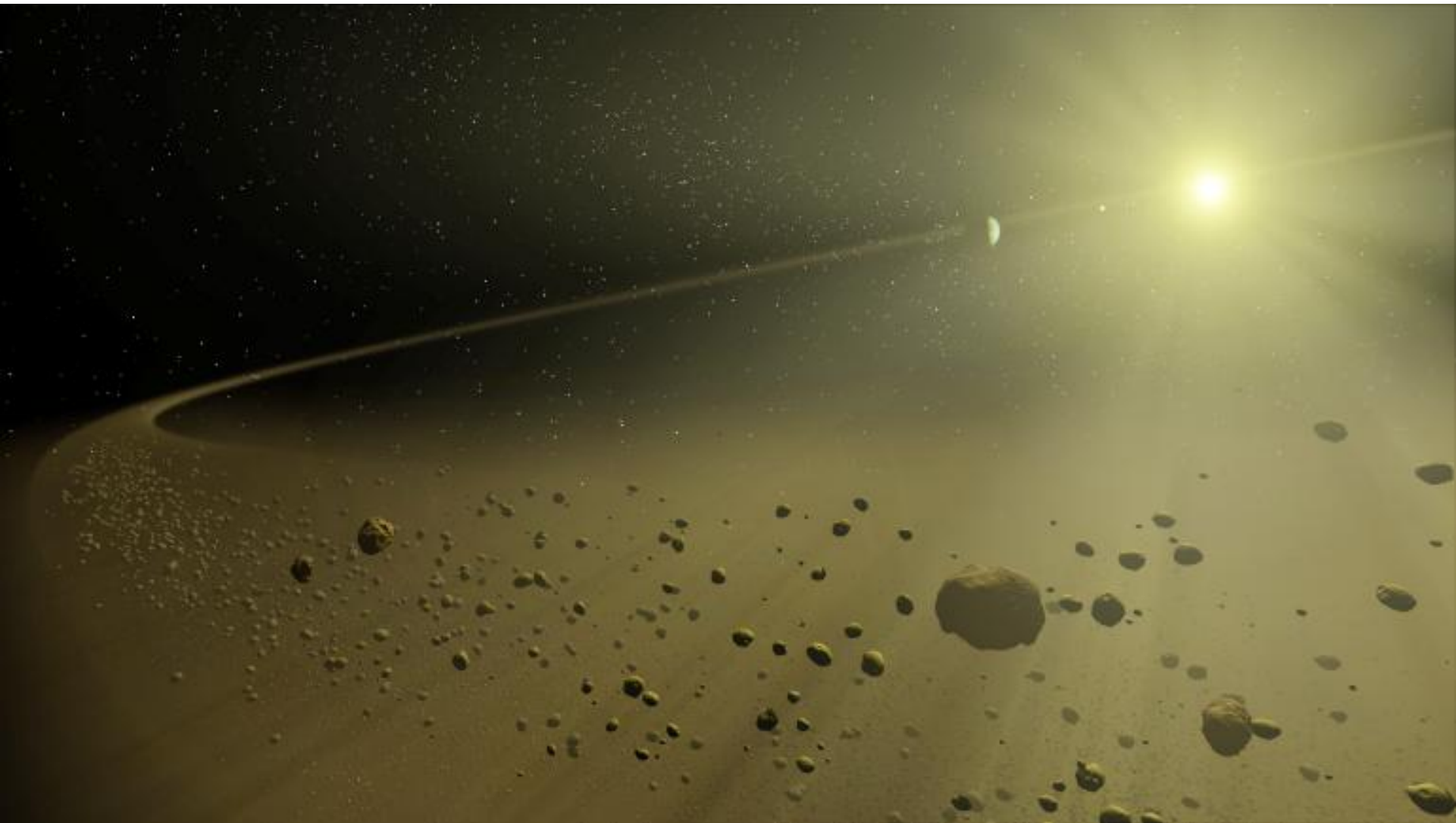
nébuleuse planétaire



Hubble
Heritage

PRC98-39 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team

RECONSTITUTION : PROTO ETOILE



RECONSTITUTION DE L'ALLURE DU DISQUE PROTOPLANETAIRE ET PROTO ETOILE

Source : Community > Scenery & Nature > Space

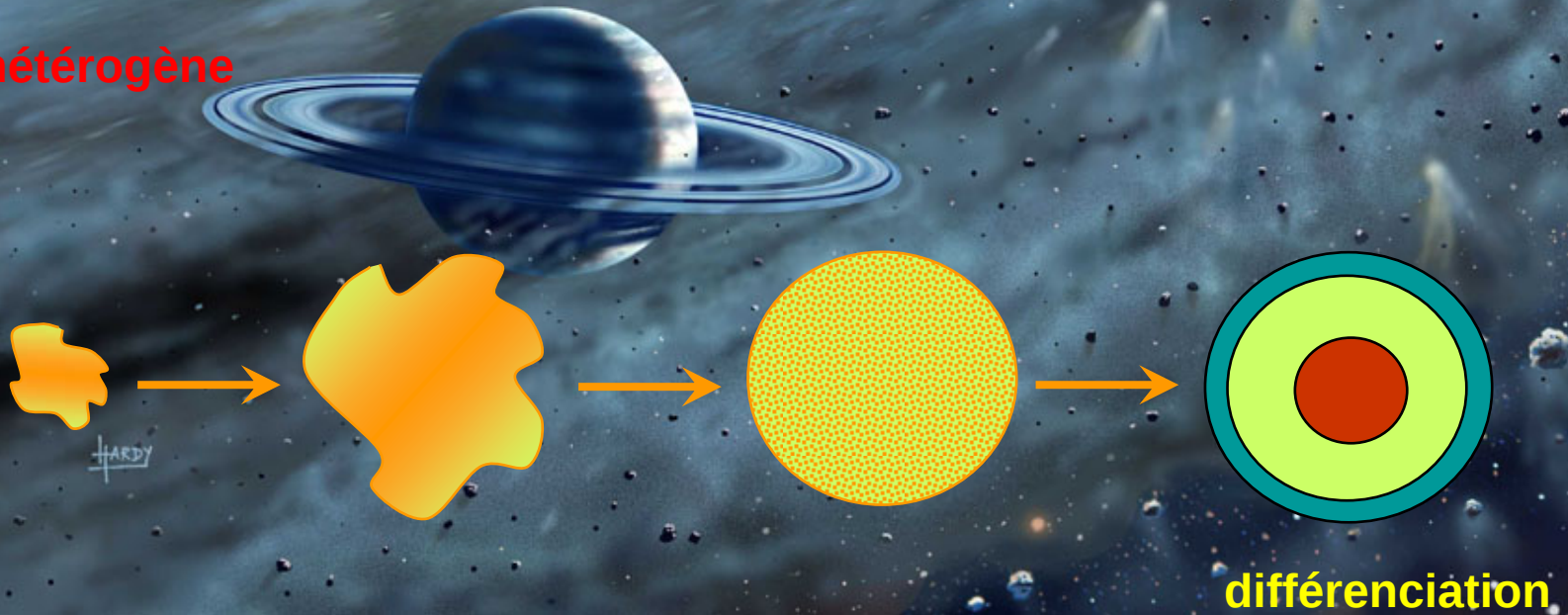
(fig.5)

2 TYPES D'ACCRETION :

Accrétion homogène



Accrétion hétérogène



RECONSTITUTION : ALLURE DE NOTRE PLANETE TERRE AU DEBUT DE SA FORMATION

La formation du système solaire peut durer 100 millions d'année



nébuleuse planétaire

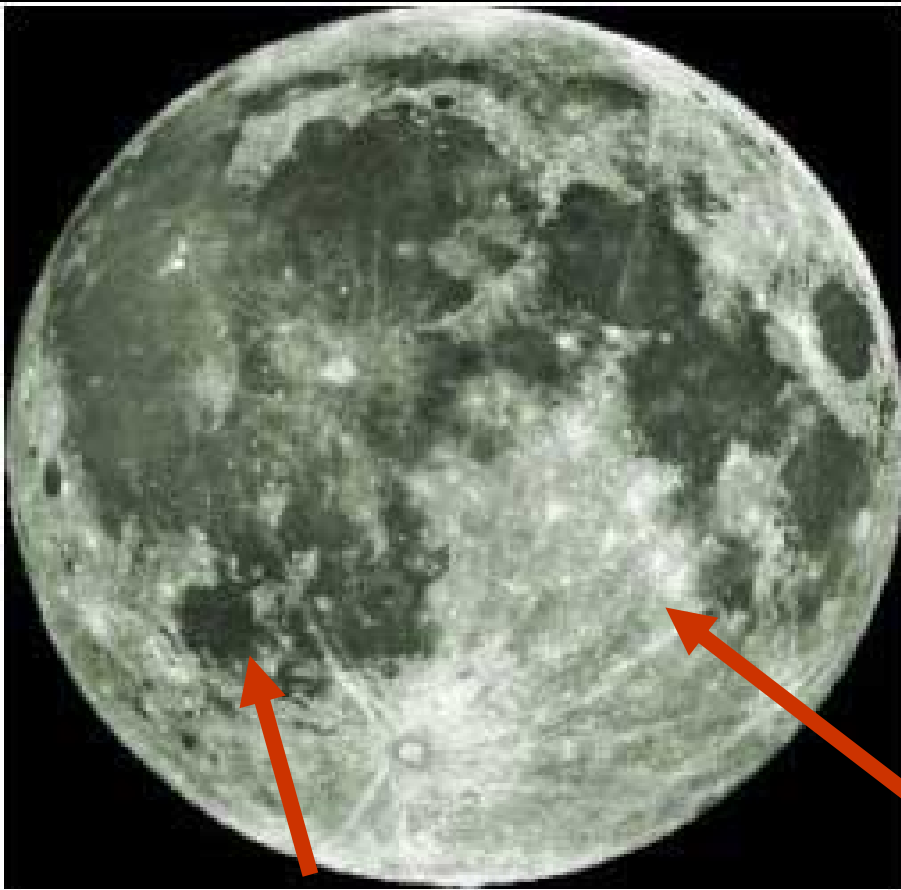


FIN

Chapitre IV LA LUNE

I – LES CARACTERES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES DE LA LUNE

Forme : - sphère presque parfaite



- zones sombres = *mare* ("mer") = vastes plaines, lisses constituées de basaltes
Elles caractérisent la face visible de la Lune

