

# CHOCS DANS LE SYSTEME SOLAIRE

*Des origines aux catastrophes*

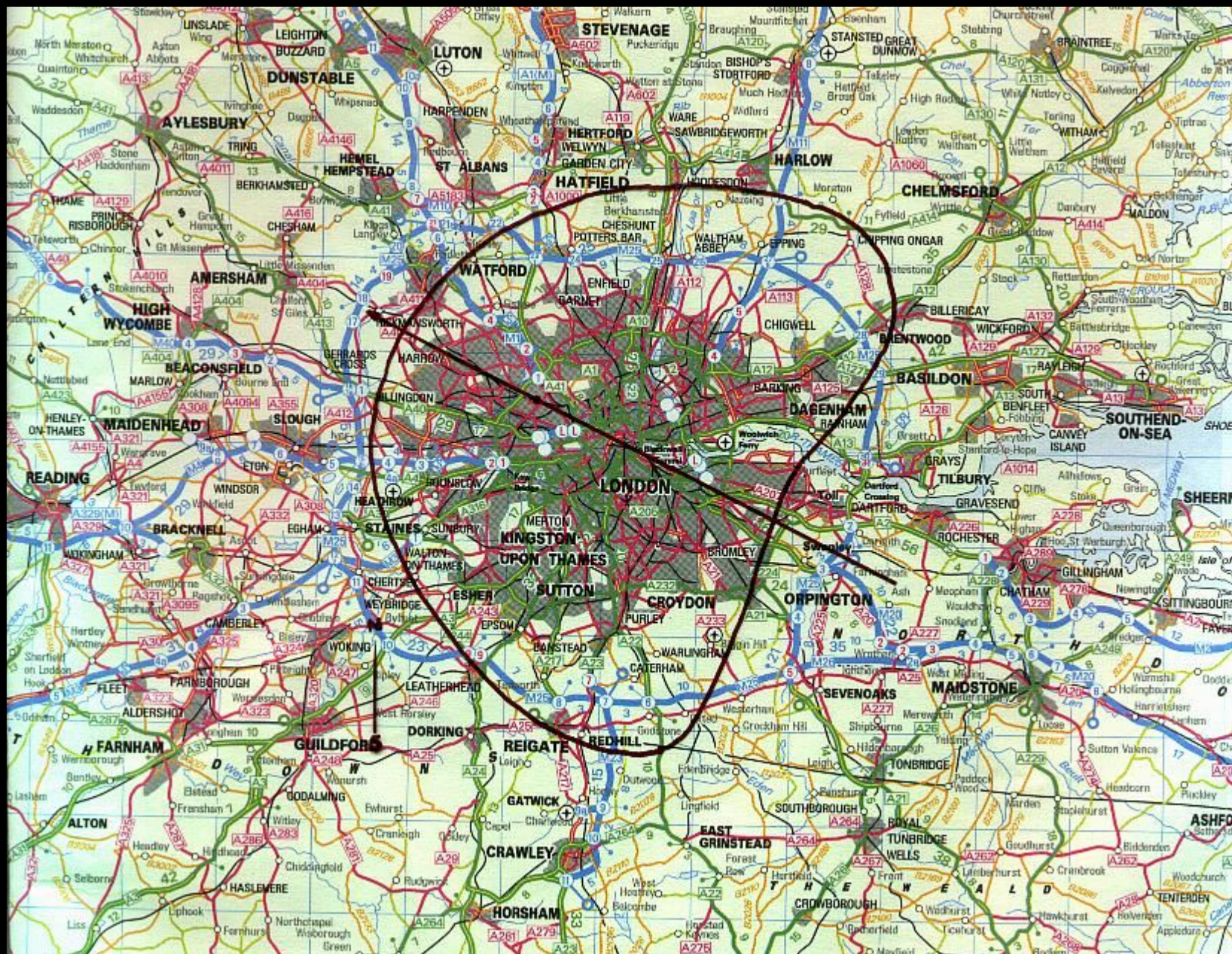


**Le 30 juin 1908**

***A moins de 20 km de l'épicentre de Tunguska les 600 à 700 rennes de Vasiliy Dzhenkoul furent instantanément réduits en cendres, les chiens furent brûlés vifs, toutes les tentes des nomades furent brûlées ainsi que tous les stocks de nourriture et de bois.....***









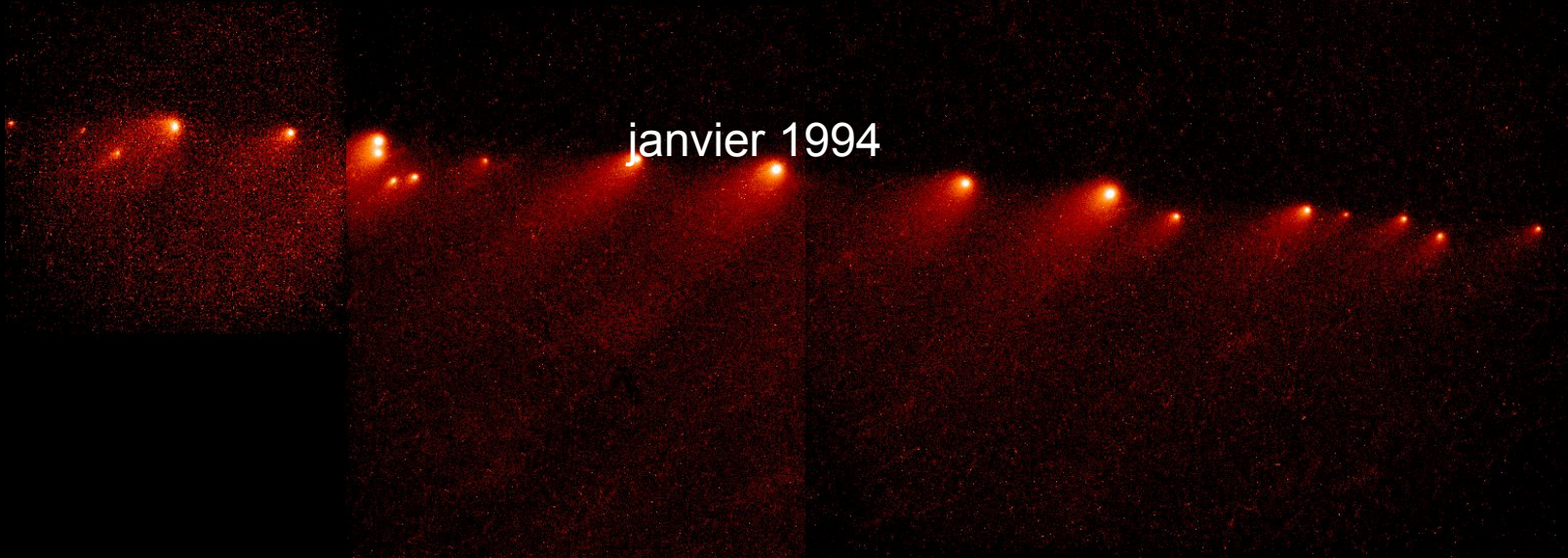
mars 1993

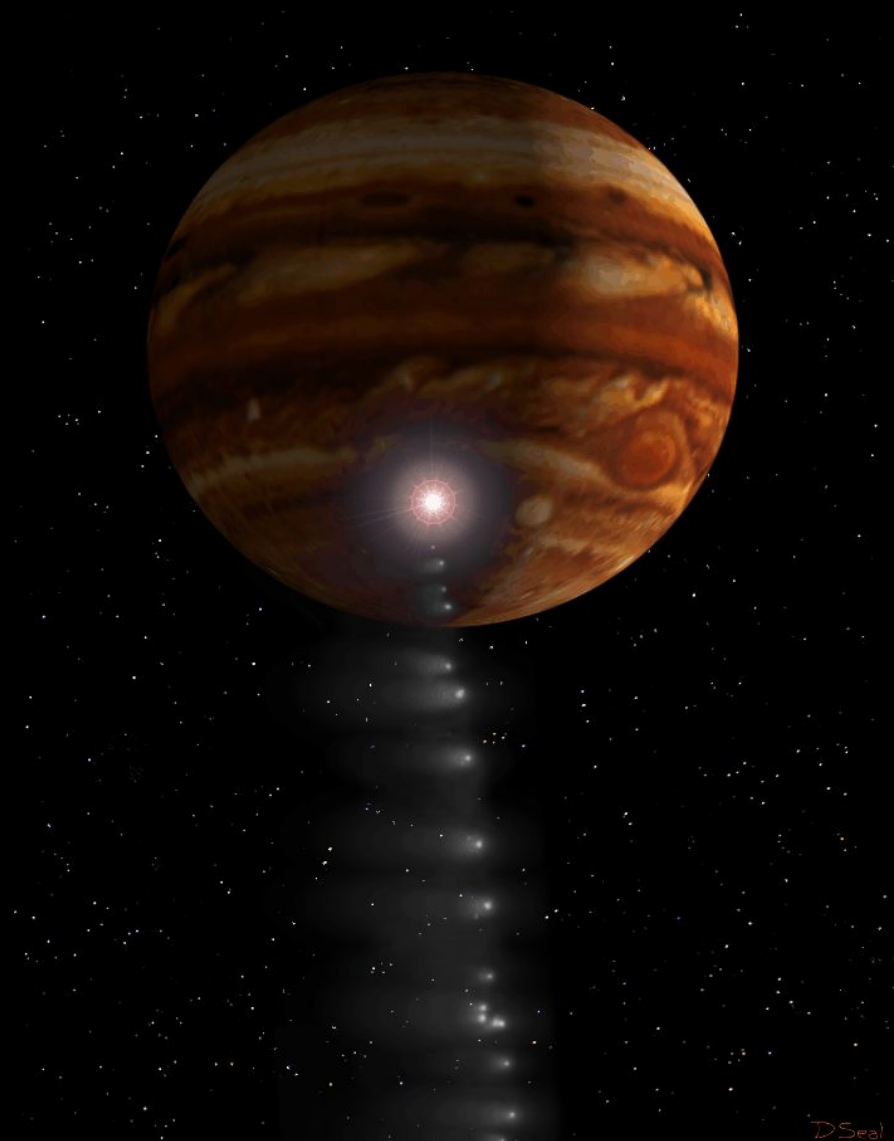


# Shoemaker-Levy 9

*Un choc en direct entre  
une comète et Jupiter*

janvier 1994





# Jupiter in Ultraviolet

Juin-juillet 1994



↑ H    ↑ N    ↑ Q<sub>2</sub>    ↑ D/G    ↑  
      B    Q<sub>1</sub>    R            L

