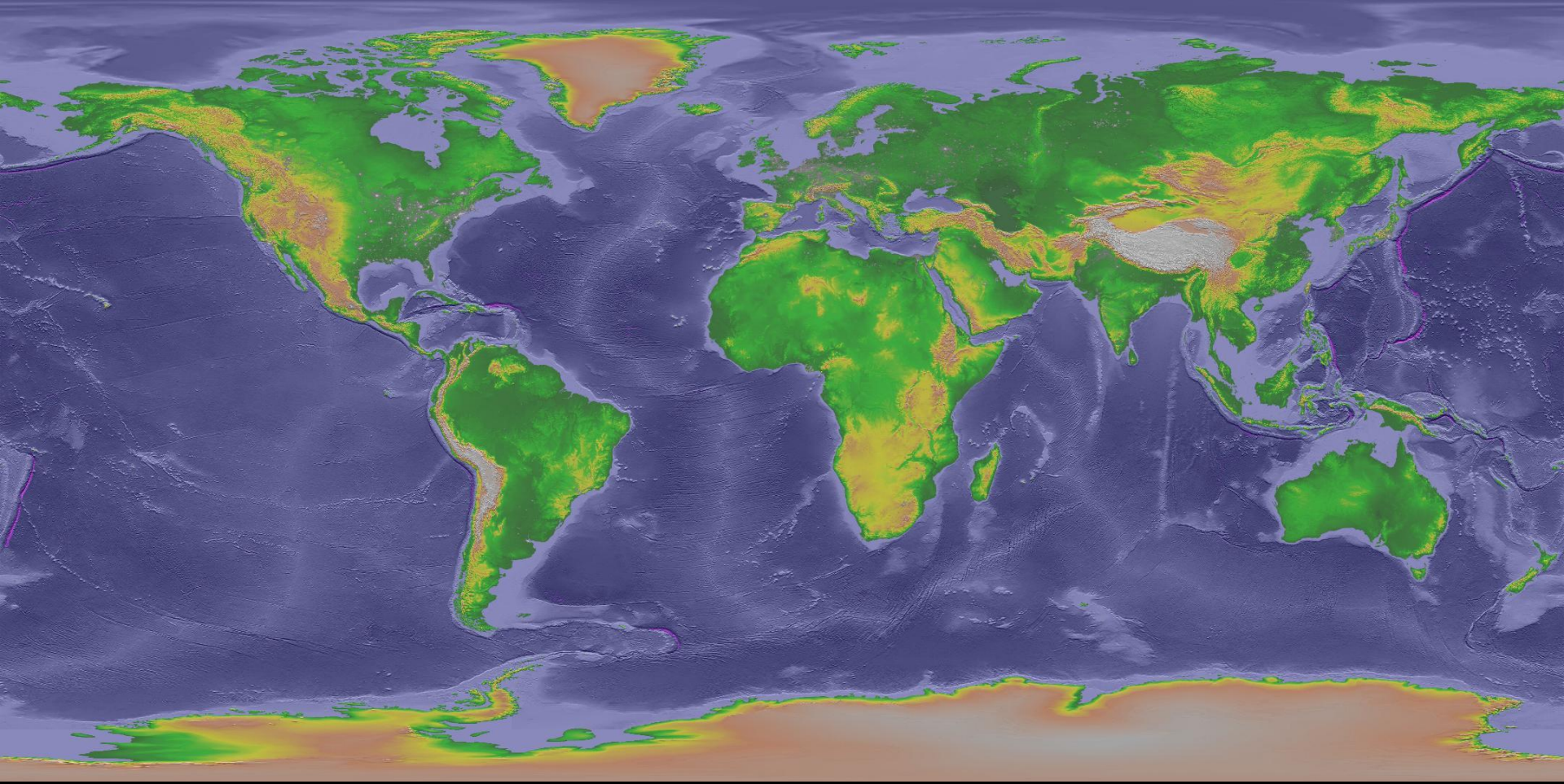


L1 Système Terre PCST & LDDGP



Organisation du module

9 CM de 1h30

5 TP de 2h

+ 1 cours de 2h d'accompagnement (correction du partiel + révisions)

Enseignants

Cours magistraux 1 – 4

Pierre Lahitte : pierre.lahitte@universite-paris-saclay.fr

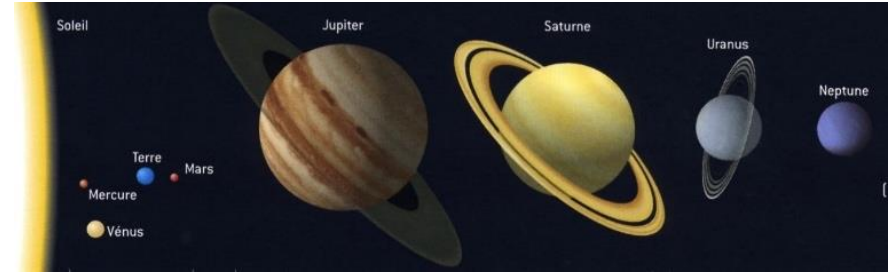
Cours magistraux 5 – 9

Xavier Quidelleur (responsable): xavier.quidelleur@universite-paris-saclay.fr

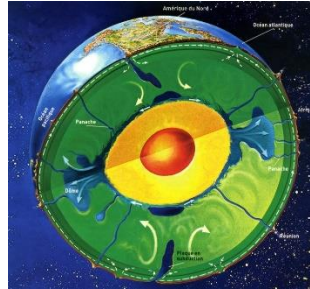
- **TP:**

Mathilde Frey	mathilde.frey@universite-paris-saclay.fr	Groupes TP G2 & G4
Pierre Lahitte		Groupes TP G1
Jean Barron	Jean.barron@universite-paris-saclay.fr	Groupes TP G3
Xavier Quidelleur		Groupes TP G5 et LDDGP

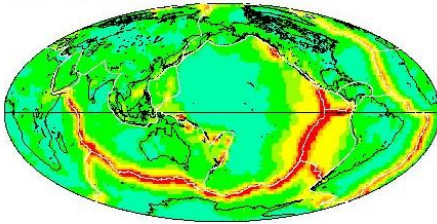
1 : Univers, matière et système solaire



2 : Structure de la Terre

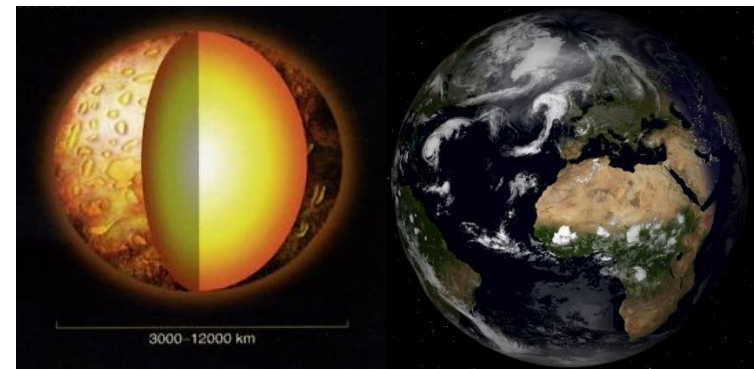


3 – 6 : Tectonique des plaques, Géodynamique et Roches



7 : Le temps en Géosciences

8 – 9 : Les grandes étapes de l'histoire de la Terre



semaine du:	Lundi après-midi	Mardi après-midi	Mercredi matin	Mercredi après-midi	Mercredi après-midi
			10h30-12h00	13h30-15h30	15h45-17h45
8-sept			Cours 1		
15-sept			Cours 2		
22-sept					
29-sept	Début des TDs		Cours 3	Début des TDs	Début des TDs
06-oct					
13-oct			Cours 4		
20-oct				PARTIEL (22/10)	
21-oct	VACANCES				
05-nov			Cours 5		
12-nov			Cours 6		
17-nov			Cours 7		
24-nov			Cours 8		
01-déc			Cours 9		
08-déc			Séance correction partiel & questions		
15-déc					
22-déc	VACANCES				

Examen final: janvier 2025

Informations sur le module et consignes

- Début des TP la semaine du 28 septembre
- **Tous les TP sont obligatoires** : Compte-rendus relevés à chaque fin de séance
- **PREPARATION OBLIGATOIRE AVANT LE TP : une semaine avant le TP**, récupérer sur eCampus un document de préparation avec des exercices, questions... à rendre le jour du TP **en début de séance**
- Certains des TP seront notés et intégrés dans la note finale du module
- **Pour tous les TPs (et examens) : apporter calculatrice, règle, crayons, compas**
- Note finale du module:
 - Examen final (40%)
 - Examen partiel (30 %)
 - Contrôle continu: notes TP (30%)

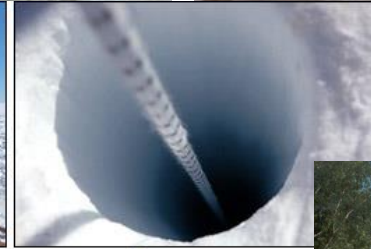
Quelques bons livres de la B.U., parmi d'autres:

- Boillot, G., Huchon, P. et Lagabrielle, Y., 2008. **Introduction à la géologie**. Dunod, Paris, 217 pp., ISBN: 9782-10-051530-1.
- M. Hoffert, A. Schaaf, M. Tardy, A. Baldeyrou Bailly, G. Merzeraud, A. Brahic, R. Maury Sous la coordination de Jean-Yves Daniel 2014. **Sciences de la Terre et de l'univers**. Vuibert, 3e édition, 832 pp., ISBN : 978-2-311-00967-5.
- Peycru, P., 2008. **Géologie, tout-en-un 1ère et 2ème année BCPST**. Dunod, Paris, 641 pp. ISBN: 978-2-10053790-7.
- Renard, M., Lagabrielle, Y., Martin, E., de Rafélis, M., 2015. **Eléments de géologie**, 15ème édition du « Pomerol », Dunod, Paris, 1142 pp. ISBN: 978-2-10-072480-2.
- Robert, C. et R. Bousquet, 2013. **Géosciences, La dynamique du système Terre**. Belin, Paris, 1160 pp., ISBN: 978-2-7011-3816-9
- Emmanuel L., De Rafélis M. et Pasco A., 2018. **Maxi fiches – Géologie**, Dunod, Paris, 272 pp., ISBN : 9782100777068.



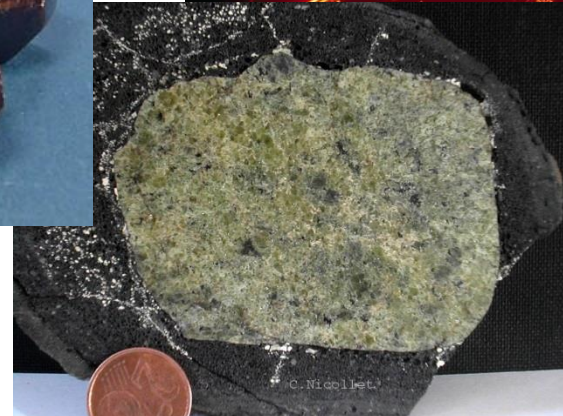
Les disciplines en Géosciences

- Paléoclimatologie
- Paléontologie
- Géochimie
- Géophysique
- Hydrogéologie



Les disciplines en Géosciences

- Tectonique
- Sédimentologie
- Volcanologie
- Pétrologie
- Minéralogie



Où trouve-t-on des géologues ?

• Industrie

– Energie

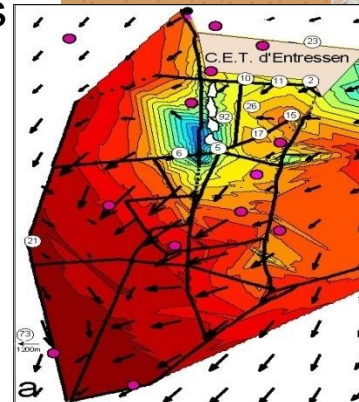
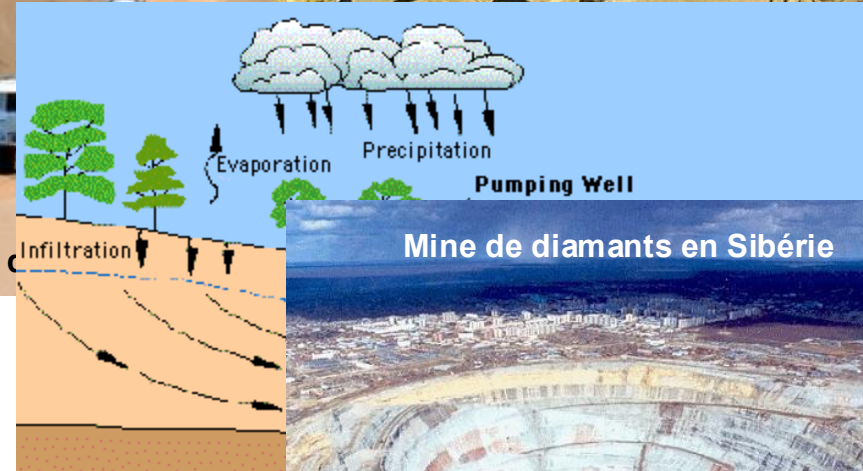
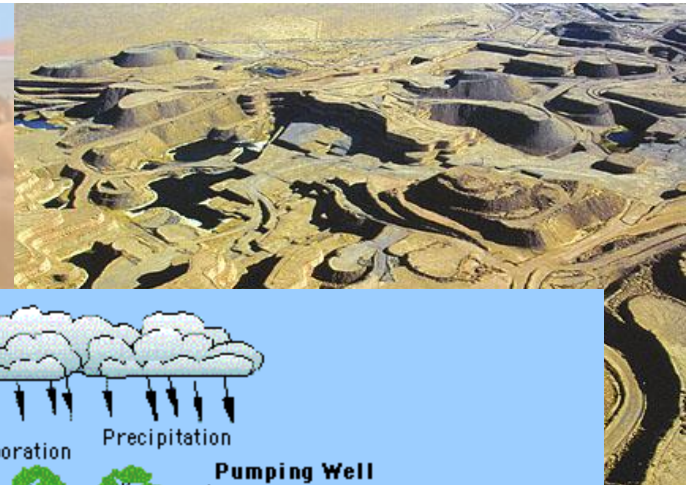
- Hydrocarbures
- Géothermie
- Nucléaire

– Ressources

- Eau
- Minerais (métaux, rares, pierres précieuses...)

– Environnement

- Gestion des risques géologiques (séismes, volcans, tsunamis, glissements de terrain...)
- Gestion des déchets ménagers, radioactifs, CO₂
- Suivi pollution - décontamination
- Géotechnique (bureaux d'étude)



Détection de contamination

Etude géotechnique pour une autoroute

Où trouve-t-on des géologues ?

• Recherche

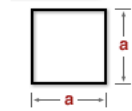
- Universités
- CNRS
- CEA (sismologie, climat, énergies)
- Observatoires (sismologiques, volcanologiques, magnétiques...)
- CNES (Centre National d'Études Spatiales; planétologie)
- BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière = Service Géologique de la France)
- Ponts et chaussées



Rappels de géométrie

A connaître par cœur !

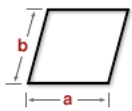
Aires planes



carré

aire : $A = a^2$

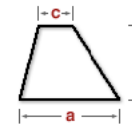
périmètre : $P = 4a$



parallélogramme ⁽¹⁾

aire : $A = a h$

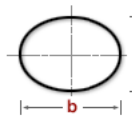
périmètre : $P = 2(a + b)$



trapèze

aire : $A = \frac{h(a + c)}{2}$

périmètre : $P = \text{somme des côtés}$



ellipse

aire : $A = \frac{\pi a b}{4}$

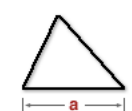
périmètre : $P = \pi \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}$



rectangle

aire : $A = a b$

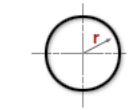
périmètre : $P = 2(a + b)$



triangle

aire : $A = \frac{a h}{2}$

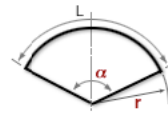
périmètre : $P = \text{somme des côtés}$



cercle ⁽²⁾

aire : $A = \pi r^2$

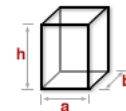
périmètre : $P = 2 \pi r$



arc de cercle

longueur : $L = r \alpha$
(α en radians)

aire : $P = \frac{L r}{2}$



parallélépipède

volume : $V = a b c$

cas du cube :

$a = b = h, V = a^3$

cône

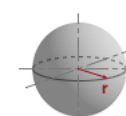
aire int. : $A = \pi r l$

volume : $V = \frac{\pi r^2 h}{3}$

cylindre

aire int. : $A = 2 \pi r h$

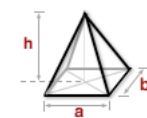
volume : $V = \pi r^2 h$



sphère

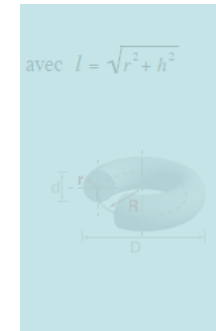
aire : $A = 4 \pi r^2$

volume : $V = \frac{4 \pi r^3}{3}$



pyramide ⁽¹⁾

volume : $V = \frac{a b h}{3}$

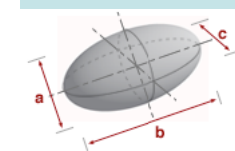


avec $l = \sqrt{r^2 + h^2}$

tore ⁽²⁾

aire : $A = 4 \pi^2 R r$

volume : $V = 2 \pi^2 R r^2$
 $V = \frac{\pi^3 d^2 (D - d)}{4}$



ellipsoïde

volume : $V = \frac{4 \pi a b c}{3}$



- 1- Origine de sa matière**
- 2- Organisation
- 3- Composition

Introduction

Le constituant élémentaire de l'Univers est la galaxie

L'univers est constitué de 10^4 à 10^5 galaxies

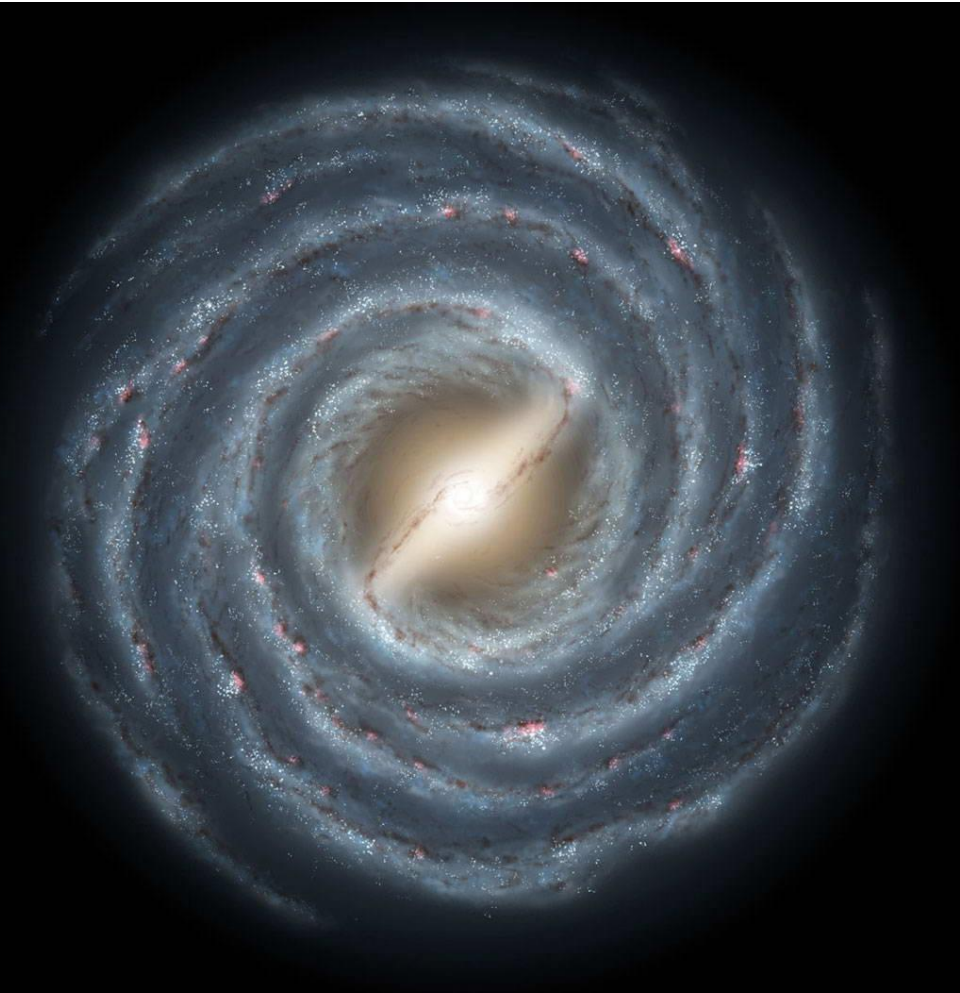
L'unité de base des galaxies est l'étoile

**Une galaxie comprend de l'ordre
de 1 à 200 milliards étoiles !**

Introduction

Notre système solaire fait partie de
l'une de ces galaxies:
la Voie Lactée

Elle ressemble à ça



Introduction

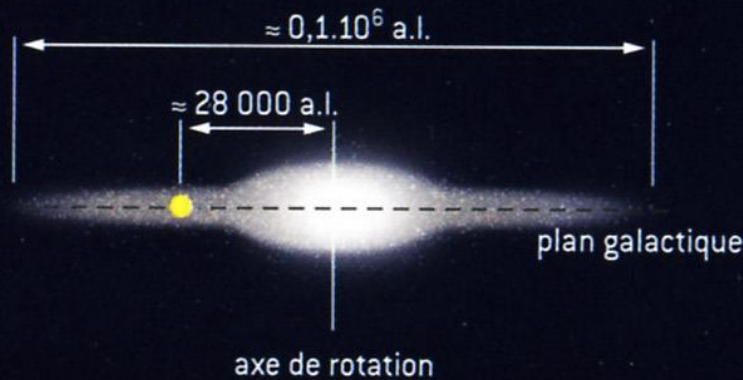


Introduction

Les distances

- L'unité astronomique (UA): distance Terre – Soleil ($= 150 \times 10^6 \text{ km}$)
- L'année-lumière (al): distance parcourue par la lumière en une année
 $= 9500$ milliards de km

La Voie Lactée



Soleil

↙ sens de rotation
horaire

1 rotation/250 Ma

Selon le repère considéré	salle	géocentré	héliocentré	« lacto-centré »
nous parcourons en 1 s:	0 m	300 m	30 km	200 km

Introduction

L'univers est en expansion

En 1924, Hubble a montré que les étoiles s'éloignent de la Terre d'autant plus vite qu'elles sont plus lointaines:

les plus proches: 100 km.s^{-1}

les plus éloignées: $100\,000 \text{ km.s}^{-1}$

Introduction

L'univers est en expansion : âge de l'univers?

On déduit l'âge de la concentration de l'univers en un point,
le « **Big-Bang** »

$$\left(\begin{array}{l} v \sim H \cdot \text{distance} \\ H : \text{constante de Hubble} \\ v: \text{vitesse entre les galaxies} \end{array} \right)$$

Age de l'Univers : $13,77 \pm 0,04$ Ga

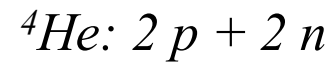
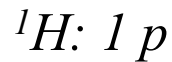
Ga : giga années (milliard d'années)

Ma : méga années (million d'années)

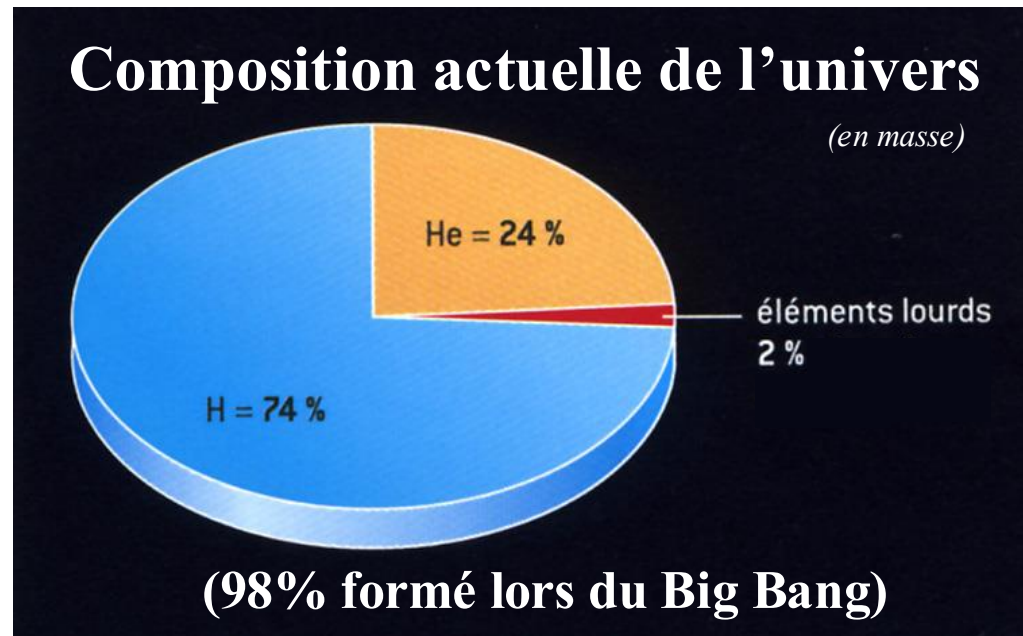
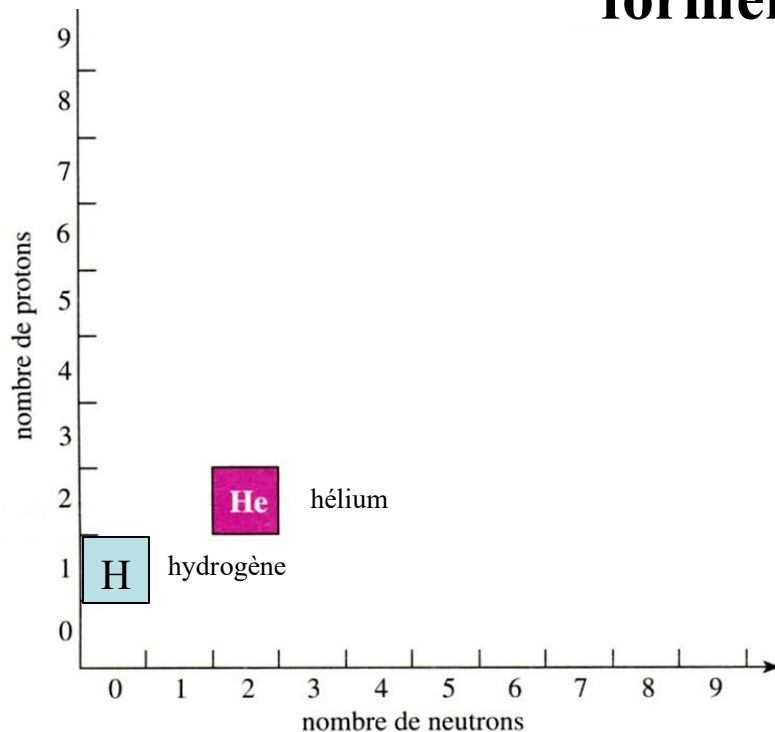
1- Origine de sa matière

Immédiatement après le « **Big-Bang** », l'univers est constitué d'hydrogène (H) et d'hélium (He)

nucléosynthèse primordiale



${}^4\text{He}$ est très stable: brique élémentaire qui servira à former les noyaux plus lourds



1- Origine de sa matière

Origine des éléments

Big-Bang



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
hydrogen 1 H 1.00794(7)																	helium 2 He 4.002602(2)	
lithium 3 Li 6.941(2)	beryllium 4 Be 9.012182(3)											boron 5 B 10.811(7)	carbon 6 C 12.0107(8)	nitrogen 7 N 14.00642(7)	oxygen 8 O 15.9994(3)	fluorine 9 F 18.9984032(5)	neon 10 Ne 20.1797(6)	
11 Na 22.98976(2)	12 Mg 24.3050(6)											13 Al 26.981538(2)	14 Si 28.0855(3)	15 P 30.973761(2)	16 S 32.065(5)	17 Cl 35.453(2)	18 Ar 39.948(1)	
potassium 19 K 39.0983(1)	calcium 20 Ca 40.078(4)	scandium 21 Sc 44.955910(6)	titanium 22 Ti 47.867(1)	vanadium 23 V 50.9415(1)	chromium 24 Cr 51.9961(8)	manganese 25 Mn 54.938049(3)	iron 26 Fe 55.845(2)	cobalt 27 Co 58.933200(3)	nickel 28 Ni 58.6934(2)	copper 29 Cu 63.546(3)	zinc 30 Zn 65.409(4)	gallium 31 Ga 69.723(1)	germanium 32 Ge 72.64(1)	arsenic 33 As 74.92160(2)	selenium 34 Se 78.96(3)	bromine 35 Br 79.904(1)	krypton 36 Kr 83.798(2)	
rubidium 37 Rb 85.4678(3)	strontium 38 Sr 87.62(1)	yttrium 39 Y 88.90585(2)	zirconium 40 Zr 91.224(2)	niobium 41 Nb 92.90638(2)	molybdenum 42 Mo 95.94(1)	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07(2)	rhodium 45 Rh 102.90550(2)	palladium 46 Pd 106.42(1)	silver 47 Ag 107.8682(2)	cadmium 48 Cd 112.411(8)	indium 49 In 114.818(3)	tin 50 Sn 118.710(7)	antimony 51 Sb 121.760(1)	tellurium 52 Te 127.60(3)	iodine 53 I 126.90447(3)	xenon 54 Xe 131.29(6)	
cesium 55 Cs 132.90545(2)	barium 56 Ba 137.327(7)	57-70 *	lutetium 71 Lu 174.967(1)	hafnium 72 Hf 178.49(2)	tantalum 73 Ta 180.9479(1)	tungsten 74 W 183.84(1)	rhenium 75 Re 186.207(1)	osmium 76 Os 190.23(3)	iridium 77 Ir 192.217(3)	platinum 78 Pt 195.078(2)	gold 79 Au 196.96655(2)	mercury 80 Hg 200.59(2)	thallium 81 Tl 204.3833(2)	lead 82 Pb 207.2(1)	bismuth 83 Bi 208.98038(2)	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [210]	radon 86 Rn [222]
francium 87 Fr [223]	radium 88 Ra [226]	89-102 **	lawrencium 103 Lr [262]	rutherfordium 104 Rf [261]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [283]	meitnerium 109 Mt [268]	ununnium 110 Uun [271]	ununium 111 Uuu [272]	unubium 112 Uub [285]	ununquadium 114 Uuq [289]					

*lanthanoids

**actinoids

lanthanum 57 La 138.905(2)	cerium 58 Ce 140.116(1)	praseodymium 59 Pr 140.90765(2)	neodymium 60 Nd 144.24(3)	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36(3)	europium 63 Eu 151.964(1)	gadolinium 64 Gd 157.25(3)	terbium 65 Tb 158.92534(2)	dysprosium 66 Dy 162.500(1)	holmium 67 Ho 164.93032(2)	erbium 68 Er 167.259(3)	thulium 69 Tm 168.93421(2)	ytterbium 70 Yb 173.04(3)
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.0381(1)	protactinium 91 Pa 231.03588(2)	uranium 92 U 238.02891(3)	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [251]	einsteinium 99 Es [252]	fermium 100 Fm [257]	mendelevium 101 Md [258]	nobelium 102 No [259]

1- Origine de sa matière

Le Big Bang disperse les noyaux d'H et d'He

=> les noyaux plus lourds se forment dans les étoiles

C'est la nucléosynthèse stellaire



M45. l'amas ouvert des Pléiades ...