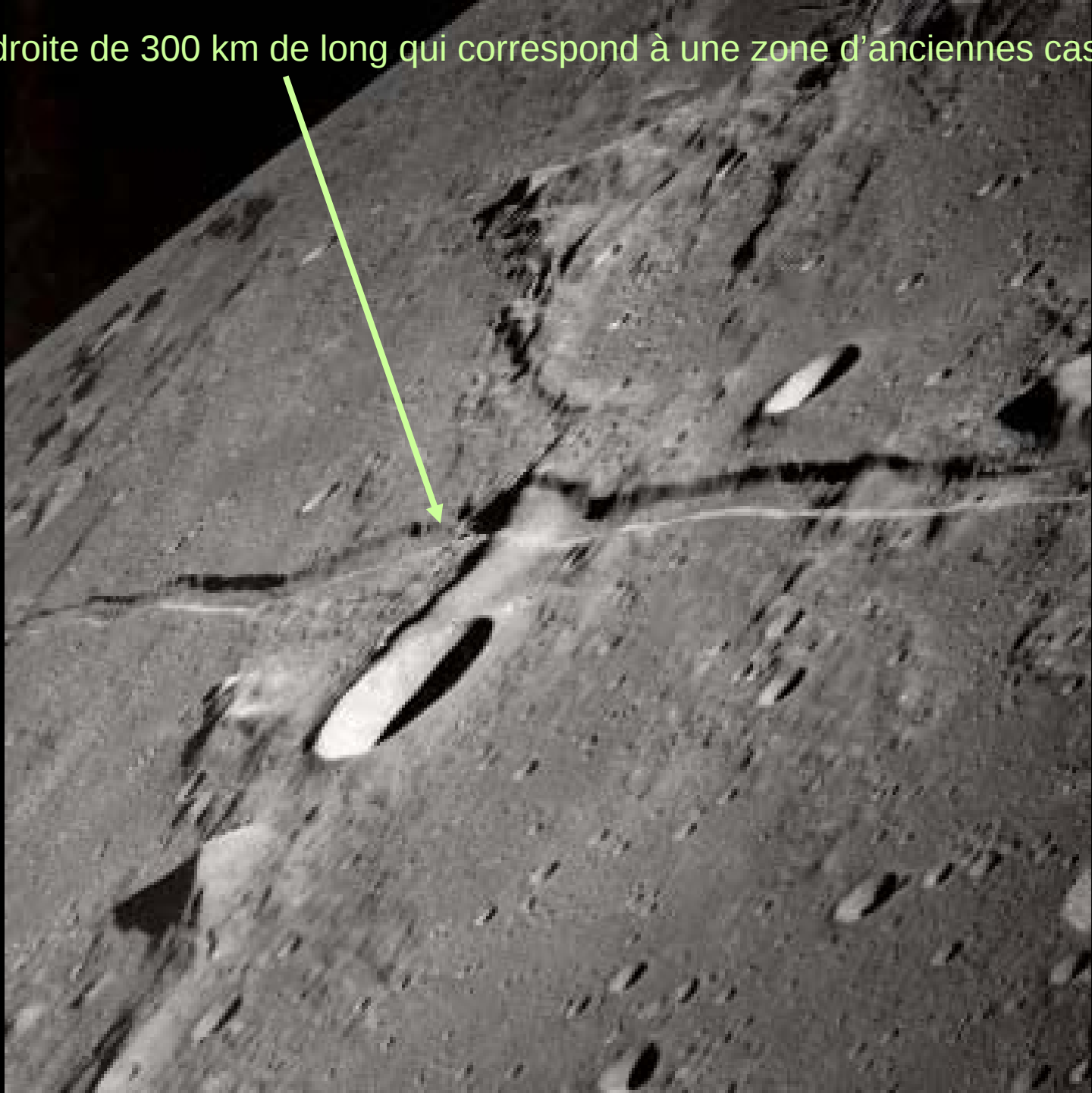


- zones claires = *terra* ("continents"), = cratères et de sommets qui résultent d'impacts de météorites
Bien développées sur la face cachée de la Lune

