

# Chapitre 1

## La Terre dans l'Univers

### 1-2 La composition chimique du système solaire

**Il n'y aura pas cours  
le jeudi 12 octobre  
(la semaine prochaine)**

# Le tableau de Mendeleiev

I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII	
1 H																		2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si		16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn					29 Cu	30 Zn	31 Ga		33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb		43 (Tc)					47 Ag	48 Cd	49 In		51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La*	72 Hf	73 Ta	74 W						80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	89 Ac**																

\*Lanthanides

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 (Pm)	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

\*\*Actinides

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu
----------	----------	----------	---------	----------	----------

**Classer les éléments selon leur “affinité”  
avec les diverses enveloppes des planètes  
(Goldschmidt)**

**Sidérophile = dans le fer (noyau)**

**Lithophile = dans les silicates  
(croûte + manteau)**

**Chalcophile = dans les sulfures**

**Atmosphile = dans l’atmosphère**

# Le tableau de Mendeleiev + Goldshmidt

I		II												III	IV	V	VI	VII	VIII
1 H																			2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F		10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si		16 S	17 Cl		18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn				29 Cu	30 Zn	31 Ga		33 As	34 Se	35 Br		36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb		43 (Tc)				47 Ag	48 Cd	49 In		51 Sb	52 Te	53 I		54 Xe	
55 Cs	56 Ba	57 La*	72 Hf	73 Ta	74 W						80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At		86 Rn	
87 Fr	88 Ra	89 Ac**																	

\*Lanthanides

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 (Pm)	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

\*\*Actinides

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu
----------	----------	----------	---------	----------	----------



*sidérophile*



*chalcophile*



*lithophile*



*atmophile*

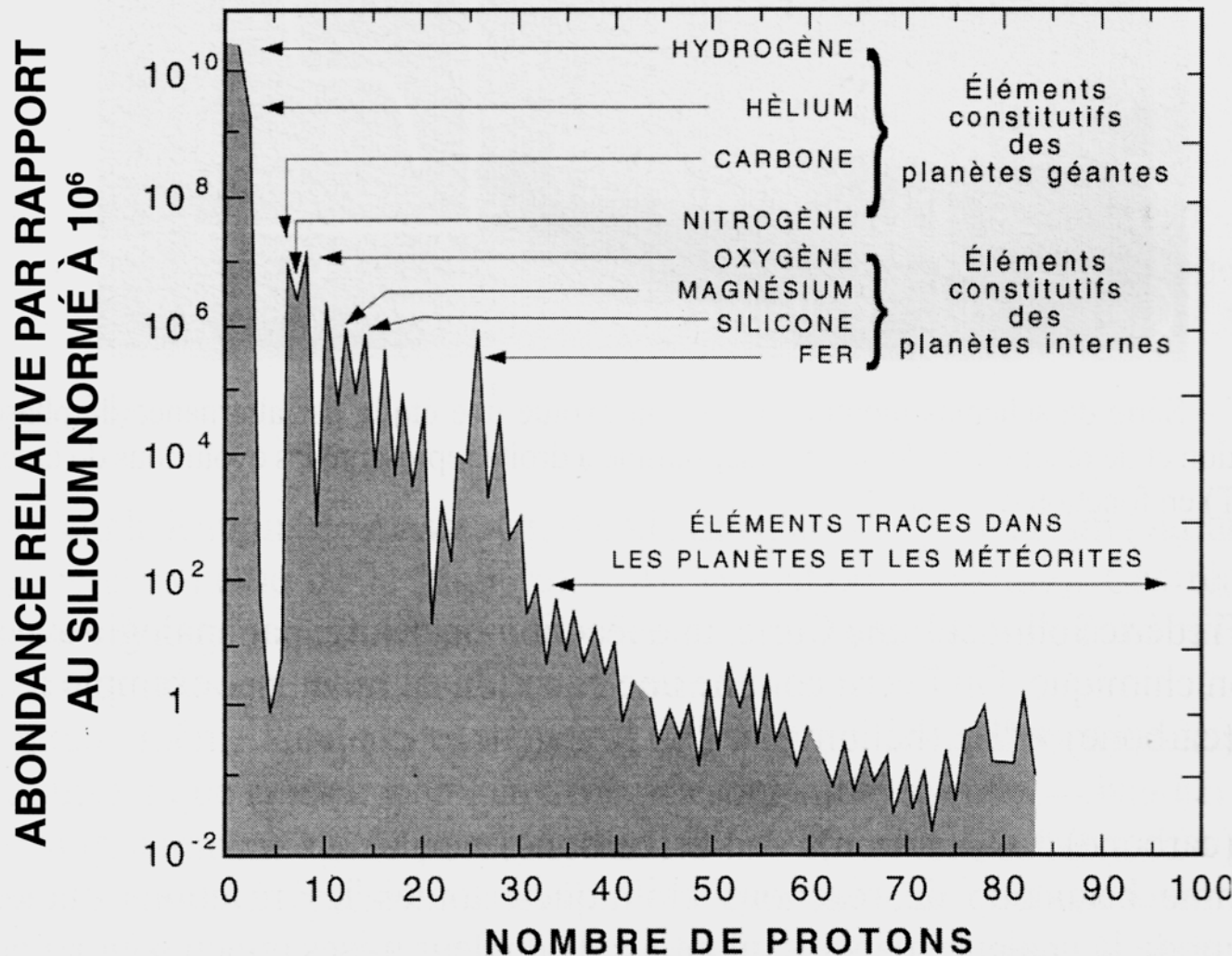
# Températures de condensation ( $P=10^{-4}$ bar)

H																	He
Li 1225	Be											B 964	C	N	O	F 736	Ne
Na 970	Mg 1340											Al 1680	Si 1311	P 1267	S 648	Cl	Ar
K 1000	Ca 1520	Sc 1644	Ti 1590	V	Cr 1300	Mn 1190	Fe 1336	Co 1351	Ni 1354	Cu 1037	Zn 660	Ga 997	Ge	As 1157	Se 684	Br	Kr
Rb 1080	Sr	Y	Zr 1750	Nb	Mo 1600	Tc	Ru 1600	Rh	Pd 1334	Ag 952	Cd	In 470	Sn 720	Sb 912	Te 680	I	Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W 1800	Re 1800	Os 1800	Ir 1600	Pt 1411	Au 1225	Hg	Tl 428	Pb 496	Bi 451	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-Lr															

La 1500	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu 1290	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb 1420	Lu 1590
Ac	Th 1590	Pa	U 1540	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

	<b>Réfractaire &gt; 1400 K</b>		<b>800-1250 K</b>
	<b>1250-1350 K</b>		<b>&lt; 800 K</b>

# Composition du système solaire = composition du Soleil (99,9% masse) (analyse spectroscopique de sa lumière)



Prédominance  
de H,  
puis He

# Chapitre 1

## La Terre dans l'Univers

1-3 Idées simples sur  
la nucléosynthèse  
et l'évolution des étoiles



Et avant la formation de la Terre  
et du système solaire ?

Le Big Bang date d'environ 14 Ga  
(résultat récent du satellite MAP:  $13,7 \pm 0,2$  Ga)

Le système solaire se construit il y a 4,5 Ga à  
partir des éléments formés dans les étoiles  
(fusion, absorption de nucléons,  
décroissance radioactive)  
et dispersés lors des explosions de supernova

Au tout début

...(ou plutôt ce que nous pensons être au début)

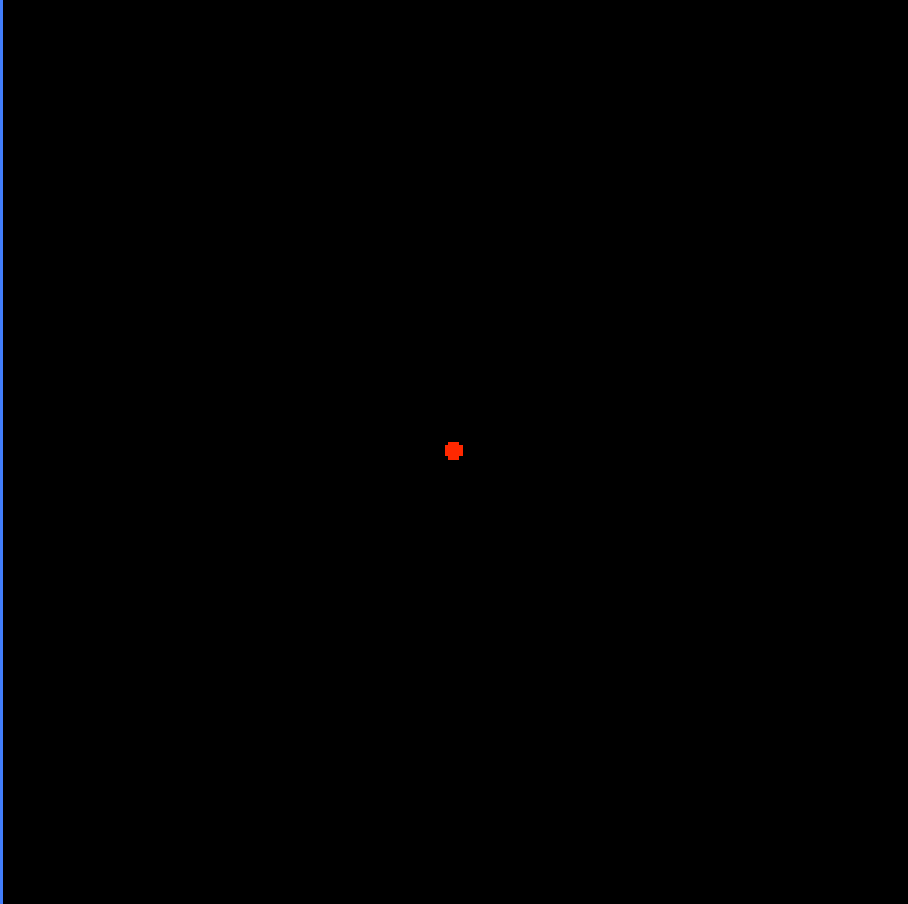
Energie

Le “Big Bang” : expulsion d’énergie dans toutes les directions

Expansion et refroidissement; atomes formés grâce à la conversion d’énergie en masse.