1- Origine de sa matière

Formation et évolution d'une étoile

A. Effondrement gravitaire d'un nuage de gaz et de poussières
=> Rotation puis aplatissement



1- Origine de sa matière

Formation et évolution d'une étoile

B. La matière (H principalement) se concentre au centre du nuage

=> chocs

=> échauffement

=> rayonnement et fusion (réactions thermonucléaires)

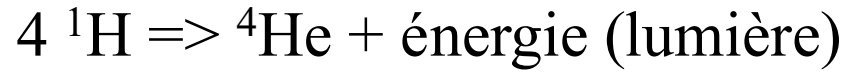
=> énergie considérable



1- Origine de sa matière

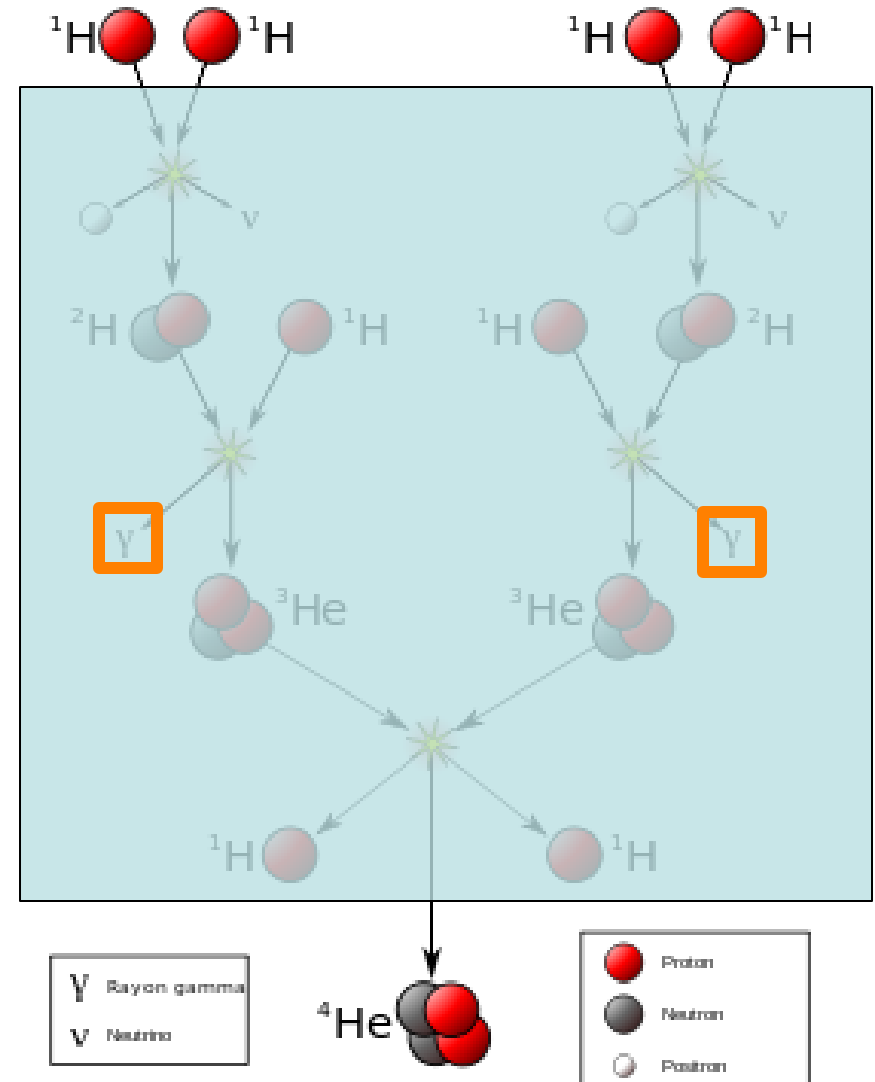
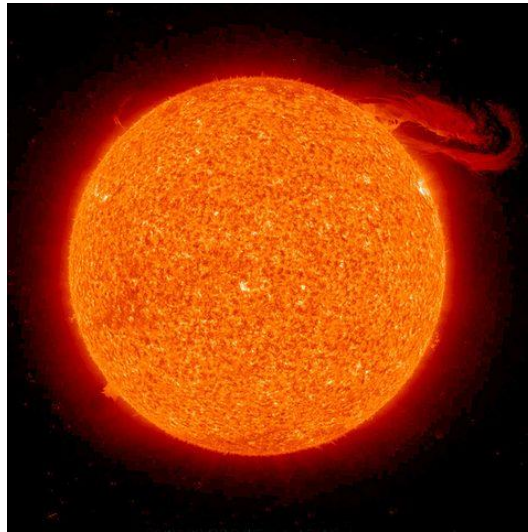
Formation et évolution d'une étoile

Avec $T \nearrow$



1) Fusion de ^1H en ^4He : réaction principale qui va durer $>10^9$ ans

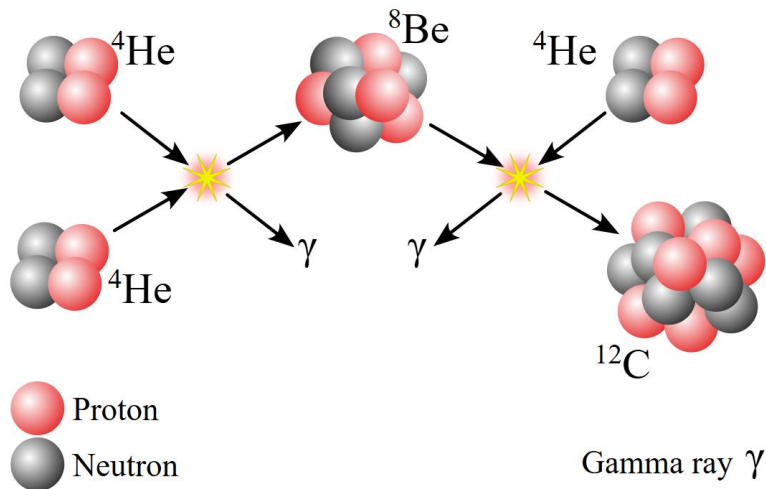
2) Les éléments légers (Li, Be, B) et ^3He sont consommés à mesure qu'ils sont produits



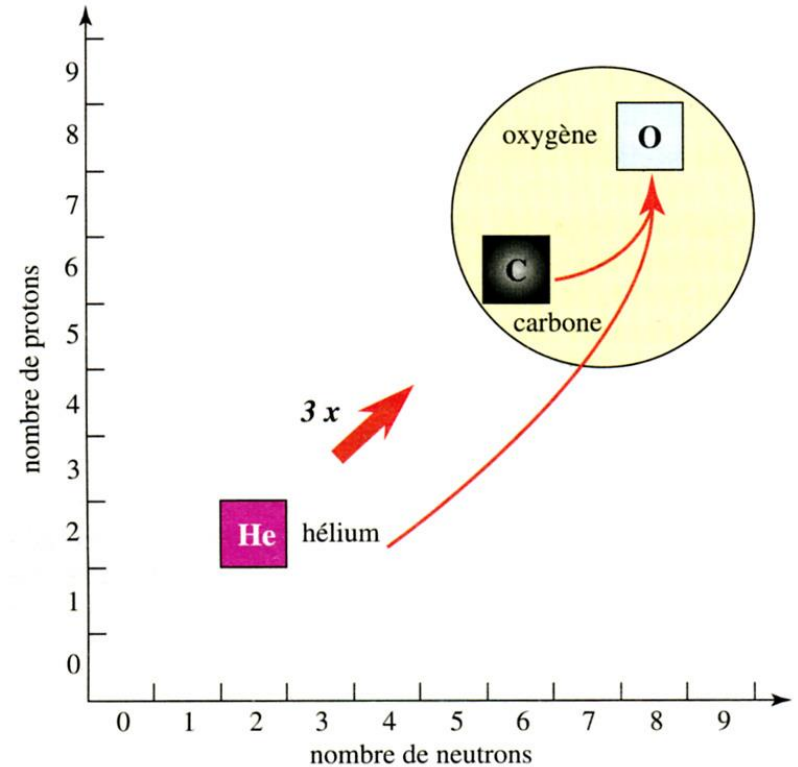
1- Origine de sa matière

Formation et évolution d'une étoile

3) Au cœur (si $T > 10^8 \text{ K}$),
fusion de ^4He pour former : C, N, O



*pour info :
exemple du C*



1- Origine de sa matière

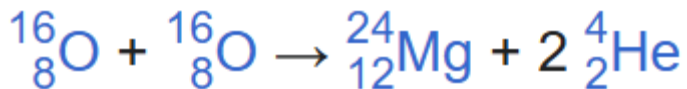
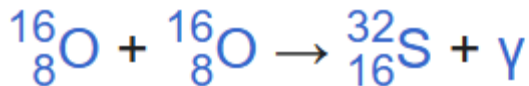
Formation et évolution d'une étoile

3) Au cœur (si $T > 10^8 \text{ K}$),
fusion de ^4He pour former : C, N, O

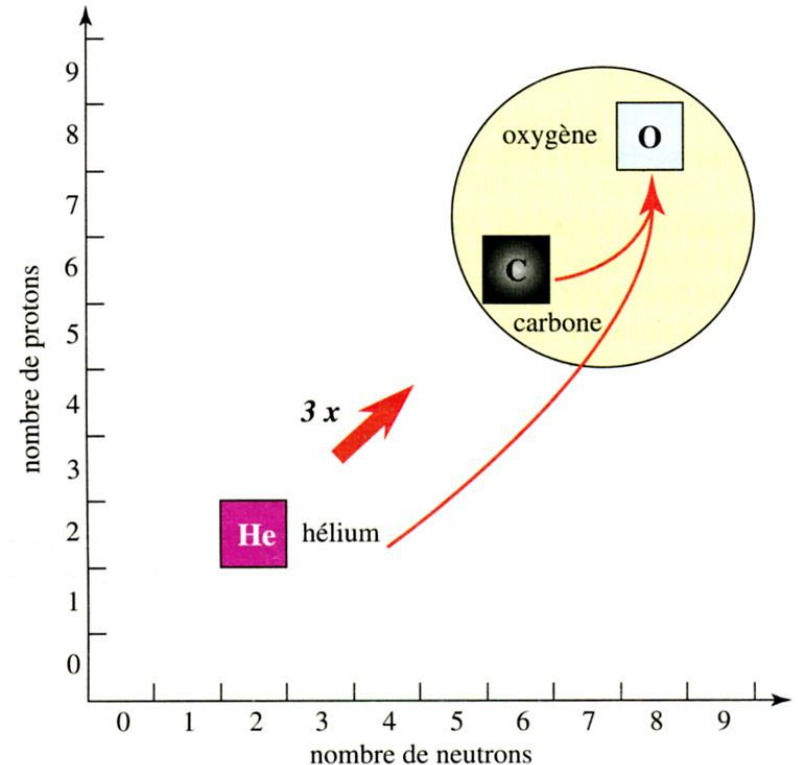
4) Combustion du C (<1000 ans), puis
de O (< 1an)

$T > 1.10^9 \text{ K}$

Fusion de C, N, O, forme: Mg, Ca, Si



pour info



1- Origine de sa matière

Formation et évolution d'une étoile

3) Au cœur (si $T > 10^8 \text{ K}$),
fusion de ^4He pour former : C, N, O

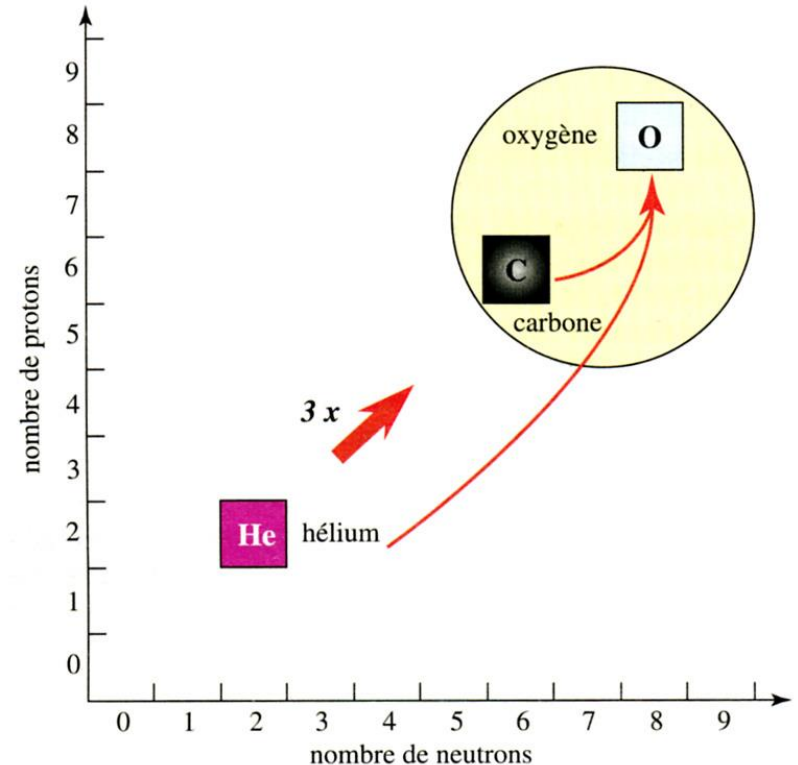
4) Combustion du C ($< 1000 \text{ ans}$), puis
de O ($< 1 \text{ an}$)

$T > 1 \cdot 10^9 \text{ K}$

Fusion de C, N, O, forme: Mg, Ca, Si

5) $T > 2\text{-}5 \cdot 10^9 \text{ K}$

Combustion des éléments formés (qq
jours) pour produire les autres
jusqu'au ^{56}Fe (max. de stabilité)



1- Origine de sa matière

Origine des éléments

1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18			
hydrogen 1 H 1.00794(7)																																helium 2 He 4.002602(2)					
lithium 3 Li 6.941(2)		beryllium 4 Be 9.012182(3)																						boron 5 B 10.811(7)		carbon 6 C 12.0107(5)		nitrogen 7 N 14.00642(7)		oxygen 8 O 15.9994(3)		fluorine 9 F 18.9984032(5)		neon 10 Ne 20.1797(6)			
11 Na 22.989770(2)		12 Mg 24.3050(6)																						13 Al 26.981538(6)		14 Si 28.0855(3)		15 P 30.973761(5)		16 S 32.06(5)		17 Cl 35.45(3)		18 Ar 39.948(1)			
19 K 39.0983(1)		20 Ca 40.078(4)		21 Sc 44.955910(6)		22 Ti 47.867(1)		23 V 50.9415(1)		24 Cr 51.9961(8)		25 Mn 54.938043(9)		26 Fe 55.845(2)		27 Co 58.933200(3)		28 Ni 58.6934(2)		29 Cu 63.546(3)		30 Zn 65.409(4)		31 Ga 69.723(1)		32 Ge 72.64(1)		33 As 74.92160(2)		34 Se 78.96(3)		35 Br 79.904(1)		36 Kr 83.798(2)			
37 Rb 85.4678(3)		38 Sr 87.62(1)		39 Y 88.90585(2)		40 Zr 91.224(2)		41 Nb 92.90638(2)		42 Mo 95.94(1)		43 Tc [98]		44 Ru 101.07(2)		45 Rh 102.90550(2)		46 Pd 106.42(1)		47 Ag 107.8682(2)		48 Cd 112.411(8)		49 In 114.818(3)		50 Sn 118.710(7)		51 Sb 121.760(1)		52 Te 127.60(3)		53 I 126.90447(3)		54 Xe 131.29(6)			
55 Cs 132.90545(2)		56 Ba 137.327(7)		57-70 *		71 Lu 174.967(1)		72 Hf 178.49(2)		73 Ta 180.9479(1)		74 W 183.84(1)		75 Re 186.207(1)		76 Os 190.23(3)		77 Ir 192.227(3)		78 Pt 195.078(2)		79 Au 196.96655(2)		80 Hg 200.59(2)		81 Tl 204.3833(2)		82 Pb 207.2(1)		83 Bi 208.98038(2)		84 Po [209]		85 At [210]		86 Rn [222]	
87 Fr [223]		88 Ra [226]		89-102 **		103 Lr [262]		104 Rf [261]		105 Db [262]		106 Sg [266]		107 Bh [264]		108 Hs [269]		109 Mt [268]		110 Uun [271]		111 Uuu [272]		112 Uub [265]				114 Uuq [269]									

Big-Bang

Etoiles



*lanthanoids

**actinoids

lanthanum 57 La 138.905(2)	cerium 58 Ce 140.116(1)	praseodymium 59 Pr 140.90765(2)	neodymium 60 Nd 144.24(3)	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36(3)	europium 63 Eu 151.964(1)	gadolinium 64 Gd 157.25(3)	terbium 65 Tb 158.92534(2)	dysprosium 66 Dy 162.500(1)	holmium 67 Ho 164.93032(2)	erbium 68 Er 167.259(3)	thulium 69 Tm 168.93421(2)	ytterbium 70 Yb 173.04(3)
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.0381(1)	protactinium 91 Pa 231.03588(2)	uranium 92 U 238.02891(3)	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [261]	einsteinium 99 Es [262]	fermium 100 Fm [267]	mendelevium 101 Md [268]	nobelium 102 No [269]

1- Origine de sa matière

-> les noyaux plus lourds se forment par explosion des étoiles en supernova

C'est la nucléosynthèse interstellaire

Exemple : Nébuleuse du Crabe (explosion en 1054)

客星

"Etoile" invitée en chinois:

apparition temporaire d'un nouvel astre dans le ciel

ابن بطلان

En 445 (calendrier musulman), une étoile énorme apparut dans le signe des Gémeaux



SN1994D →



1- Origine de sa matière

Origine des éléments

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
hydrogen 1 H 1.00794(7)																	helium 2 He 4.002602(2)	
lithium 3 Li 6.941(2)	beryllium 4 Be 9.012182(3)											boron 5 B 10.811(7)	carbon 6 C 12.0107(8)	nitrogen 7 N 14.00643(4)	oxygen 8 O 15.9994(3)	fluorine 9 F 18.9984032(5)	neon 10 Ne 20.1797(6)	
11 Na 22.989770(2)	12 Mg 24.304(6)											13 Al 26.981538(6)	14 Si 28.0855(8)	15 P 30.973761(3)	16 S 32.06(5)	17 Cl 35.45(6)	18 Ar 39.948(1)	
19 K 39.0983(1)	20 Ca 40.078(4)		scandium 21 Sc 44.955910(8)	titanium 22 Ti 47.867(1)	vanadium 23 V 50.9415(1)	chromium 24 Cr 51.99616(8)	manganese 25 Mn 54.938043(9)	iron 26 Fe 55.845(2)	cobalt 27 Co 58.933200(9)	nickel 28 Ni 58.6934(2)	copper 29 Cu 63.546(3)	zinc 30 Zn 65.409(4)	gallium 31 Ga 69.723(1)	germanium 32 Ge 72.64(1)	arsenic 33 As 74.92160(2)	selenium 34 Se 78.96(3)	bromine 35 Br 79.904(1)	krypton 36 Kr 83.798(2)
37 Rb 85.4678(3)	38 Sr 87.62(1)		yttrium 39 Y 88.90585(2)	zirconium 40 Zr 91.224(2)	niobium 41 Nb 92.90638(2)	molybdenum 42 Mo 95.94(1)	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07(2)	rhodium 45 Rh 102.90550(2)	palladium 46 Pd 106.42(1)	silver 47 Ag 107.8682(2)	cadmium 48 Cd 112.411(8)	indium 49 In 114.818(3)	tin 50 Sn 118.710(7)	antimony 51 Sb 121.760(1)	tellurium 52 Te 127.80(3)	iodine 53 I 126.90447(3)	xenon 54 Xe 131.29(3)
55 Cs 132.90545(2)	56 Ba 137.327(7)	57-70 *	lutetium 71 Lu 174.967(1)	hafnium 72 Hf 178.49(2)	tantalum 73 Ta 180.9479(1)	tungsten 74 W 183.84(1)	rhenium 75 Re 186.207(1)	osmium 76 Os 190.23(3)	iridium 77 Ir 192.217(3)	platinum 78 Pt 195.078(2)	gold 79 Au 196.96655(2)	mercury 80 Hg 200.59(2)	thallium 81 Tl 204.3833(2)	lead 82 Pb 207.2(1)	bismuth 83 Bi 208.98039(2)	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [210]	radon 86 Rn [222]
87 Fr [223]	88 Ra [226]	89-102 **	lawrencium 103 Lr [262]	rutherfordium 104 Rf [261]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [269]	meitnerium 109 Mt [268]	unnilium 110 Uun [271]	ununium 111 Uuu [272]	unbibium 112 Uub [265]		ununquadium 114 Uuq [289]				

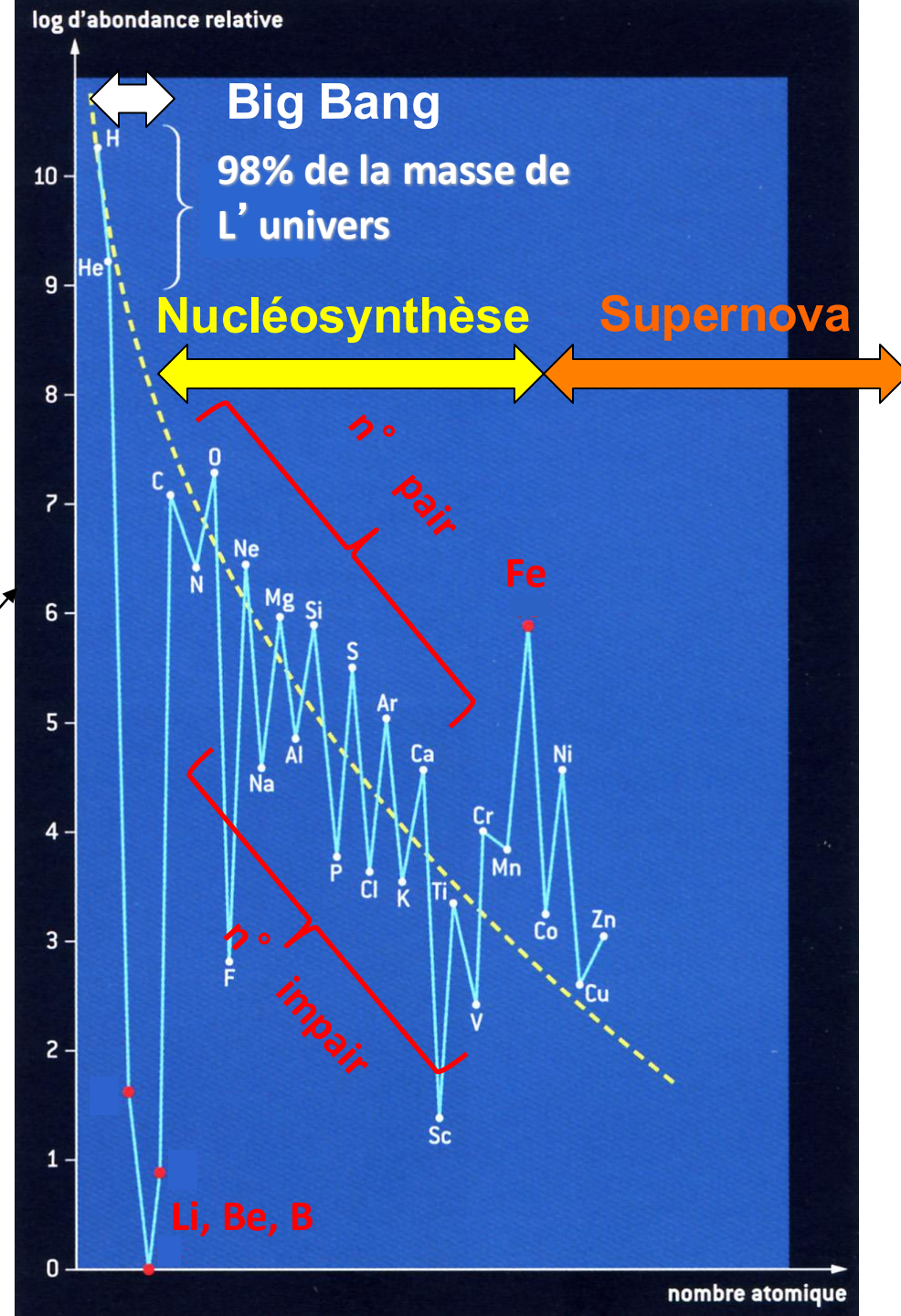
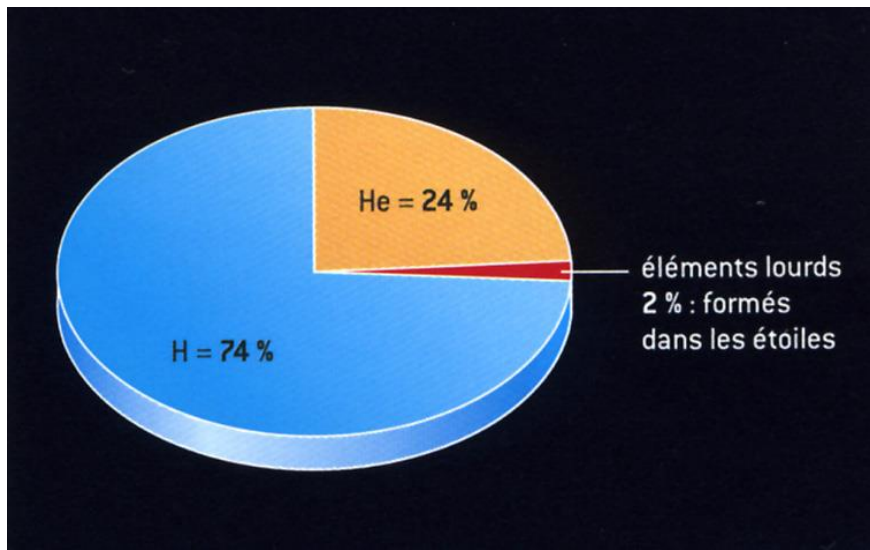
- *lanthanoids