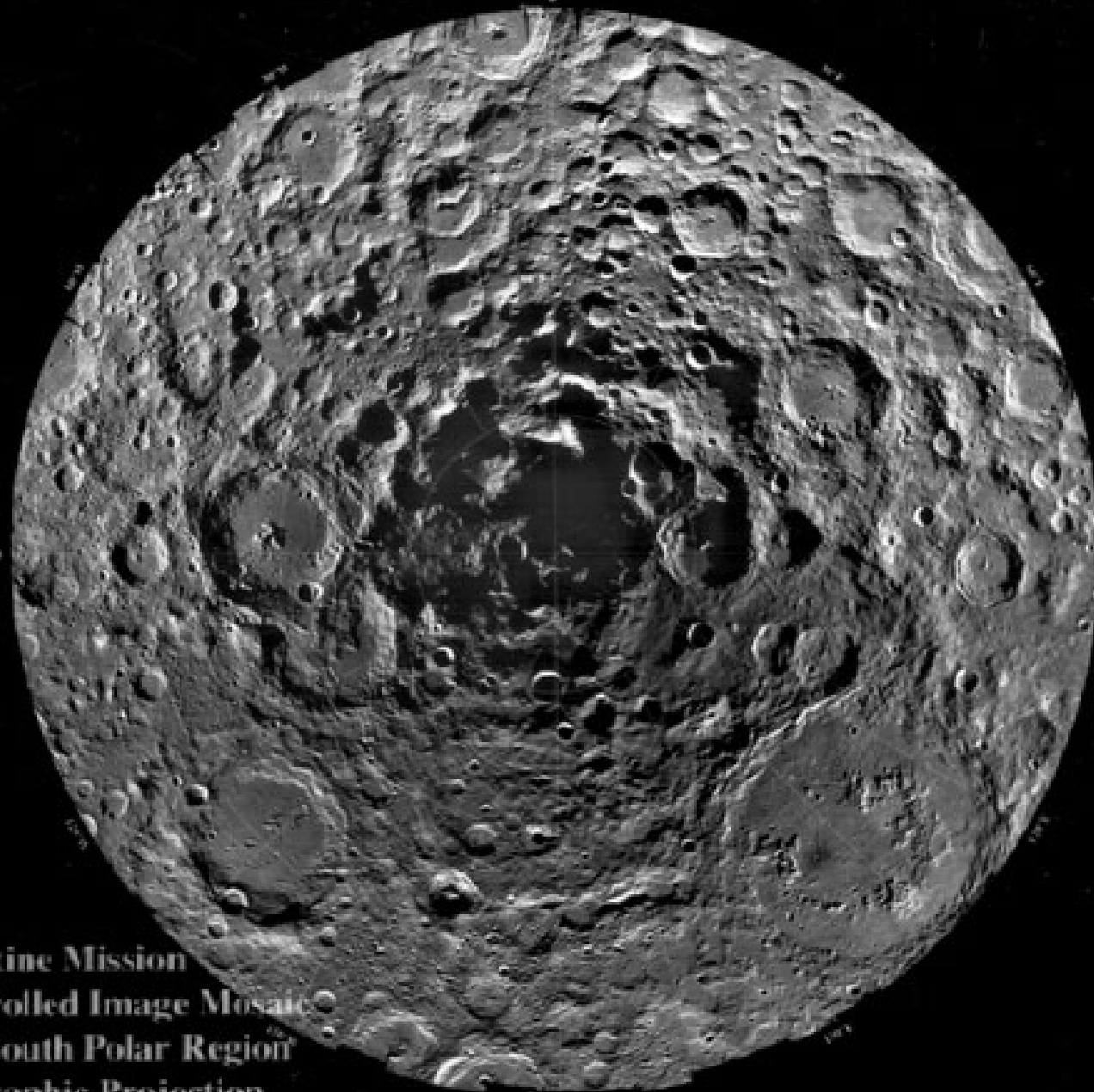
Un paysage du sol lunaire



Crevasse droite de 300 km de long qui correspond à une zone d'anciennes cassures

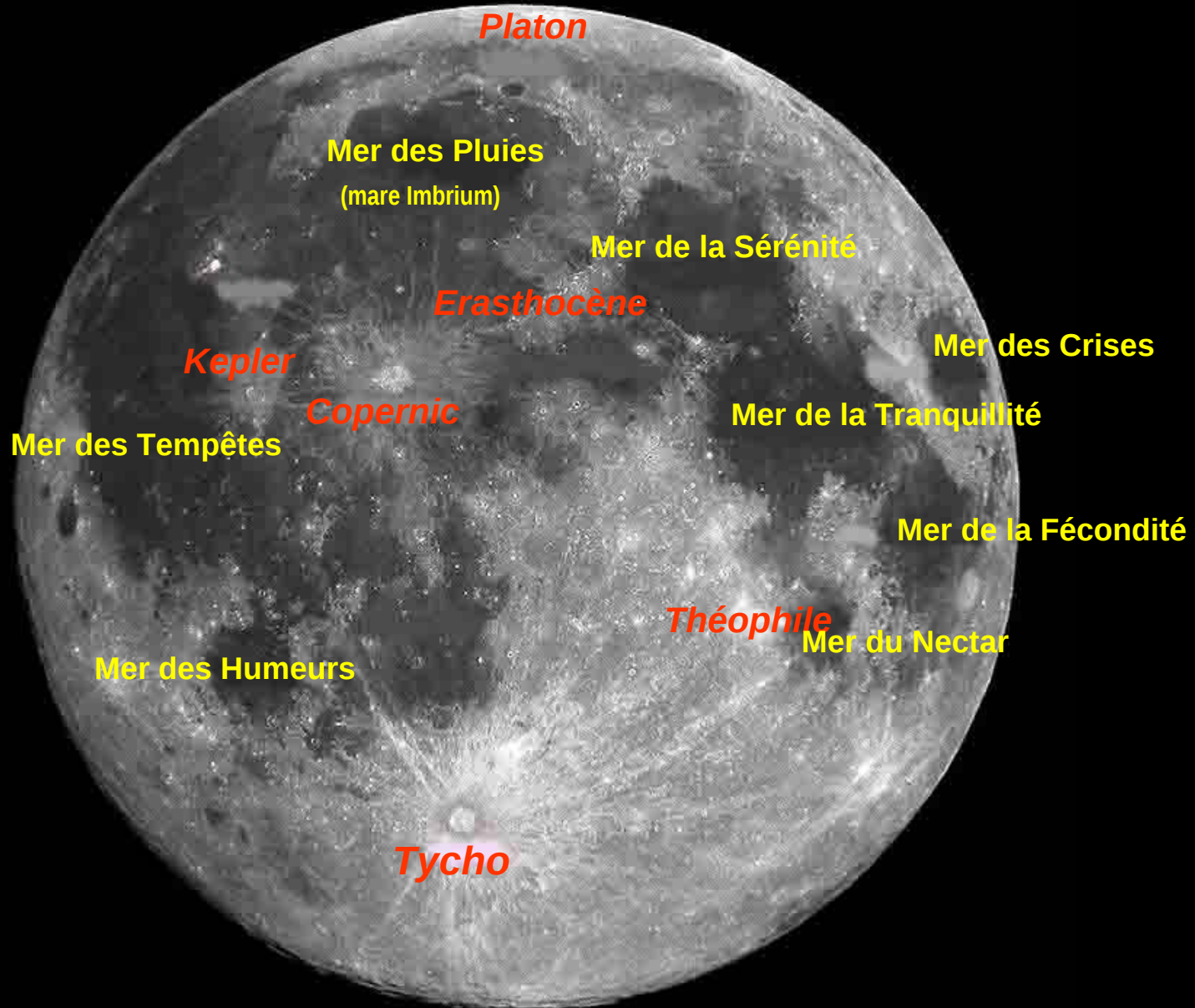


Pôle sud lunaires

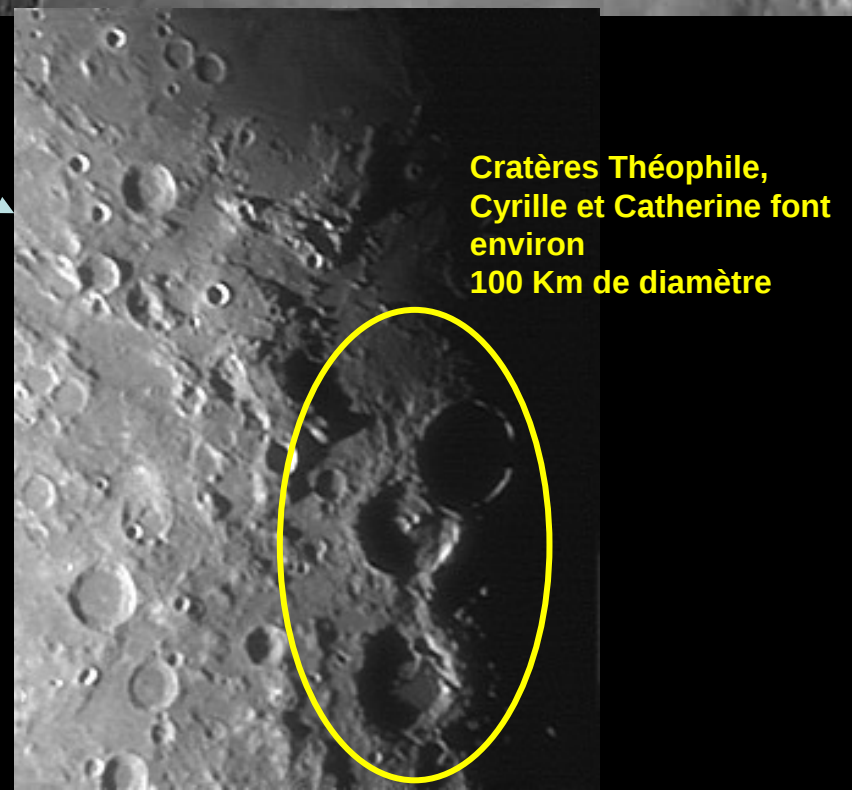
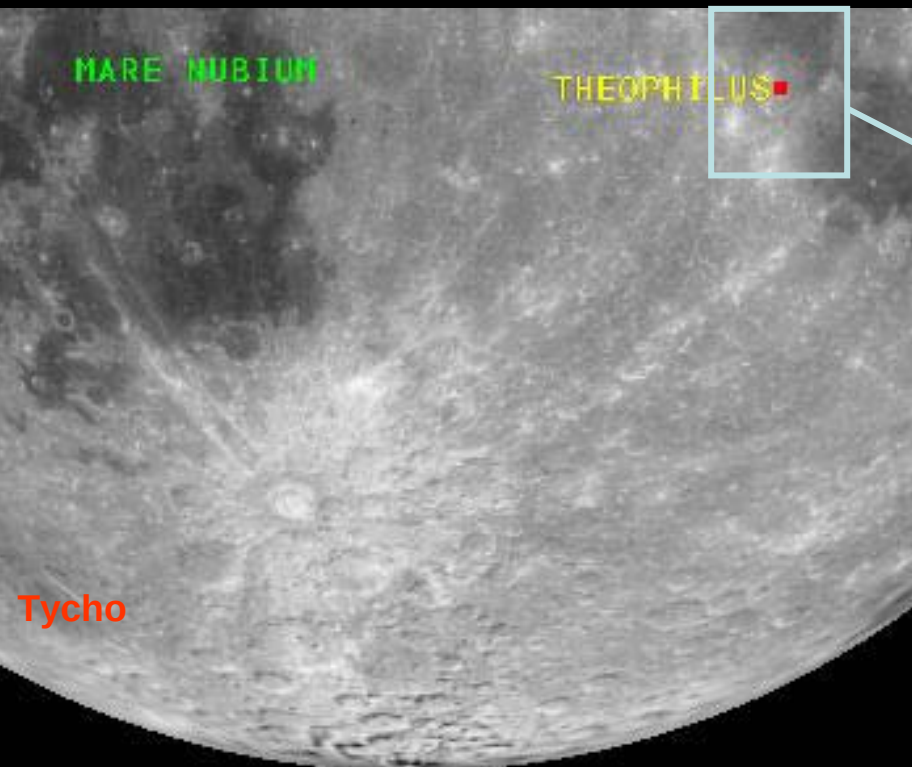
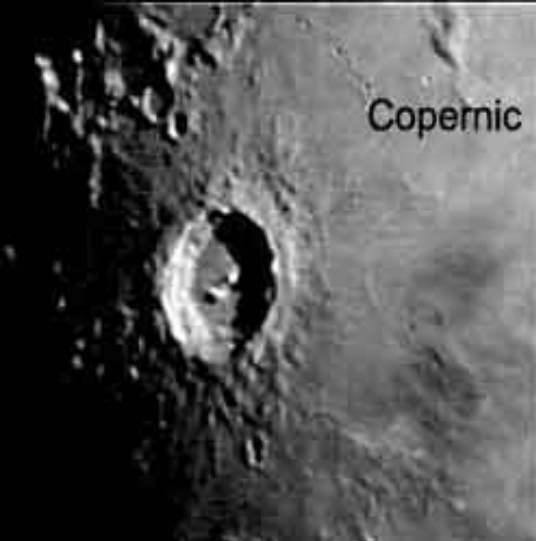


Clementine Mission
Uncontrolled Image Mosaic
Lunar South Polar Region
Orthographic Projection

Carte simplifiée de la face visible de la Lune



Quelques exemples de cratères



I – LES CARACTERES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES DE LA LUNE

suite

Diamètre : 3476 km (3/11 du diamètre terrestre)

Masse : $7,3 \times 10^{22}$ kg, soit environ 80 fois inférieure à la masse de la Terre.

Volume : 50 fois inférieur au volume terrestre.

Densité moyenne : 3,34 g/cm³ (celle de la Terre est de 5,515 g/cm³).

Pesanteur : six fois moins forte que sur la Terre.

Atmosphère : Pratiquement inexistante.

Température à la surface :

+125°C sur la partie éclairée par le Soleil

-175°C sur la partie obscure

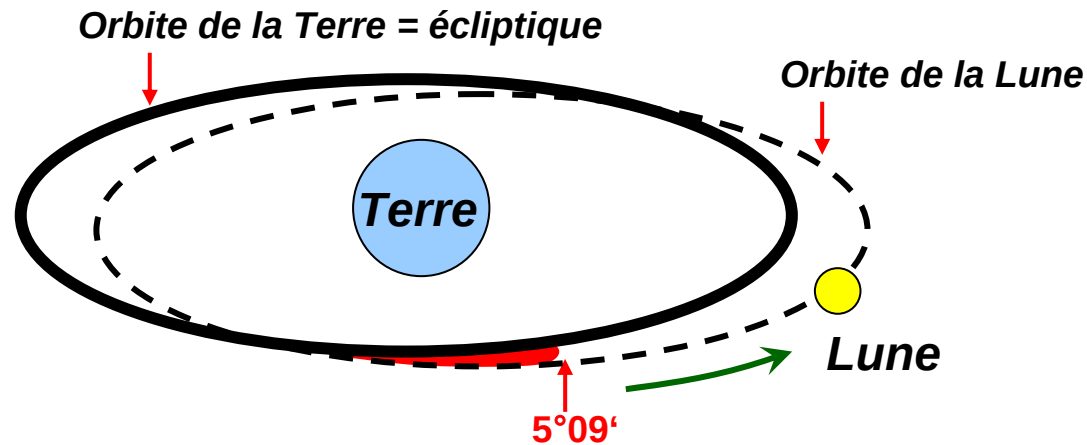
Lumière : La Lune est éclairée par la lumière du Soleil, elle en réfléchit entre 7 et 10% au niveau des mers et de 11 à 18% dans les régions continentales.