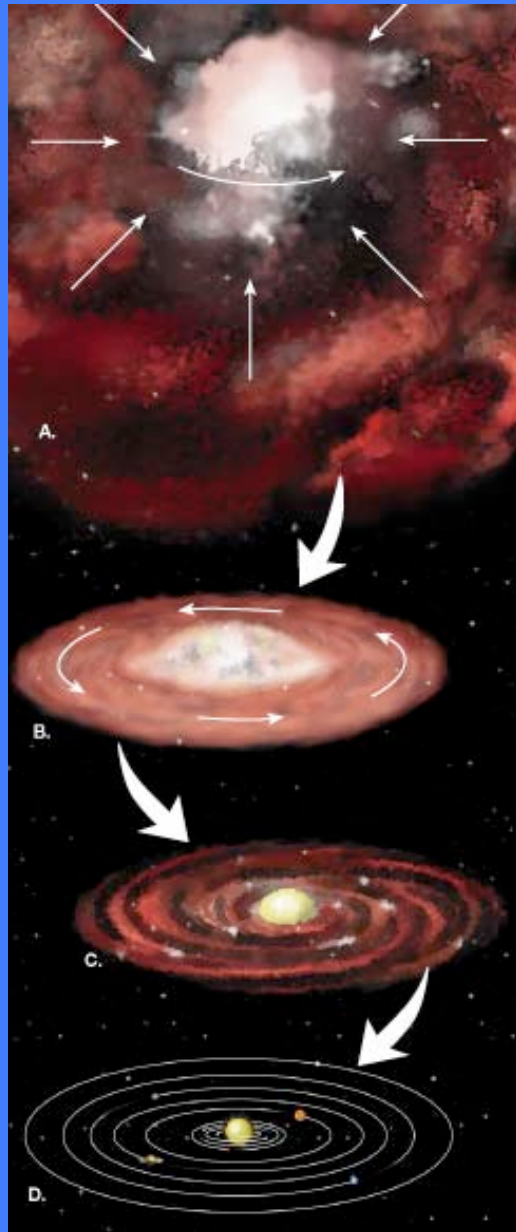
$E = mc^2$  (énergie = masse x vitesse lumière <sup>2</sup> )

# Formation des Galaxies



Etoiles et galaxies formées lors du Big Bang continuent de s'écarter du centre de l'explosion initiale.

# La nébuleuse solaire



**Paquets de gaz et de poussières s'accablent, Formant des gros "nuages" de nébuleuse.**

**Poussières et gaz se rassemblent dans le disque équatorial.**

**Les réactions nucléaires engendrent le Soleil**

**La matière se sépare en anneaux à des distances particulières du centre (Soleil) : loi de Bode. La matière se rassemble en planètes.**

# Formation et évolution d'une étoile

**Effondrement gravitaire d'un nuage de gaz et de poussières**

**Echauffement -> rayonnement et fusion (réactions thermonucléaires)  
-> énergie considérable**

- 1) La fusion de H en He se produit dans les zones externes de notre Soleil (actuel)
- 2) Les éléments légers sont brûlés (Li, Be, B)
- 3) En profondeur fusion de He pour former C,N,O (Soleil)
- 4) Fusion de C,N,O, pour former Mg,Ca,Si
- 5) on va ainsi jusqu'au Fe (max. de stabilité)
- 6) au delà de Fe absorption de neutrons par les noyaux

# Chapitre 1

## La Terre dans l'Univers

1-4 Idées simples sur  
la formation du système solaire

# Débuts du système solaire: l'hypothèse des protoplanètes

**Formation à partir de l'effondrement gravitationnel d'un nuage de poussières et de gaz en rotation (donc aplati par la force centrifuge).**

**La plupart de la masse est concentrée au centre; les parties externes sont turbulentes. Des instabilités déclenchent la condensation.**



# Débuts du système solaire: l'hypothèse des protoplanètes

**La plupart de la masse se condense au centre (Soleil). Les tourbillons récoltent la matière à l'échelle métrique; les petits corps (planétésimes) croissent et s'agrègent par collision, et deviennent de grands agrégats de gaz et de matière.**

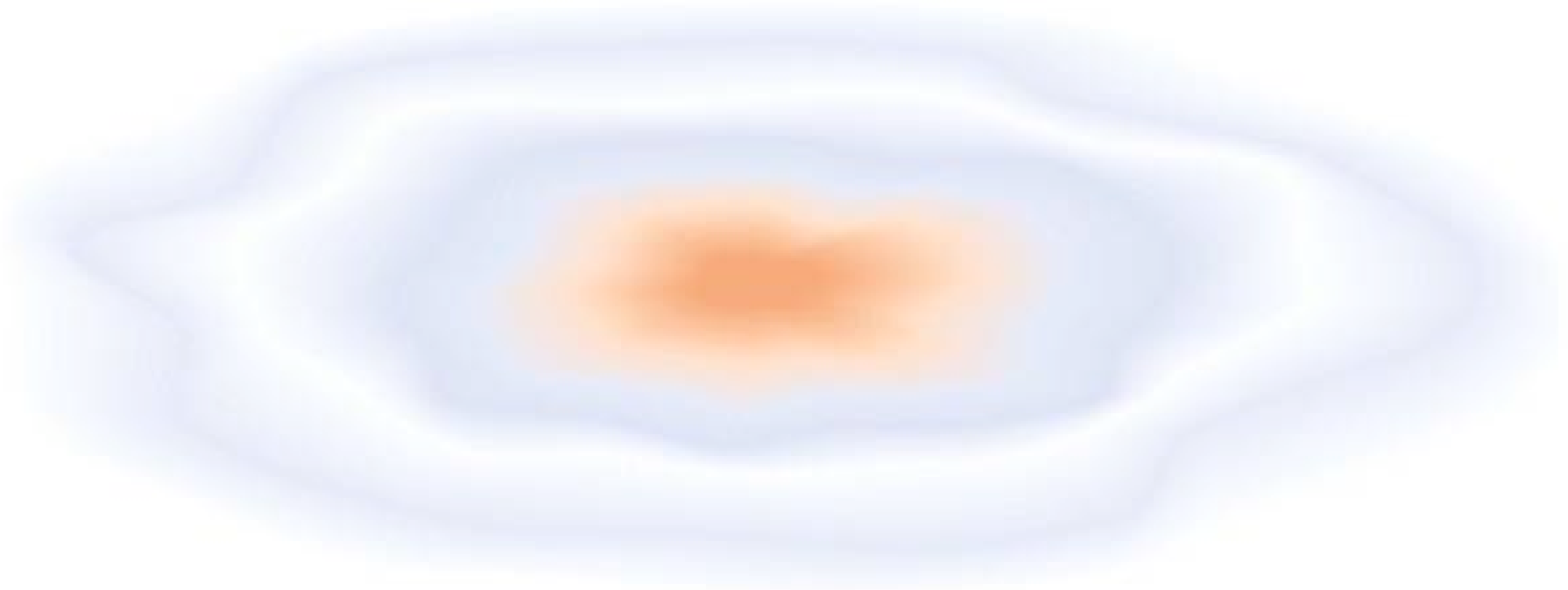
**Les protoplanètes, plus grandes que les planètes actuelles, se sont contractées.**