****actinoids**

1- Origine de sa matière

Bilan: on peut ainsi
expliquer
l'abondance des
éléments dans
l'univers

Échelle logarithmique



1- Origine de sa matière

Chronologie

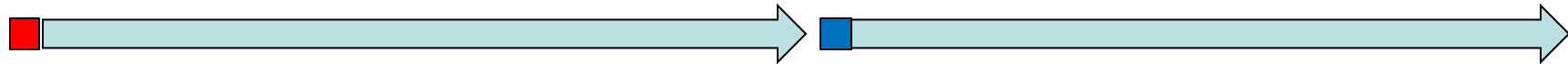
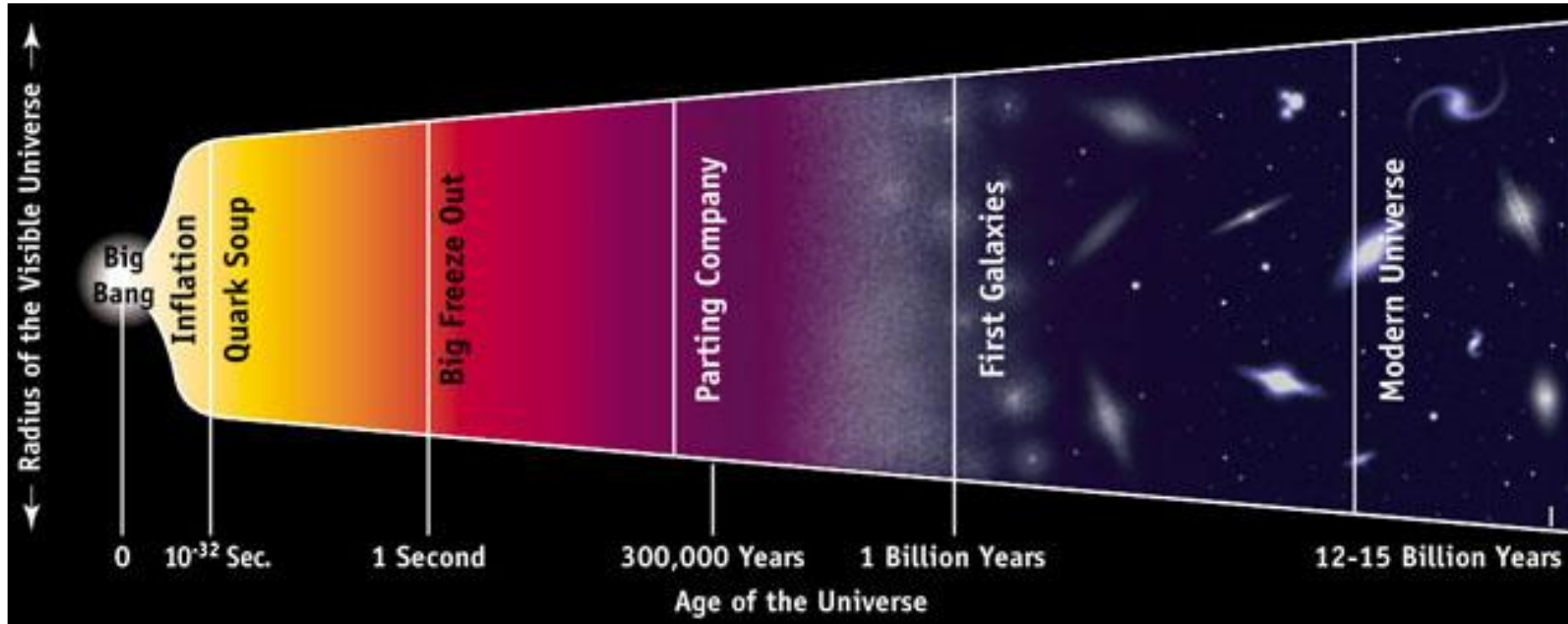
T (K)= 10^{32}

10^{22}

10^{10}

3000

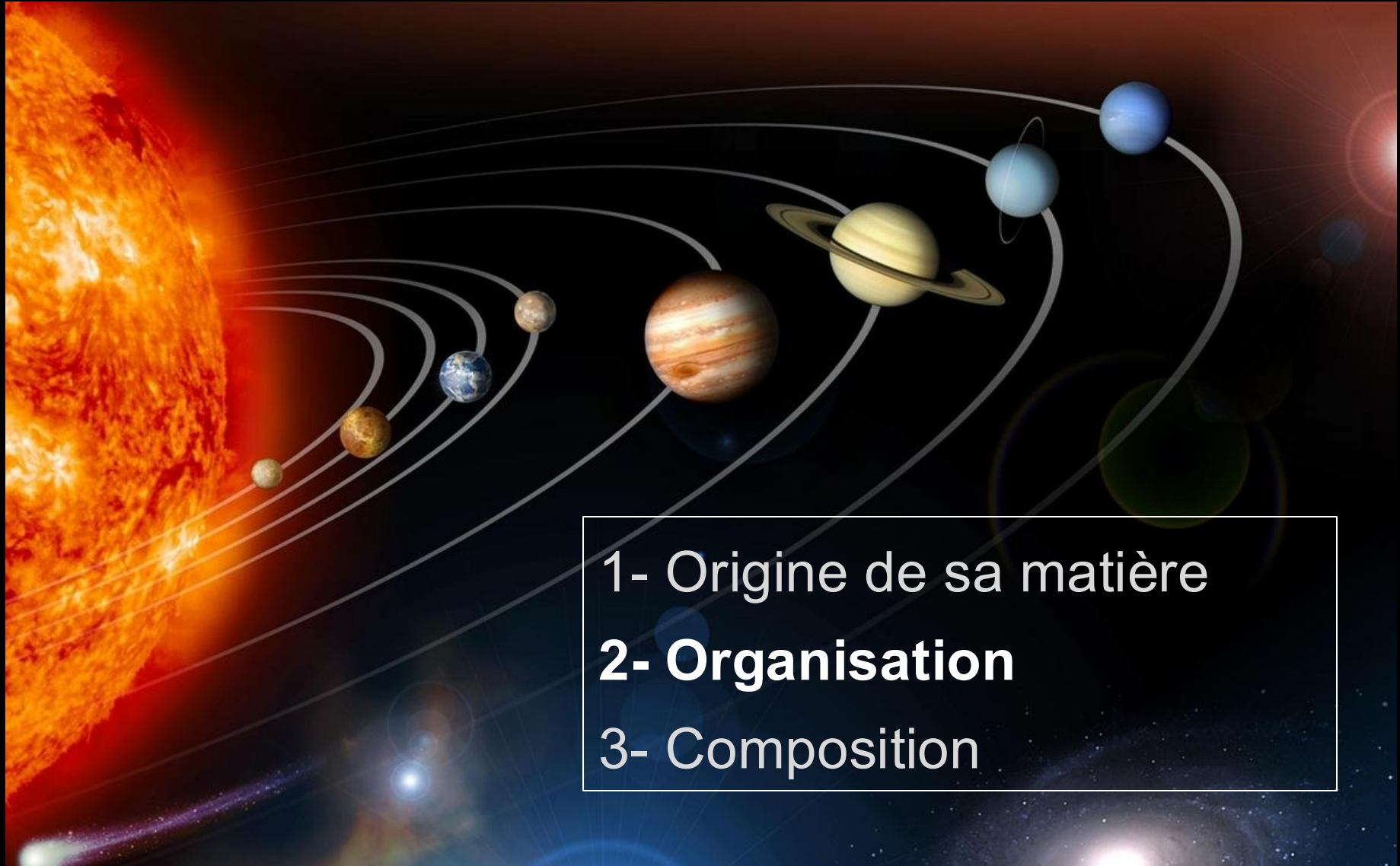
20



**Nucléosynthèse
primordiale** Quasiment que des
noyaux de H et He

Premières étoiles
qq 100^{aines} de Ma après le B.B.
**début de la nucléosynthèse
stellaire**

L1 Système Terre - Cours 1 : Le Système Solaire

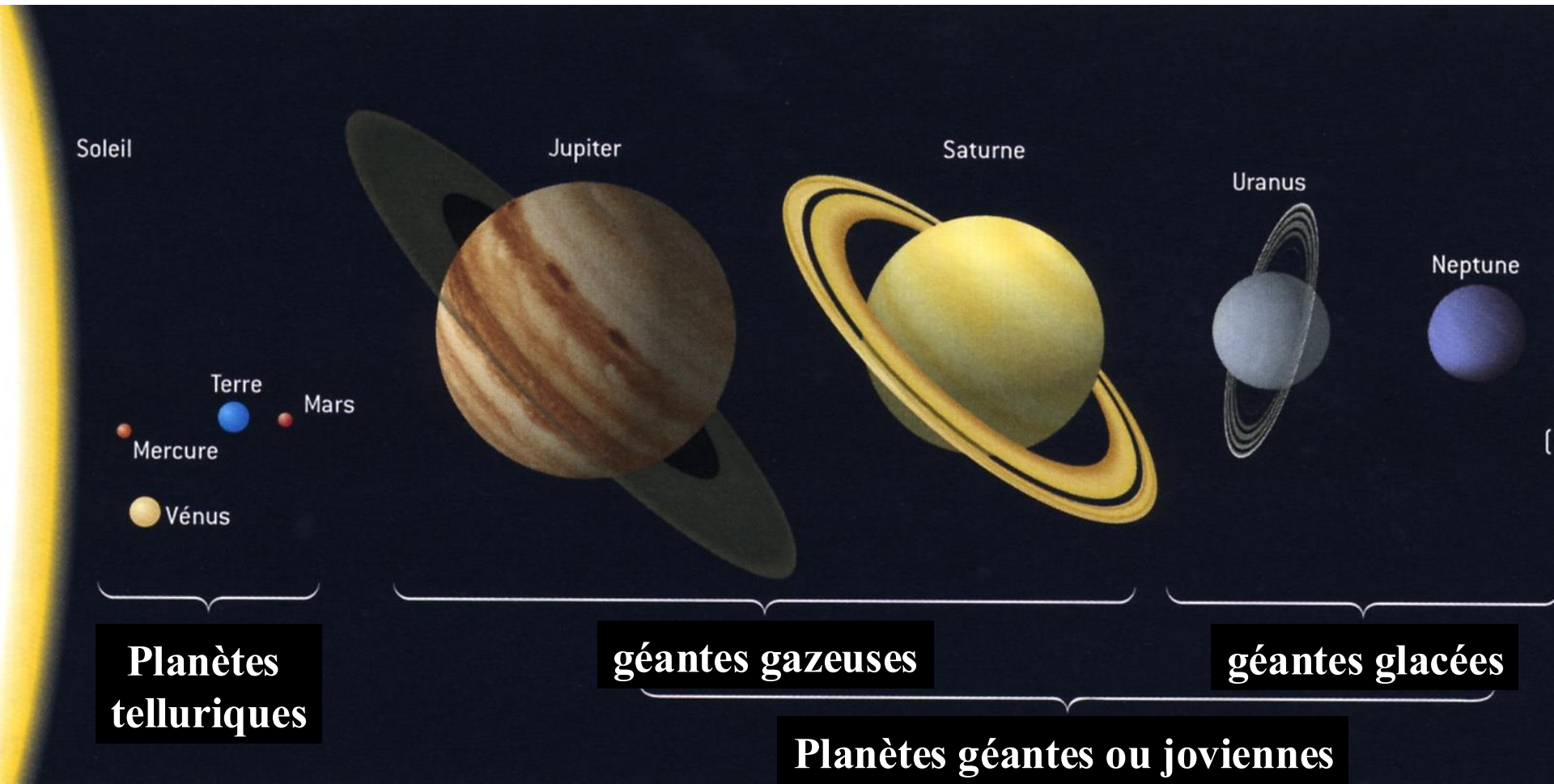


- 1- Origine de sa matière
- 2- Organisation**
- 3- Composition

2- Organisation

Une étoile (le Soleil) et des planètes divisées en deux groupes :

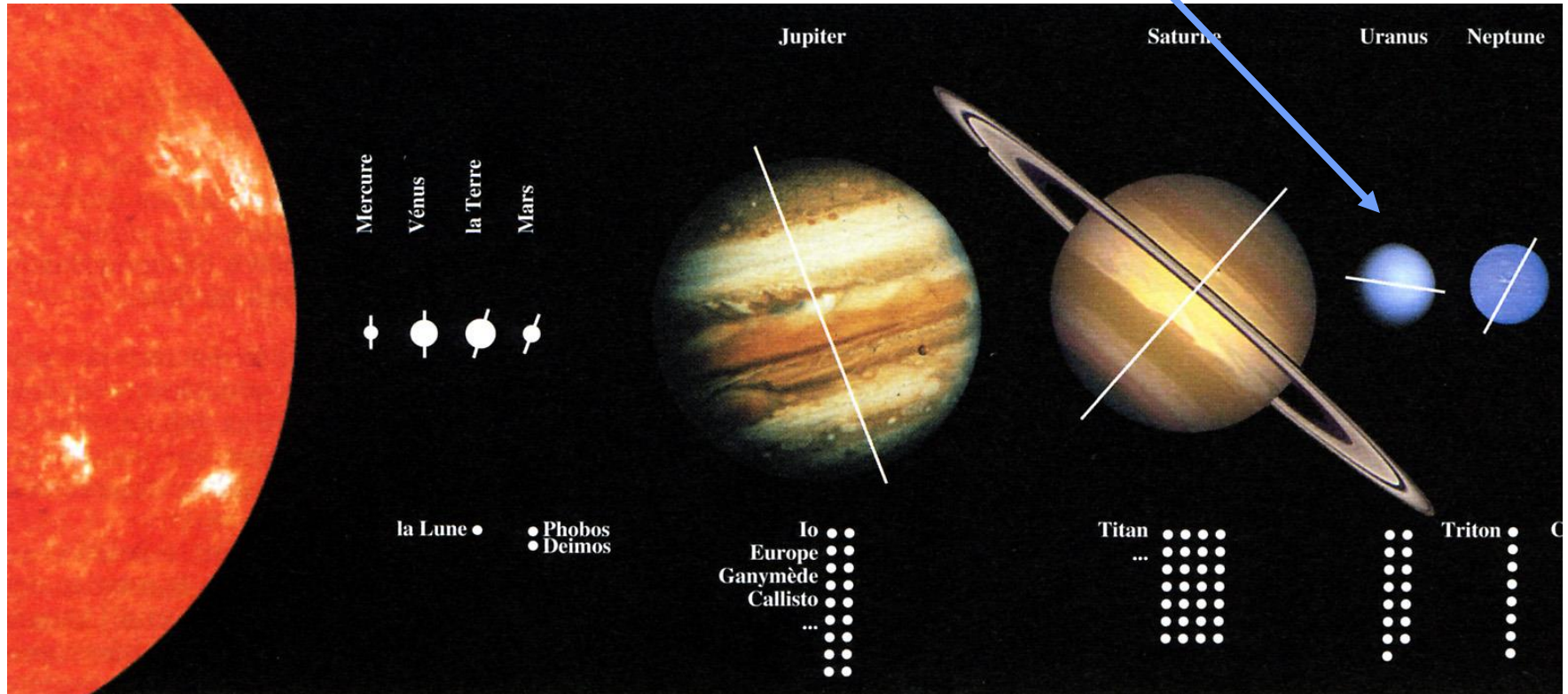
- *Telluriques (internes)*: Mercure, Vénus, Terre, Mars
- *Gazeuses (externes)*: Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune.



2- Organisation

Caractéristiques du système solaire

- 1) Les planètes tournent toutes dans le même sens autour du Soleil avec des orbites quasi-circulaires.
- 2) L'angle entre l'axe de rotation et la perpendiculaire au plan de l'orbite est en général $< 30^\circ$ (sauf Uranus).

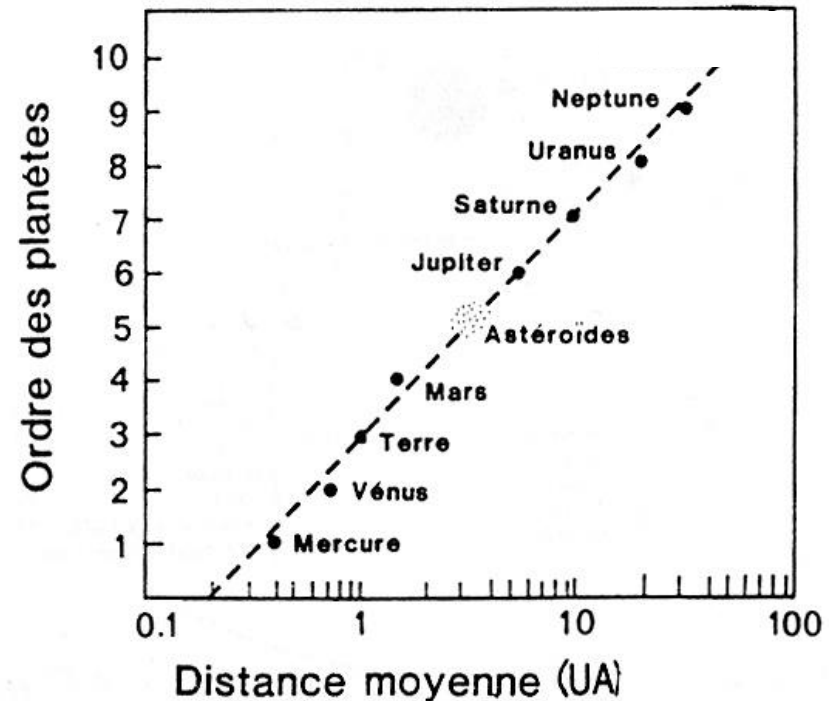


2- Organisation

Caractéristiques du système solaire

3) Toutes les planètes (sauf Vénus et Uranus) tournent sur elles-mêmes (rotation) dans le même sens que leur révolution ; leurs lunes aussi.

4) Chaque planète est en gros deux fois plus loin du Soleil que la précédente (loi empirique de Titus-Bode).
=> Ceinture d'astéroïdes



5) 99.9 % de la masse du système solaire est dans le Soleil

Formation du système solaire: l'hypothèse des protoplanètes

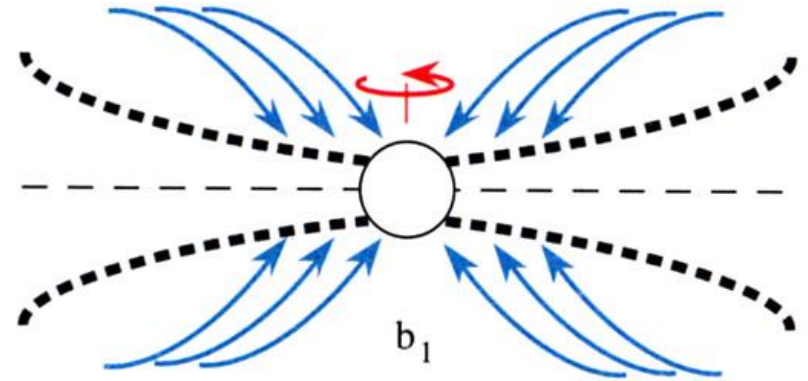
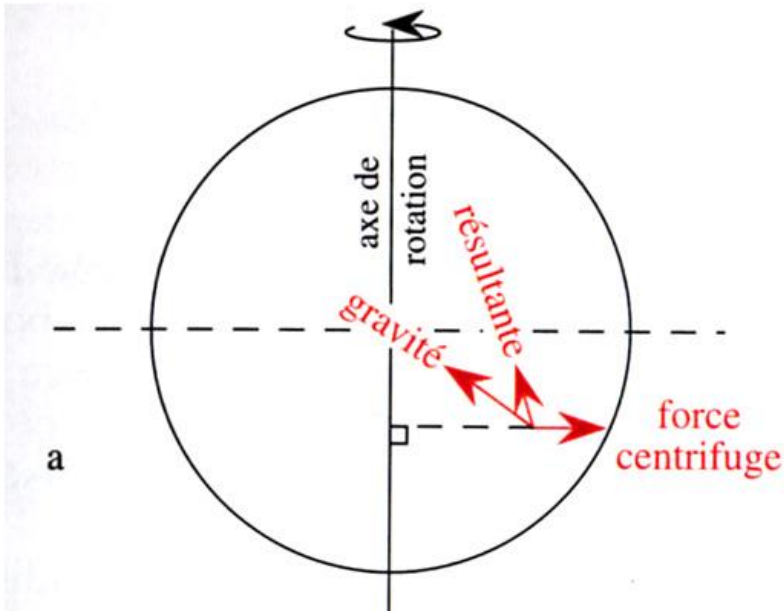


La nébuleuse d'Orion

2- Organisation

Formation du système solaire: l'hypothèse des protoplanètes

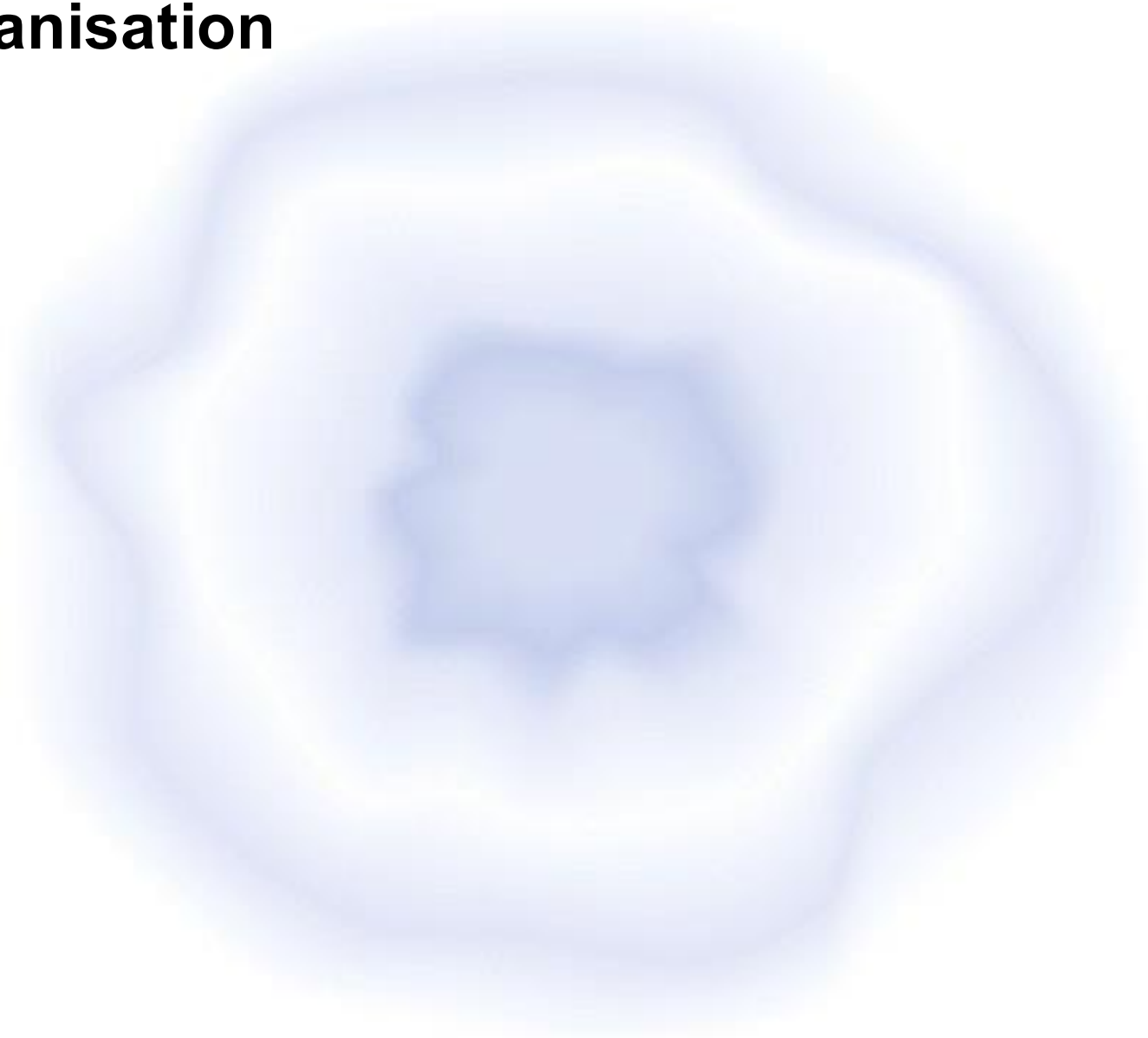
Formation à partir de l'effondrement gravitationnel d'un nuage (froid) de poussières et de gaz en rotation.