Hubble Space Telescope  
Wide Field Planetary Camera 2



18/07/94 - 09:19 TU



21/07/94 - 06:22 TU



23/07/94 - 08:08 TU



Janvier 2000



Tagish Lake

# *Les figures de chocs dans le Système Solaire*

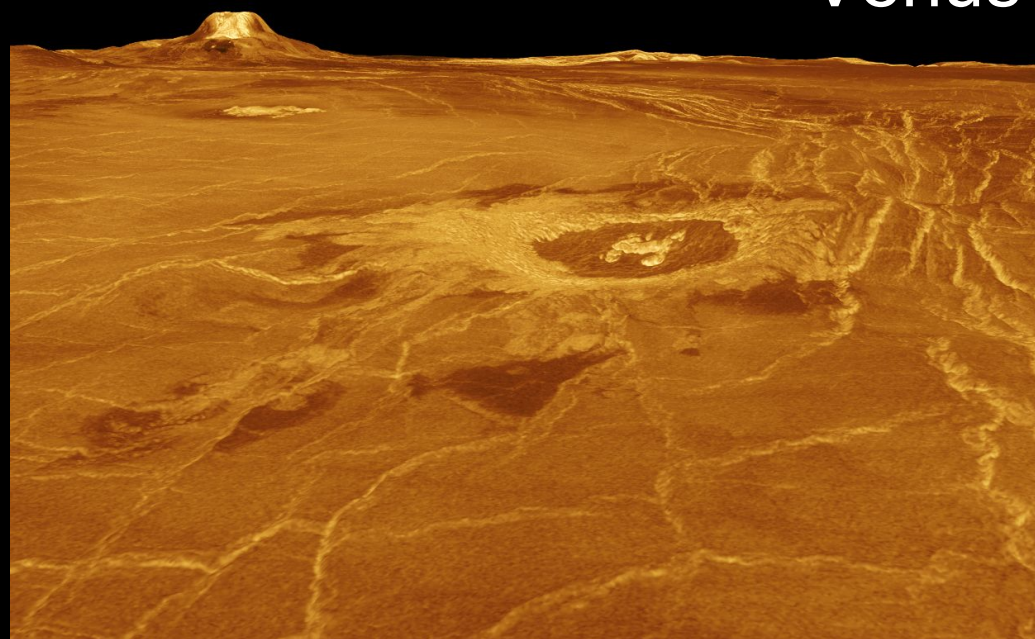




Mercure



Manicouagan



Vénus

Terre

Mars

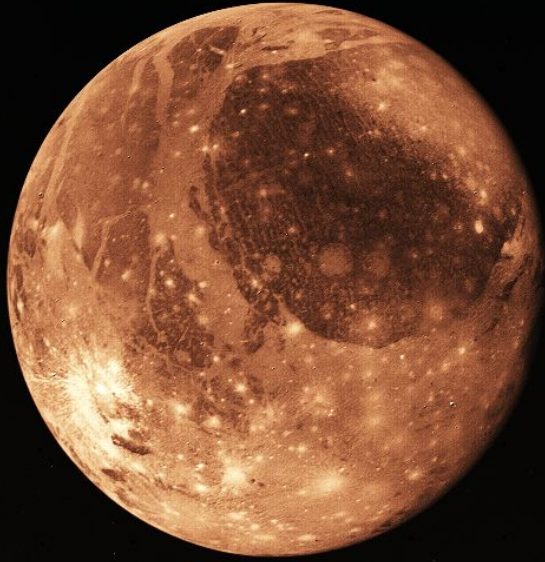


Astéroïdes

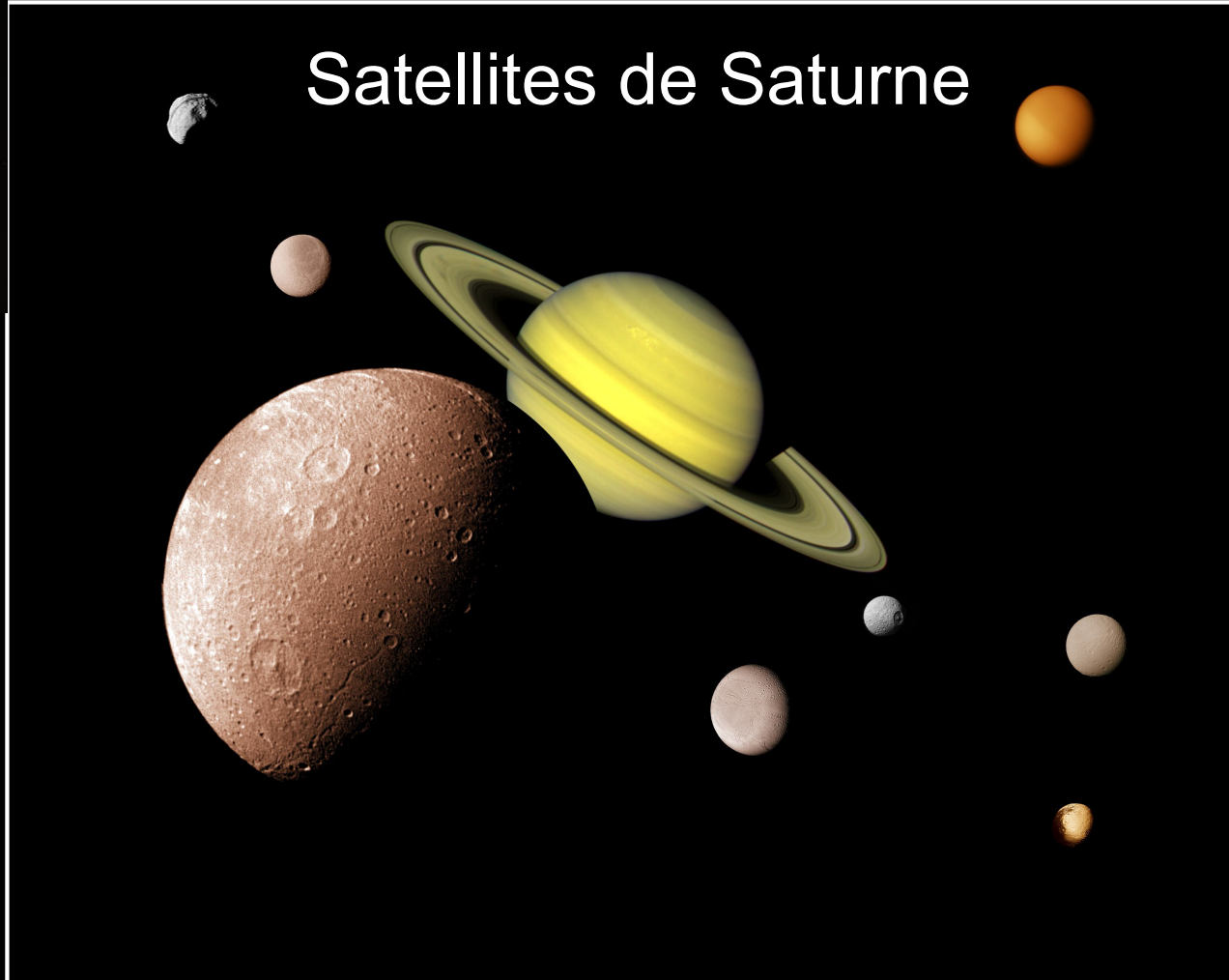




# Satellites de Jupiter



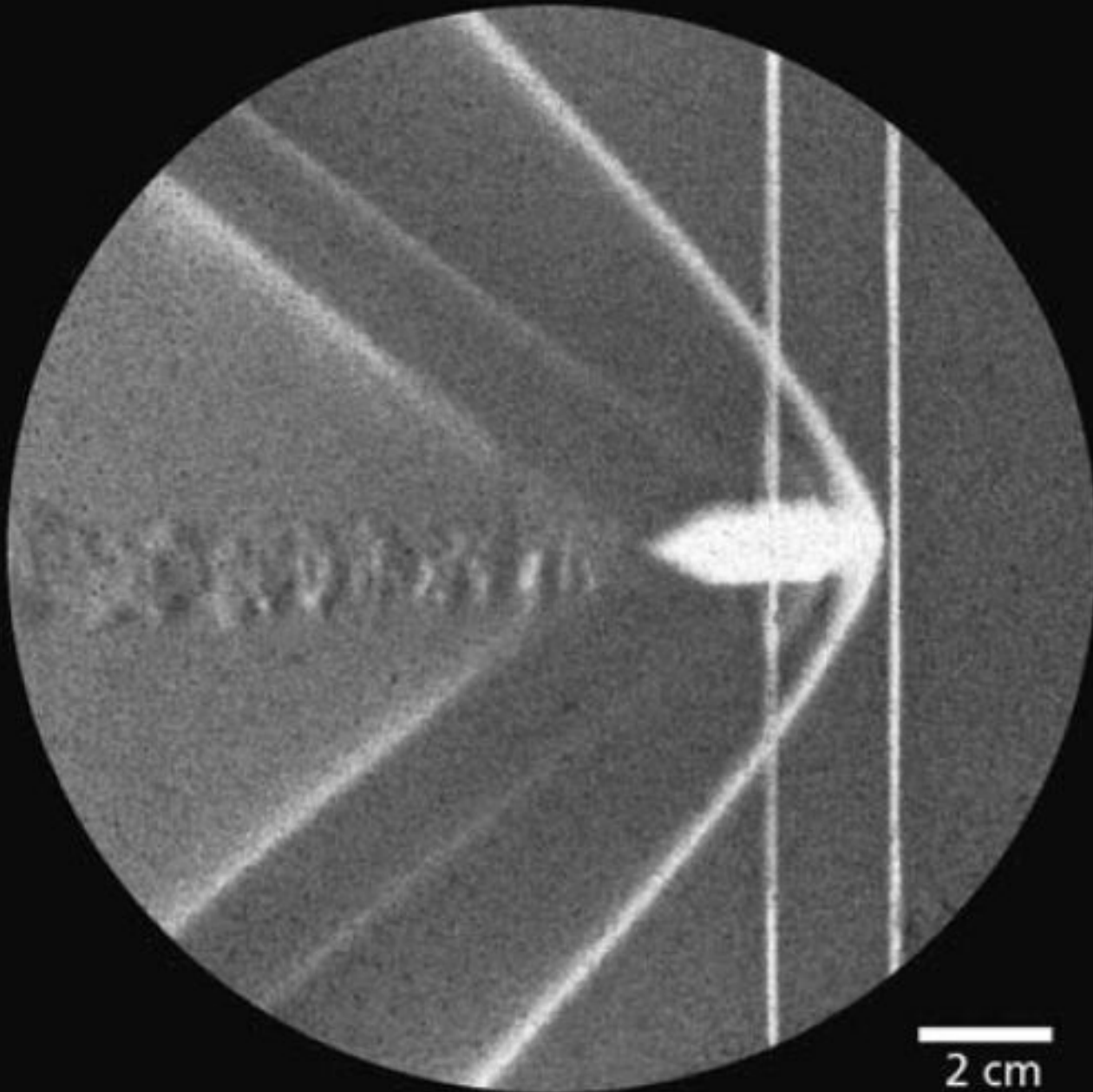
## Satellites de Saturne



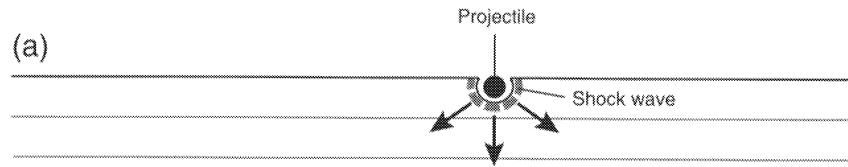
**The Saturn System**



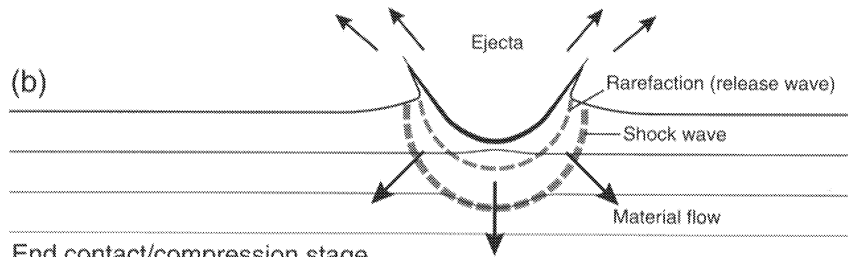
# Physique du Choc



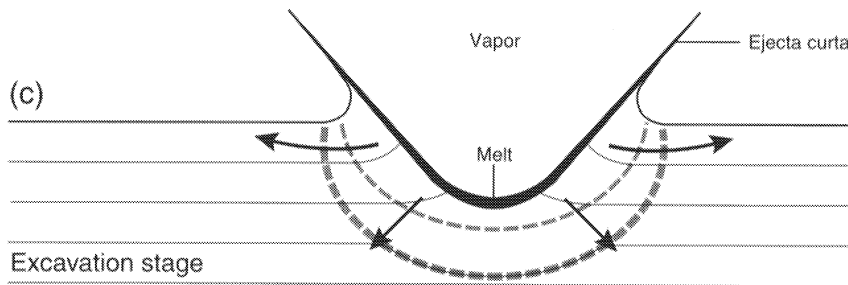
# Métamorphisme de choc



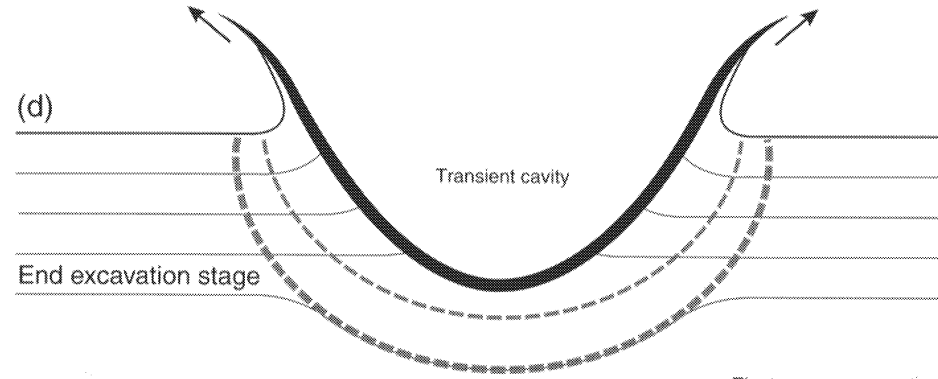
Contact/compression stage



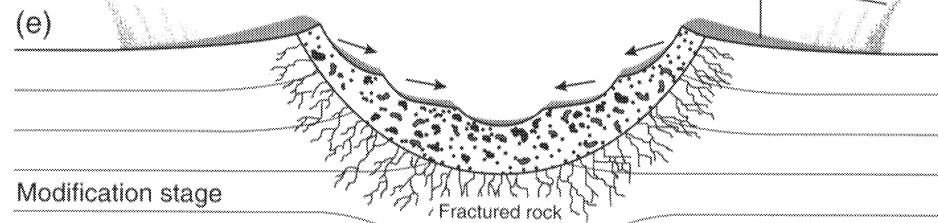
End contact/compression stage



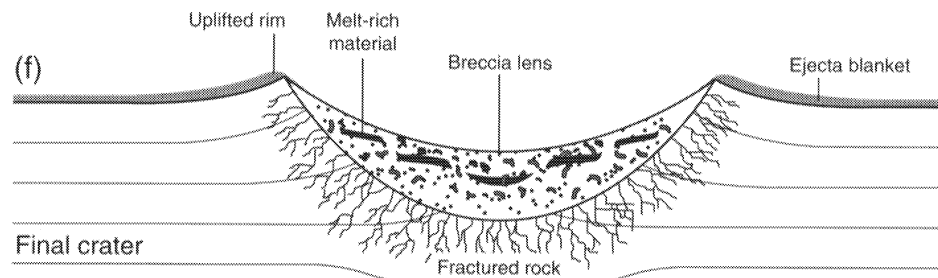
Excavation stage