# Evolution du système solaire



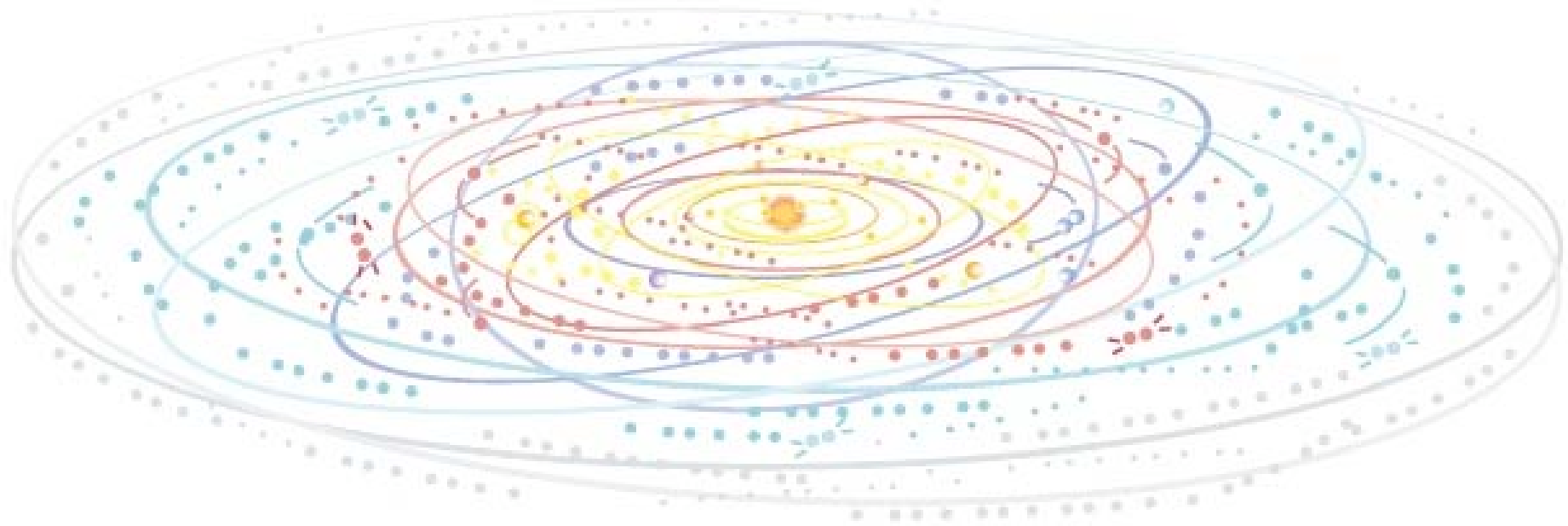
(a)

# Evolution du système solaire



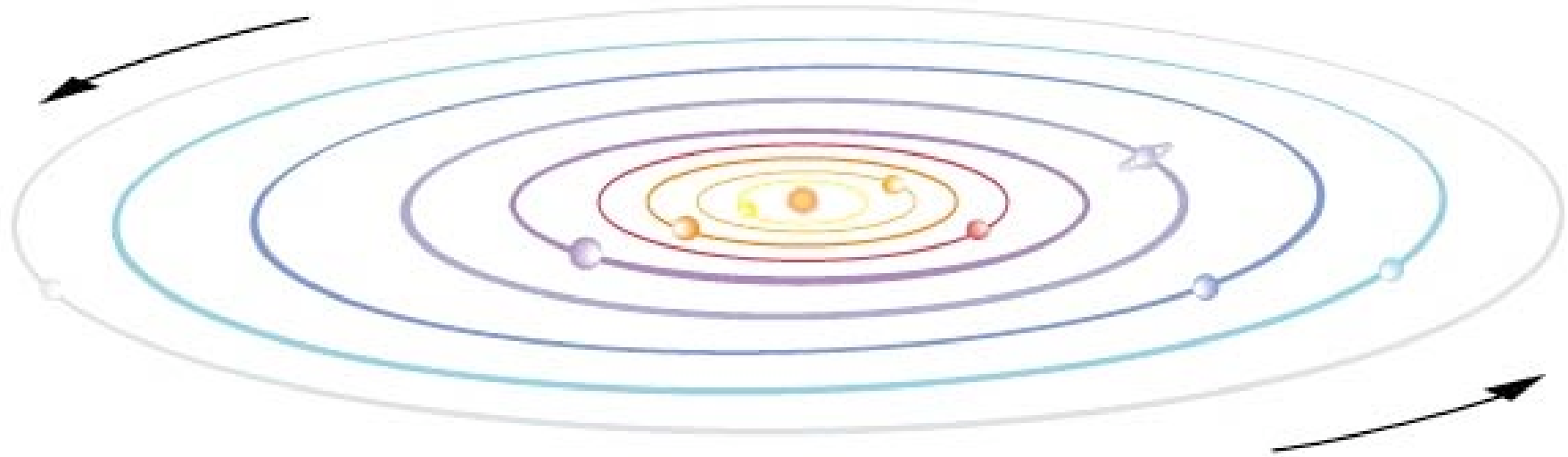
(b)

# Evolution du système solaire



(c)

# Evolution du système solaire



(d)

# Chapitre 1

## La Terre dans l'Univers

1-5 Séquence de condensation  
et  
zonation chimique héliocentrique

# La condensation du matériel planétaire

Equilibre gazeux (g)



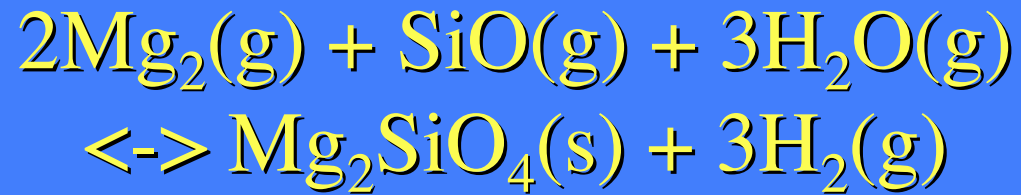
La loi d'action de masse relie les pressions partielles :

$$P_{\text{H}_2\text{O}}^2 / P_{\text{H}_2}^2 \cdot P_{\text{O}_2} = K(T, P)$$

La condensation introduit des phases solides (s),  
par exemple l'olivine magnésienne (forstérite)



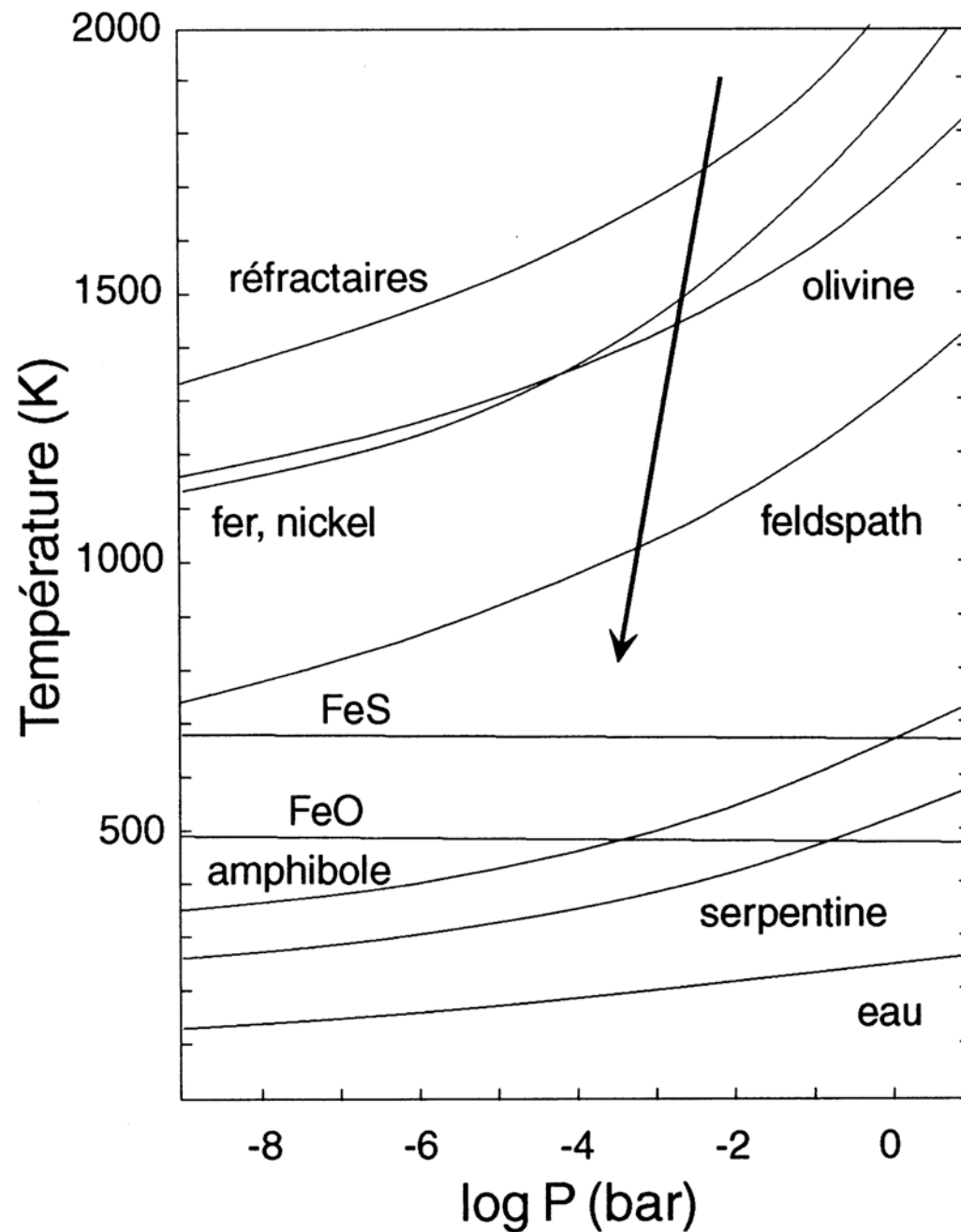
On peut écrire de la même façon:



Résolution (lourde) des équations (toutes les phases,  
tous les éléments, toutes les espèces chimiques)  
pour T décroissant:

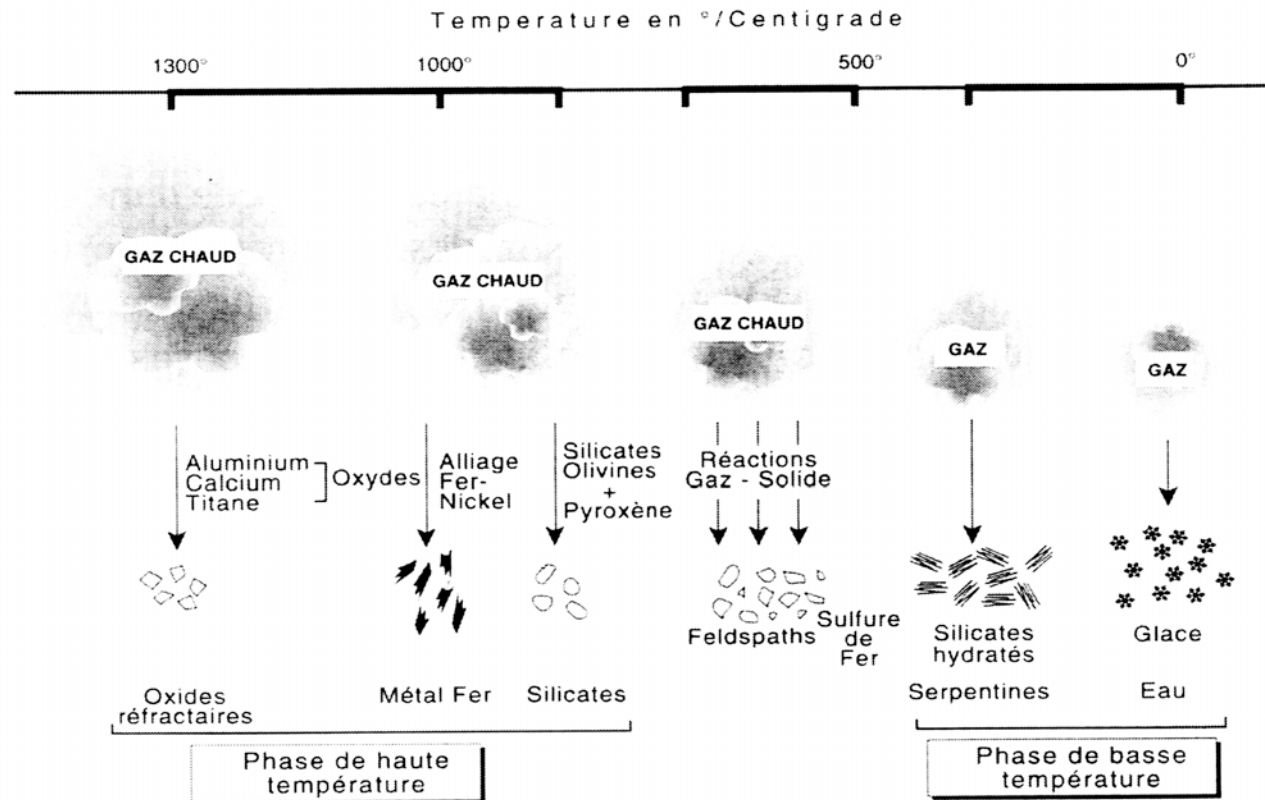
**Prédiction de la séquence de condensation**





**Séquence de condensation des différents minéraux à partir de la nébuleuse solaire**

**Hypothèse: refroidissement adiabatique d'un gaz de composition solaire**



**Séquence de condensation**  
**Fer=noyau, silicates=manteau**

# Chapitre 1

## La Terre dans l'Univers

### 1-6 L'apport des météorites

# Petits corps: astéroïdes et météorites: liens avec la composition du système solaire et des planètes

**l'astéroïde Ida**



**une chondrite**



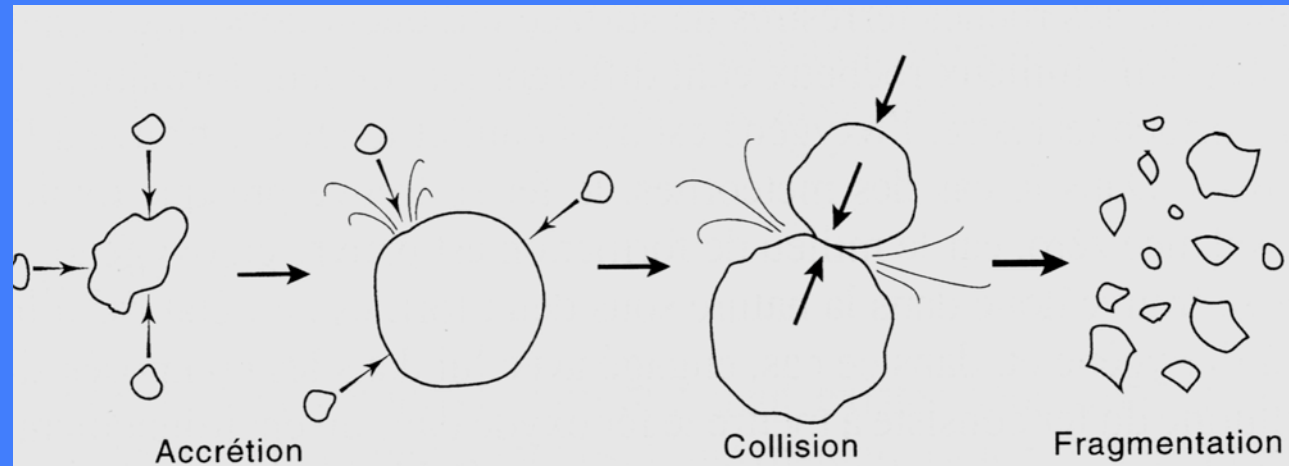
**une météorite de fer**

1) Phase chaude:  
formation des  
chondres

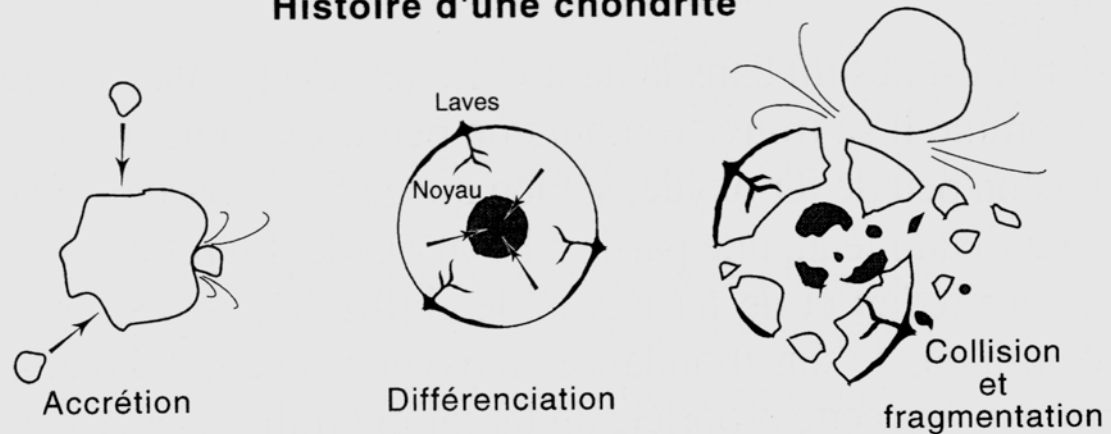
2) Basse  
température:  
agglomération des  
solides, poussières,  
chondrules  
refroidis