➡ La matière se concentre
au centre du nuage

➡ T augmente (>2000 K)

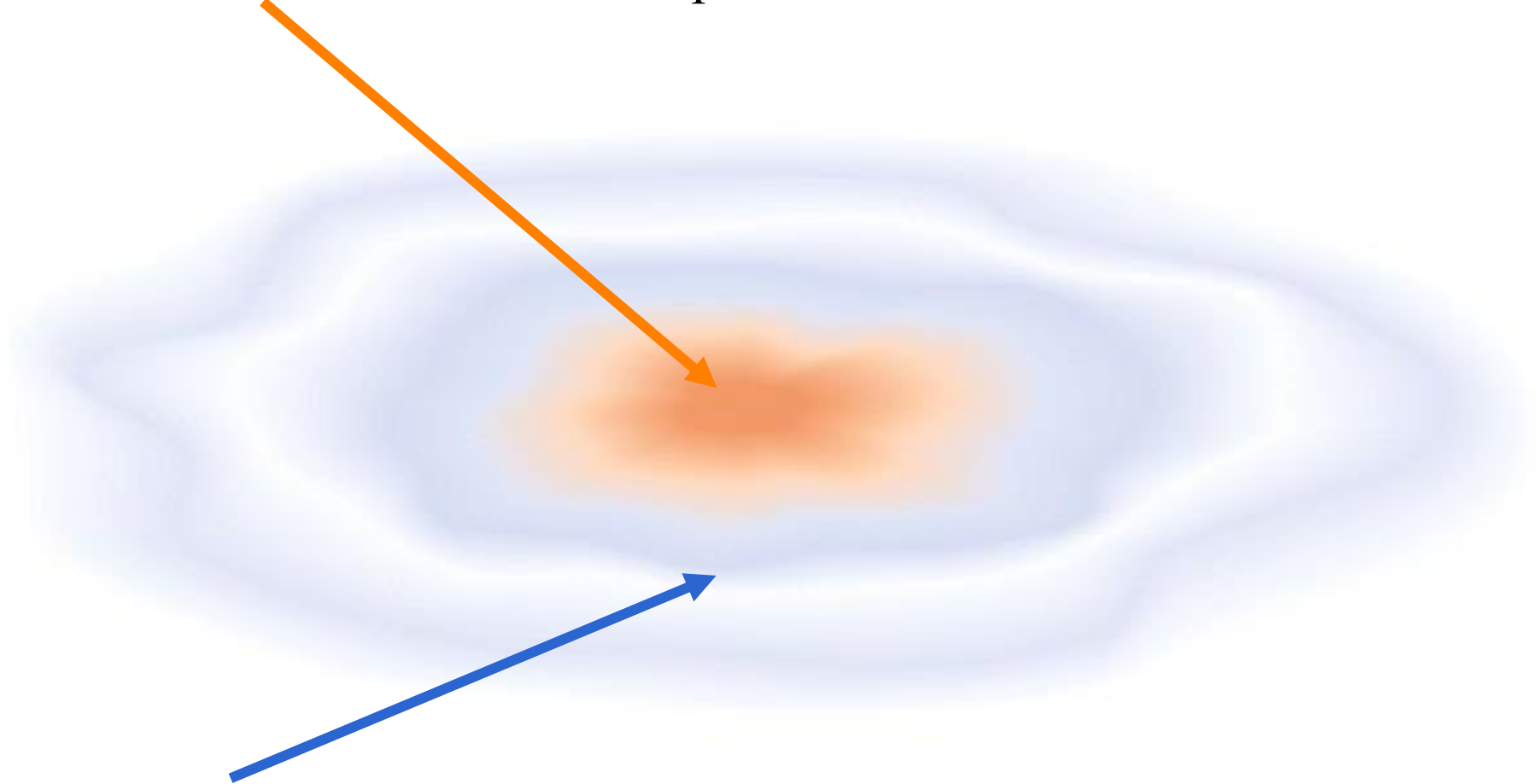
2- Organisation



99,9% de la masse au centre (la future étoile)

2- Organisation

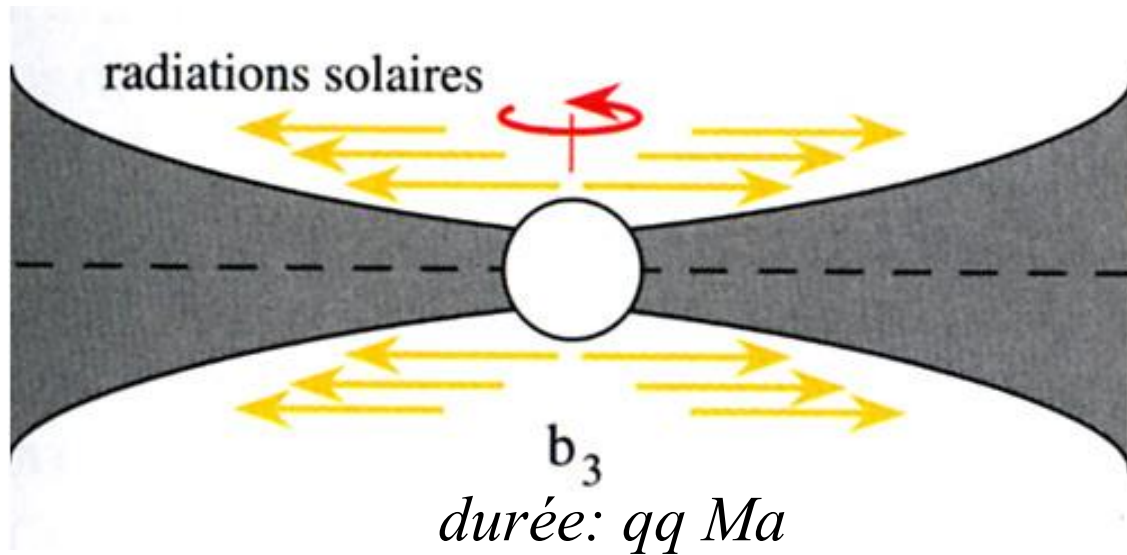
La masse au centre donne un proto-Soleil chaud et très lumineux.



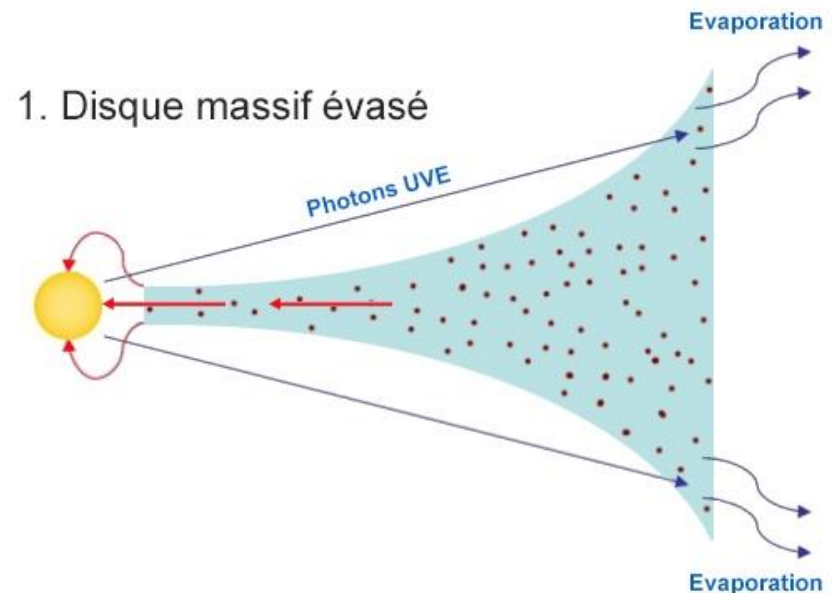
Dans le disque : T diminue, condensation successive des composés, puis début d'agrégation de petits corps célestes
(μm , puis mm , m , et $km \dots$)

2- Organisation

disque protoplanétaire

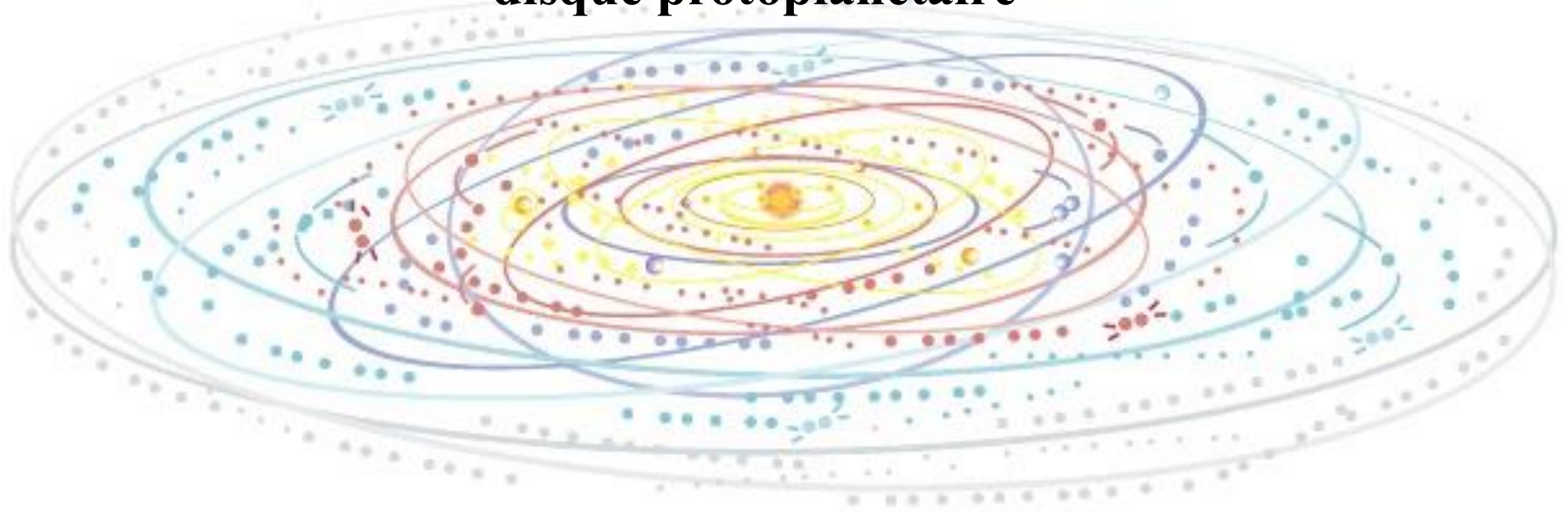


Les éléments légers sont repoussés à la périphérie sous le dégagement d'énergie lié à l'augmentation des forces de contraction gravitationnelle (la fusion débutera quand $T > 10^7$ K).

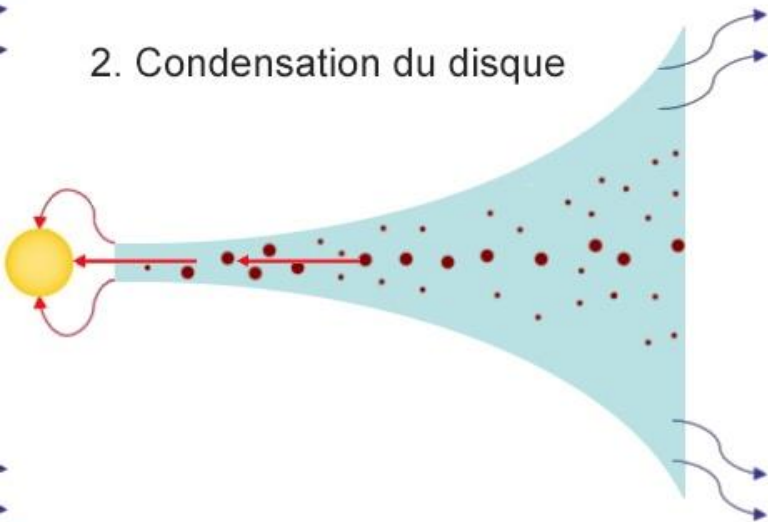


2- Organisation

disque protoplanétaire



2. Condensation du disque

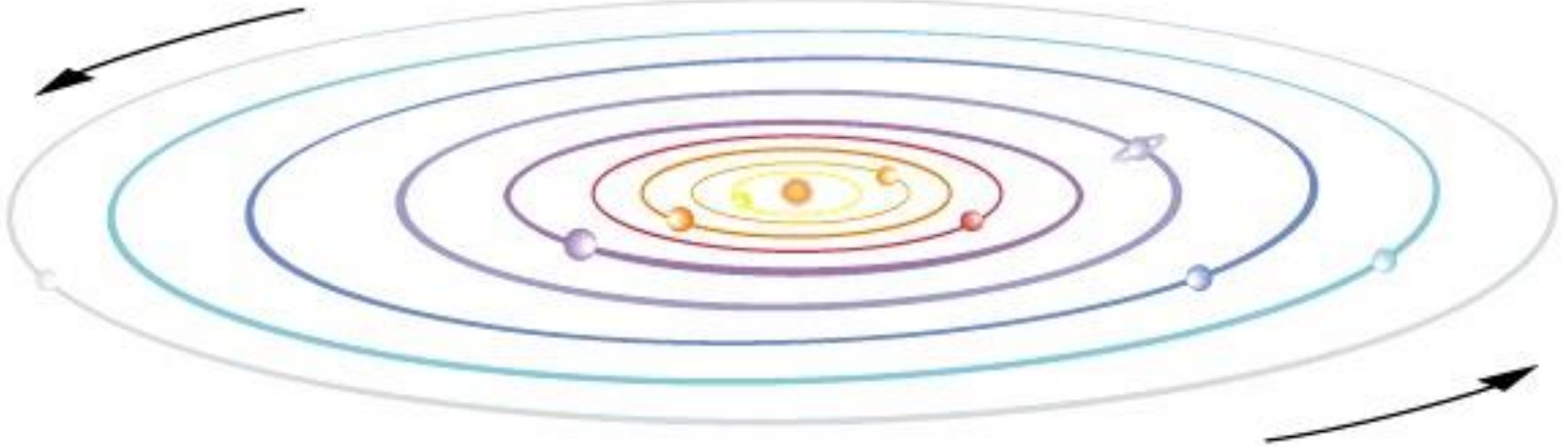


Moins de 1 Ma après

les petits corps (planétésimes) croissent et s'agrègent par collision, et deviennent de grands agrégats de gaz et de matière

2- Organisation

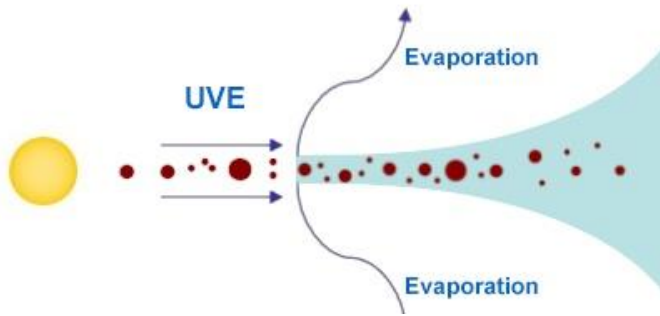
disque protoplanétaire



Moins de 10 Ma après

Les protoplanètes, plus grandes que les planètes actuelles, se sont contractées => puis formation des **planètes actuelles**

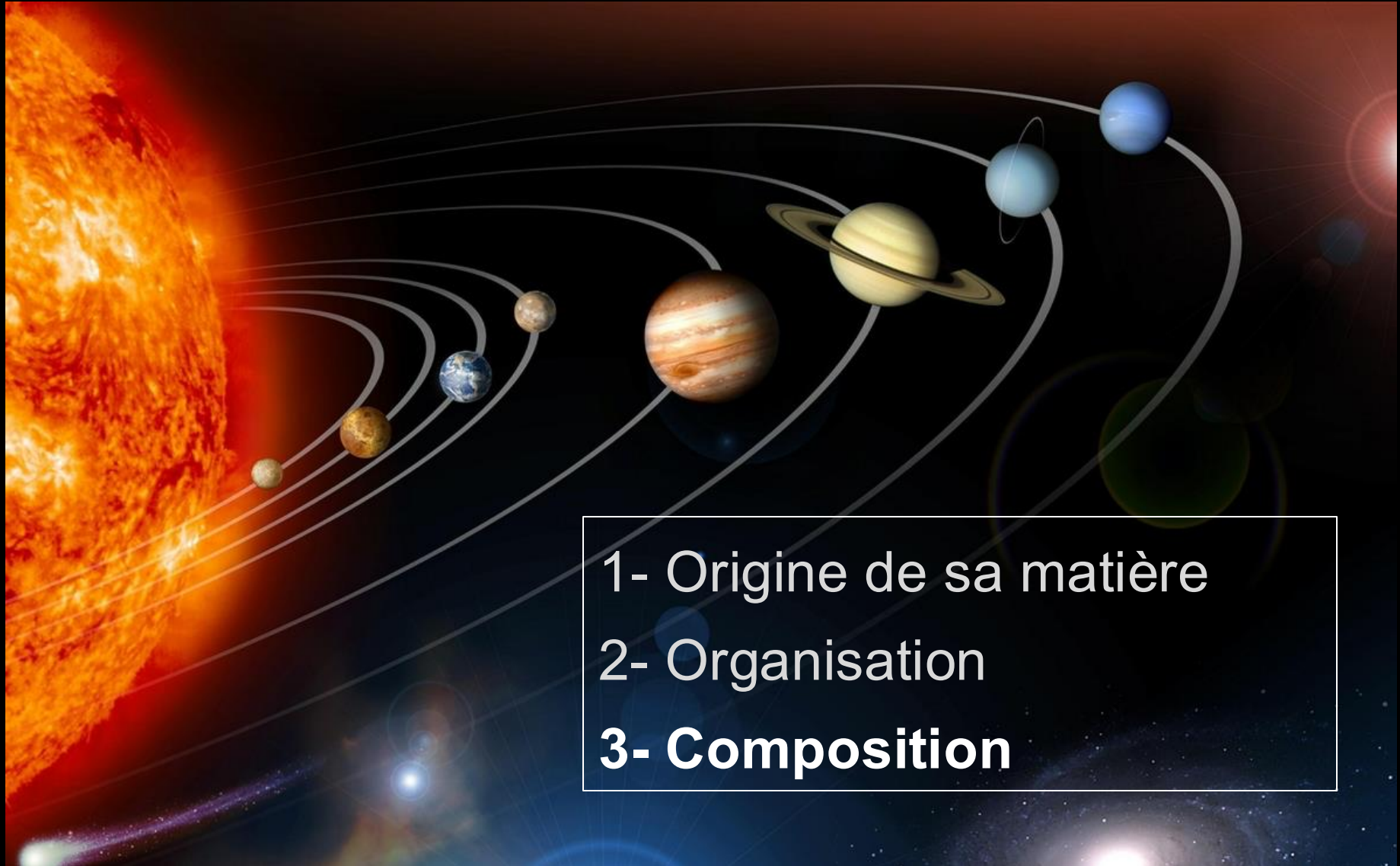
3. Photoévaporation du disque



4. Disque de débris



L1 Système Terre - Cours 1 : Le Système Solaire



- 1- Origine de sa matière
- 2- Organisation
- 3- Composition**

3- Composition

Le soleil

$R = 700\,000\text{ km}$ ($R_{\text{Terre}} \times 110$)

$M = 1,9 \cdot 10^{30}\text{ kg}$ ($M_{\text{Terre}} \times 320\,000$)

densité: **1,4** ($d_{\text{Terre}}: 5.5$)

Composition: H: 74 % & He: 24 %
(*en masse*)

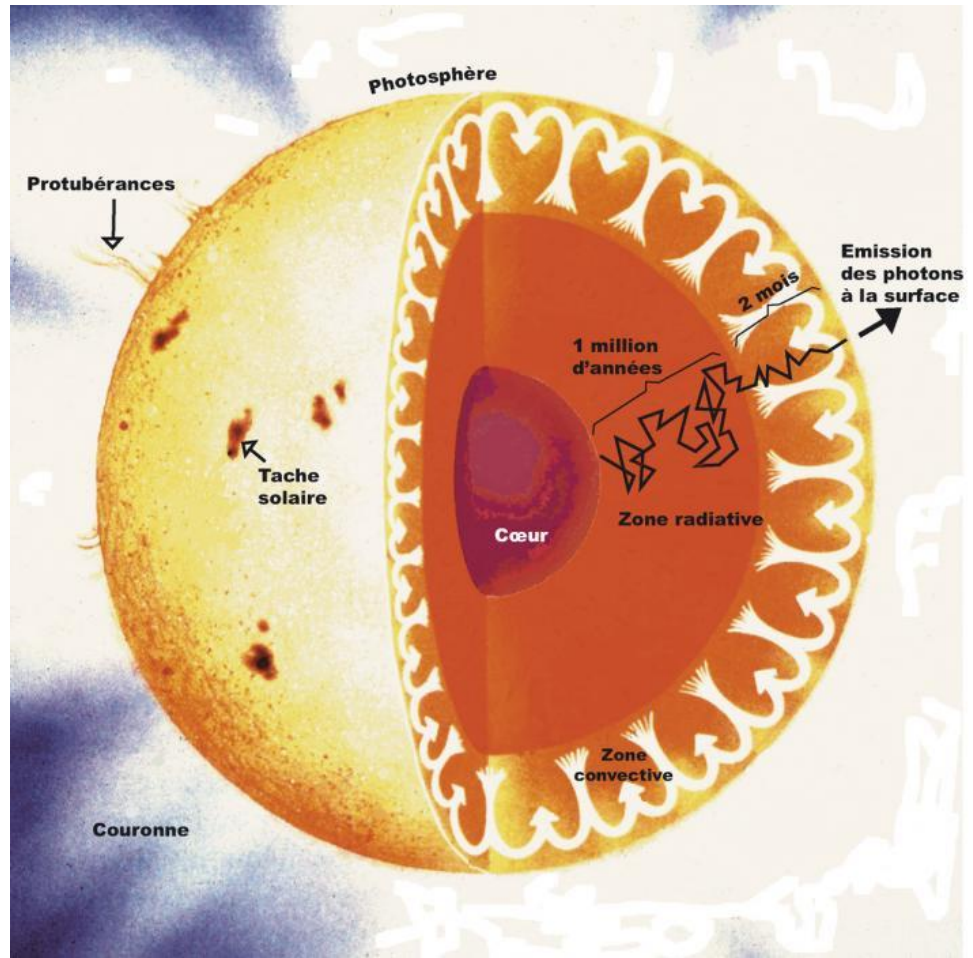
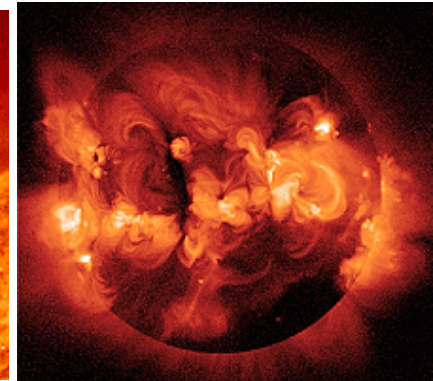
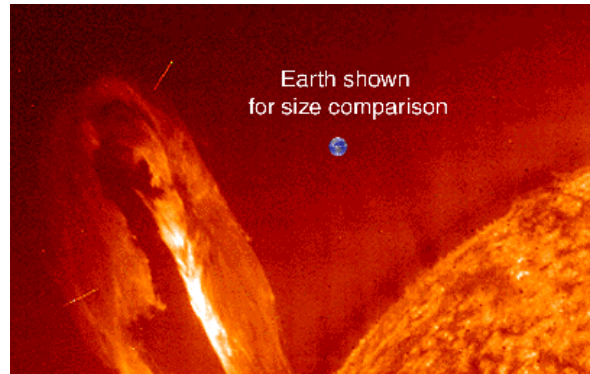
T surface: 6000 K