Distance Terre - Lune : 384.400km en moyenne

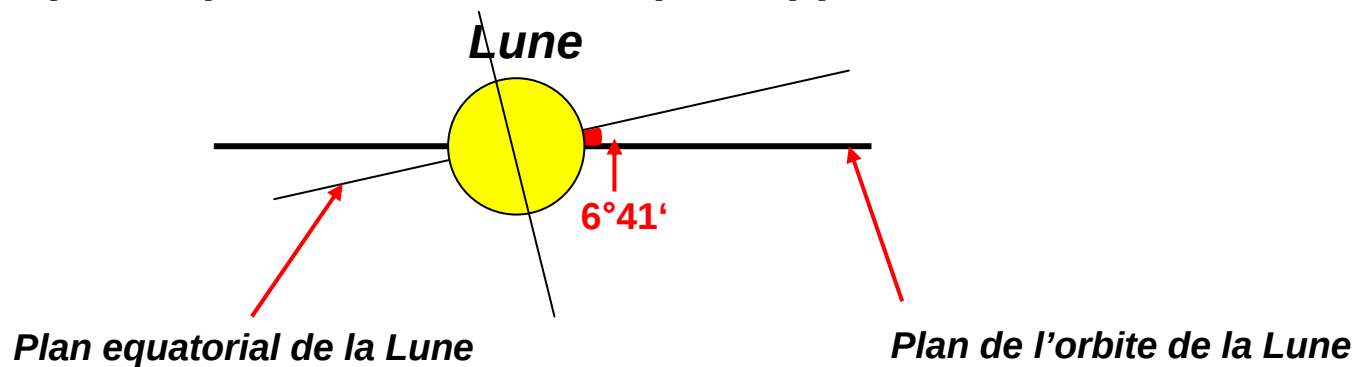
suite

Inclinaisons

- inclinaison de l'orbite de la Lune par rapport à l'écliptique $5^{\circ}09'$

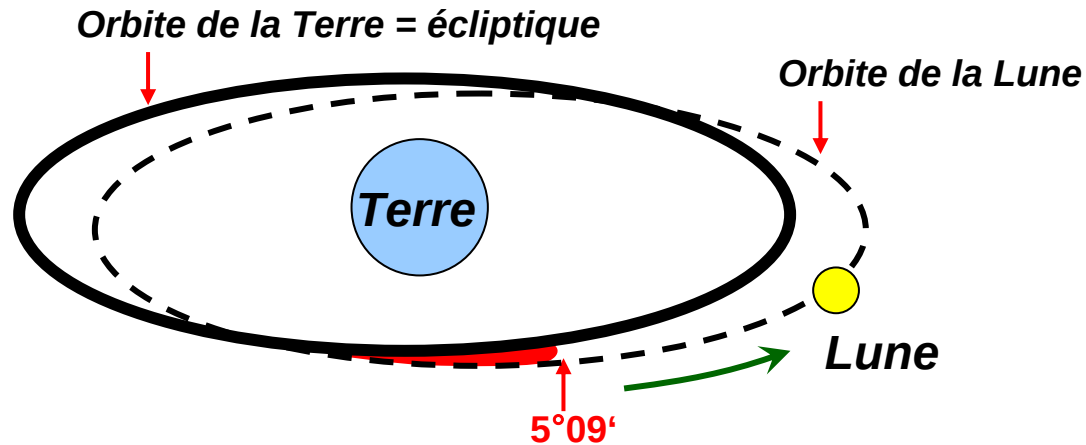


- inclinaison du plan équatorial de la Lune par rapport à son orbite $6^{\circ}41'$

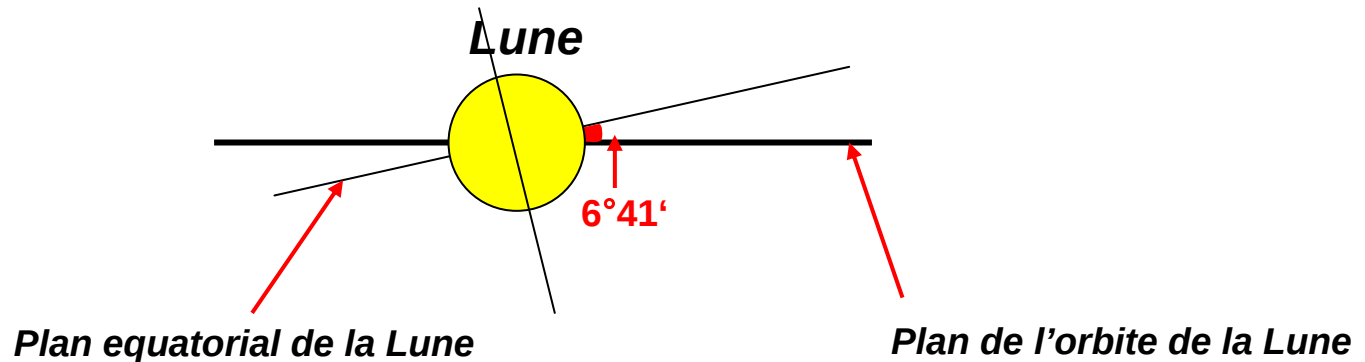


Inclinaisons

- inclinaison de l'orbite de la Lune par rapport à l'écliptique $5^{\circ}09'$



- inclinaison du plan équatorial de la Lune par rapport à son orbite $6^{\circ}41'$



I – LES CARACTERES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES DE LA LUNE

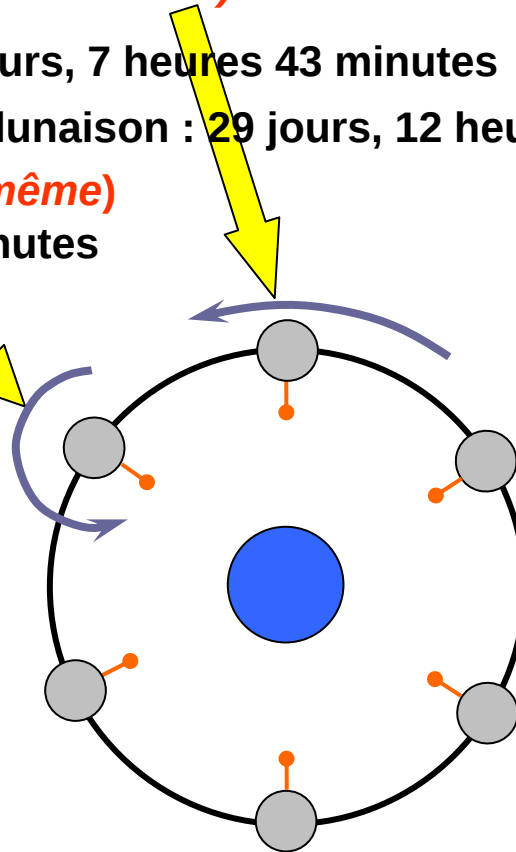
suite

Période de révolution (autour de la Terre)

- révolution sidérale : 27 jours, 7 heures 43 minutes
- révolution synodique ou lunaison : 29 jours, 12 heures 44 minutes

Période de rotation (sur elle-même)

- 27 jours, 7 heures 43 minutes



Autres particularités

- La Lune est, avec le Soleil, à l'origine des marées océaniques de la Terre
- La Lune présente toujours la même face à la Terre
- La lumière met environ une seconde pour parcourir la distance Terre / Lune
- La Lune s'éloigne de la Terre de 4,4cm par an. Cette vitesse d'éloignement est constante depuis l'Antiquité.

I – LES CARACTERES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES DE LA LUNE

II – GEOLOGIE DE LA LUNE

1. - Pétrographie

Anorthosites

= roches plutoniques, claires, (feldspaths sodiques + pyroxènes + olivine

Norites

= roches riches en potassium et en phosphore; ayant une composition minéralogique gabbroïque riche en pyroxène calcique

Leur répartition est ponctuelle : au niveau des impacts des météorites sur le socle basaltique.

Basaltes

= roches volcaniques sombres, denses, épanchées sur des coulées superposées et très étendues en occupant les mares.

Régosol ou, le Régolite

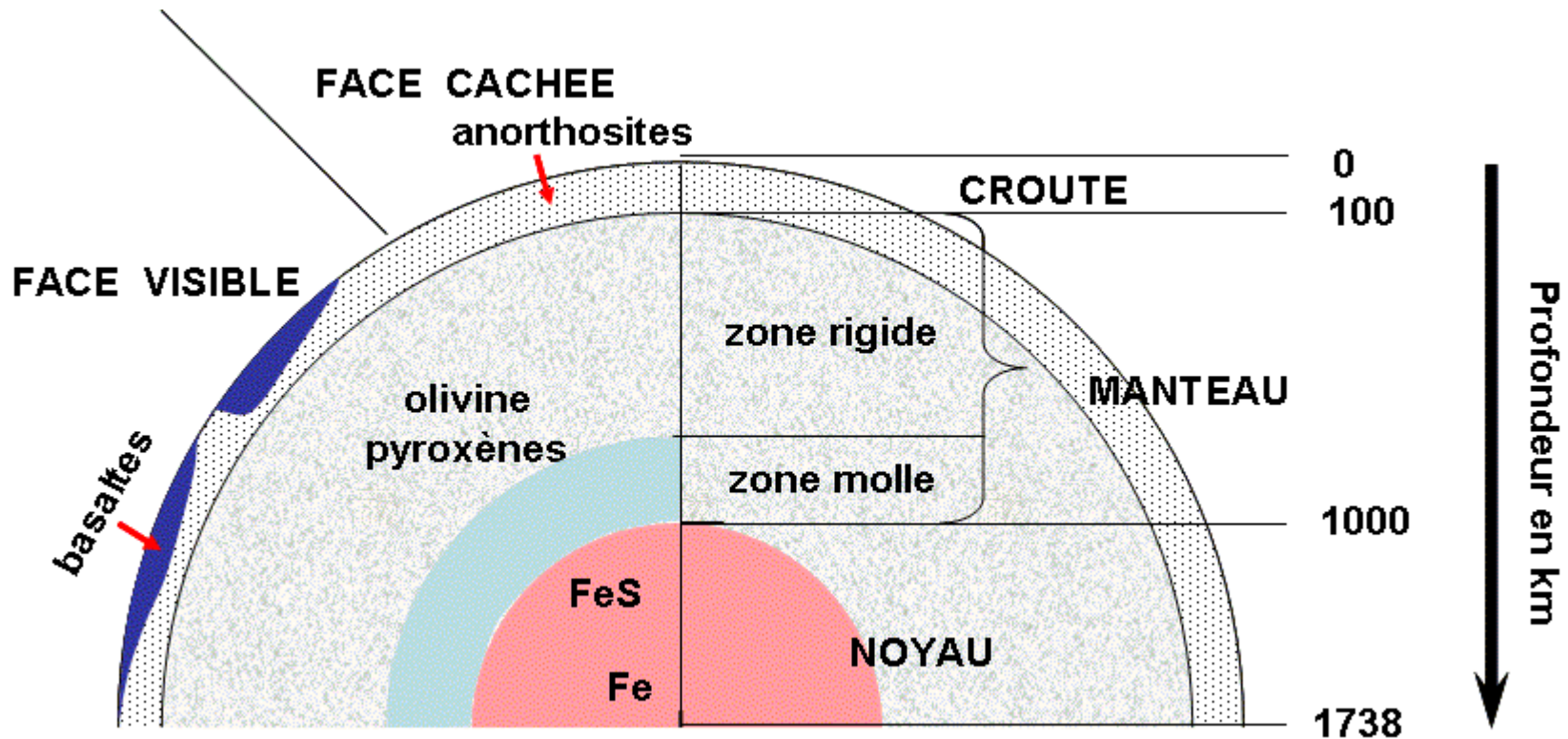
= couche de poussière superficielle (1 à 10m) contenant des fragments de roches qui résultent de l'impact et de petites météorites.