3) Agglomération  
du corps  
météoritique parent

4) Fragmentation



Histoire d'une chondrite

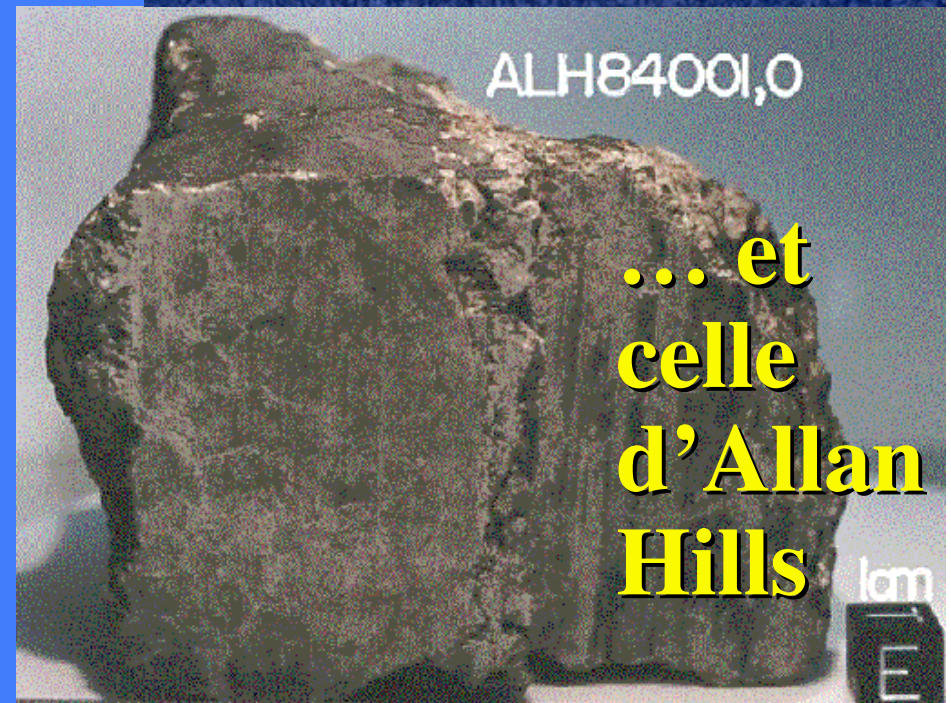


Histoire d'une achondrite basaltique  
ou d'une météorite de Fer

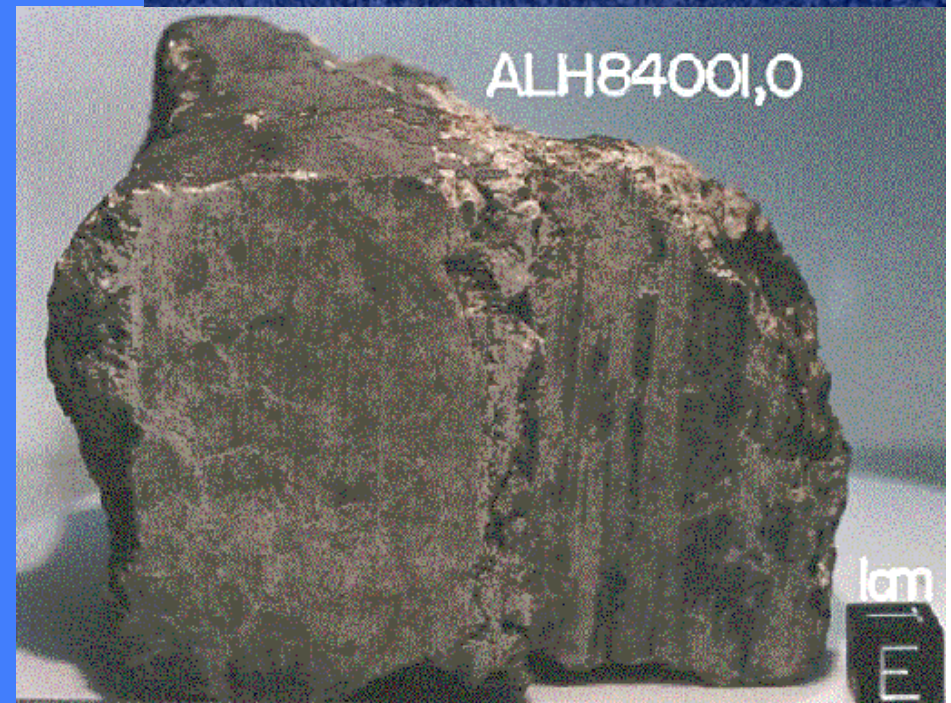
## Les météorites SNC

Ages jeunes (160 à 600Ma) -> volcanisme récent

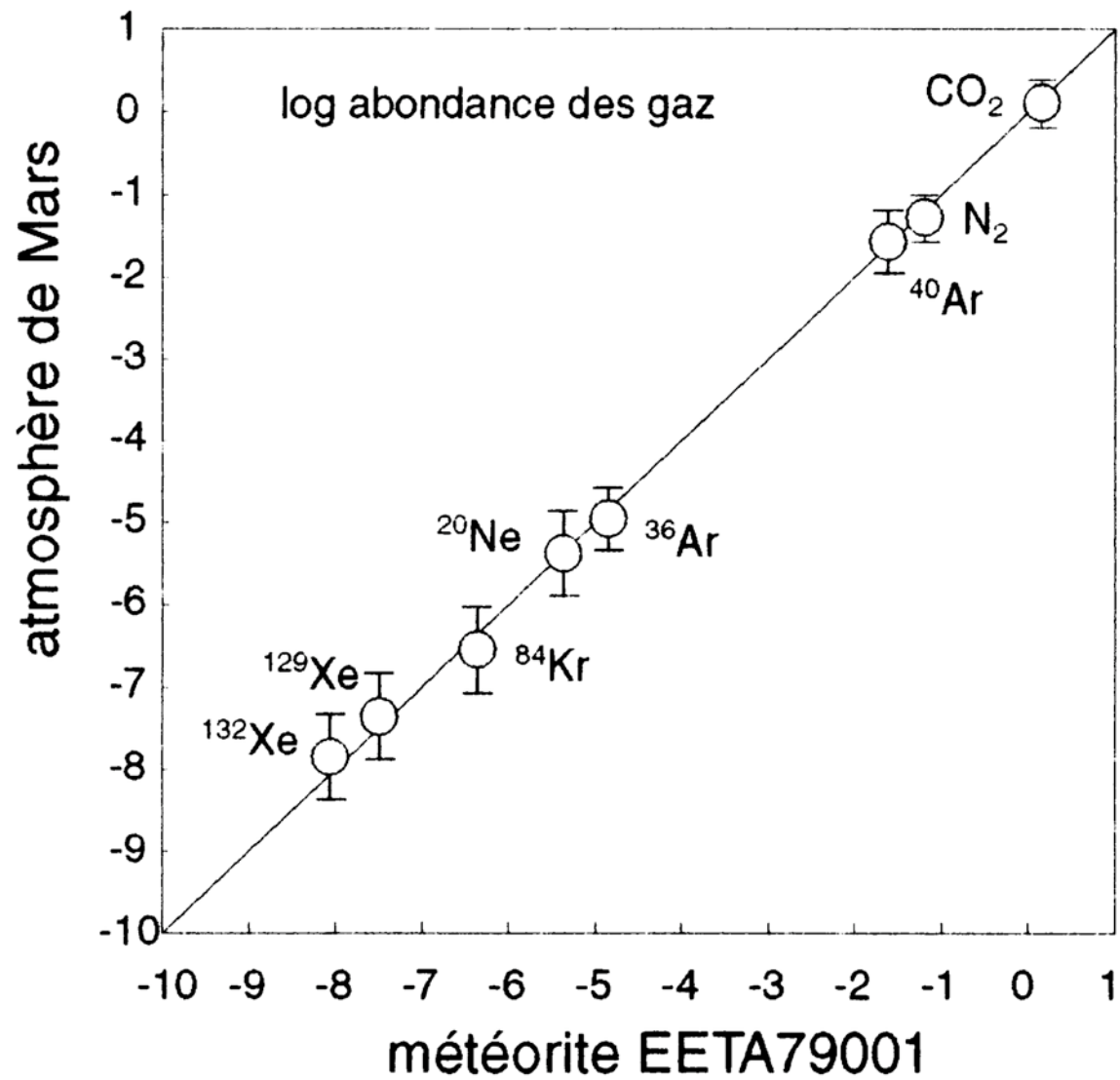
Ages d'exposition cosmique jeunes (quelques Ma) -> planète proche



**Les météorites SNC:  
des fragments de Mars  
sur Terre**



# On retrouve l'atmosphère martienne



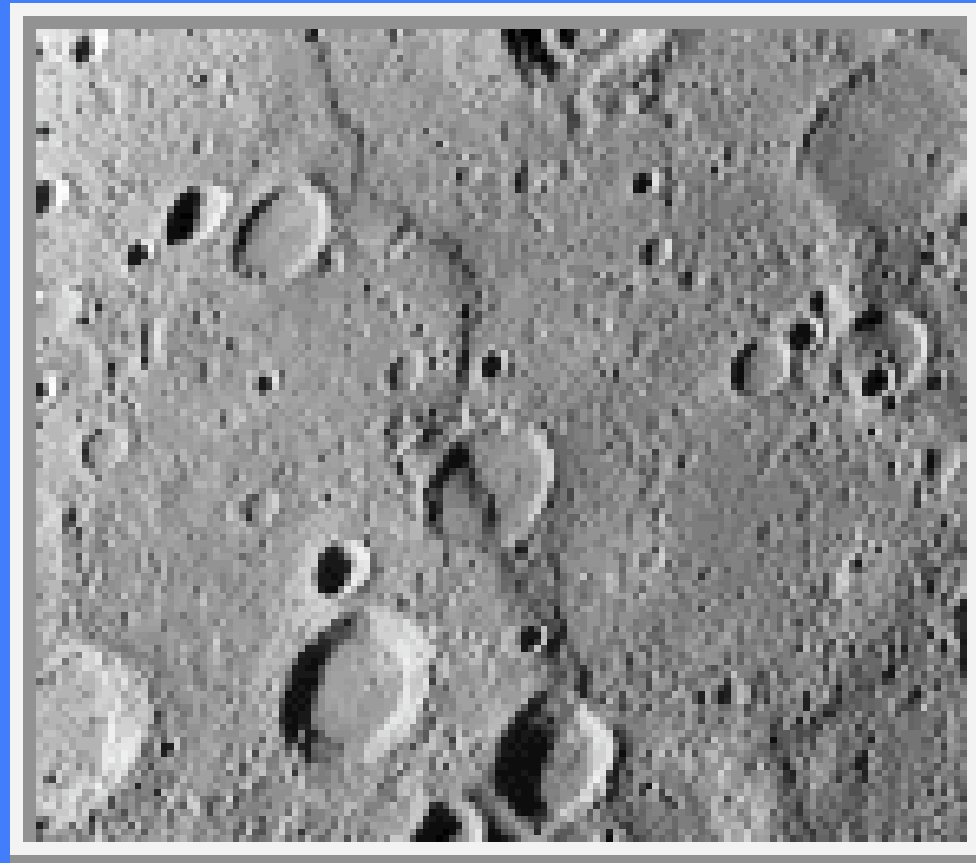


# Chapitre 1

## La Terre dans l'Univers

1-7 Un petit tour des planètes  
- planétologie comparée  
(importance des missions spatiales)