T centre: $15 \cdot 10^6\text{ K}$

Gradient: 20 K.km^{-1}

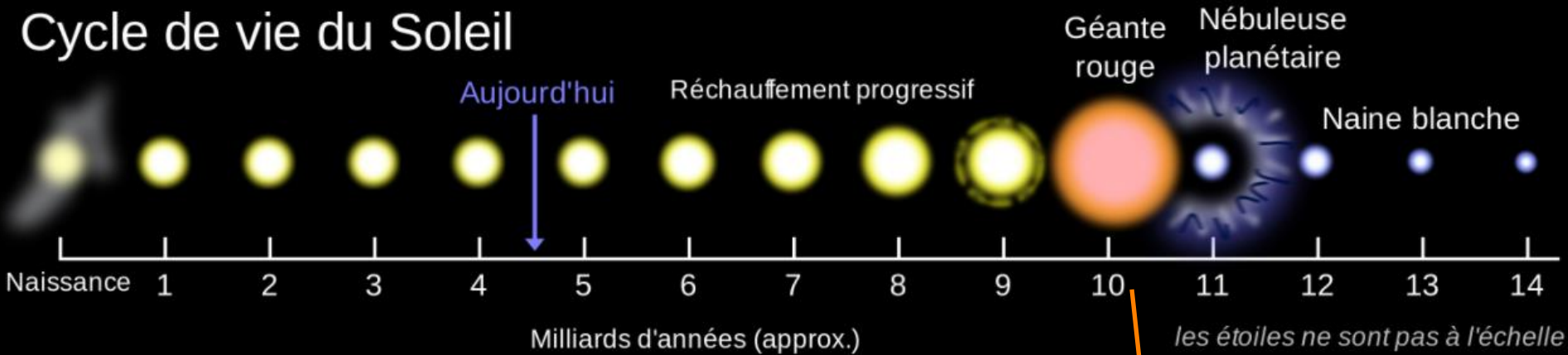


Le soleil "rempli" par des planètes Terre



3- Composition

Evolution du soleil

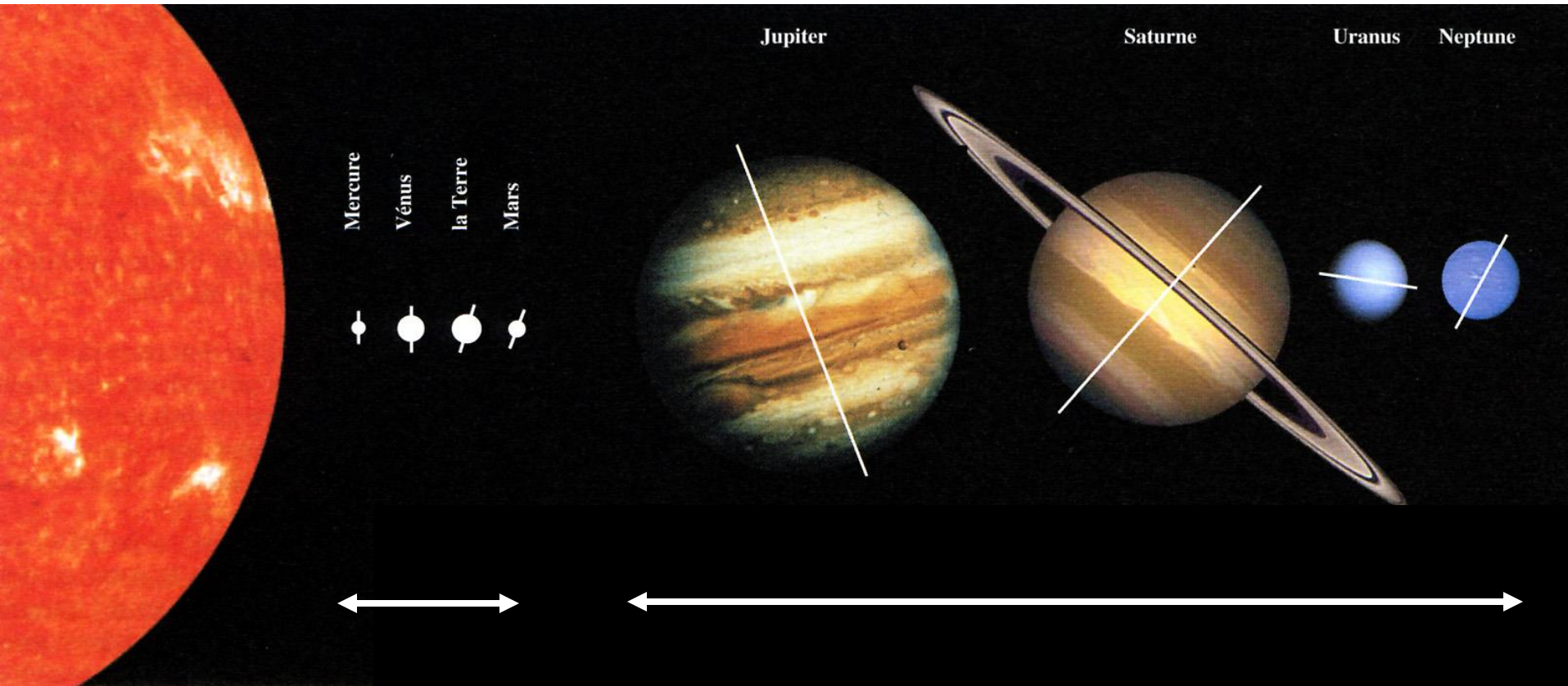


Âge du soleil : 4,6 Ga



3- Composition

Composition des planètes

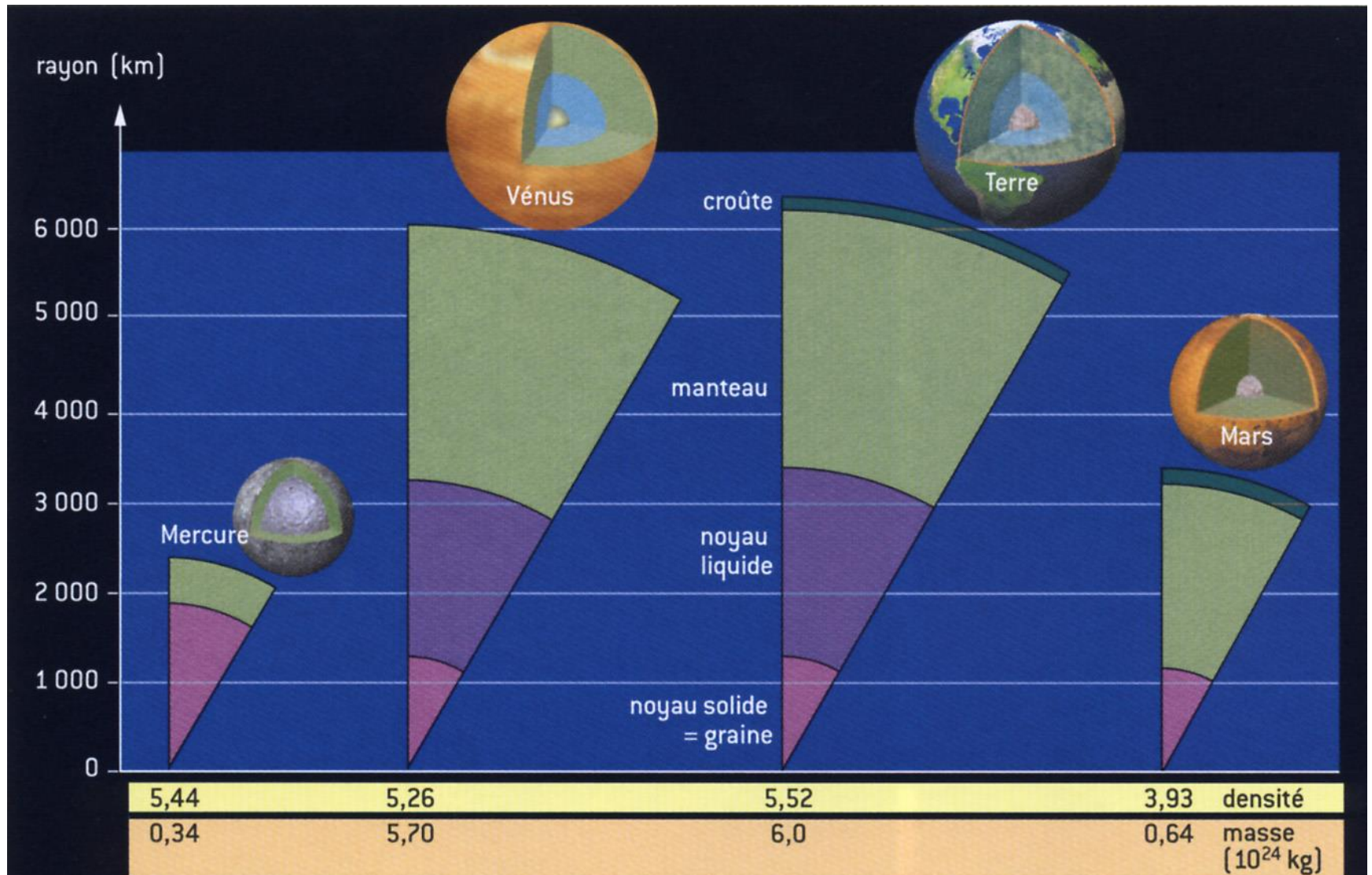


Les planètes
telluriques

Les planètes géantes

3- Composition

Les planètes telluriques - différenciation

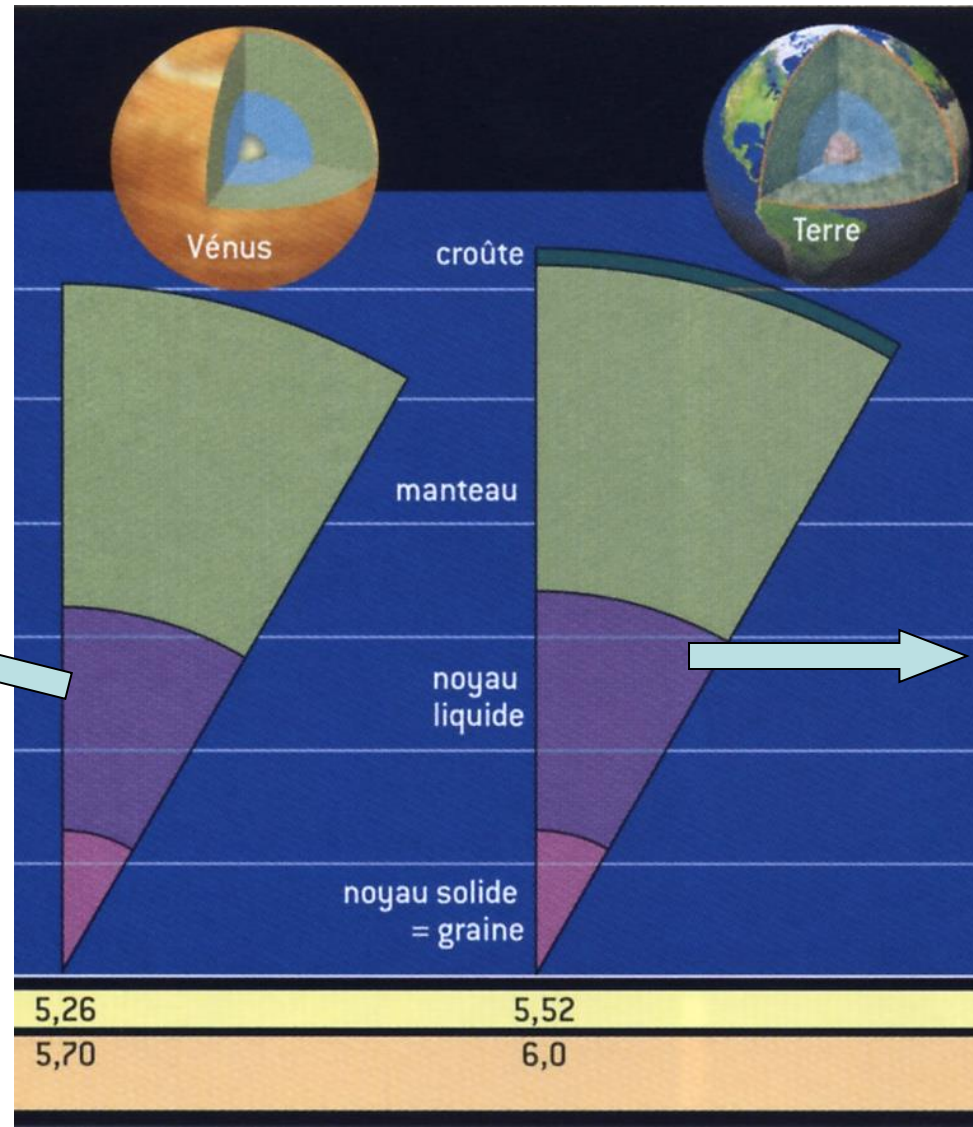


3- Composition

Venus

Terre

Champ
magnétique
très faible car
rotation trop
lente:
243j
terrestres



Champ
magnétique
« fort »

3- Composition

ATMOSPHERE DES PLANETES TELLURIQUES

H₂ et He partis dans l'espace (trop léger)

MERCURE



VENUS



TERRE



MARS

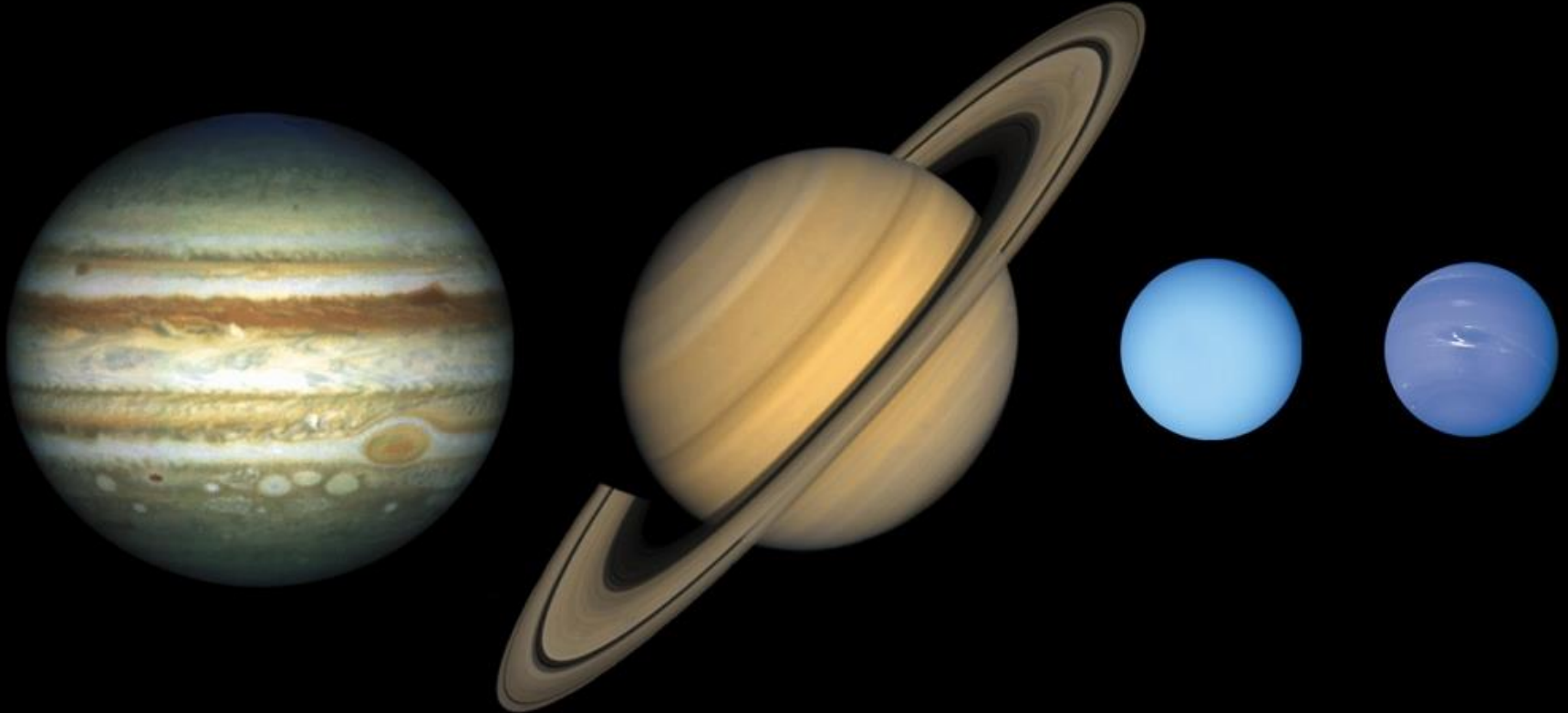


atmos	aucune	Très dense	Dense	Très faible
Comp1		CO ₂	N ₂	CO ₂
Comp2		N ₂	O ₂	N ₂
Prop.		19/1	4/1	19/1

Aujourd' hui !

H₂O : glaces ?

3- Composition



Jupiter

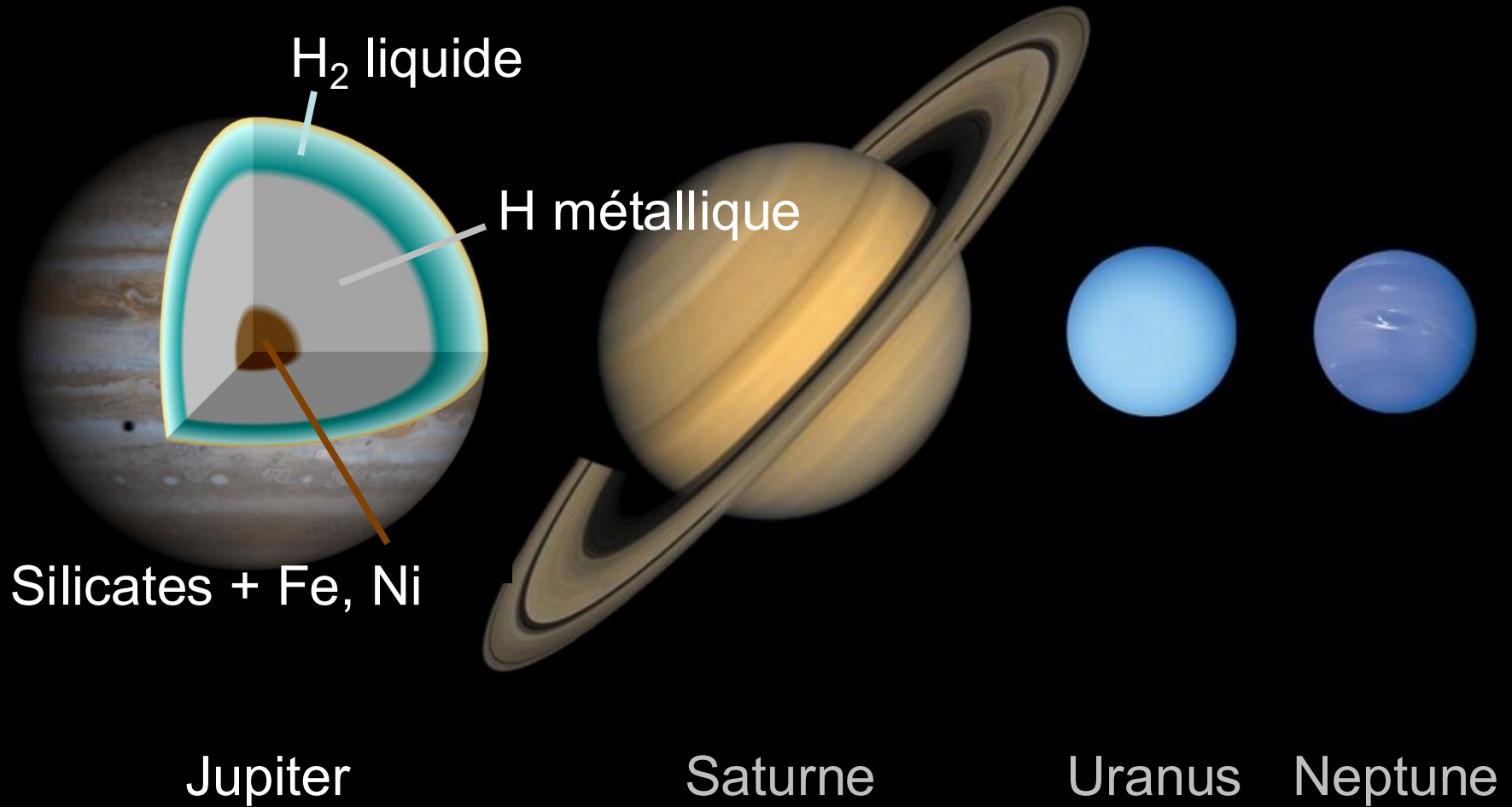
Saturne

Uranus

Neptune

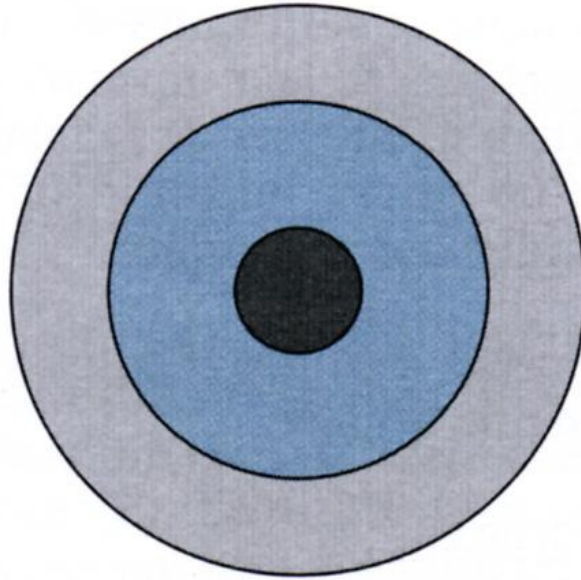
Les planètes géantes

3- Composition

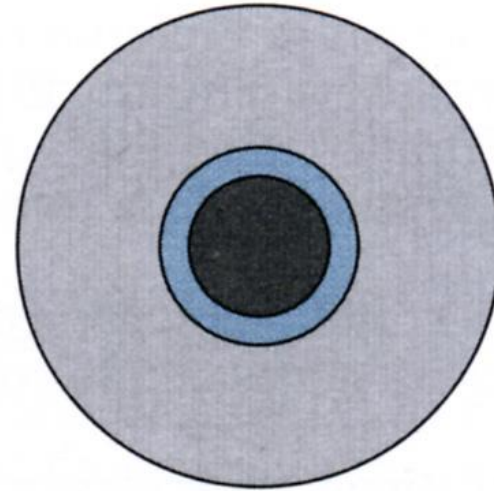


Les planètes géantes

3- Composition



Jupiter

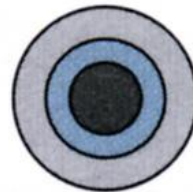


Saturne

d = 0,69 !



Uranus



Neptune



*la Terre
(taille de référence)*



H₂ liquide



**Noyau de silicates + Fe
(+ glaces?)**



H métallique

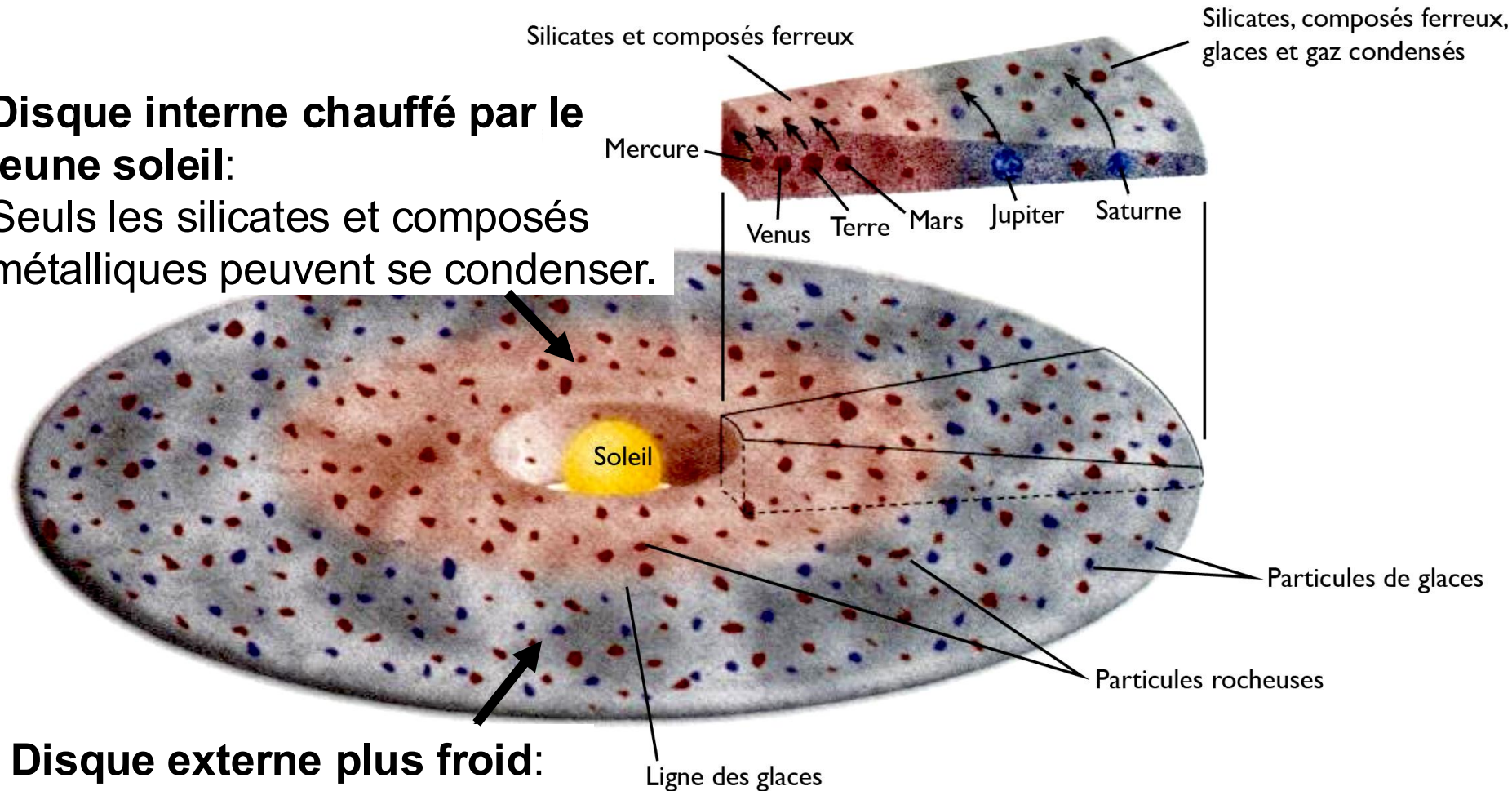
assemblage dont l'espacement est $< r$ de Bohr car $P > 400\text{Gpa}$

Les
planètes
géantes

3- Composition

Formation des planètes du système solaire

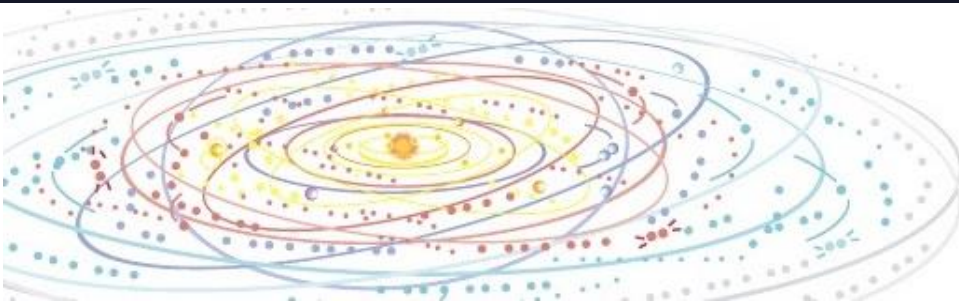
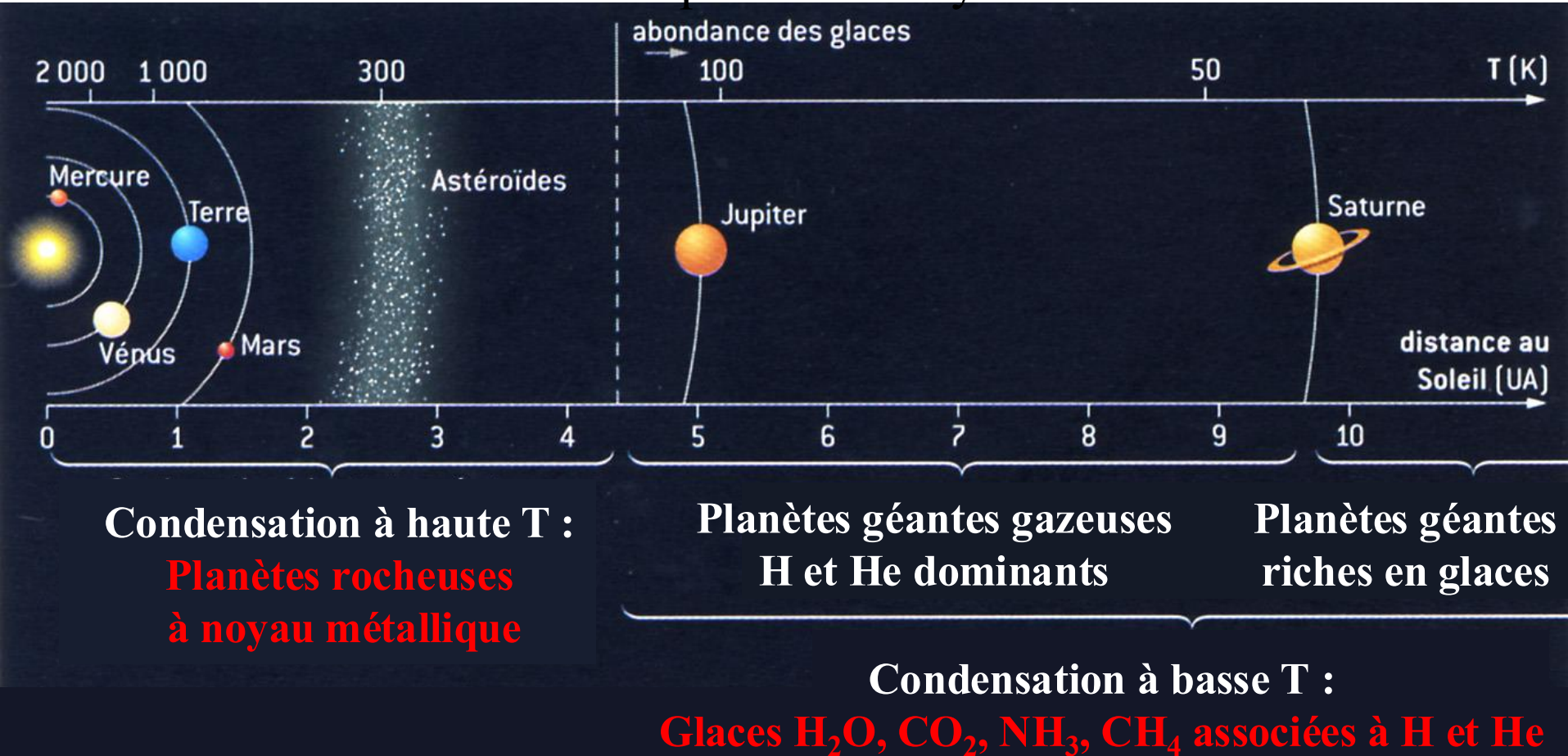
Disque interne chauffé par le jeune soleil:
Seuls les silicates et composés métalliques peuvent se condenser.



Disque externe plus froid:
condensation des glaces et
des gaz, en plus des
particules rocheuses.