Leur âge s'établit entre 4000 et 4500 Ma.

Pas d'érosion, ni transport, ni transformation; mais contamination par le vent solaire

suite

2. - Structure interne



3. - Sismicité

Séismes d'origines internes n'ont pas dépassé la magnitude 3 sur l'échelle de Richter.

4. – Champ magnétique

Champ magnétique résiduel en surface d'une extrême variabilité

III – RELATIONS TERRE - LUNE

1. - Les différentes phases d'une lunaison

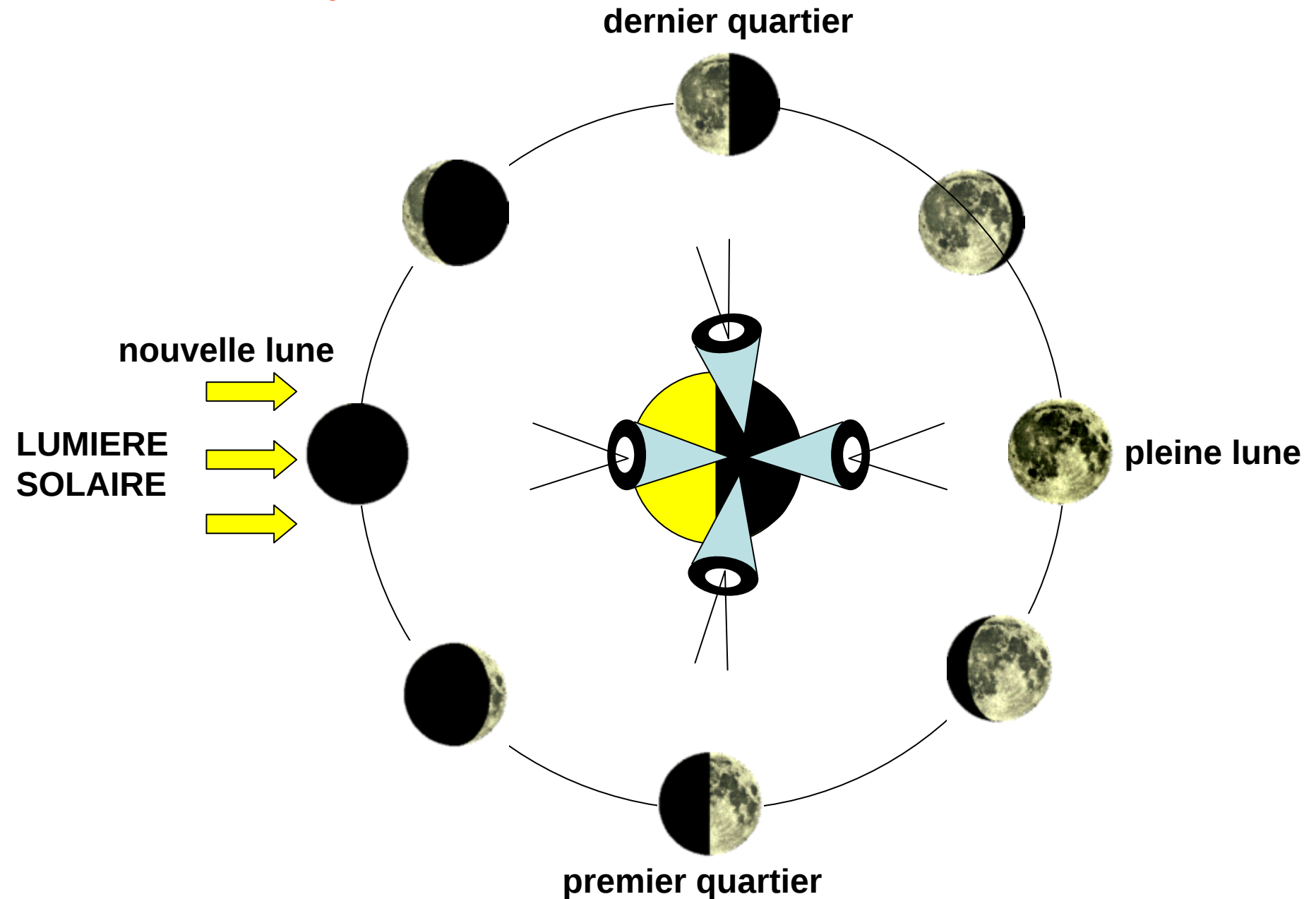
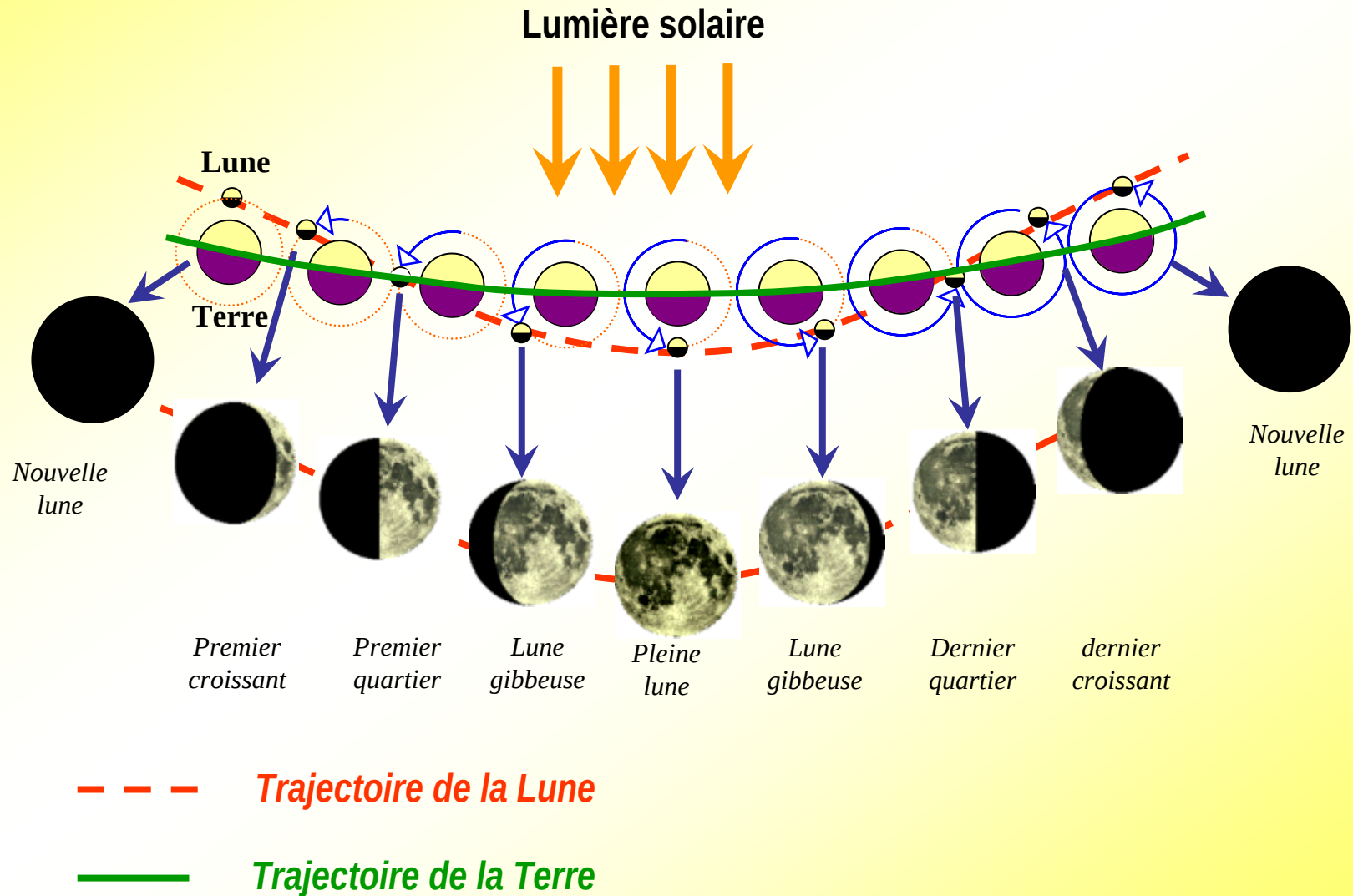
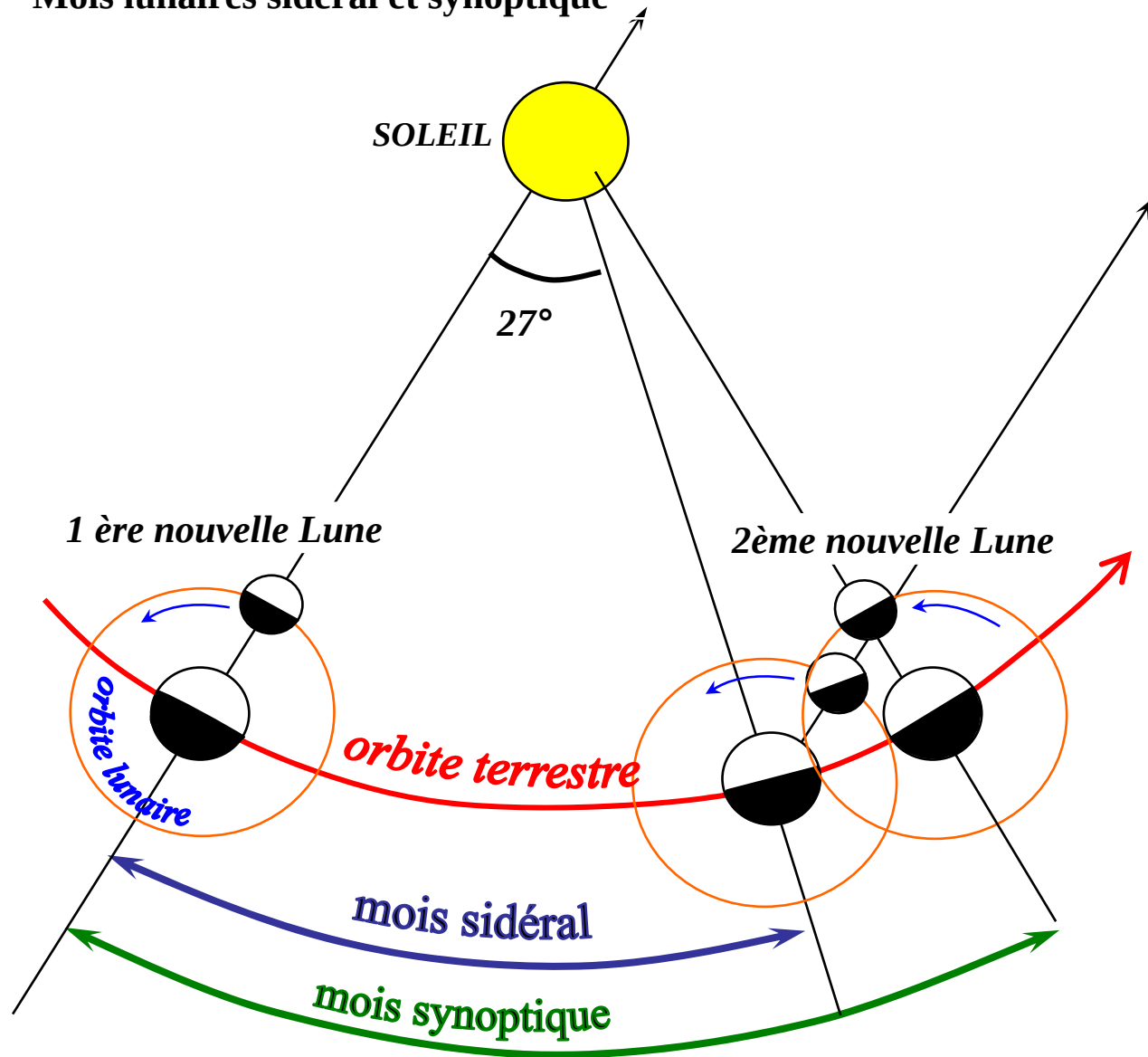