End excavation stage



Modification stage



Final crater

Front de l'onde de choc



Matériau comprimé

Matériau non-comprimé

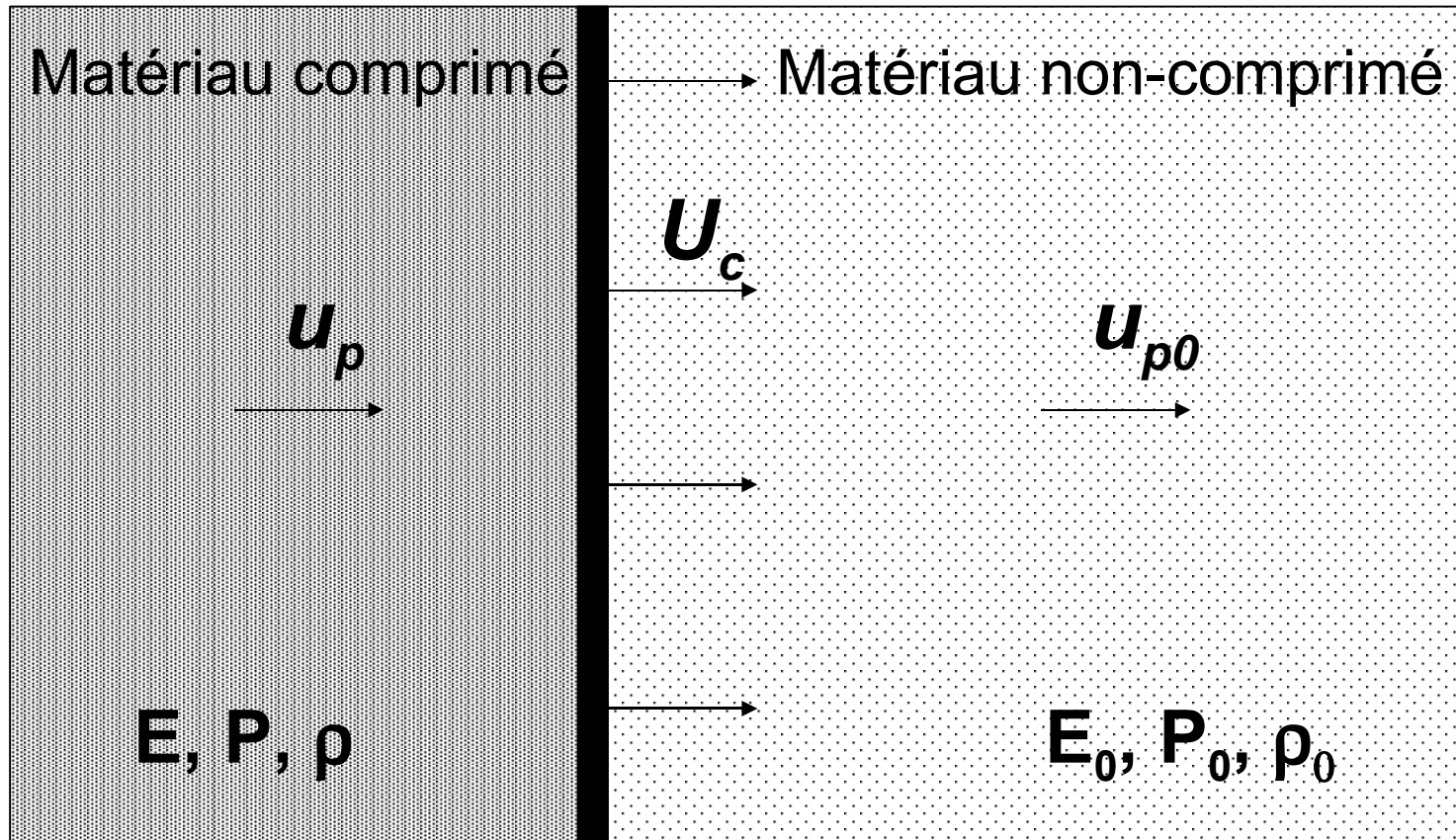
$u_p$

$U_c$

$u_{p0}$

$E, P, \rho$

$E_0, P_0, \rho_0$





$$u_p^2 = \frac{P}{\rho}$$

$$U_c^2 = \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right)^2 \times P$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \times \frac{P}{\rho}$$

$$U_c = A + B \times u_p$$

$$u_p \approx \frac{U_i}{2}$$

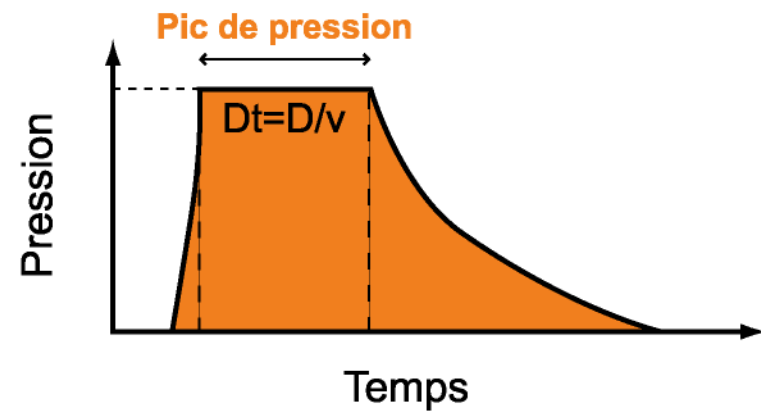
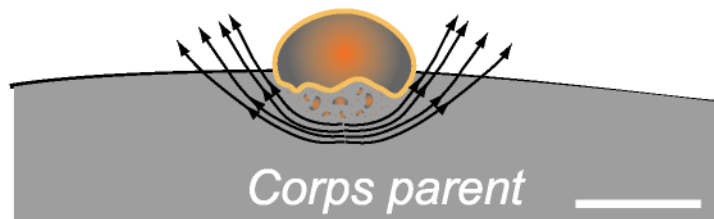
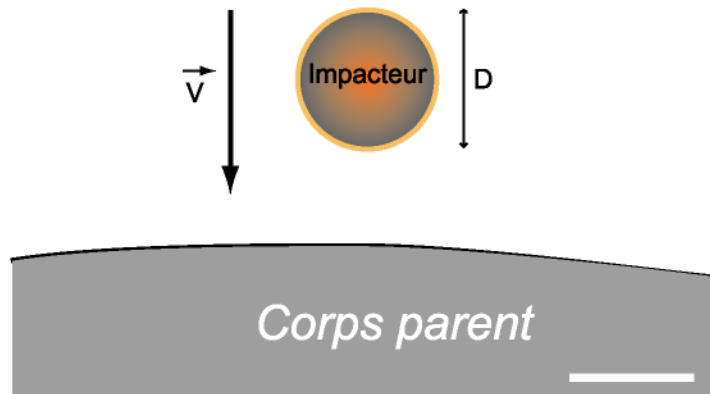
Dunite

$$\rho_0 = 3,26$$

$$U_c = 4,82 + 1,33u_p \text{ (km/s)}$$

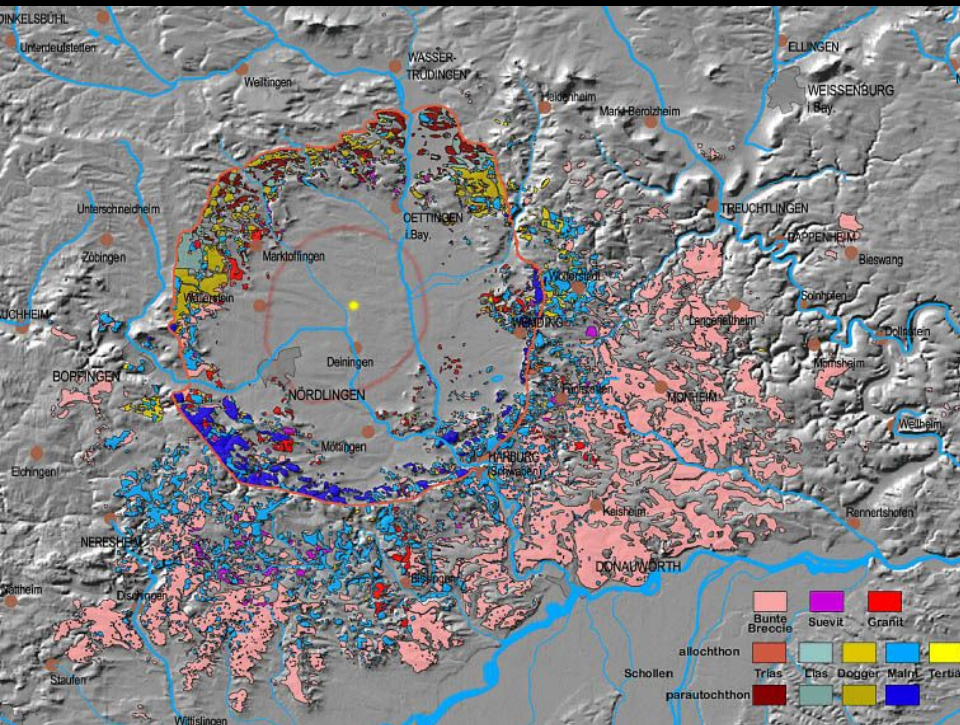
Pour une vitesse de collision de 2,4 km/s  
on a  $P = 25 \text{ GPa}$

Pour la vitesse moyenne de croisement  
des astéroïdes (5,3 km/s) on obtient  
 $P = 66 \text{ GPa}$