# Cratères et faille chevauchante sur Mercure



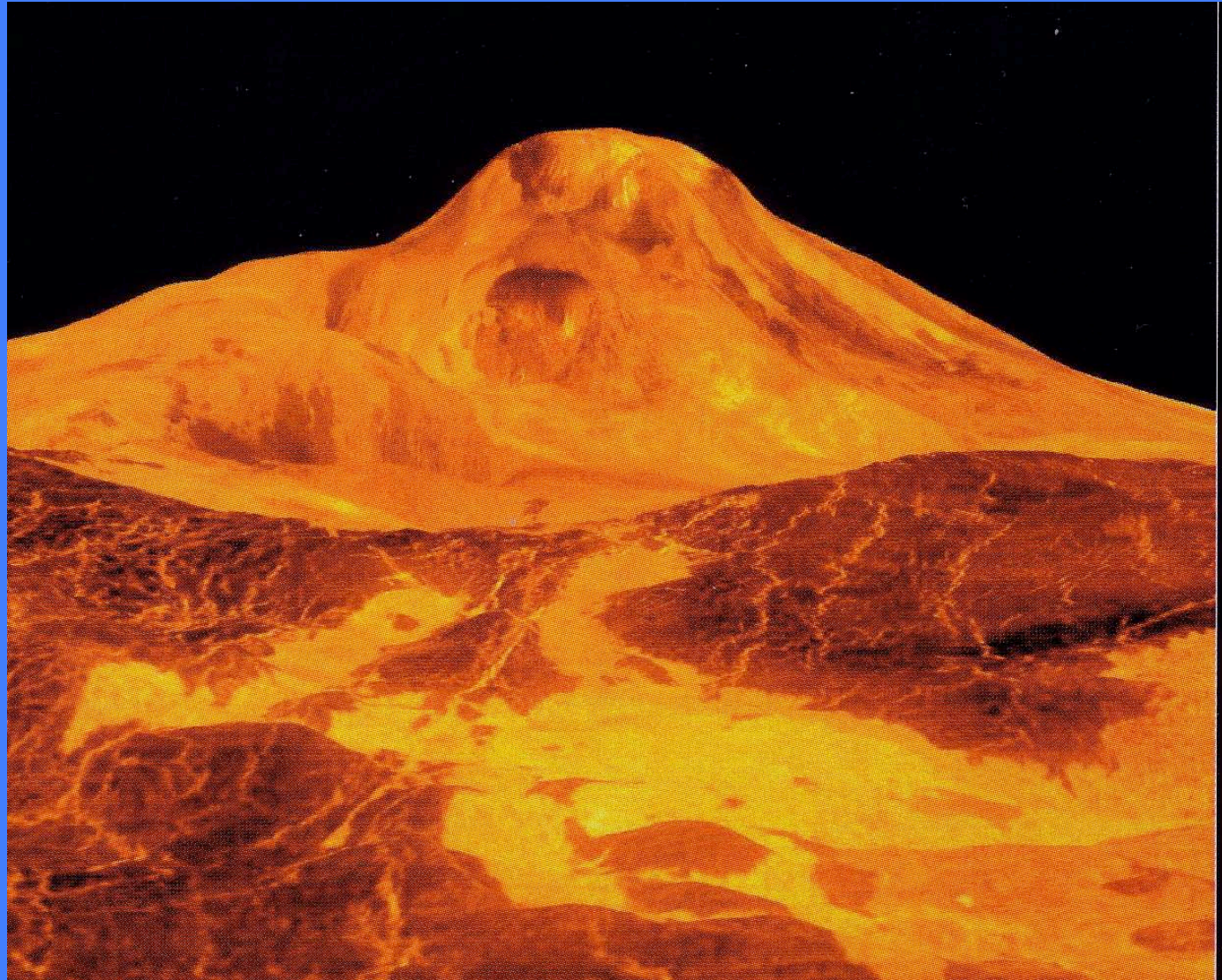
**Vénus:  
images  
optique  
et  
radar...**