3- Composition

Formation des planètes du système solaire



Gamme de distance de formation des matériaux constituant la Terre :

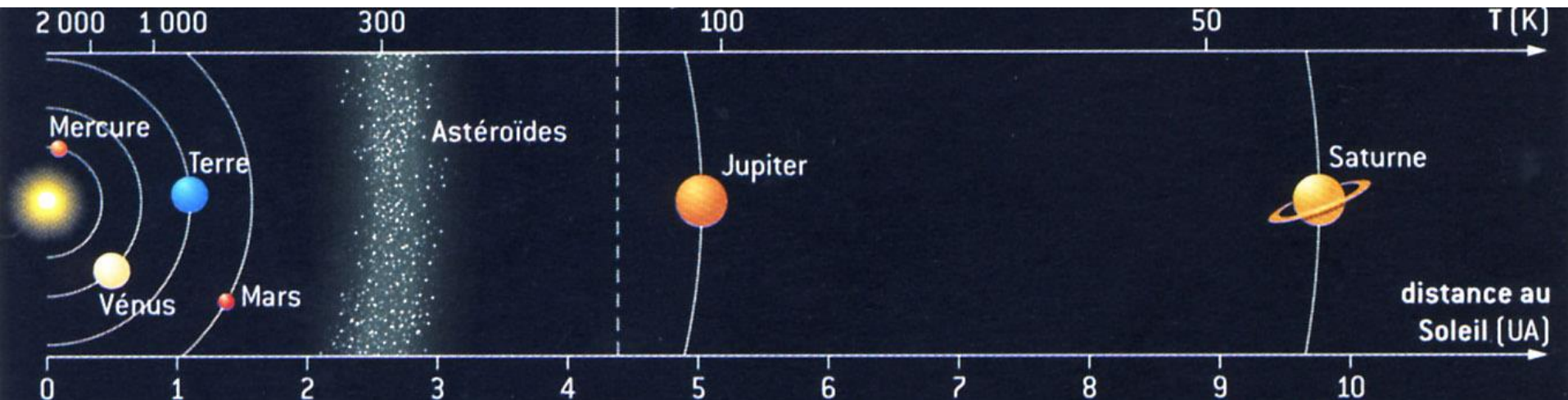
0,5 à 2,5 UA

3- Composition

Les météorites: *Les roches qui tombent du ciel*

De quels corps parents proviennent-elles?

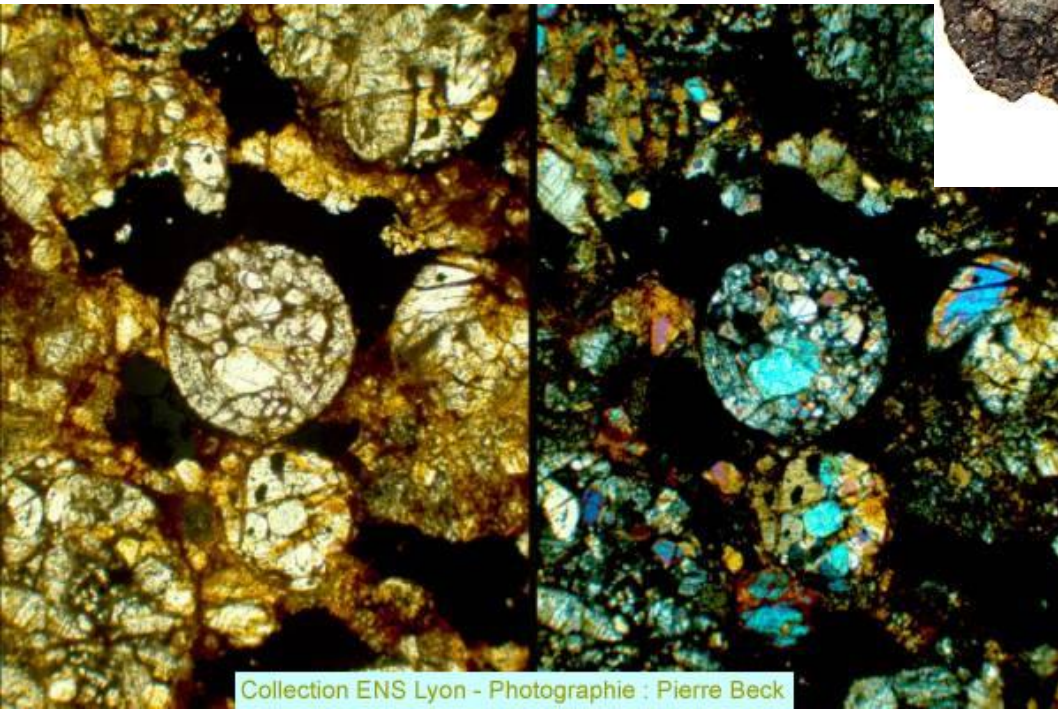
- 10^{aines} de milliers d'astéroïdes (*la plupart de la Ceinture d'Ast.*)
- Quelques 10^{aines} de météorites d'origine lunaire
- Quelques 10^{aines} de météorites d'origine martienne



3- Composition

Les Chondrites (92%)

formées par l'agglomération de
sphérules silicatées (les chondres)



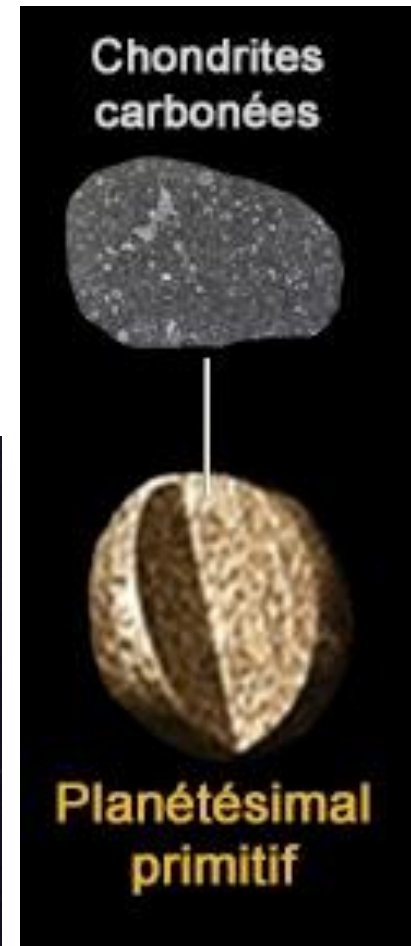
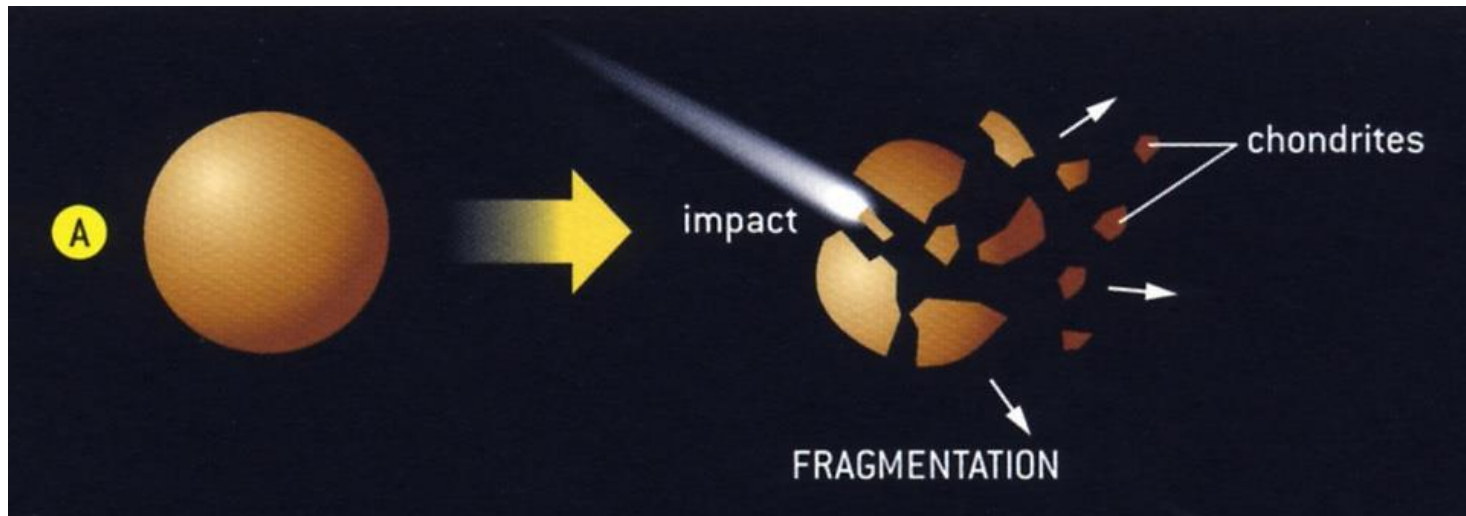
Collection ENS Lyon - Photographie : Pierre Beck



3- Composition

Les Chondrites (92%)

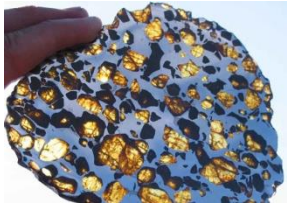
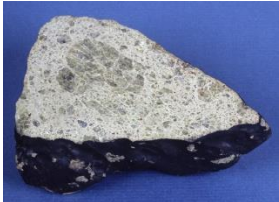
Fragmentation d'un corps **non-différencié**



3- Composition

Les météorites différenciées :

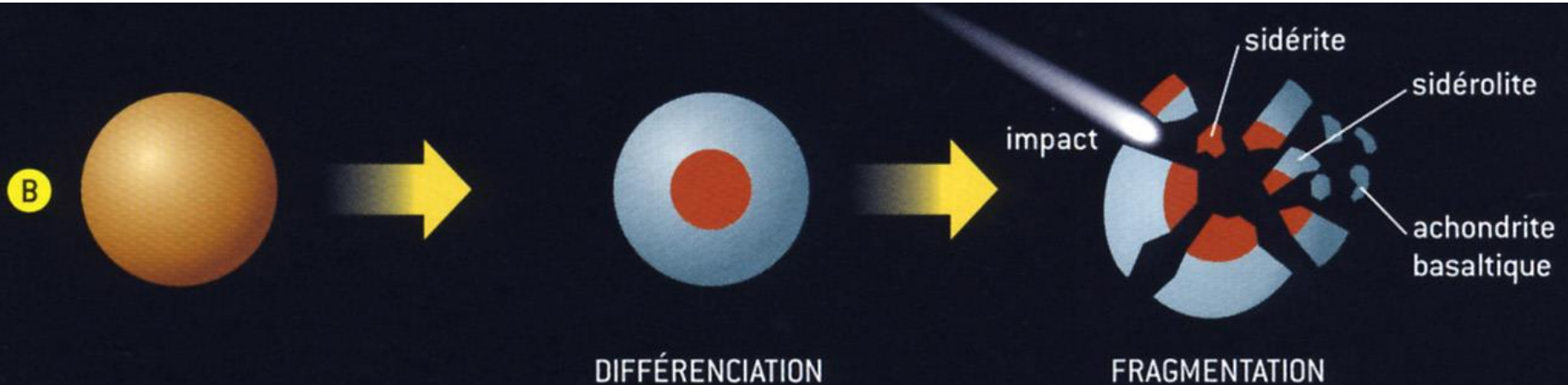
Elles proviennent de la fragmentation d'un corps **déjà différencié**

<u>Nature</u>	<u>Aspect</u>	<u>Similitude terrestre</u>
- Sidérites		~ Noyau
- Sidérolites		~ Interface Noyau - Manteau
- Achondrites		~ Manteau

3- Composition

Les météorites différenciées :

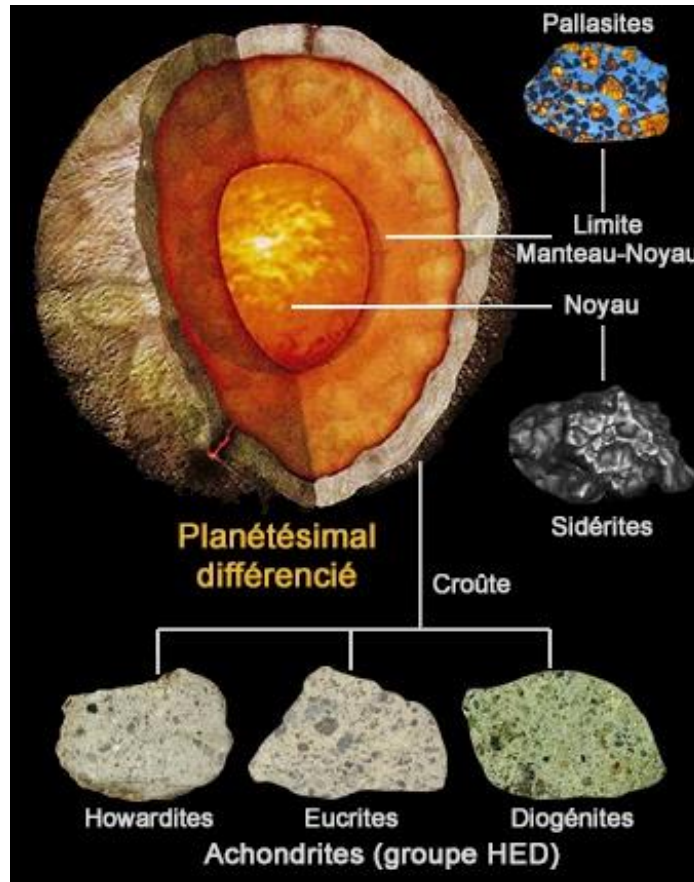
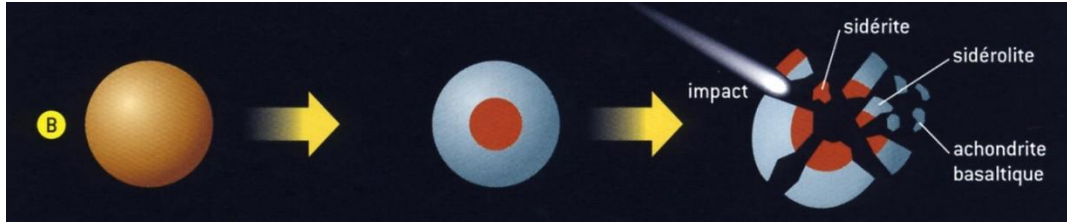
Elles proviennent de la fragmentation d'un corps **déjà différencié**



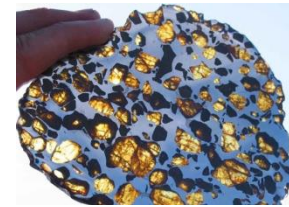
3- Composition

Les météorites différenciées :

Elles proviennent de la fragmentation d'un corps **déjà différencié**



Sidérolites



~ Interface
N. – Mant.



~ Noyau

Sidérites

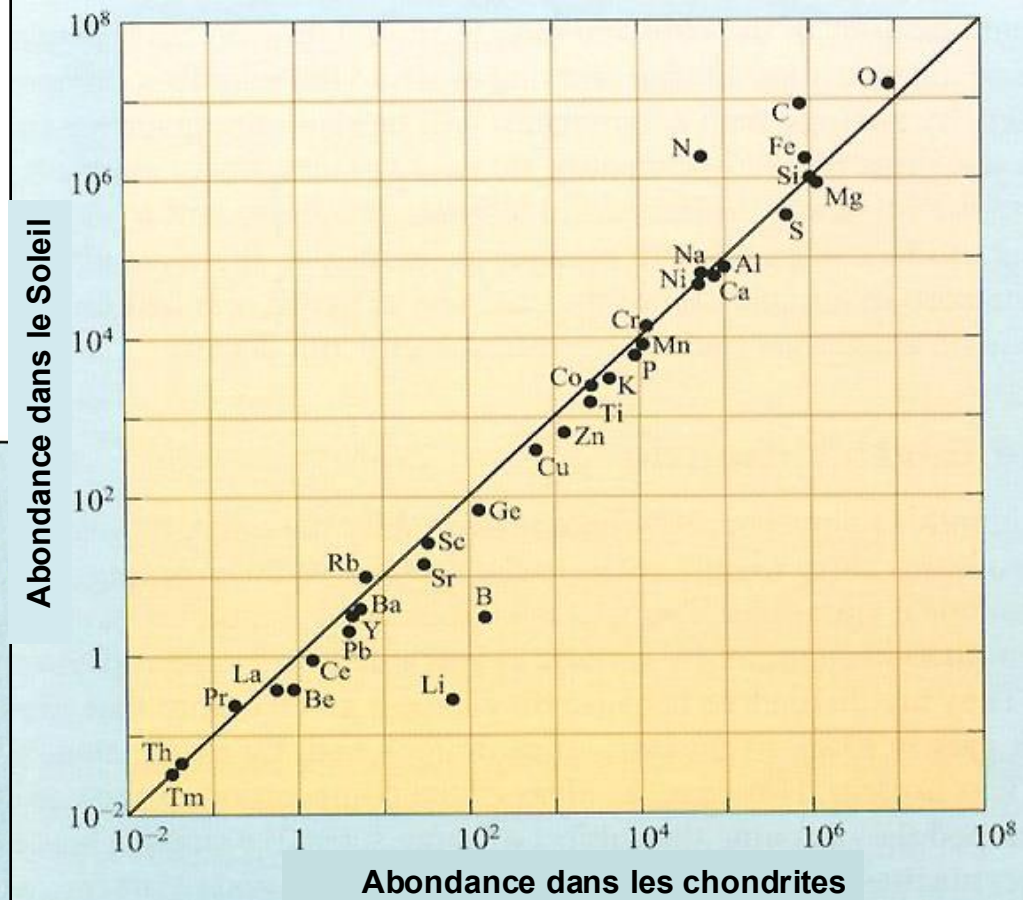
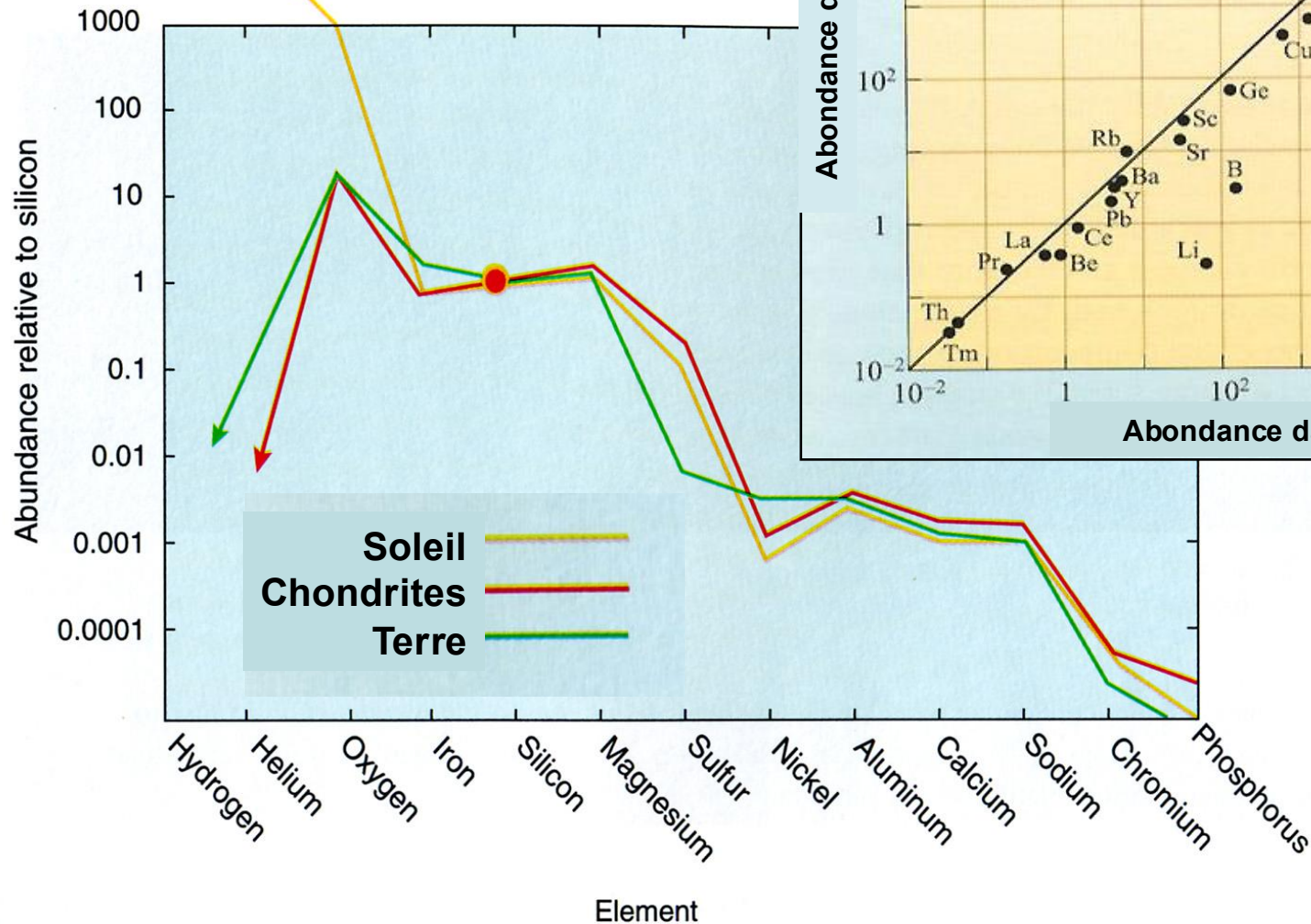


~ Manteau

Achondrites

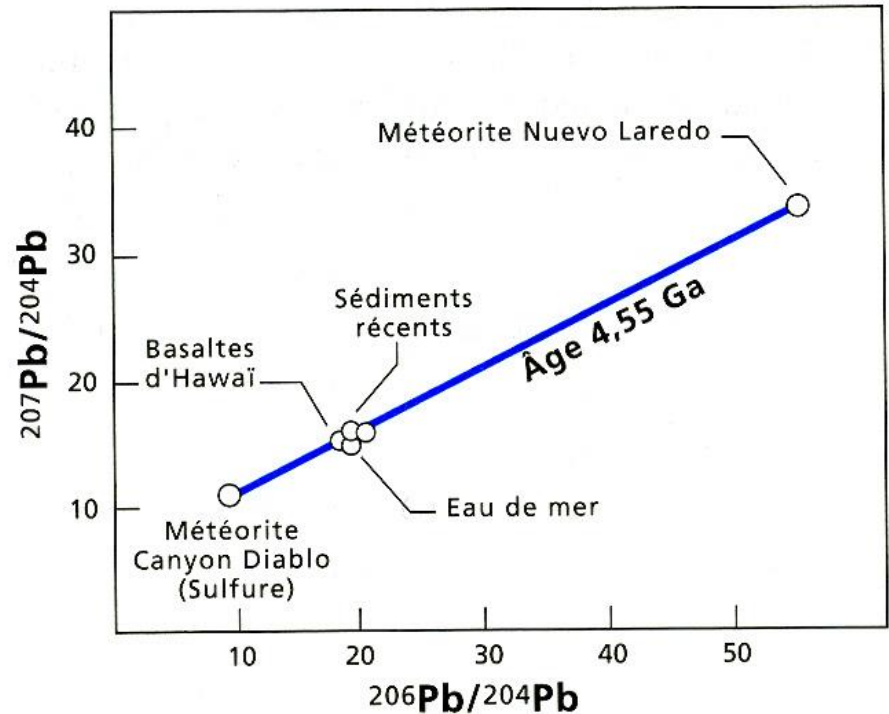
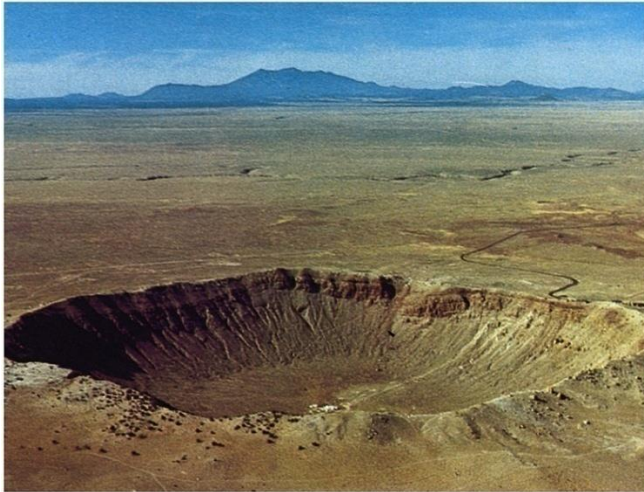
3- Composition

La composition du système solaire est homogène



3- Composition

L'âge de la Terre est obtenu par la datation absolue des météorites (environ 4.55 Ga)



3- Composition

C'est l'âge U/Pb des inclusions réfractaires d'oxydes de Ti, Al et Ca (qui se forment au début du refroidissement) de la chondrite d'Allende que l'on adopte pour le système solaire.