La durée du pic de pression  
donne la taille de l'impacteur

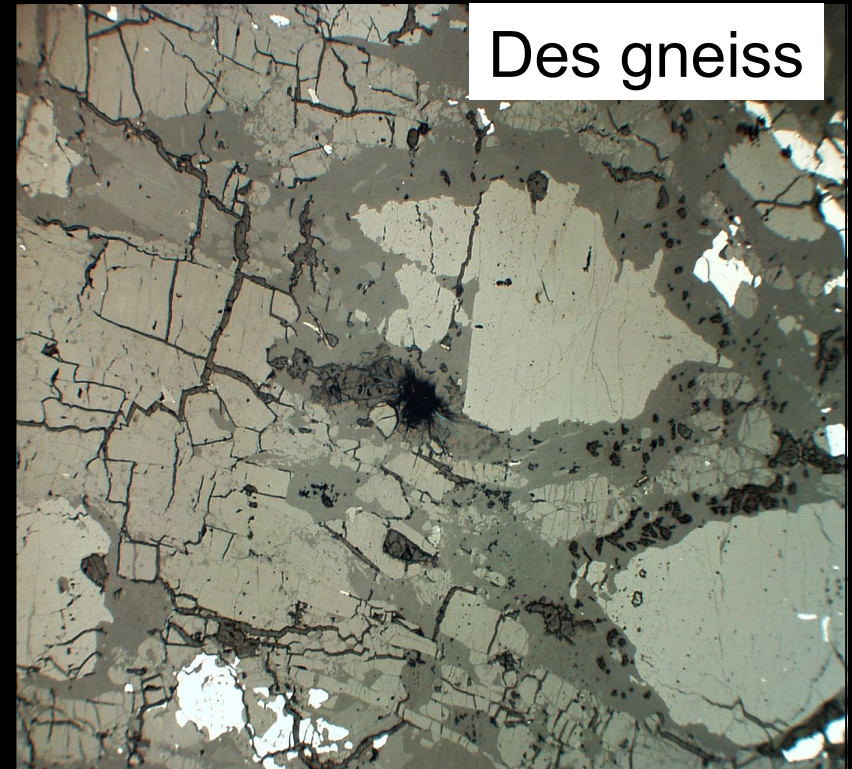
# Les traces minéralogiques du choc



## Cratère du Ries

*El Goresy et al. Am. Mineral (2001)*

## Des gneiss



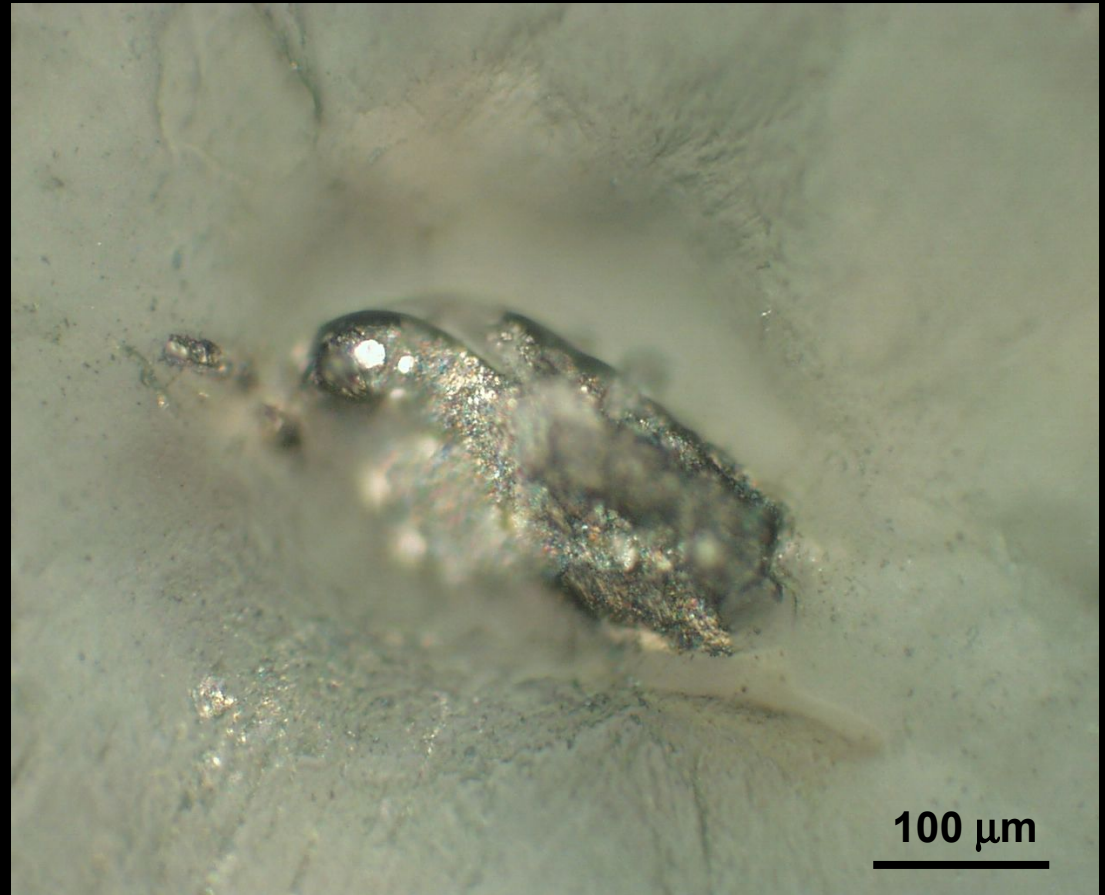
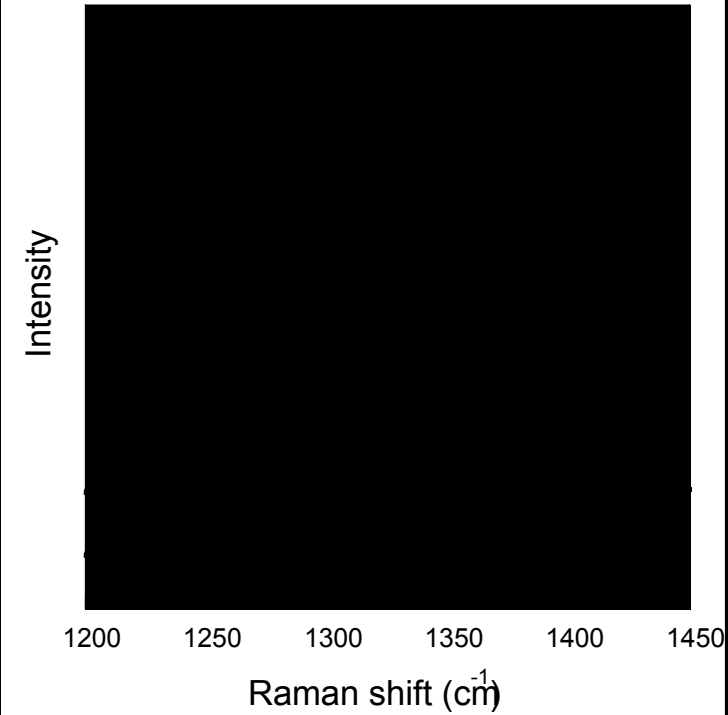
## Graphite primaire