Fig.4 : Positions relatives de la Terre, de la Lune et du Soleil pendant un mois lunaire



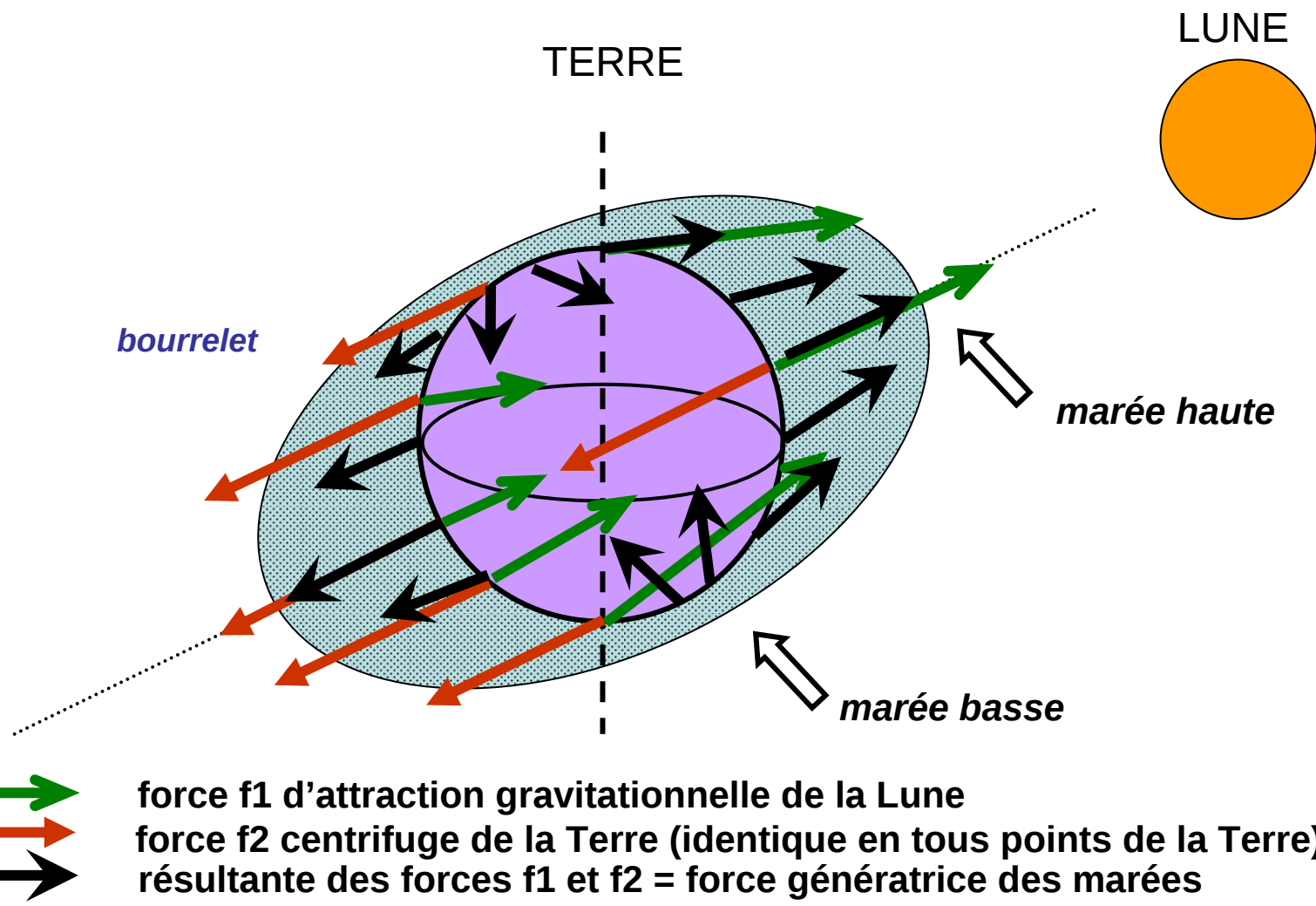
Mois lunaires sidéral et synoptique



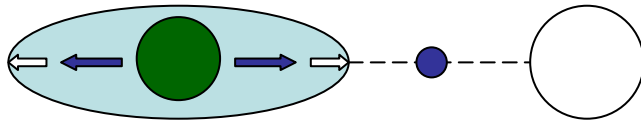
III – RELATIONS TERRE - LUNE

1. - Les différentes phases d'une lunaison

1. – Le mouvement des marées

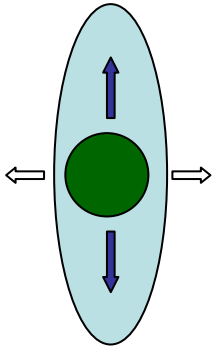


Le soleil est également responsable d'une partie du mouvement des marées. La force qu'il induit représente 45% de celle de la Lune



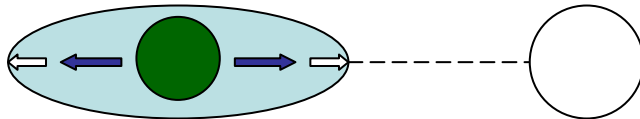
NOUVELLE LUNE

Les 3 astres sont alignés. Les forces s'additionnent.
Les marées sont importantes = marées de vive-eau



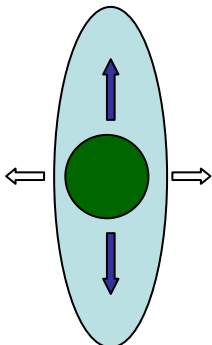
PREMIER QUARTIER

Les 3 astres forment un angle droit. Les forces se contrarient.
Les marées sont faibles = marées de morte-eau



PLEINE LUNE

Les 3 astres sont alignés. Les forces s'additionnent.
Les marées sont importantes
= marées de vive-eau



DERNIER QUARTIER

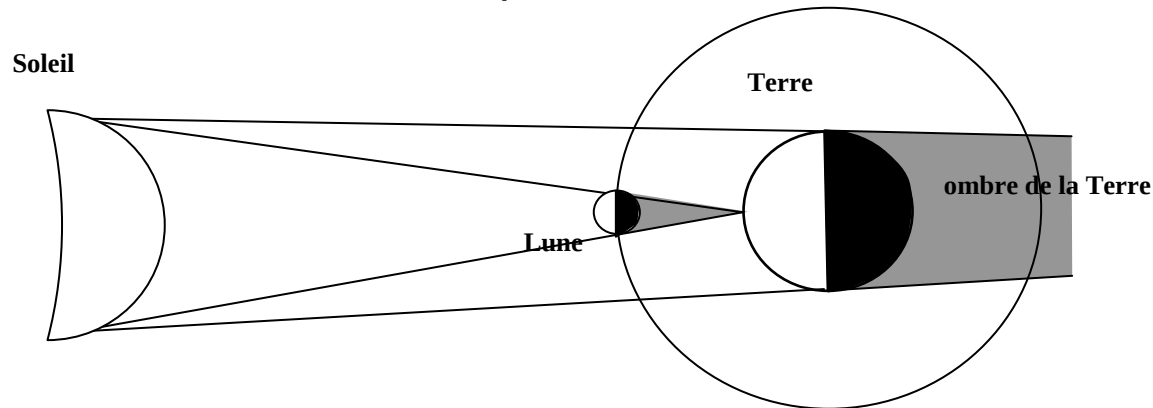
Les 3 astres forment un angle droit. Les forces se contrarient.
Les marées sont faibles = marées de morte-eau