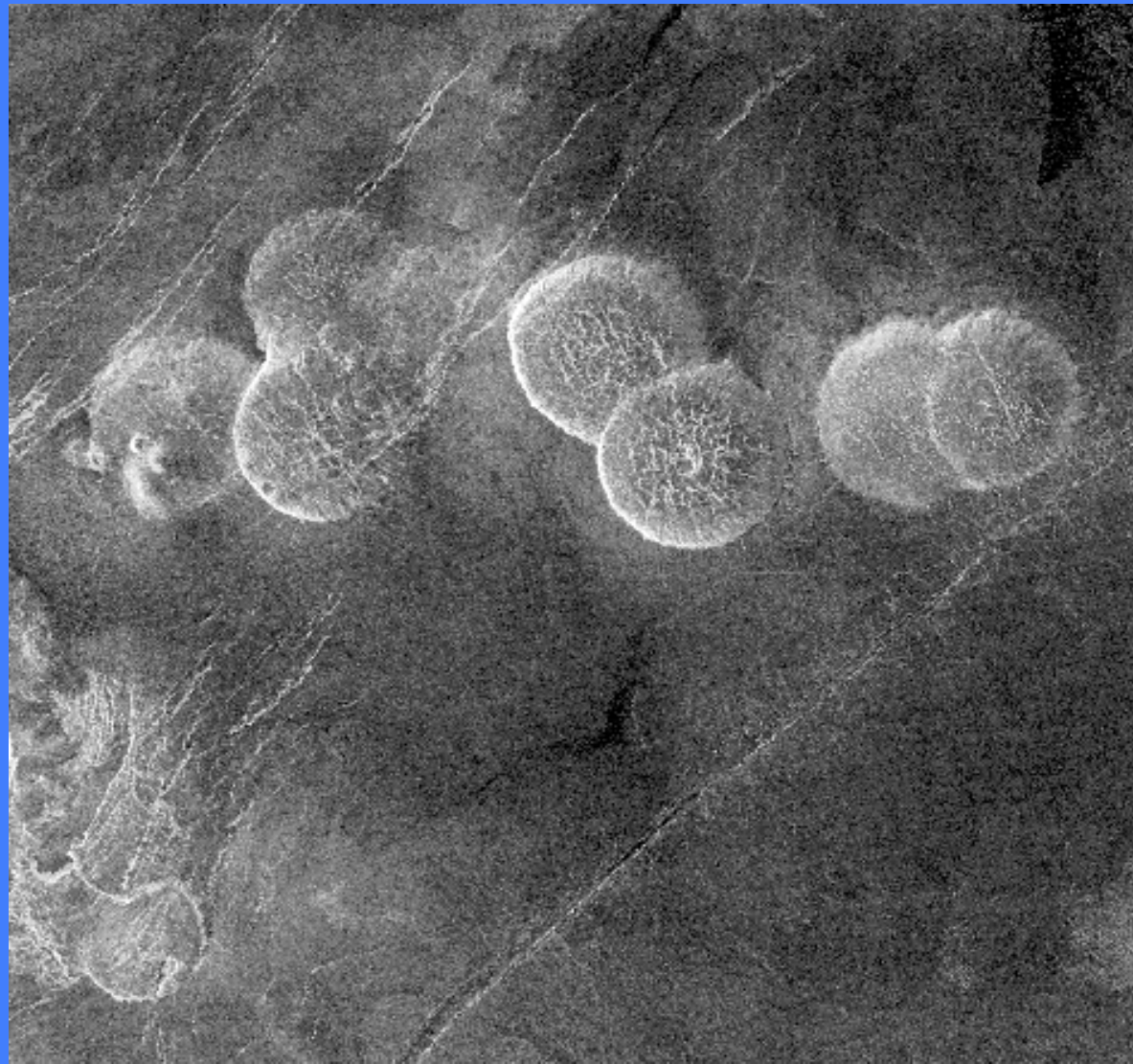
# VENUS



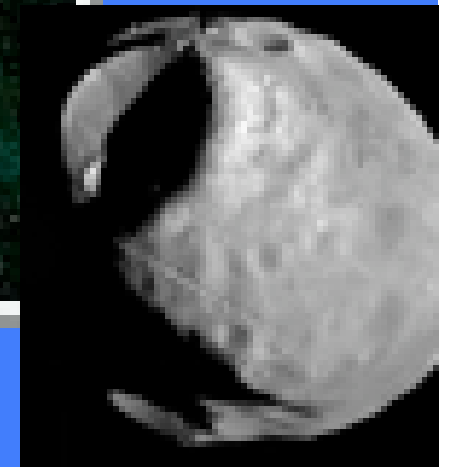
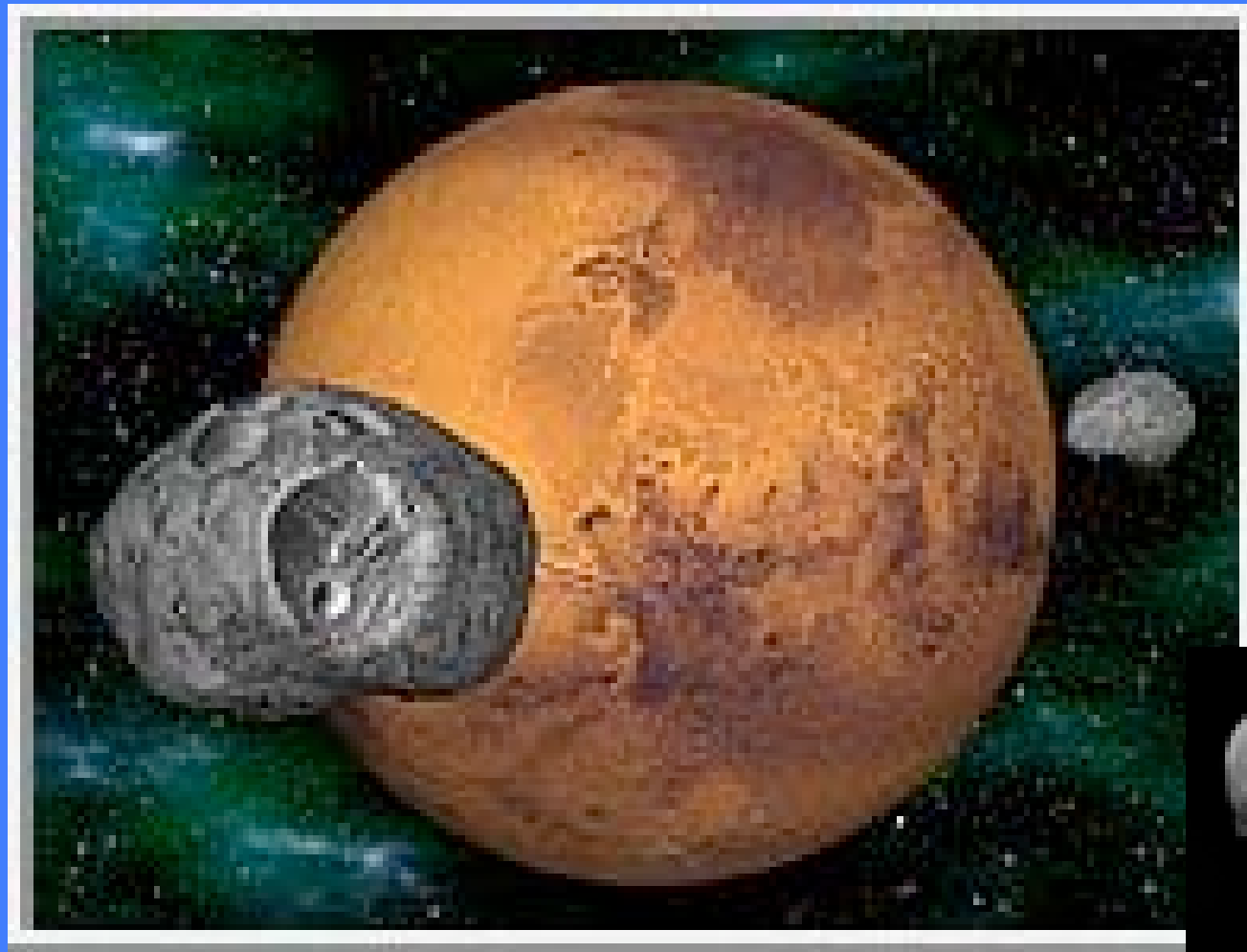
**Maat Mons,  
le plus grand volcan bouclier sur Vénus  
(image radar de Magellan)**



# Dômes de lave



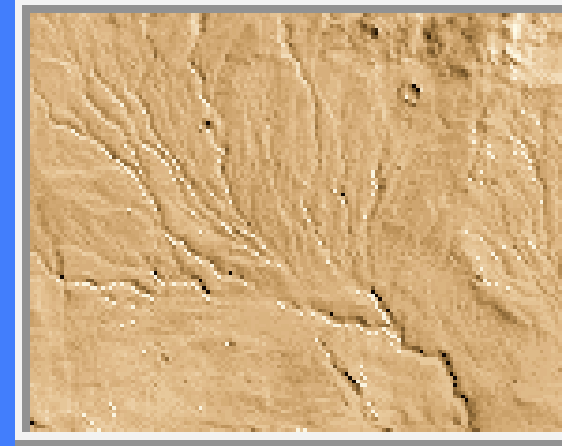
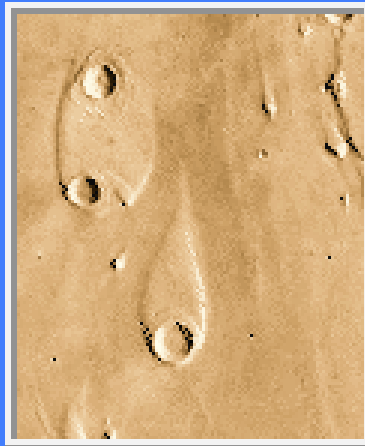
# Mars et ses satellites...



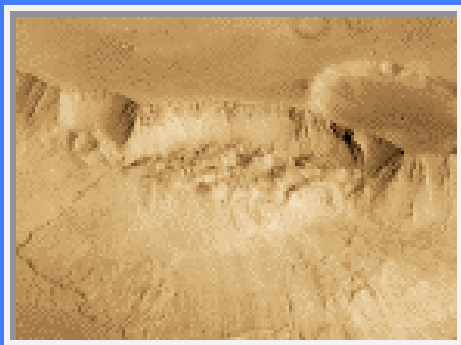
# Mars est une planète qui a (ou a eu):