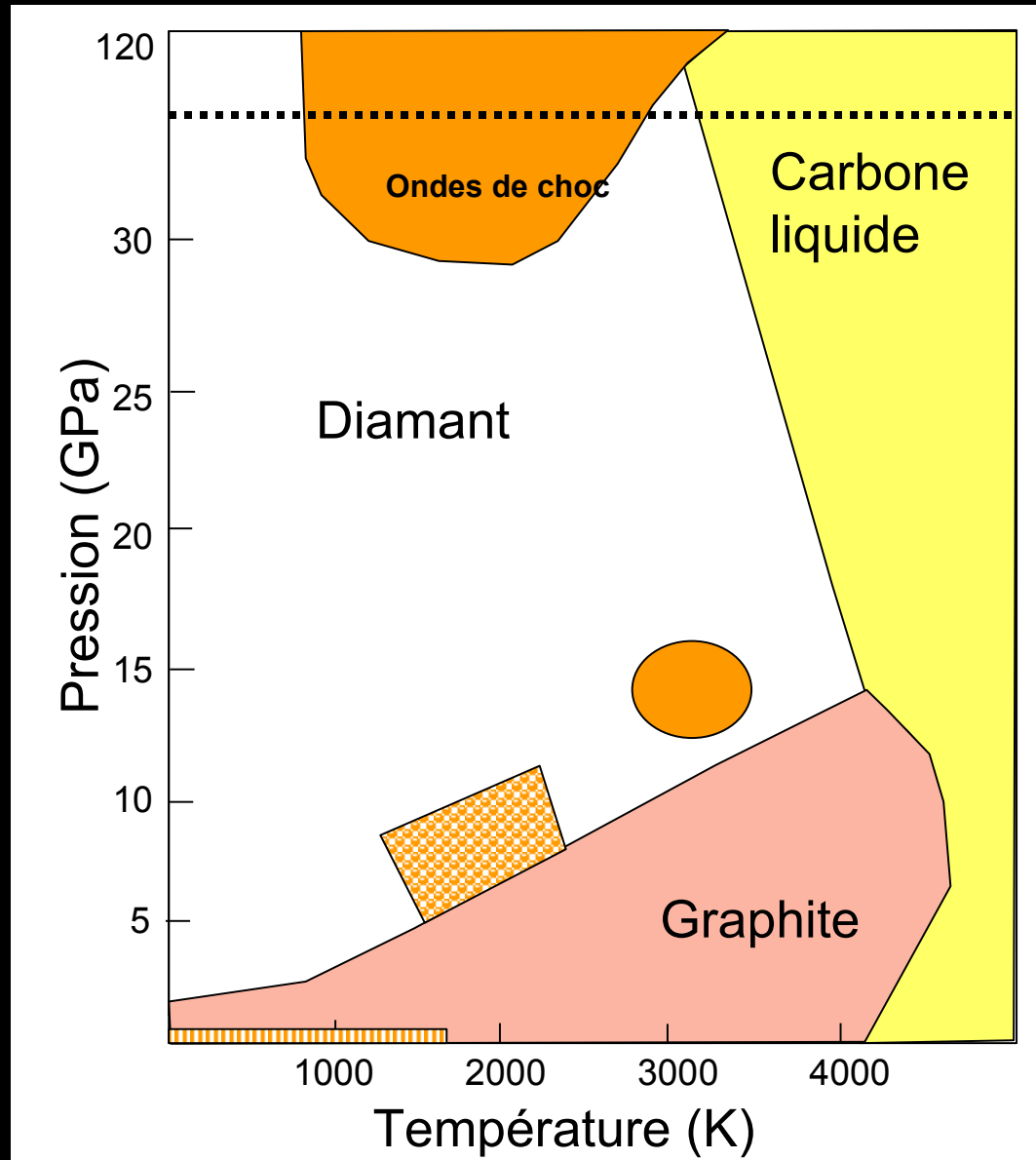


# Les traces minéralogiques du choc

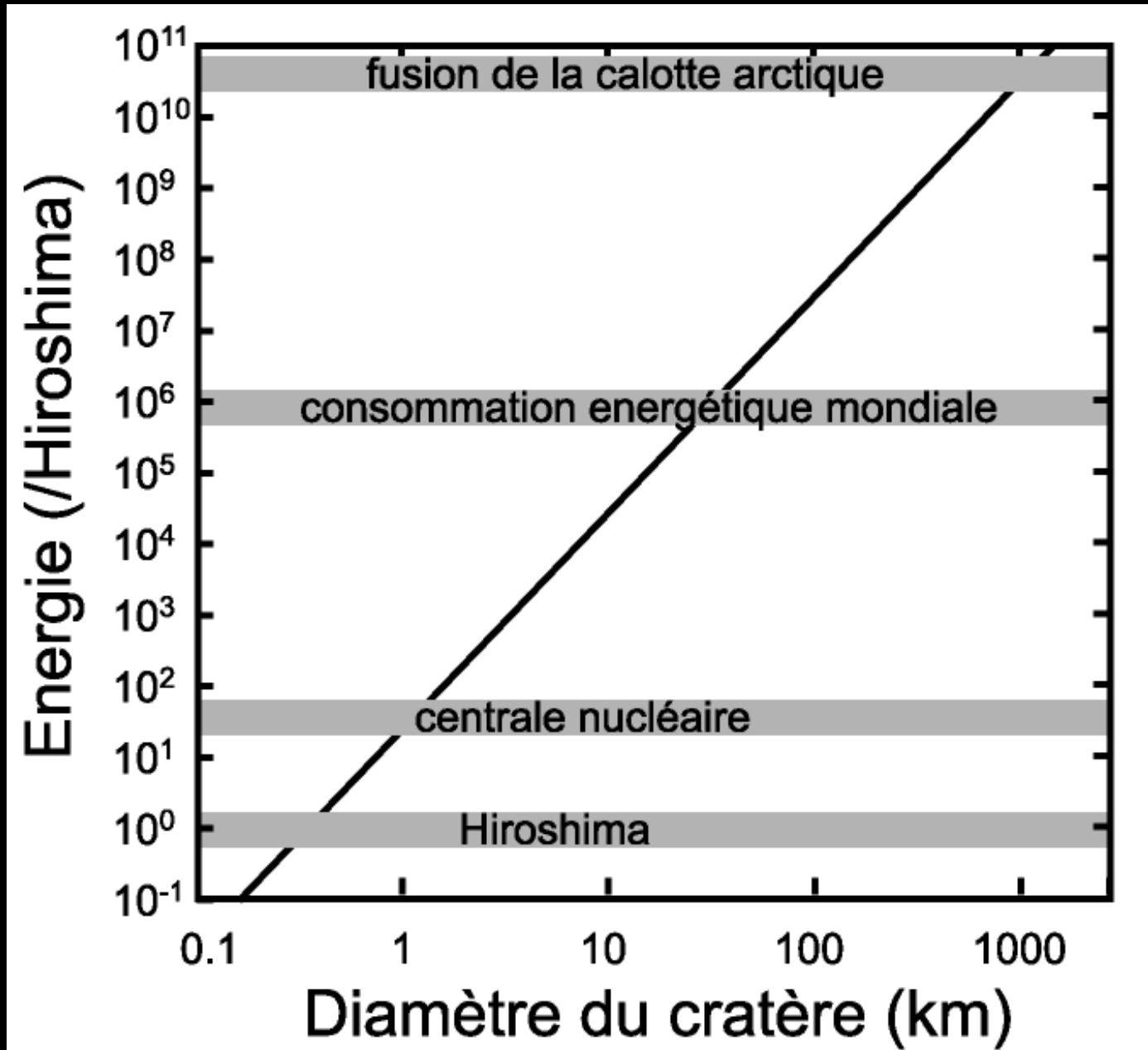
**Diamant**



# Métamorphisme de choc



Des quantités énormes d'énergie



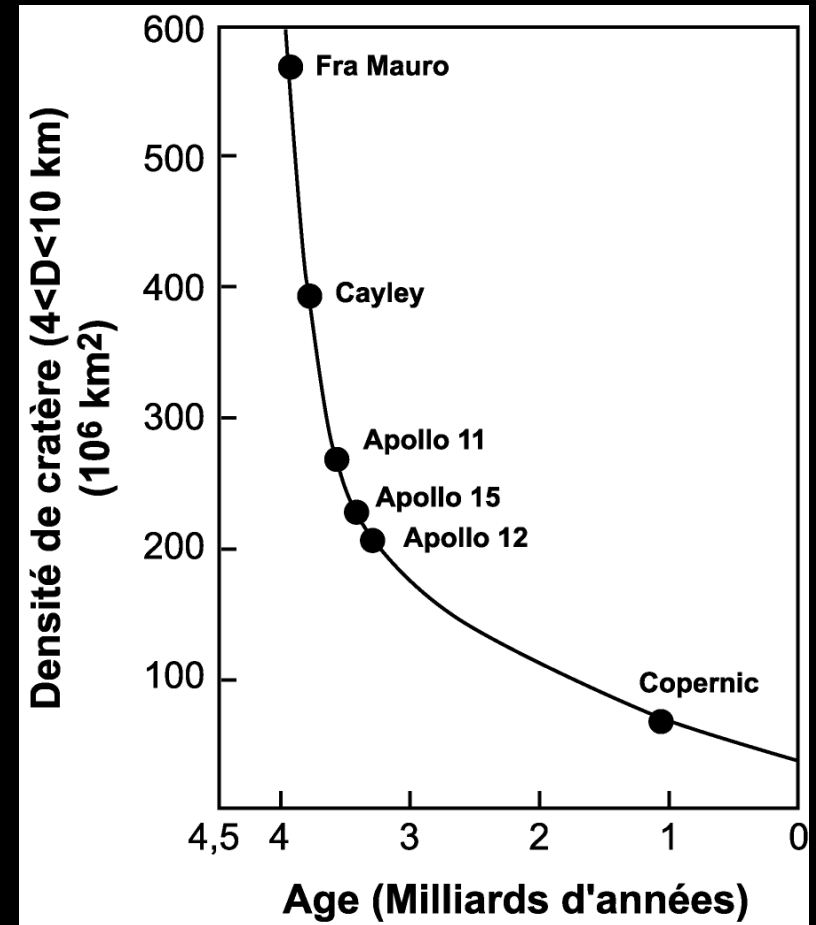
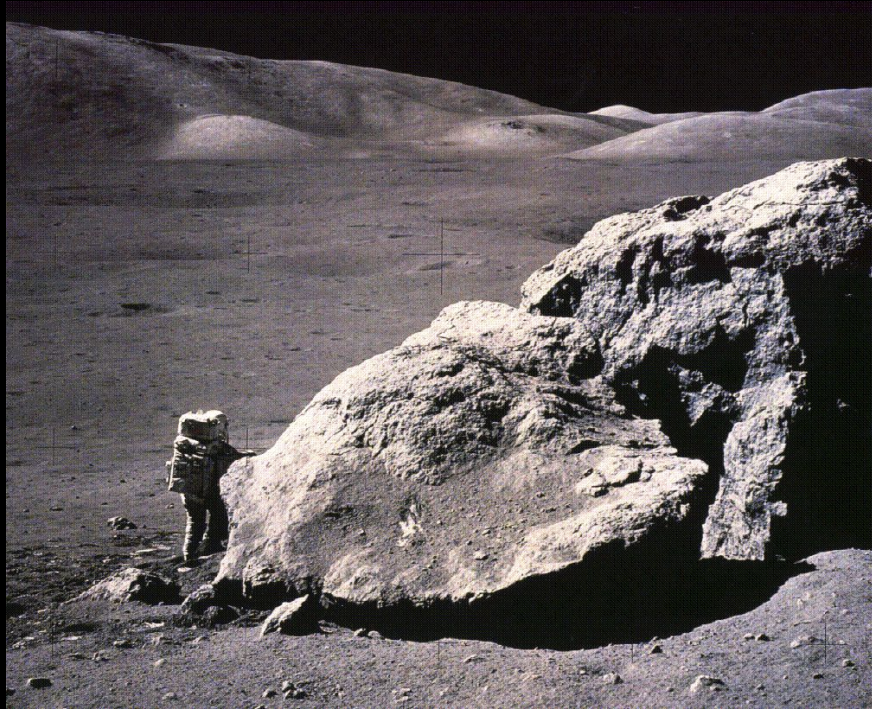




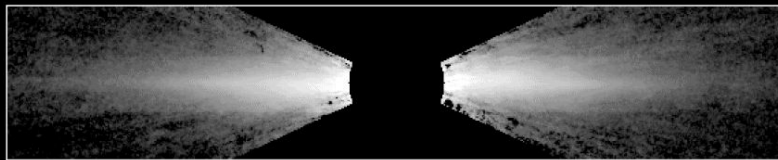
Des densités et des tailles  
de cratères différentes



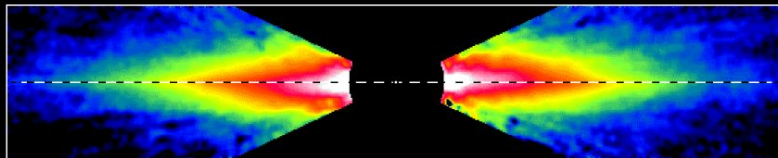
# De la chronologie relative à la chronologie absolue



# *Les chocs et la formation du Système Solaire*



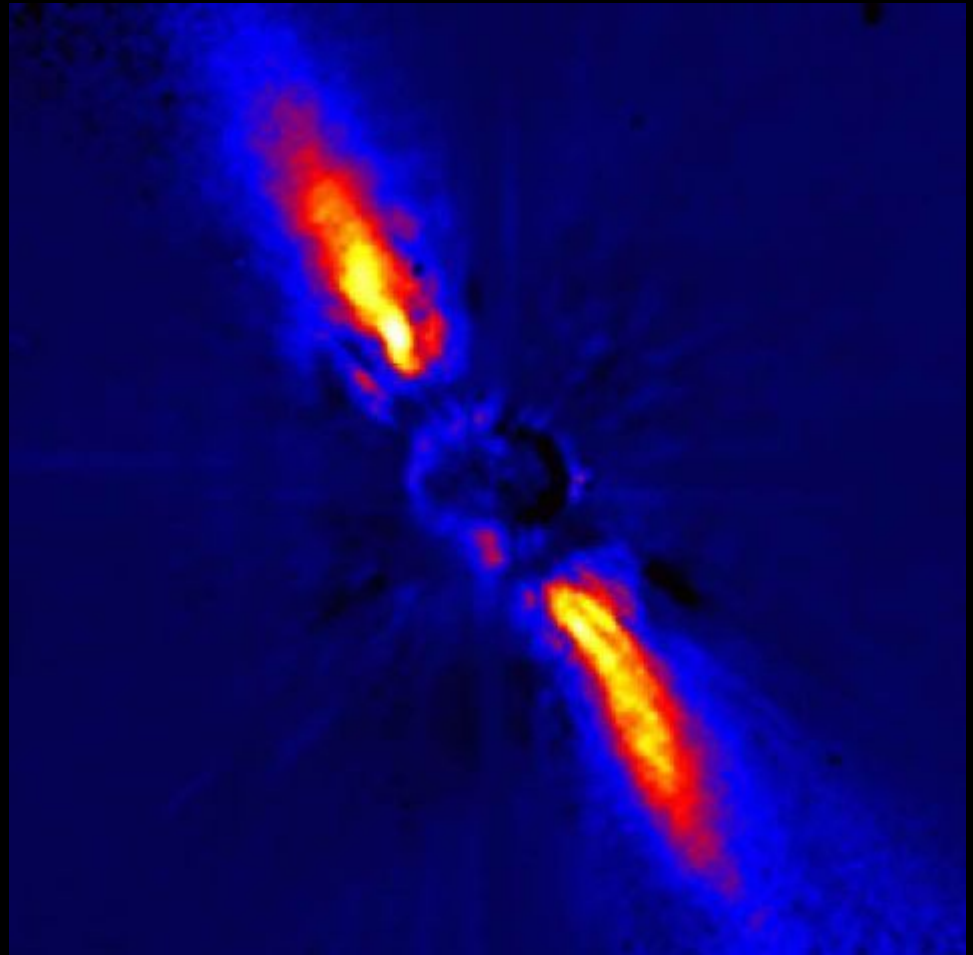
Size of Pluto's Orbit



**Warped Disk • Beta Pictoris**

HST • WFPC2

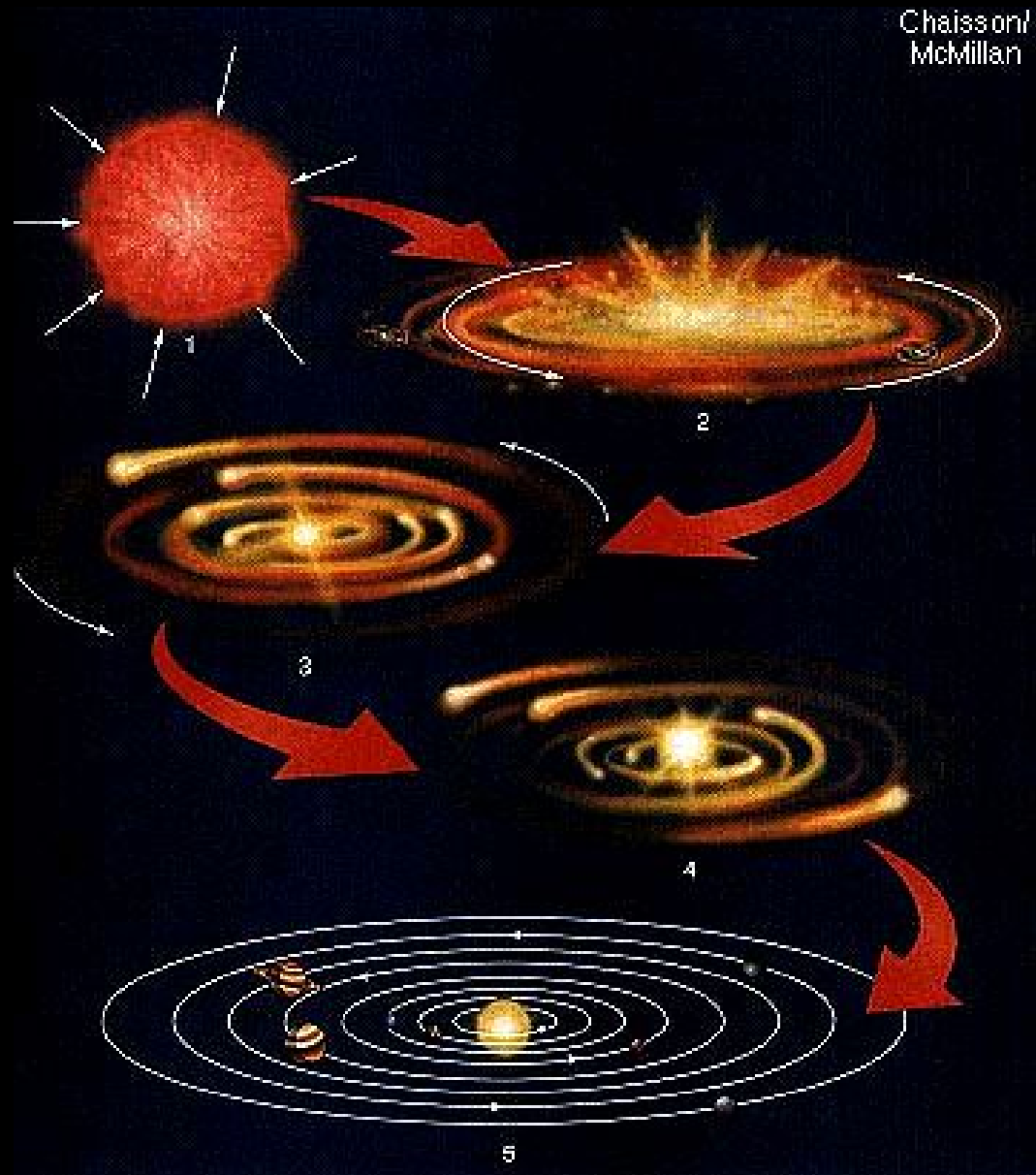
PRC96-02 • ST ScI OPO • January 17, 1995 • C. Burrows and J. Krist (ST ScI), WFPC2 IDT, NASA