**Météorite Allende:
 $4,5670 \pm 0,0003$ Ga**



Age du Système Solaire



**Age maximum
pour la Terre**

3- Composition



La Lune

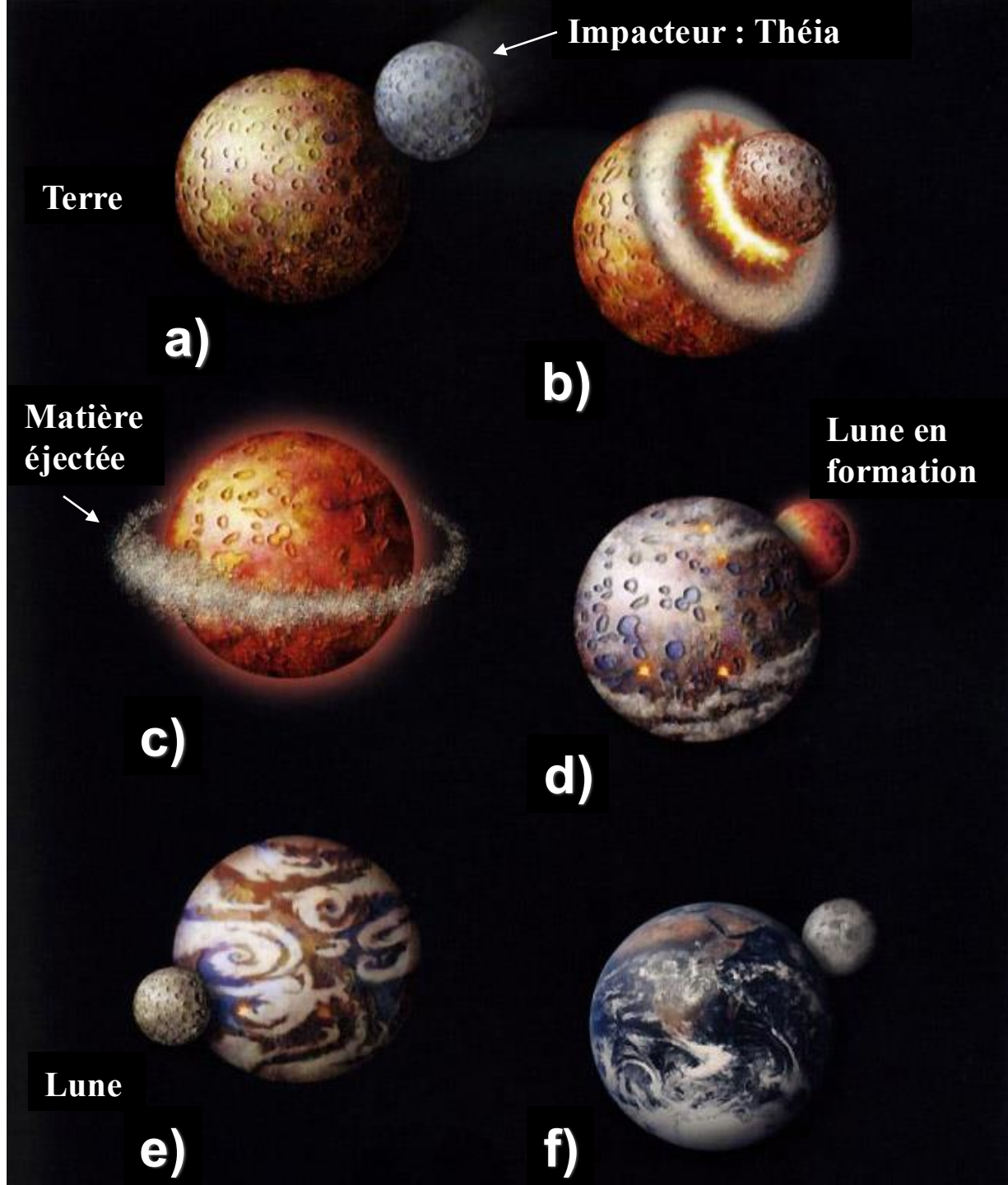
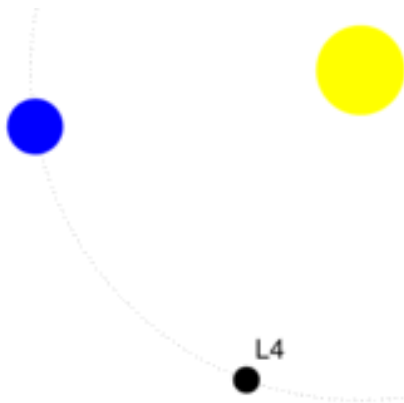
3- Composition

La Lune

Hypothèse admise pour sa formation

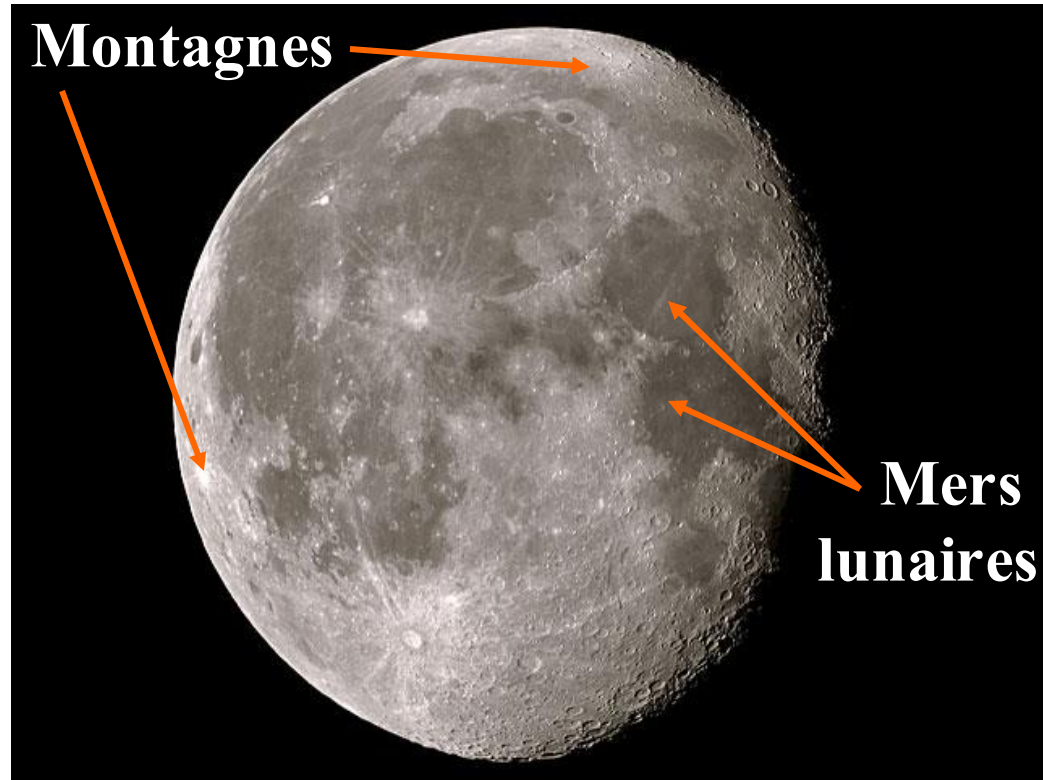
Impacteur de la taille de Mars

~ 90 Ma après l'accrétion terrestre



3- Composition

Montagnes lunaires: croûte ancienne (4,3 à 4,0 Ga)

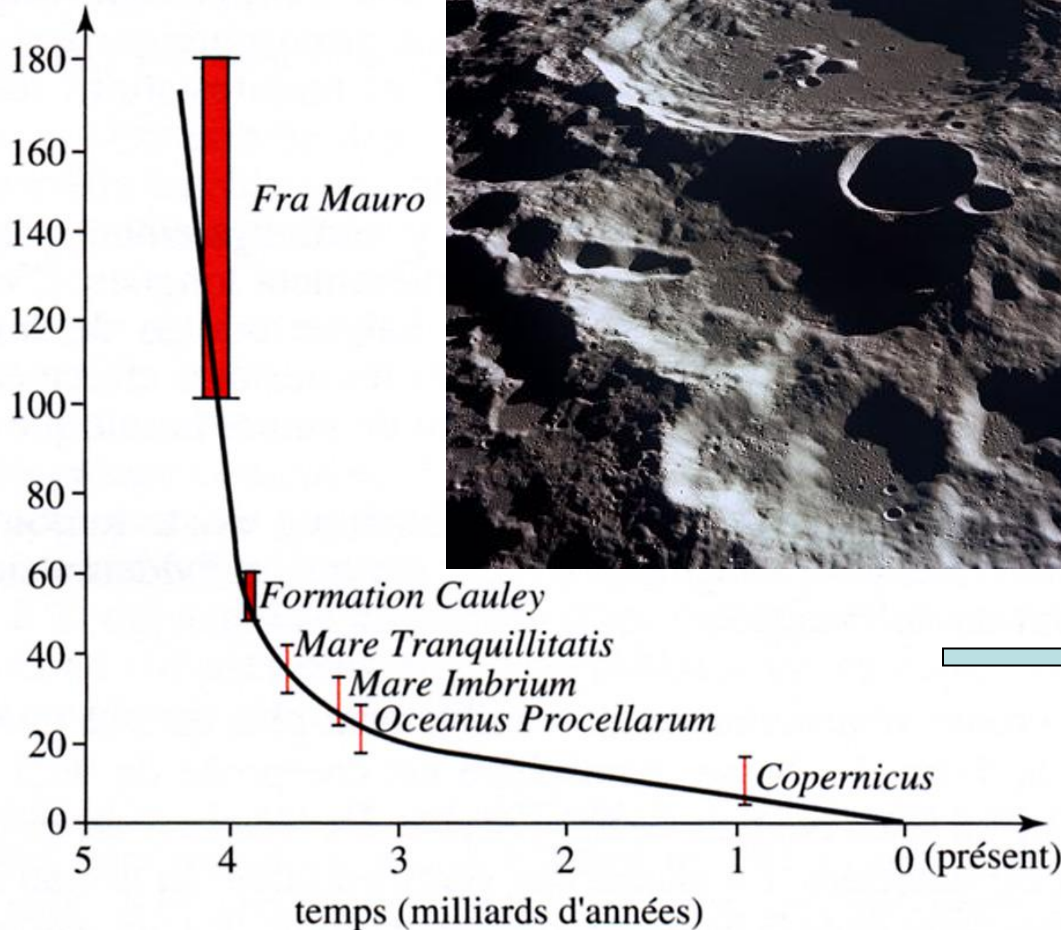


Mers lunaires : énormes bassins d'impact inondés par de la lave ; grandes dépressions formées « tardivement » à la suite d'impacts: basaltes datés de **3,9 à 3,2 Ga**
Elles se forment **600 Ma après** la formation de la Lune
(elles sont peu cratérisées)

3- Composition

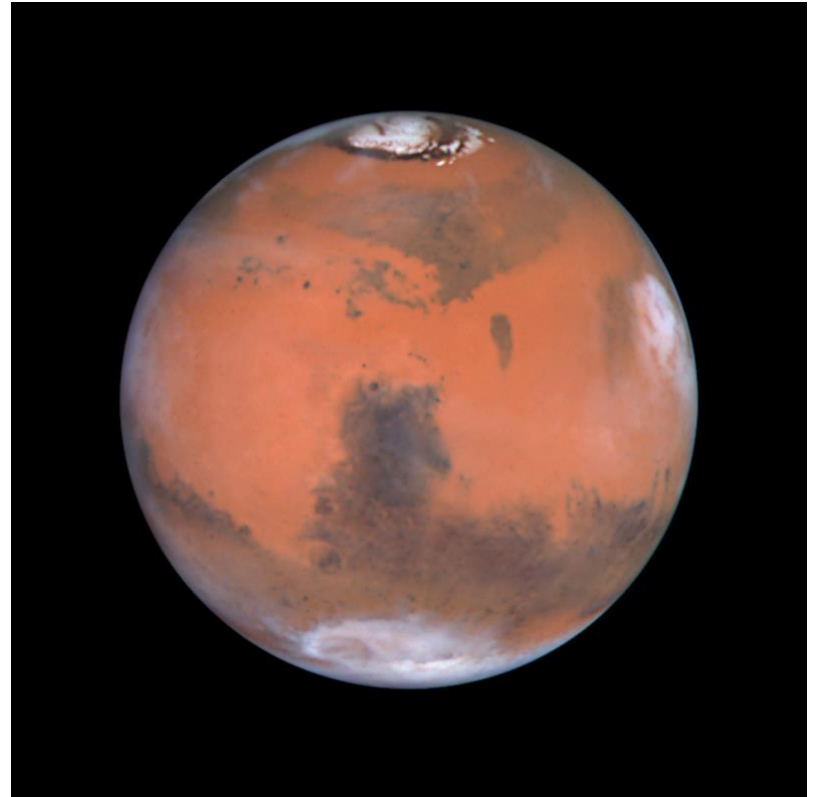
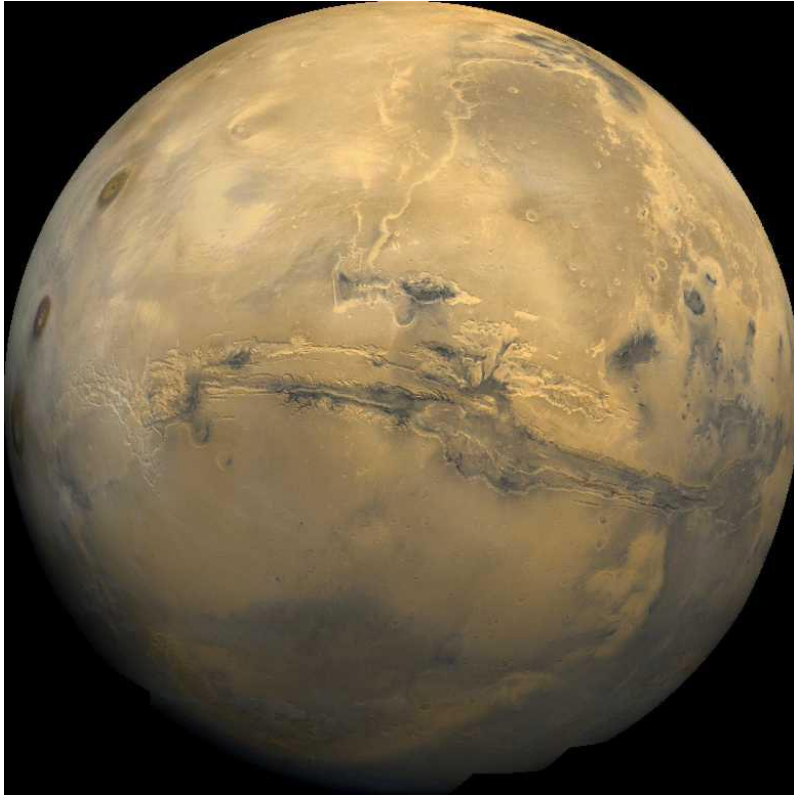
Densité de cratères

densité de cratères
(unités arbitraires)



Outil de
datation pour
les planètes du
système solaire

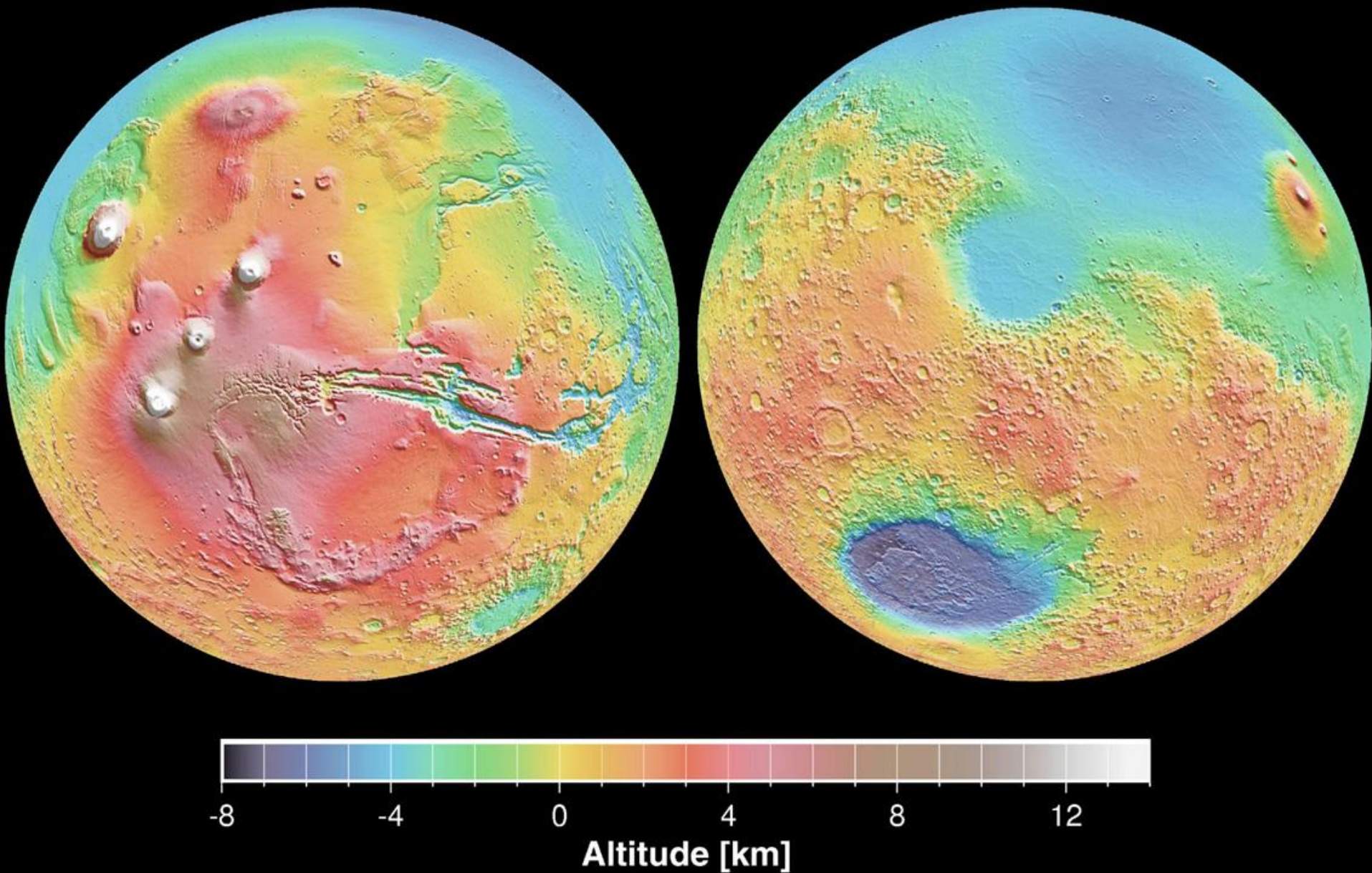
Mars



Planète aride, froide; mince atmosphère de CO_2

Fortes variations saisonnières de l'insolation (45%); températures de surface très variables 150-290 K

Topographie de Mars

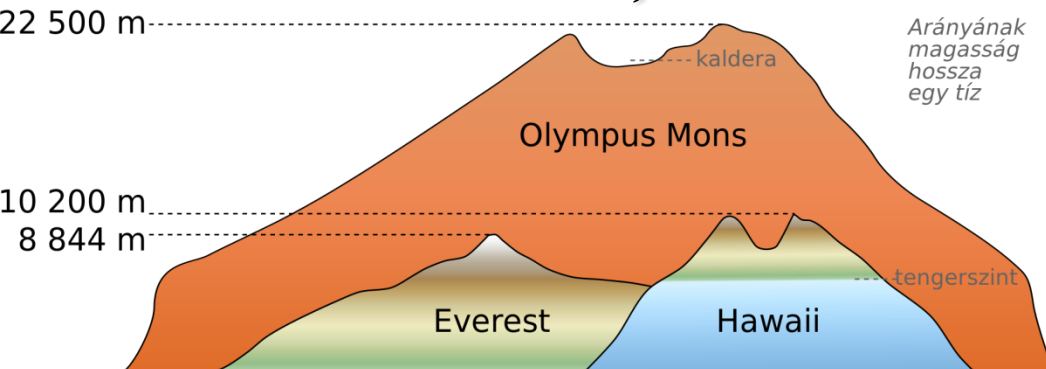


Volcans sur Mars

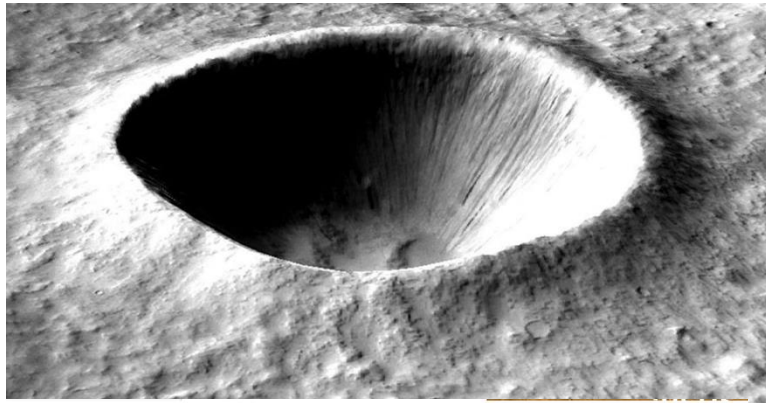


Olympus Mons

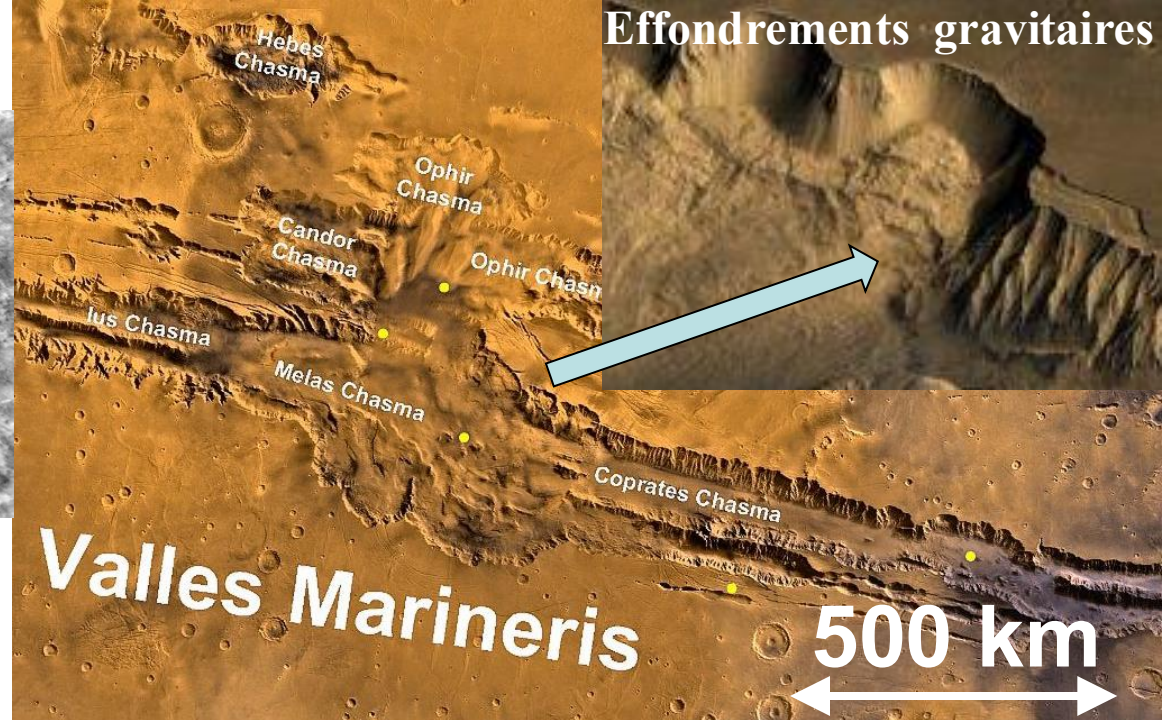
h : 23 km ; d = 500 km



L'eau sur Mars

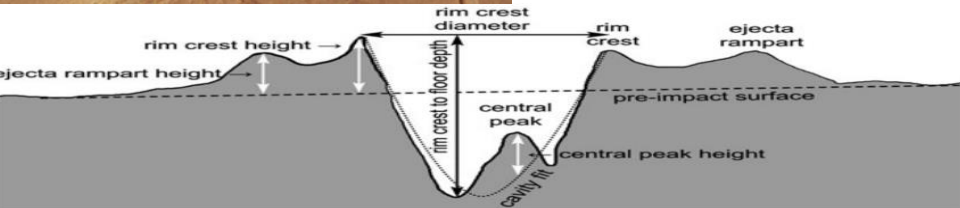
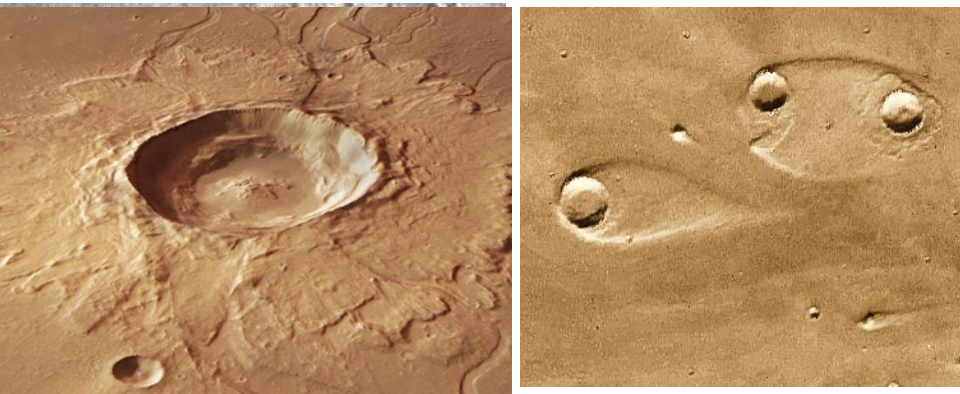


Cratère « classique » (sec)

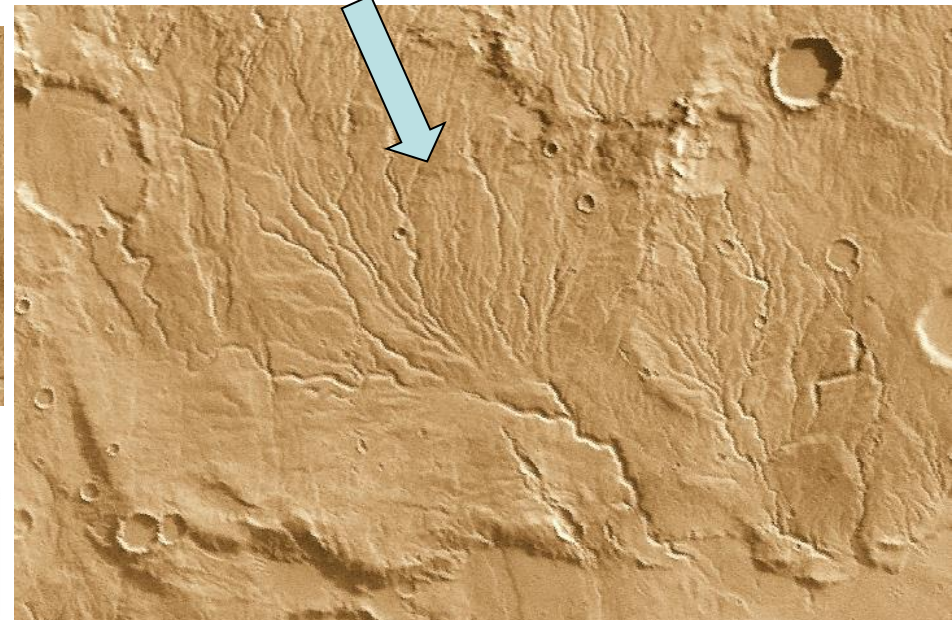


Effondrements gravitaires

Cratère à éjectas lobés (matériaux humides)

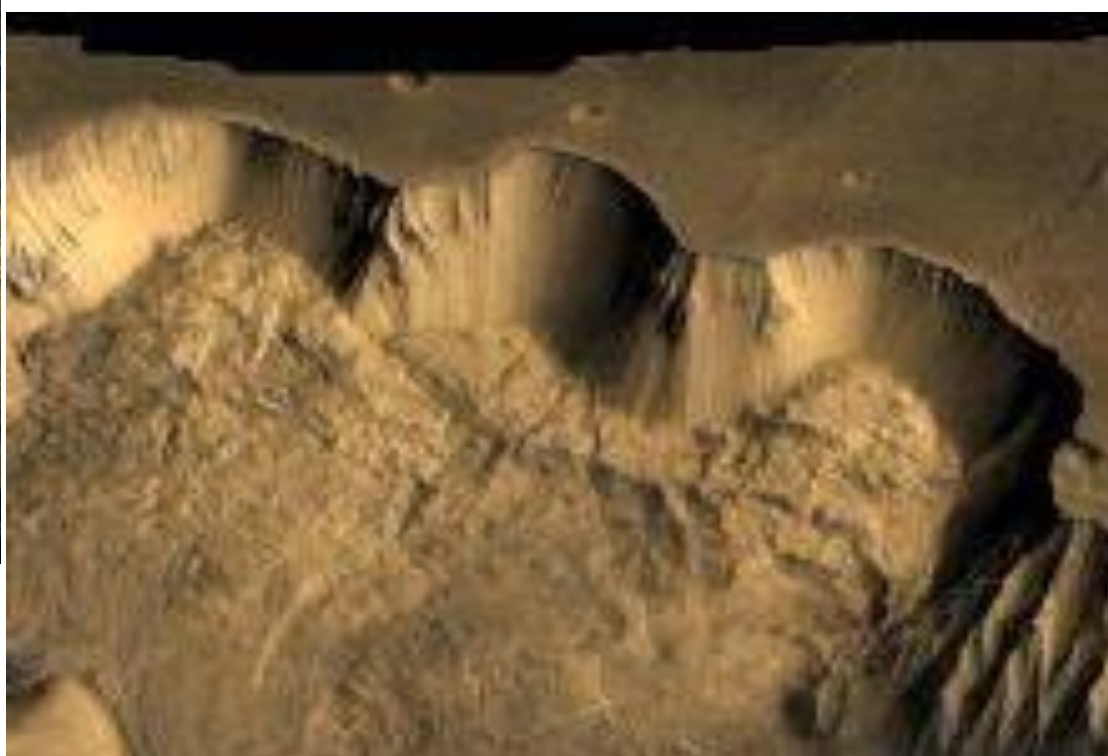
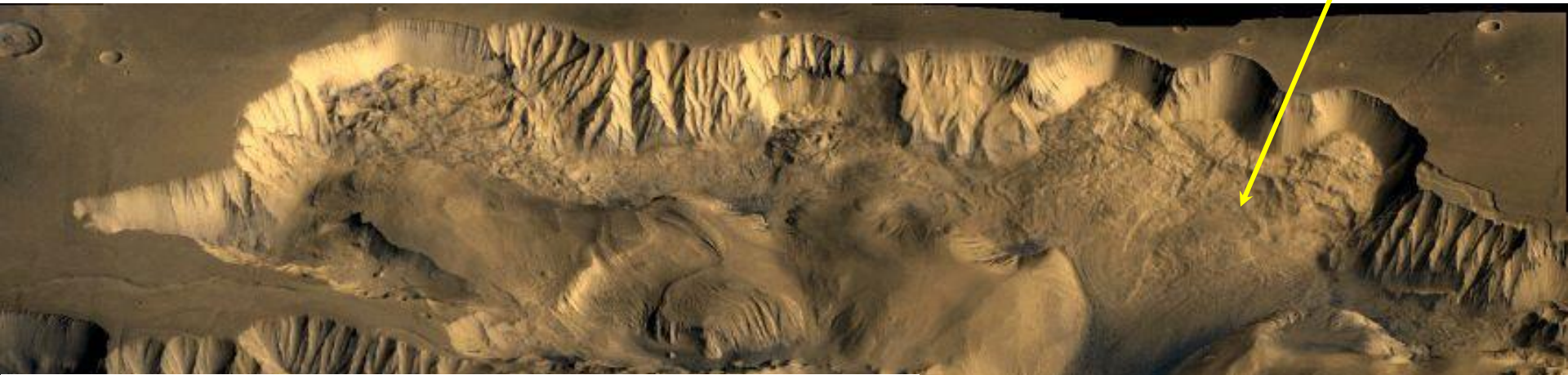