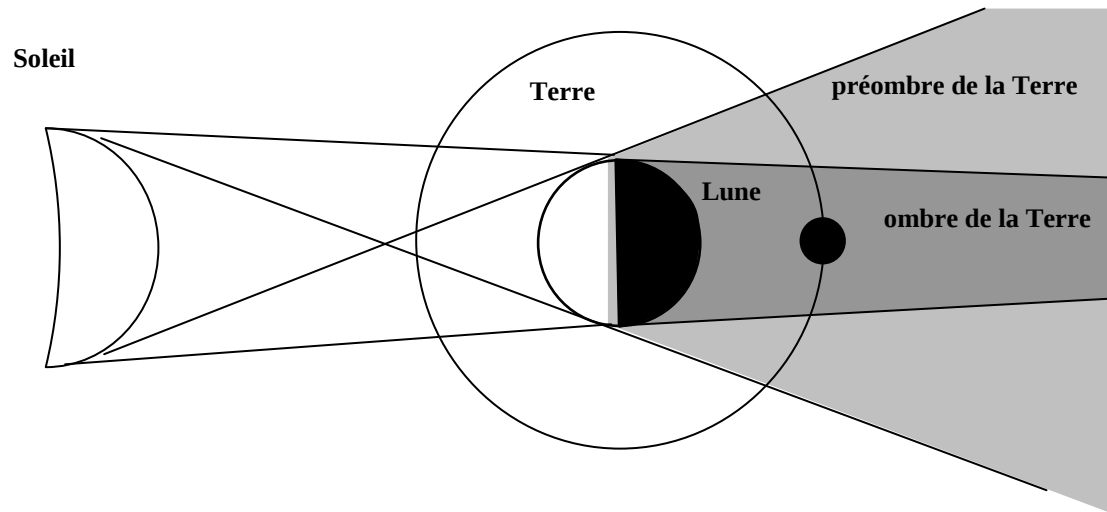
III – RELATIONS TERRE - LUNE

1. - Les différentes phases d'une lunaison
2. – Le mouvement des marées
3. – Les éclipses

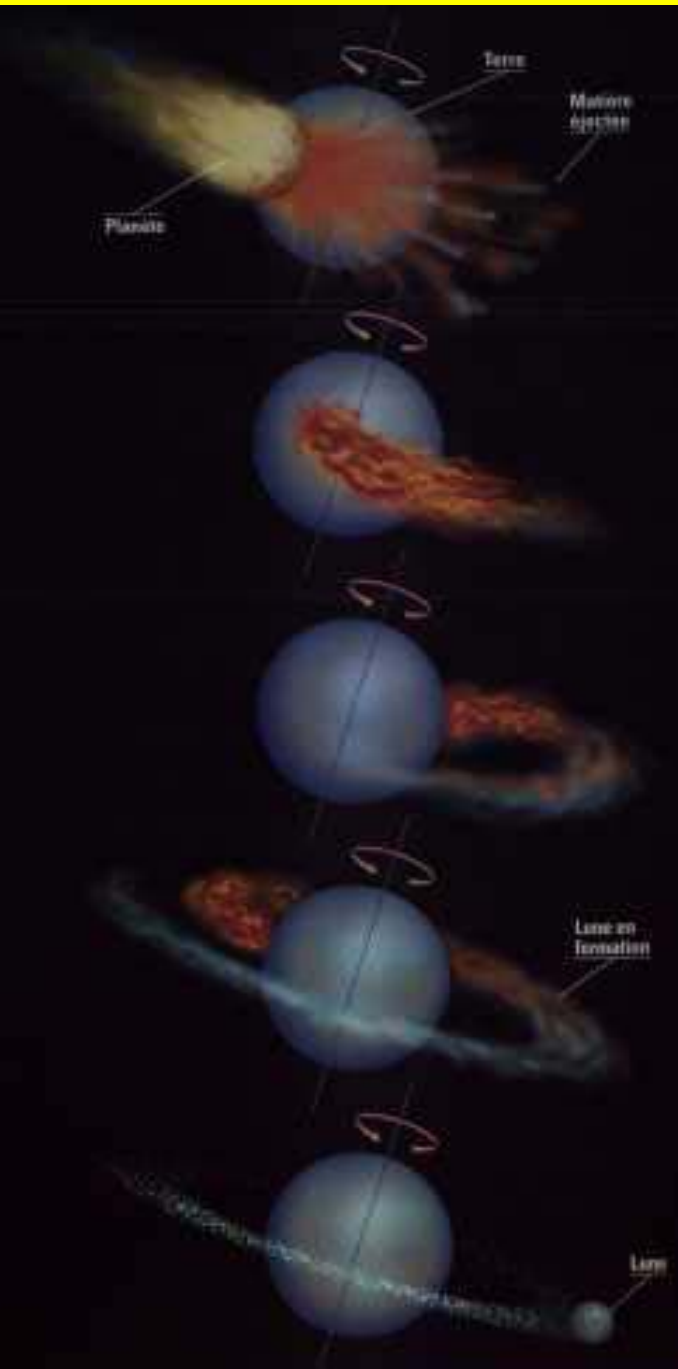
Éclipses de Soleil : Lune s'interpose entre le Soleil et la Terre



Éclipses de Lune : Terre s'interpose entre le Soleil et la Lune



IV. – NAISSANCE DE LA LUNE



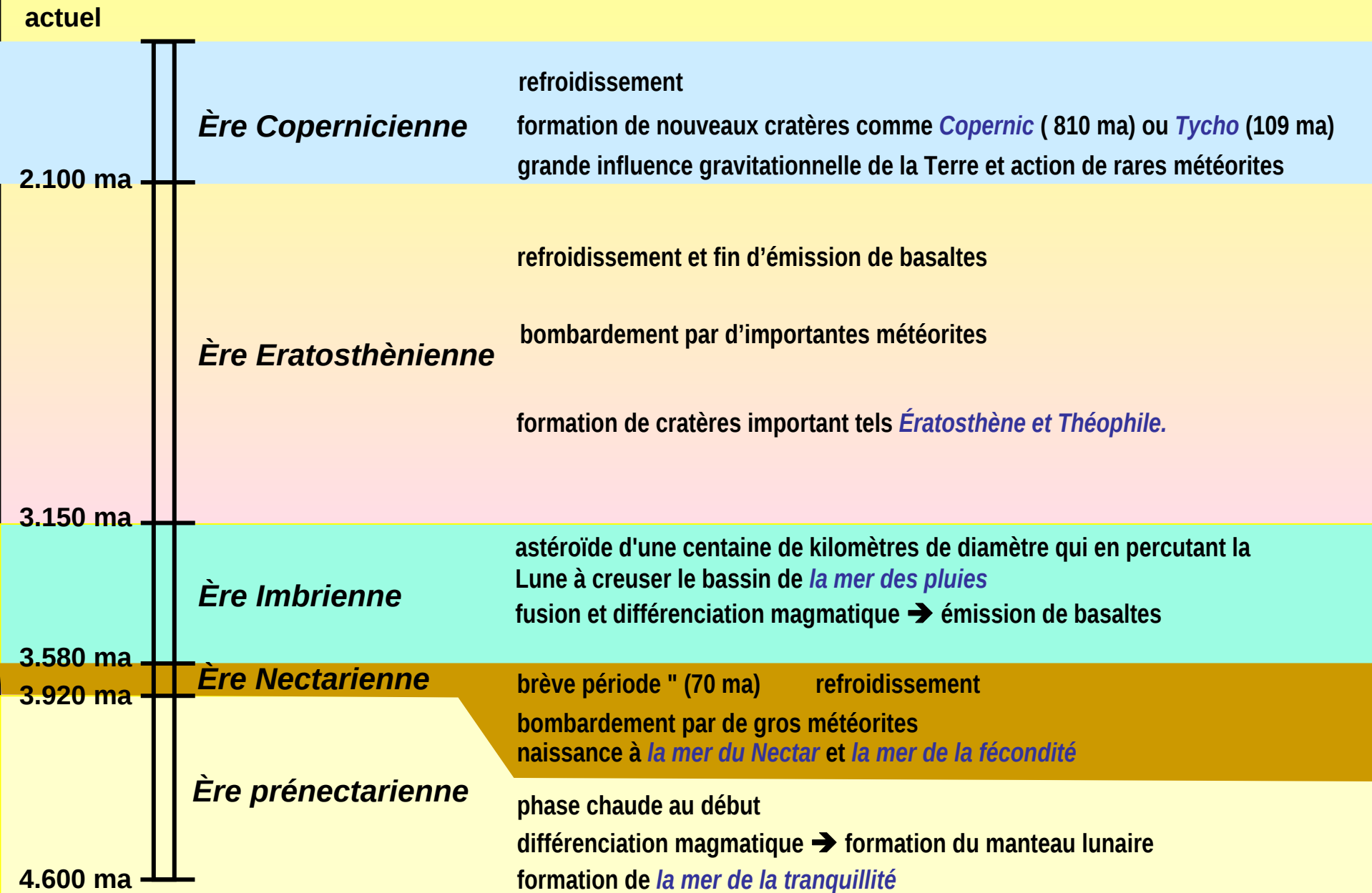
Hypothèse retenue

Similitudes entre les roches lunaires et terrestres laisse à penser que les deux astres ont le même âge et se seraient formés en des lieux voisins du système solaire.