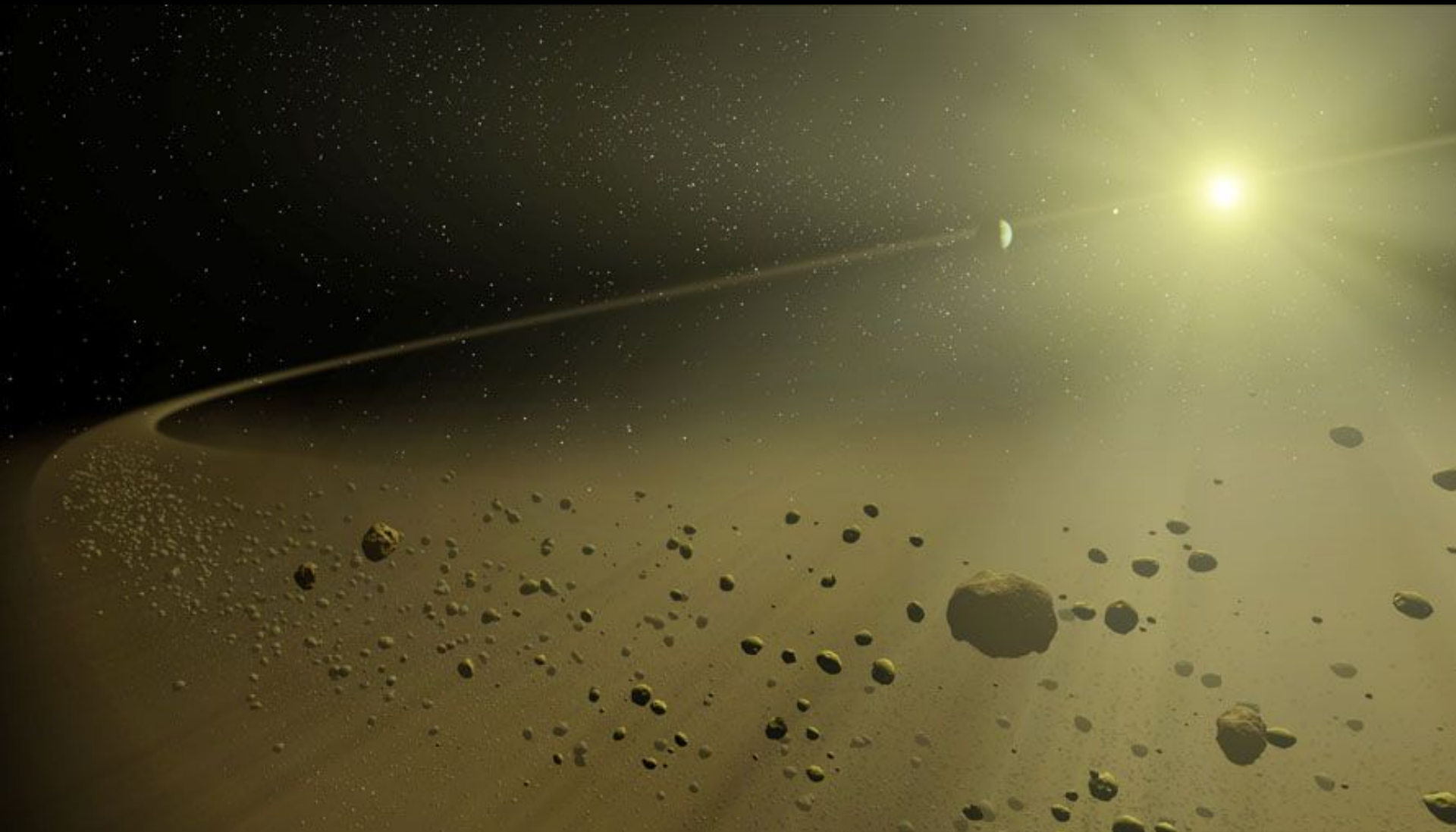




# Un scénario



# Une physique complexe pour le « collage »





### Mouvement et choc de particules en suspension dans un gaz

- collage par choc et sédimentation dans le plan équatorial du disque (environ  $10^4$  ans). Du micron au centimètre
- du centimètre au kilomètre : dépend de la vitesse relative des grains et blocs

# Des planétésimaux aux embryons de planètes

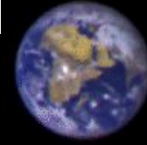
Dépend

- de la vitesse relative des objets
- de la gravité
- de la nature du choc (élastique ou non)
- de la fragmentation et du « recollage »