Réseau de drainage



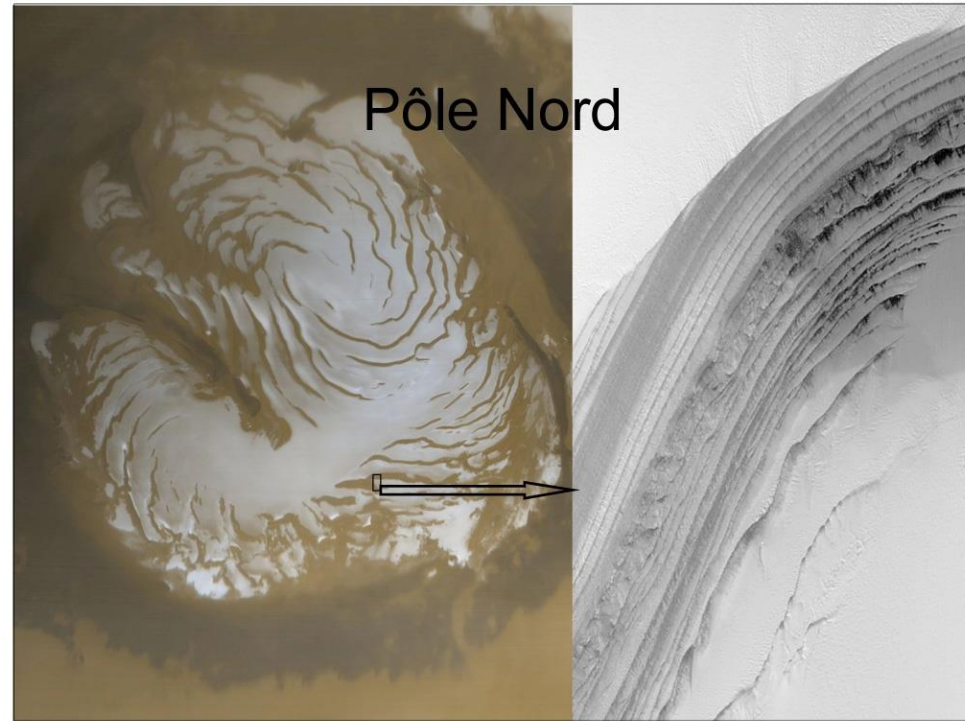
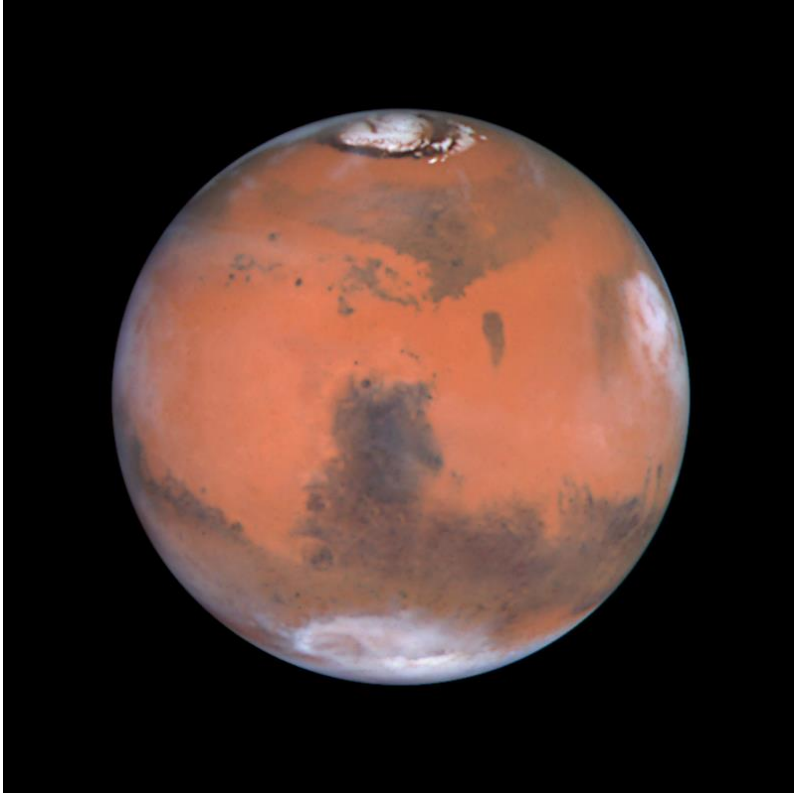
Eau sur Mars

Effondrement
gravitaire



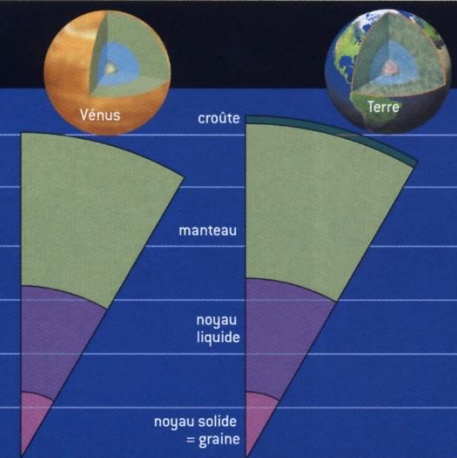
Eau sur Mars

Stockée aux pôles et en profondeur dans le sous-sol (pergélisol)

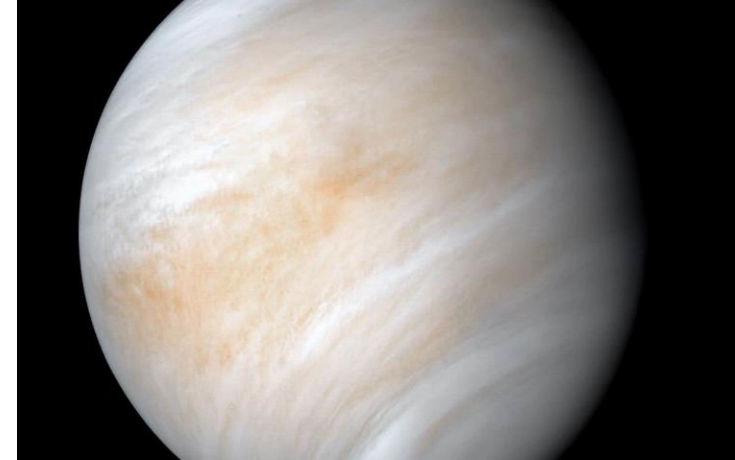


calotte glaciaire (Eau+CO₂)

Traces d'eau liquide ayant coulé dans le passé
=> Climat probablement plus chaud dans le passé
(atmosphère épaisse de CO₂ ?)

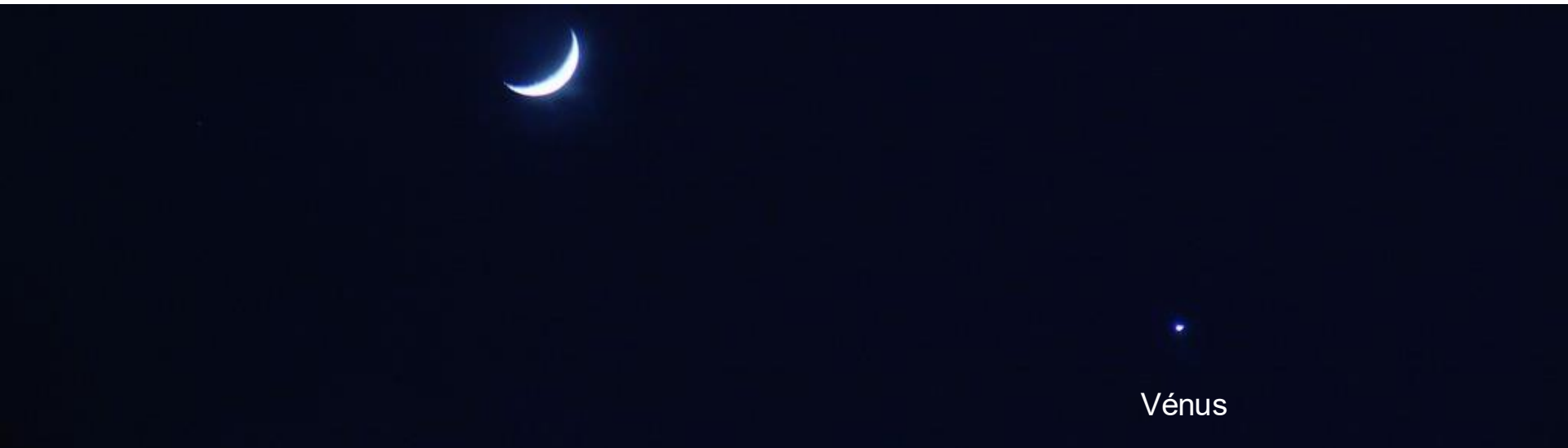


Vénus



Surface invisible car
masquée par l'atmosphère
extrêmement dense
 $P_{\text{atm}_V} > 100 P_{\text{atm}_T}$

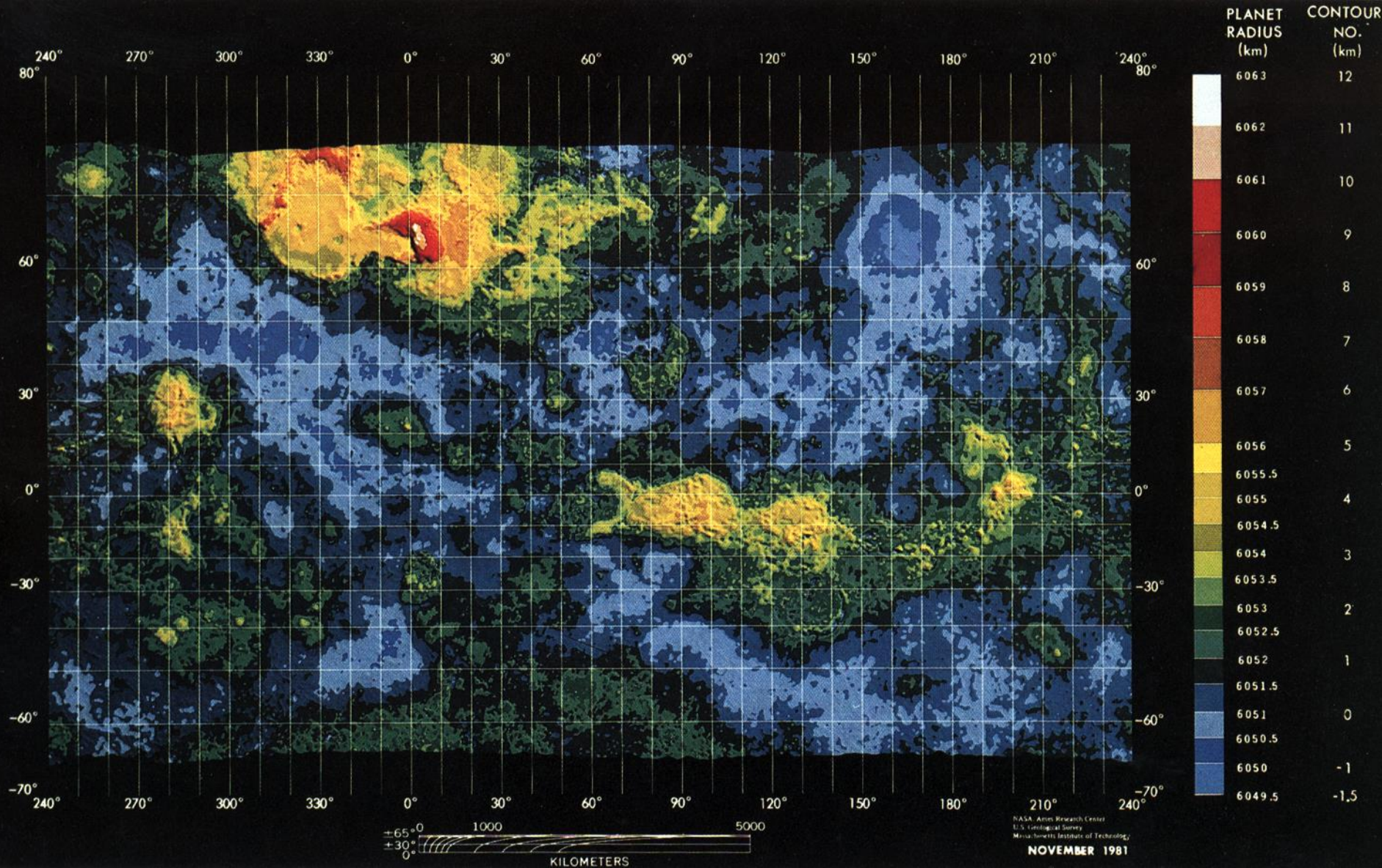
sœur "jumelle"
de la Terre



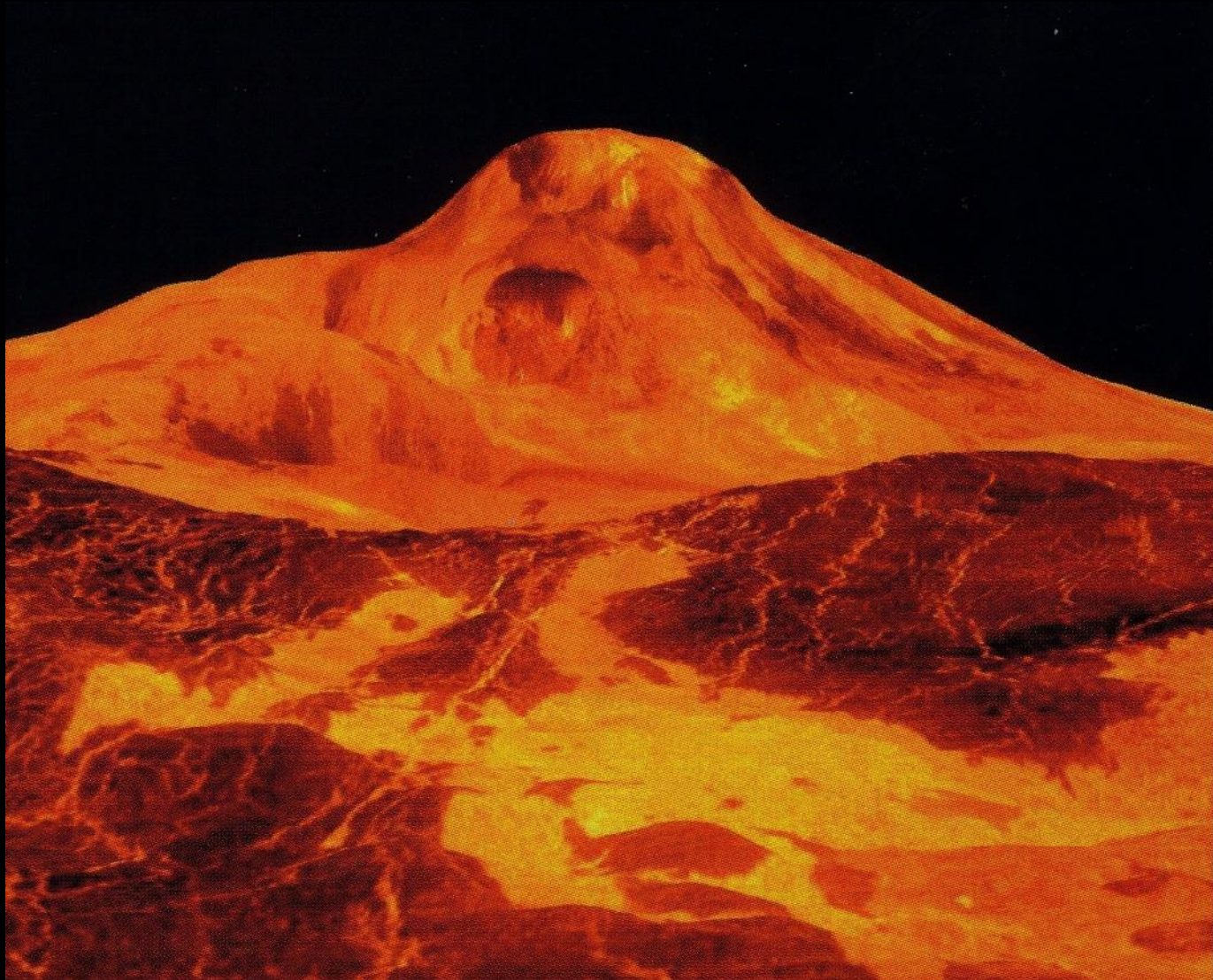
Vénus

l'astre le plus brillant du ciel, après le Soleil et la Lune

Topographie de Vénus

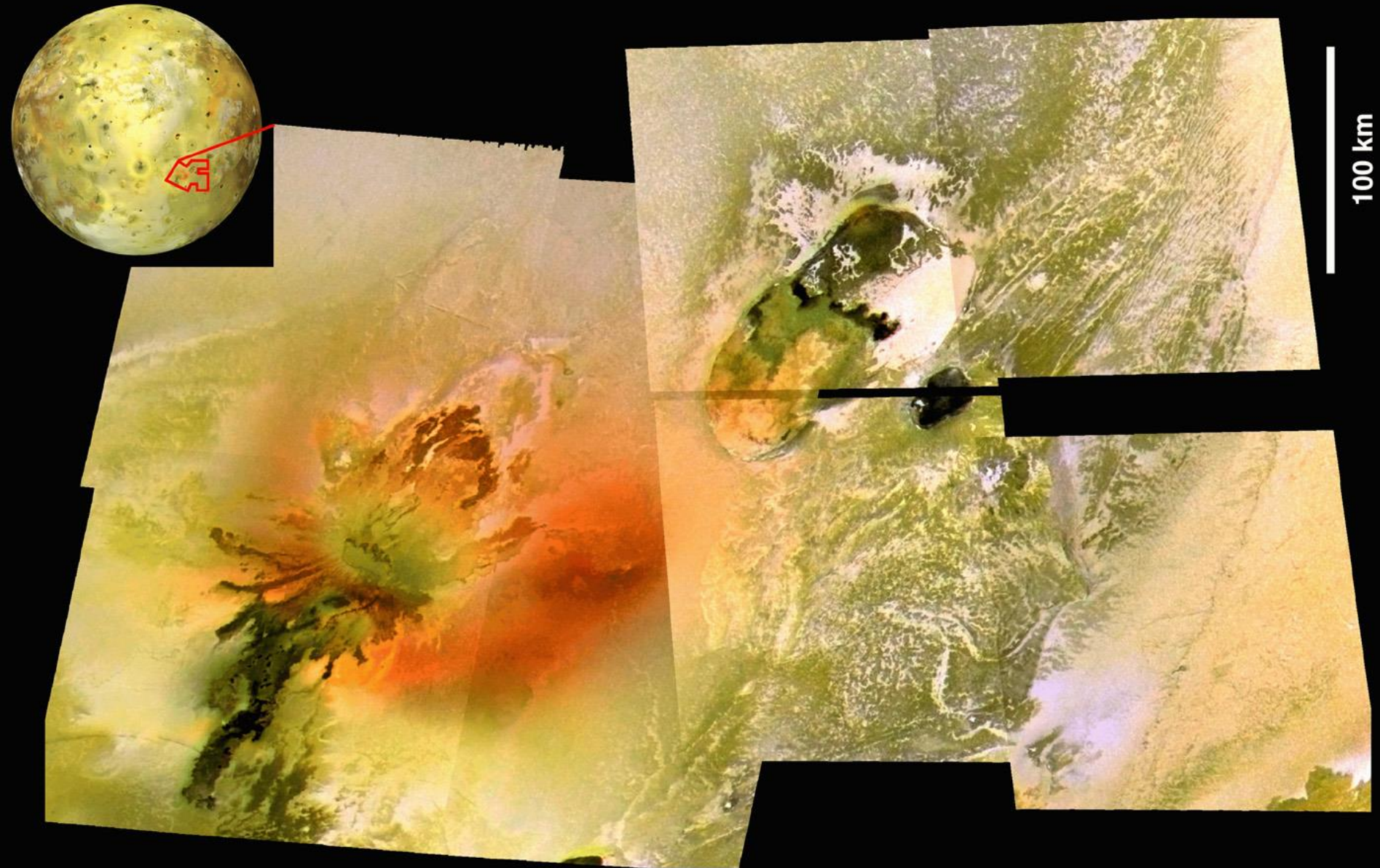


Maat Mons, le plus grand volcan de Vénus (h=15km),
parmi des milliers d'autres.
(image radar de Magellan)



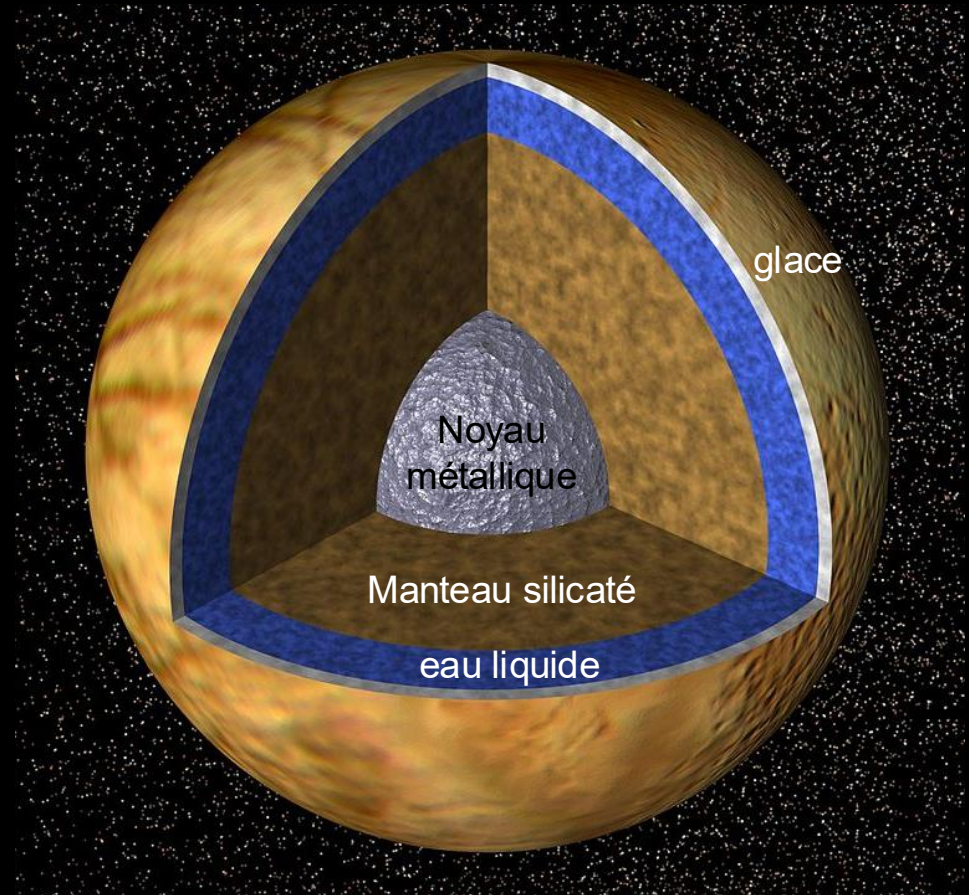
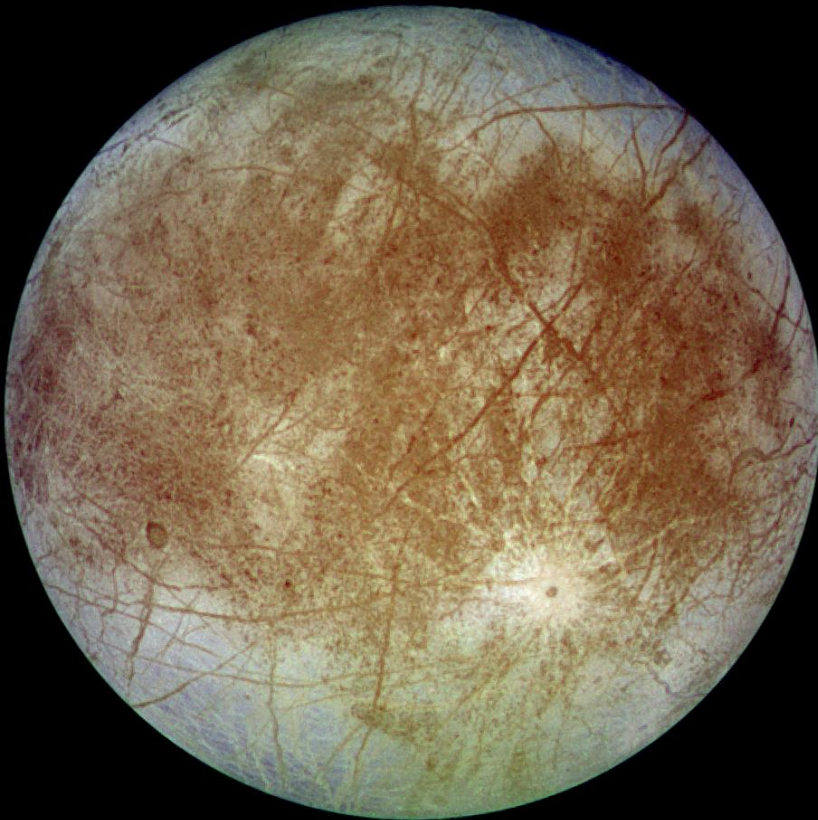
Io (satellite de Jupiter)

Volcanisme récent dû aux effets de marée de Jupiter)



Europe

(Satellite de Jupiter, diam.: 3121 km)



L1 Système Terre - Cours 1 : Le Système Solaire



Conclusions/points importants

1- Origine de sa matière

- Différentes phases d'élaboration de la matière : primordiale, stellaire, interstellaire
- Répartition des éléments dans l'univers

2- Organisation

- Une étoile : le soleil, des planètes telluriques et gazeuses
- Caractéristiques de rotation
- Phases de formation

3- Composition

- Soleil
- Planètes telluriques
- Planètes gazeuses
- Météorites
- La Lune

Questions

- Décrire les éléments formés lors des différentes phases d'élaboration de la matière.
- Âge de l'univers? Arguments?
- Répartition des éléments dans l'Univers?
- Faire un schéma du système solaire
- Phases de formation du système solaire?
- Caractéristiques principales du Soleil? Des planètes telluriques? Des gazeuses?
- Citer les différents types de météorites et leur origine
- Comment s'est formée la Lune?
- Comment la répartition des cratères permet-elle de connaître l'âge d'une planète?