Source : <http://www.astrosurf.com/>

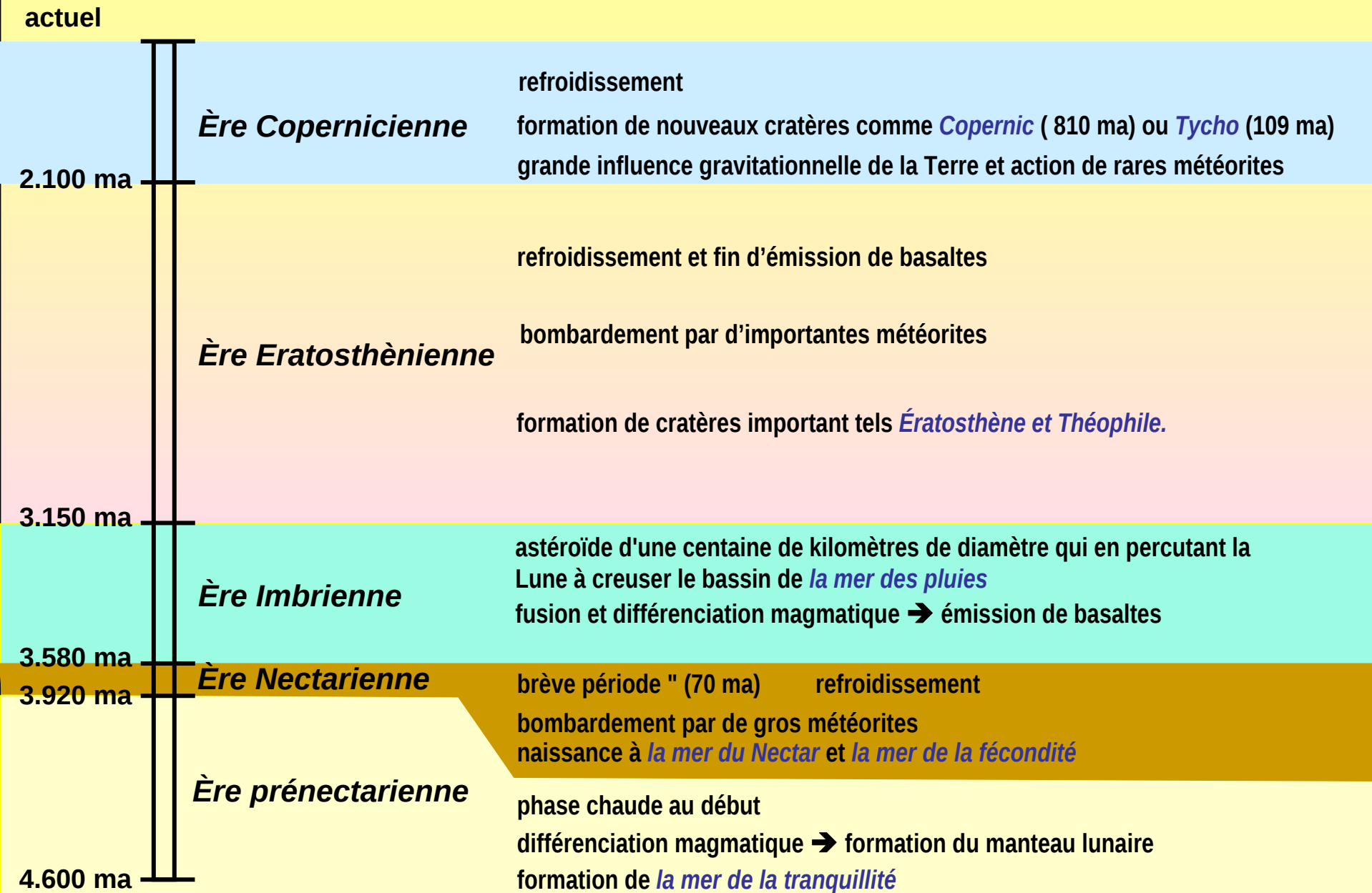
Périodes d'évolution de la Lune

cinq grandes périodes

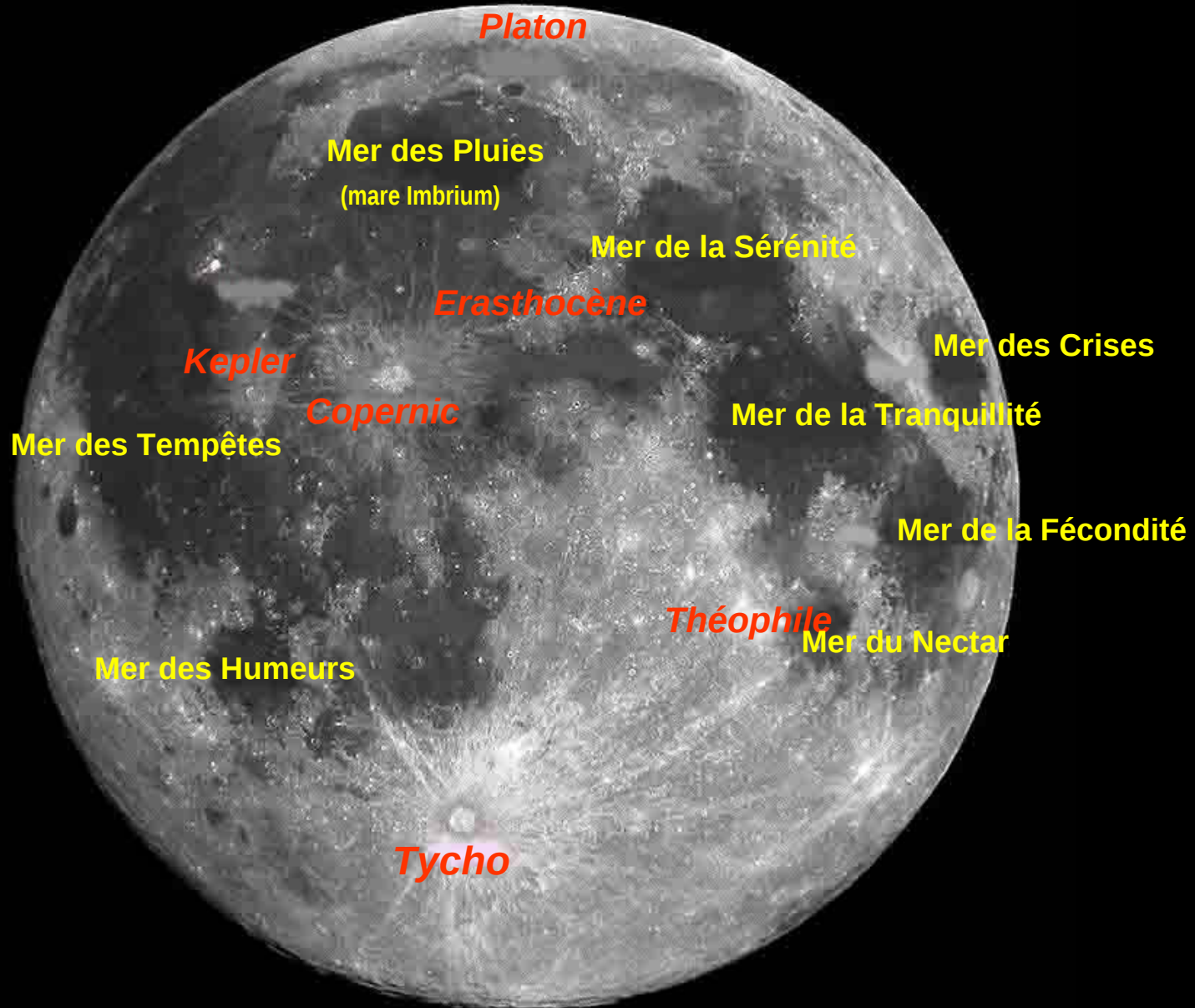


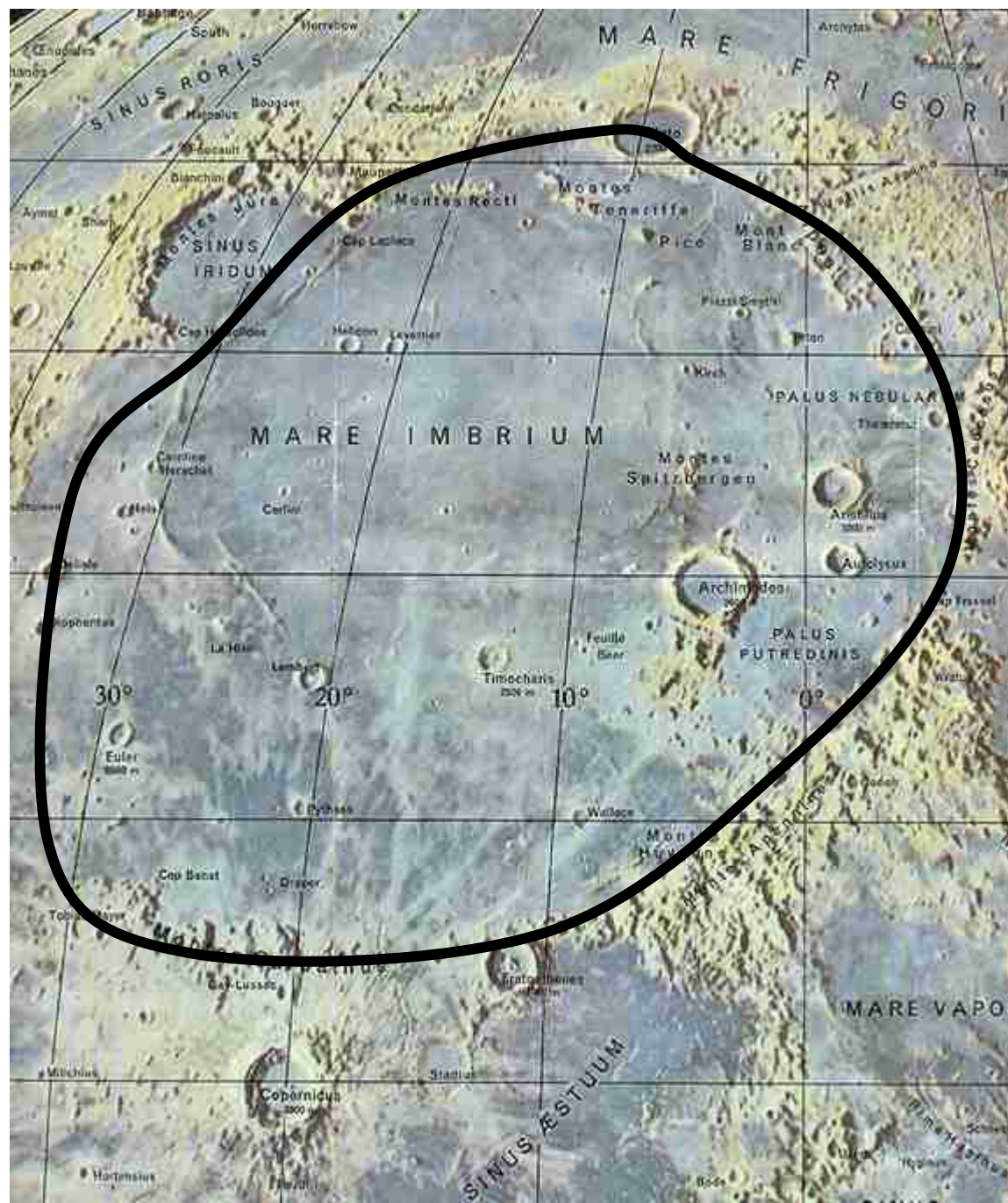
Périodes d'évolution de la Lune

cinq grandes périodes



Carte simplifiée de la face visible de la Lune





FIN