Destruction d'un astéroïde de 100 km  
*D'après Pierre Michel , 2004*



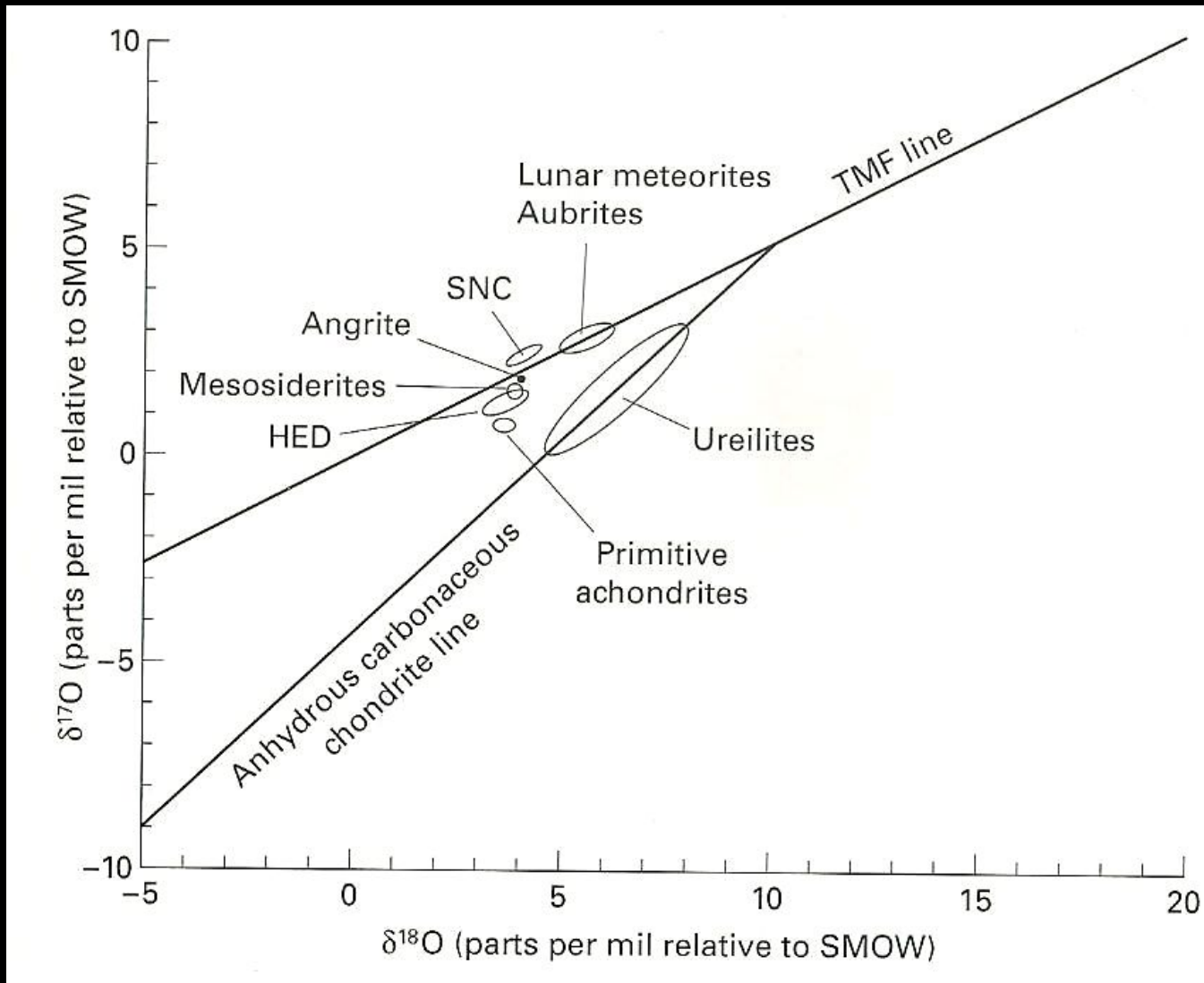
# *La Lune, fille de la Terre*





# Un lien de parenté

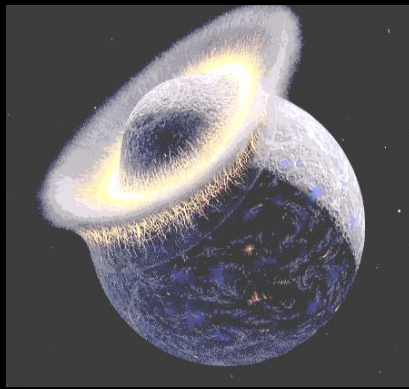
Isotopes stables



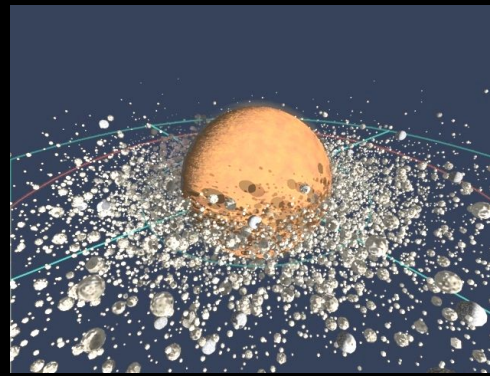
# Un choc violent



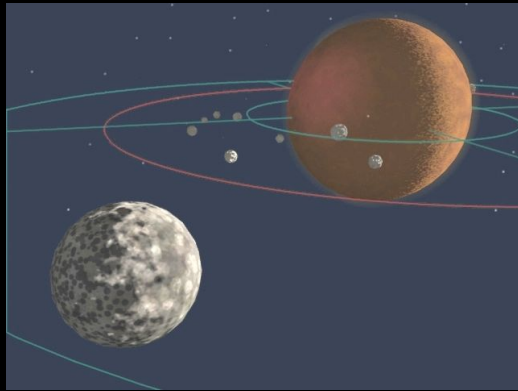
# Un choc violent



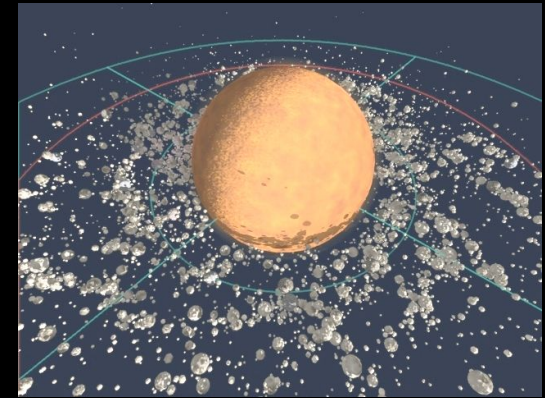
1



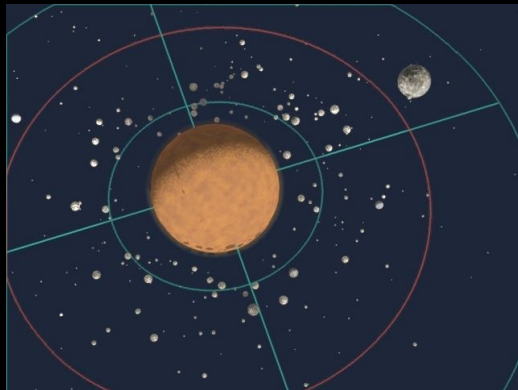
2



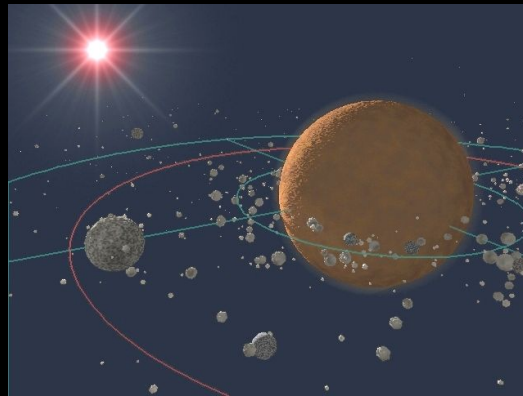
7



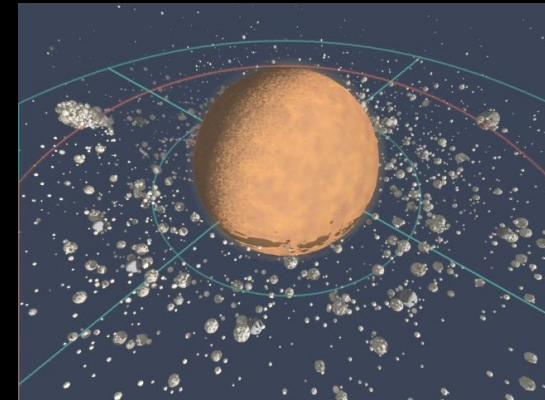
3



6



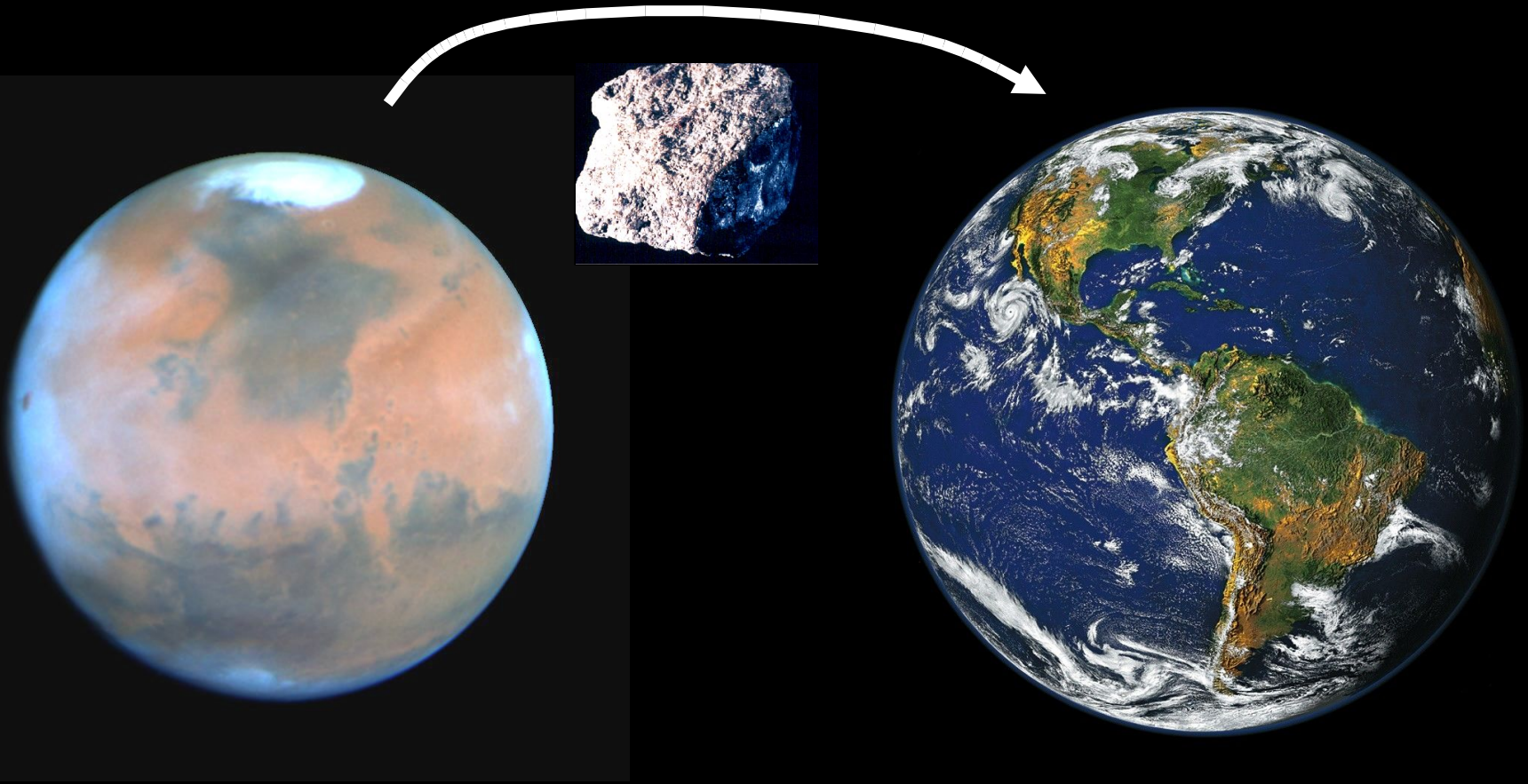
5



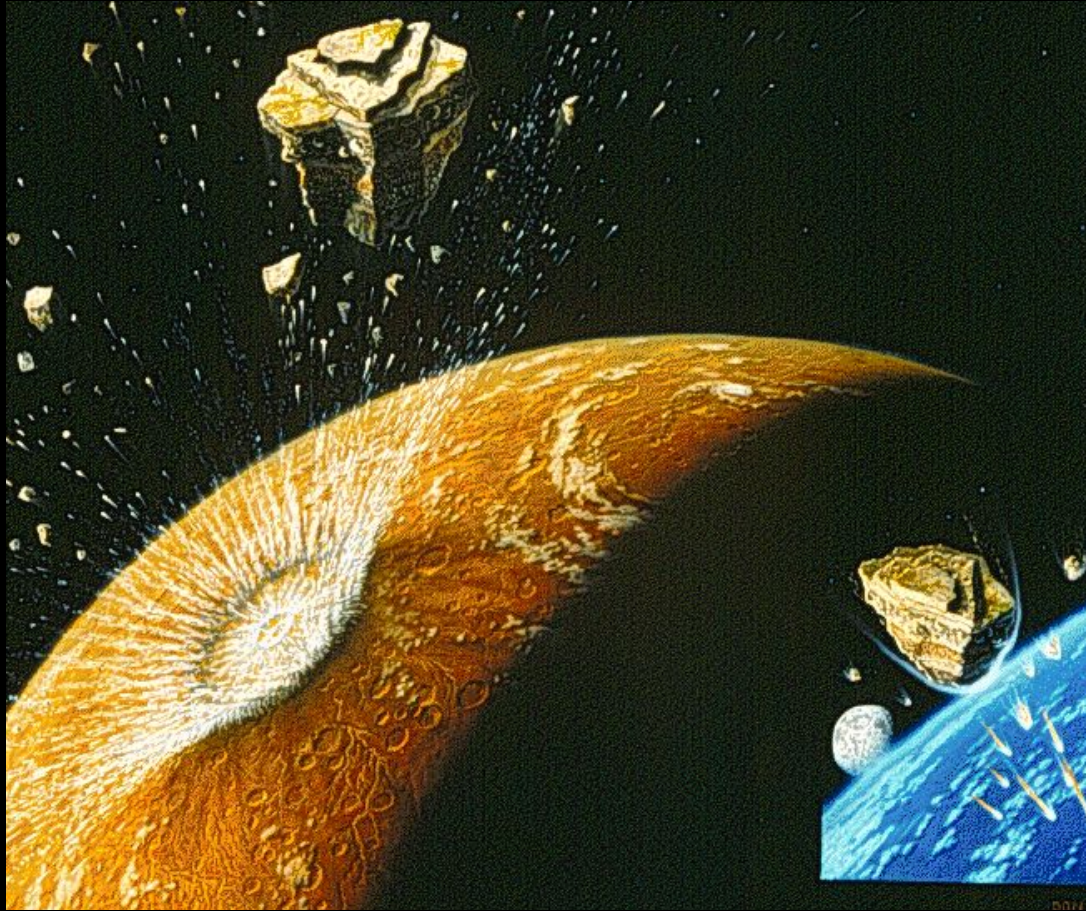
4



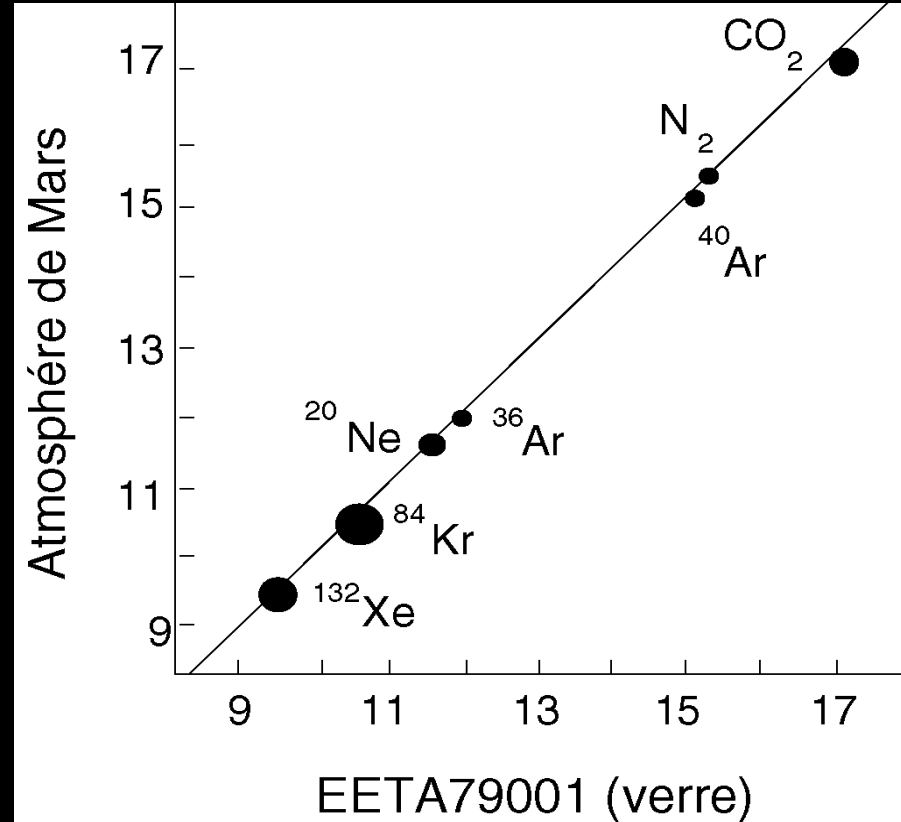
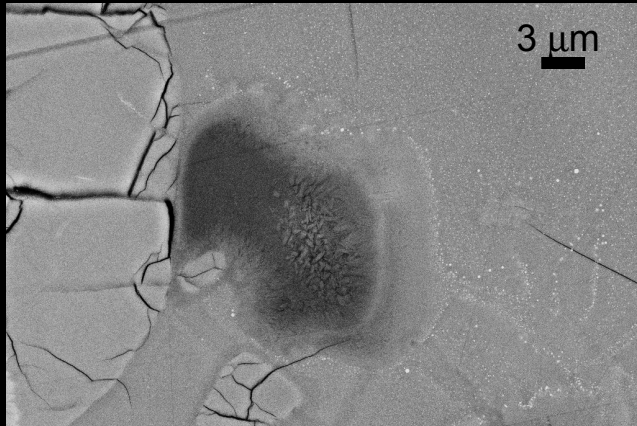
# *L'extraordinaire voyage des météorites de Mars*



# Une histoire mouvementée

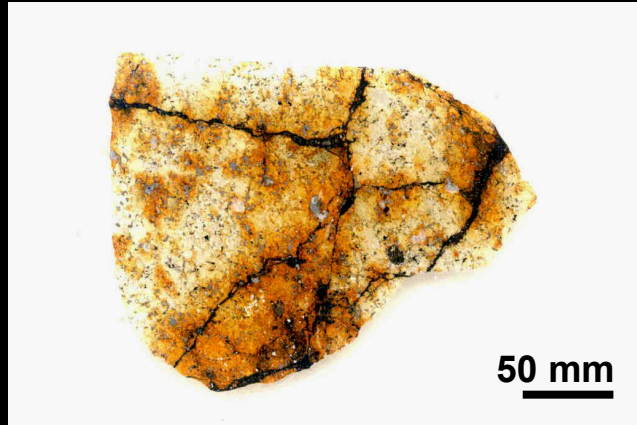
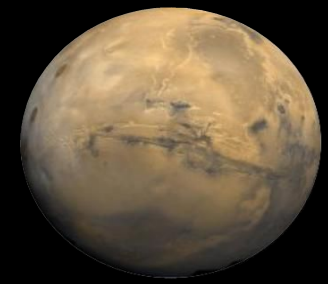


## Des traces d'atmosphère martienne

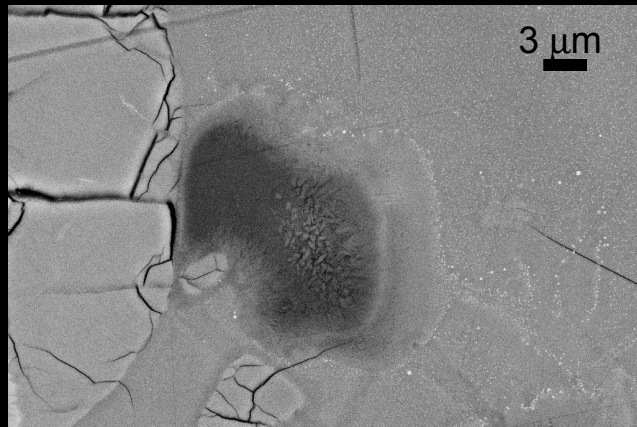




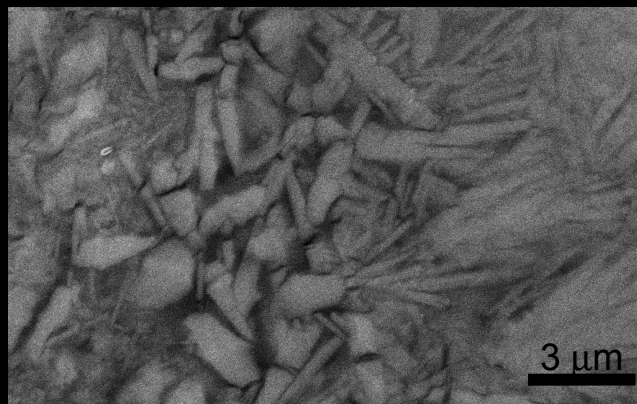
# Formation de minéraux de haute pression