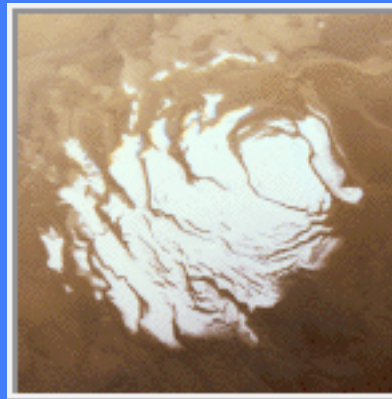
**Du volcanisme...**



**de l'eau (érosion, îles, et réseau fluvial)**



**Des glissements de terrain**

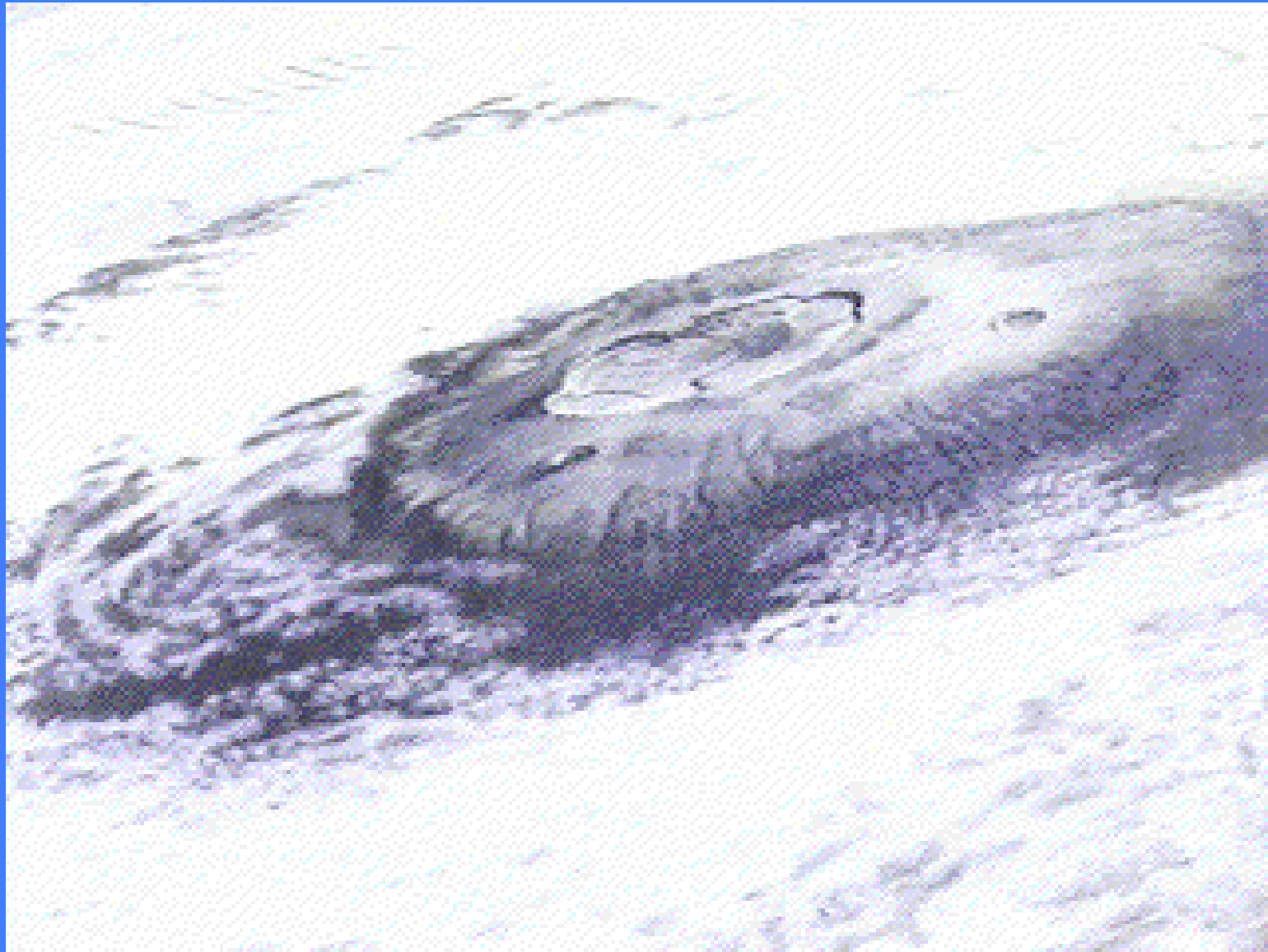


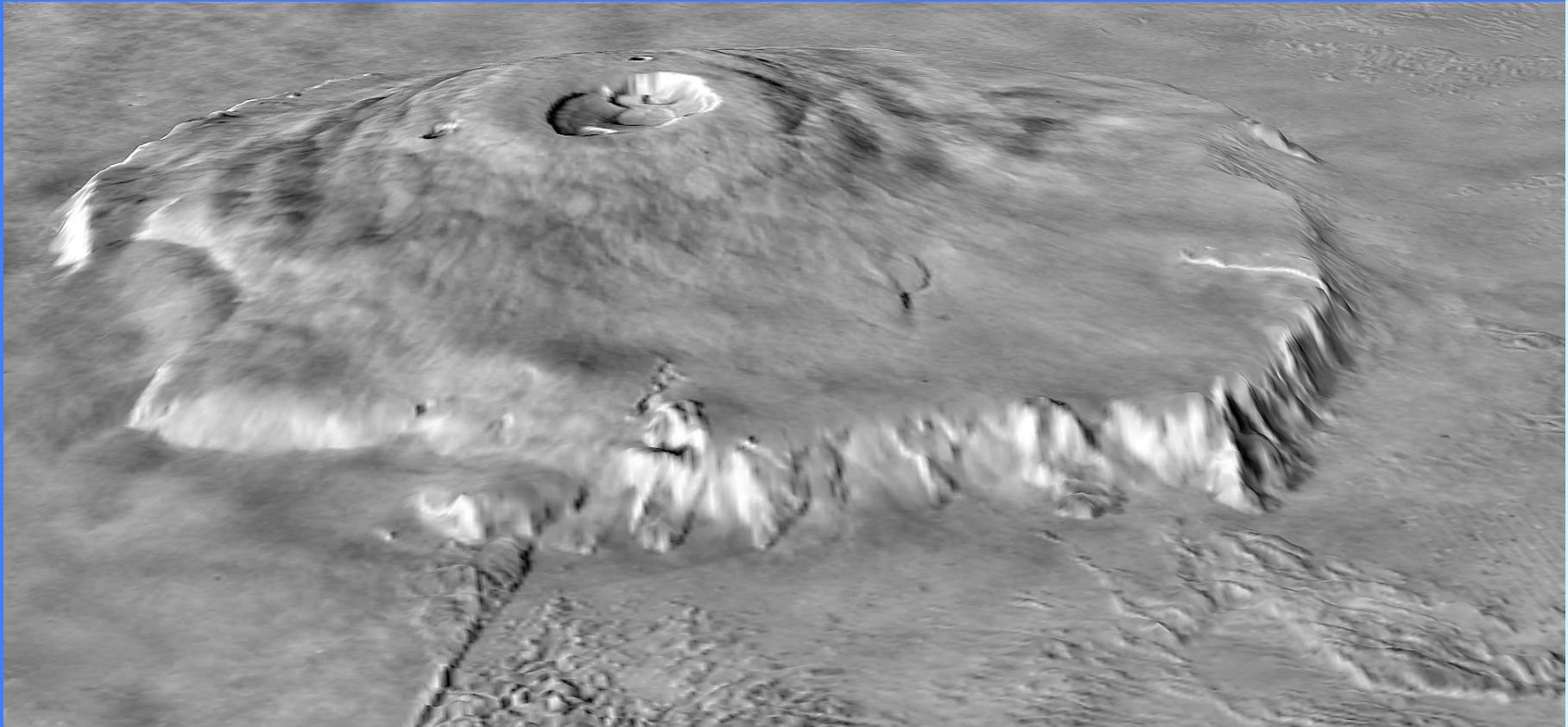
**des calottes  
glaciaires (CO<sub>2</sub>)**





OLYMPUS MONS : 23 km height, 600 km diameter





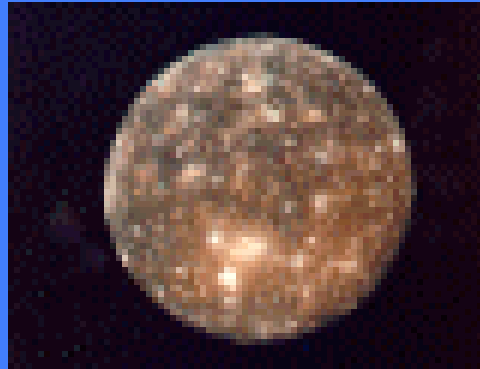
Accélération de la pesanteur sur Mars  $\approx 1/3$  de la Terre

Altitude de 23 km sur Mars  $\approx 23/3$  sur Terre  
 $\approx 8$  km (volcan Kilauea, Hawaii)

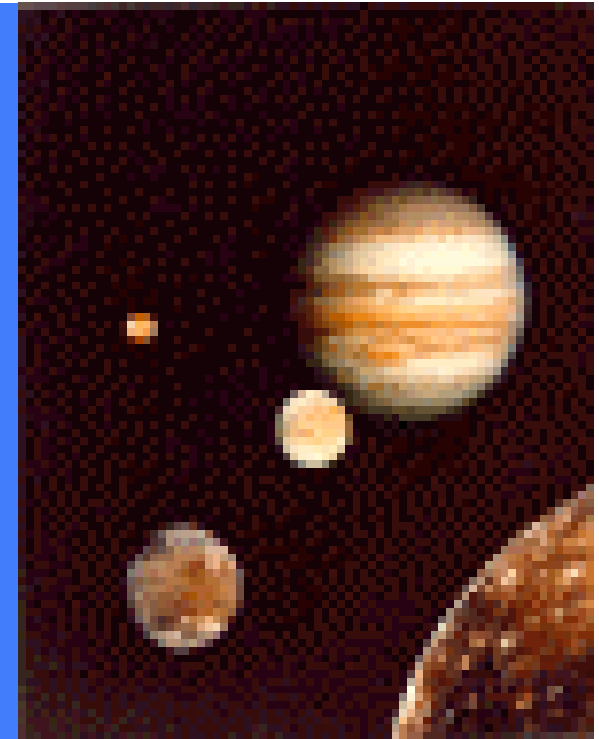
# Jupiter a son système de « planètes telluriques »



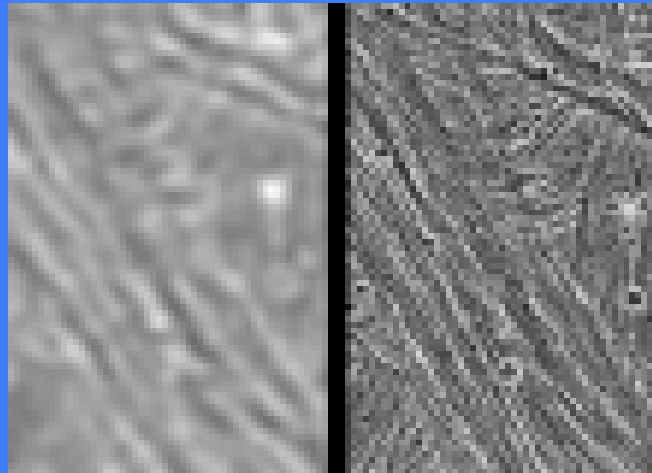
**Io**



**Callisto**



**Europa**



**Ganymède**  
(résolution comparée: Voyager/Galileo)

**Jupiter a porté les marques  
des impacts multiples de la comète  
fragmentée Shoemaker-Levy**