**$T = 2450 \pm 100 \text{ K}$**   
 **$P = 23 \text{ GPa}$**



**Durée du choc :**  
 **$10 \text{ ms.} < \tau < 30 \text{ ms.}$**

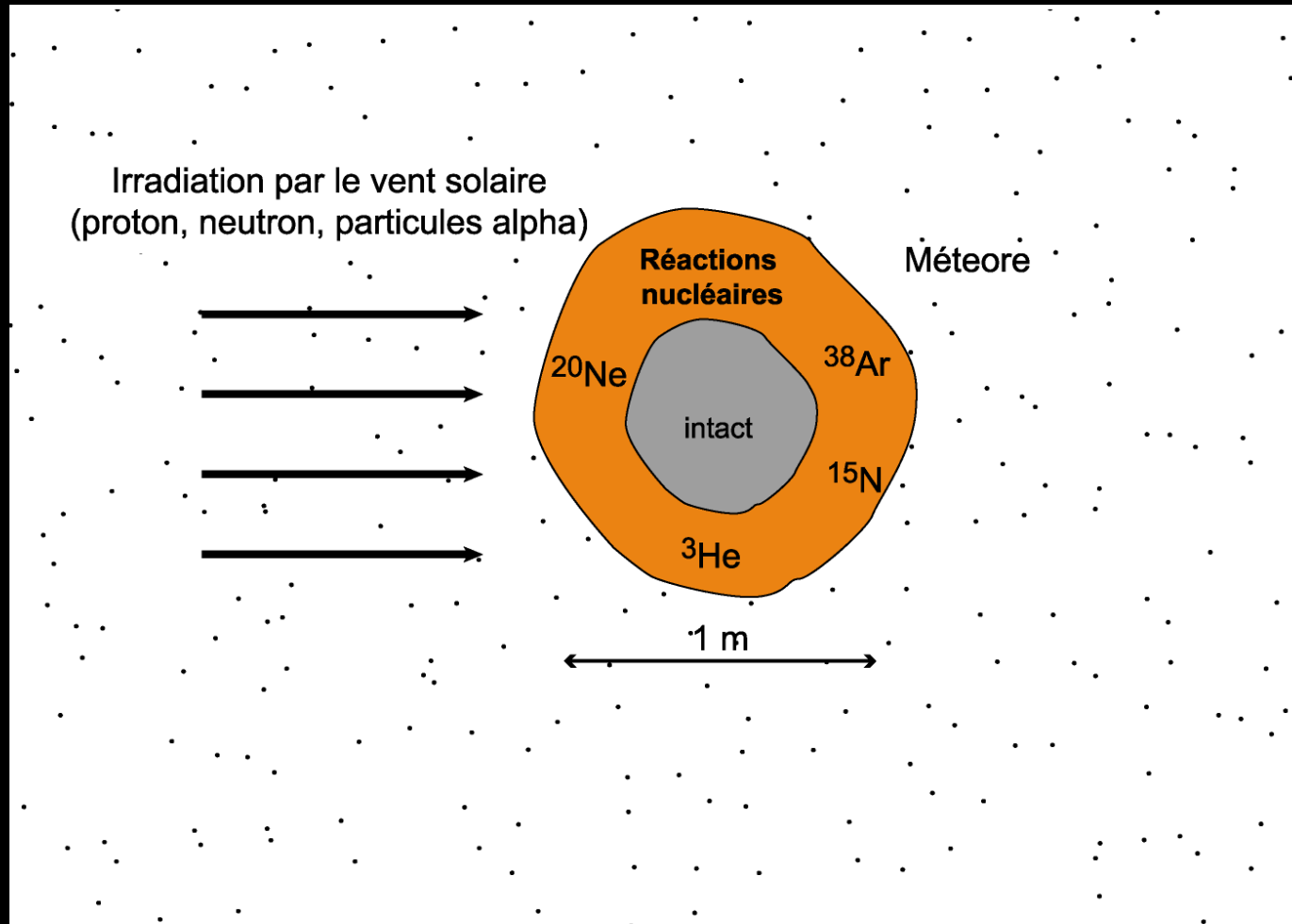


**Taille de l'impacteur :**  
 **$100 \text{ m} < d < 300 \text{ m}$**

**Taille du cratère :**  
 **$1000 \text{ m} < d < 3000 \text{ m}$**



# Durée du voyage de Mars à la Terre



Durée du voyage : de 0,7 à 15 millions d'années

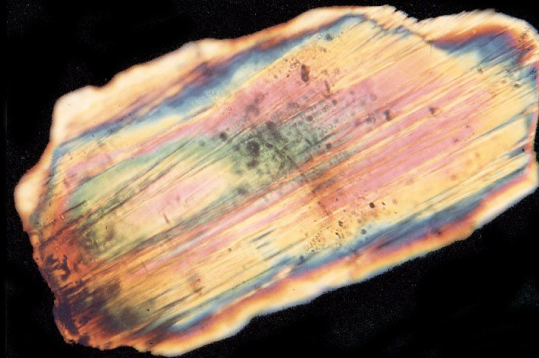
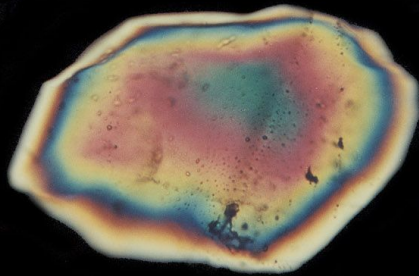
# *Des catastrophes écologiques ?*

Il y a 65 millions d'années .....



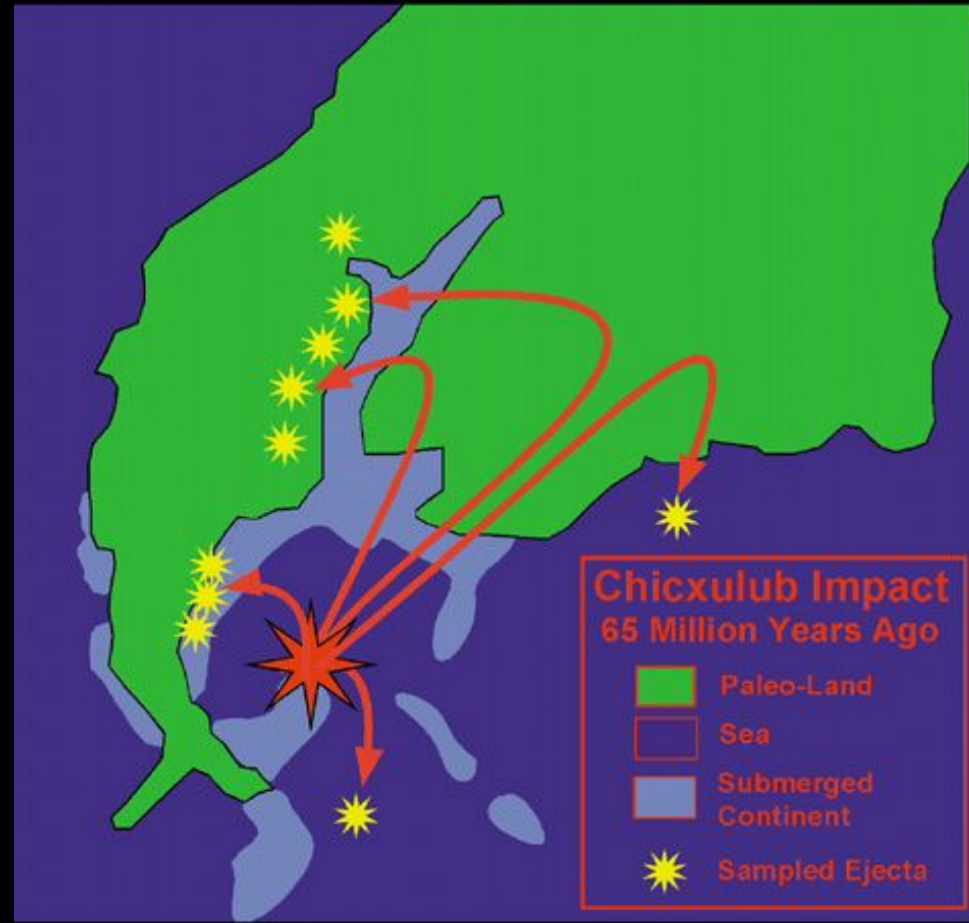
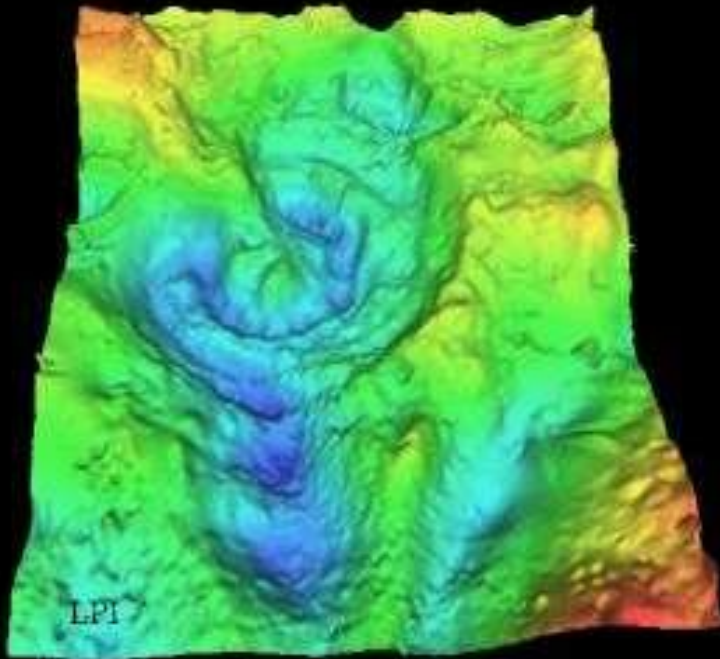
© 2000 by Jake Bailey  
Adapted from "Atlas of Mesozoic and Cenozoic Coastlines" (Smith et al. 1994)

# Un choc enregistré sur toute la surface du globe





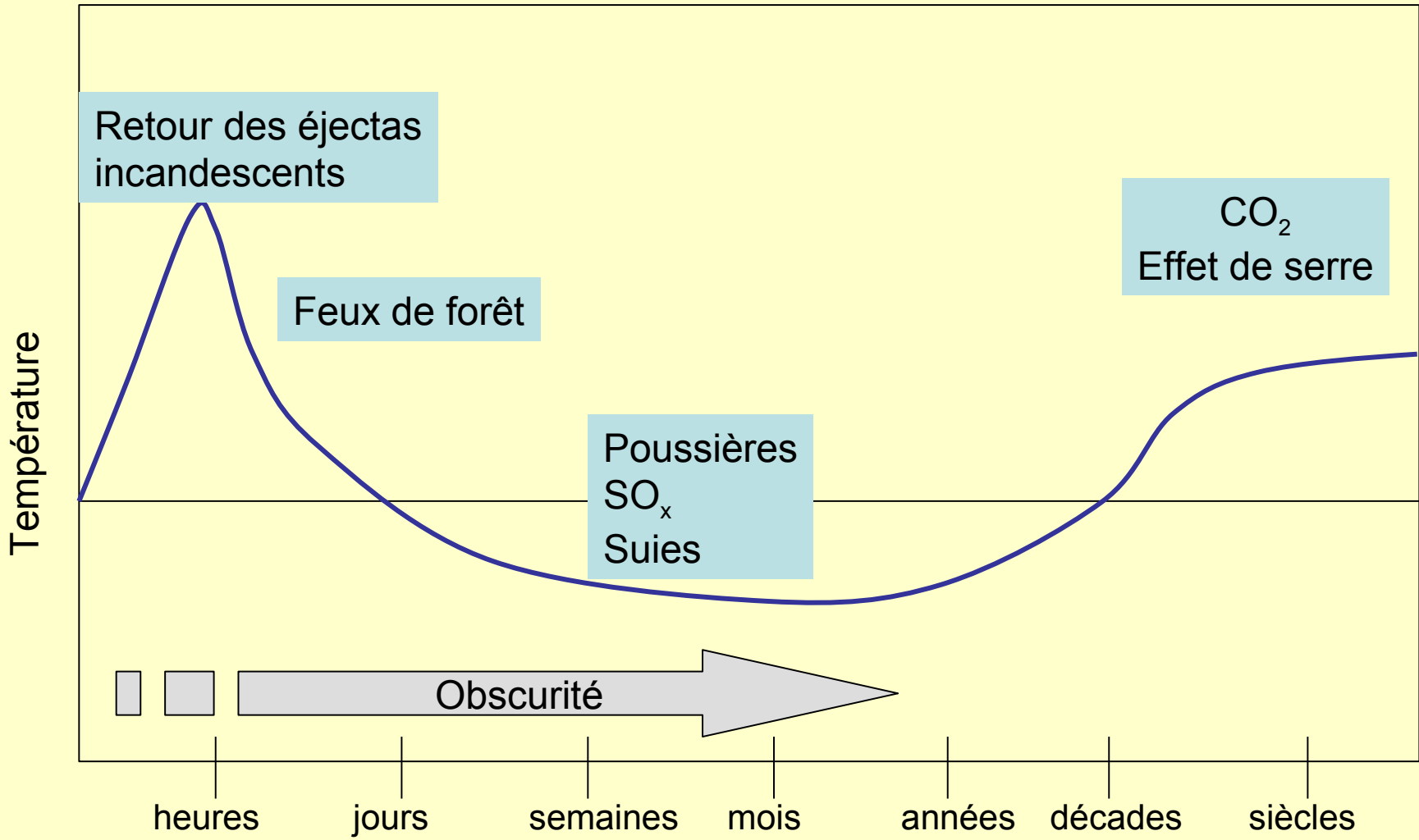
# Le cratère cicatrice : Chicxulub





Dispersion des éjectas incandescents

Des effets climatiques

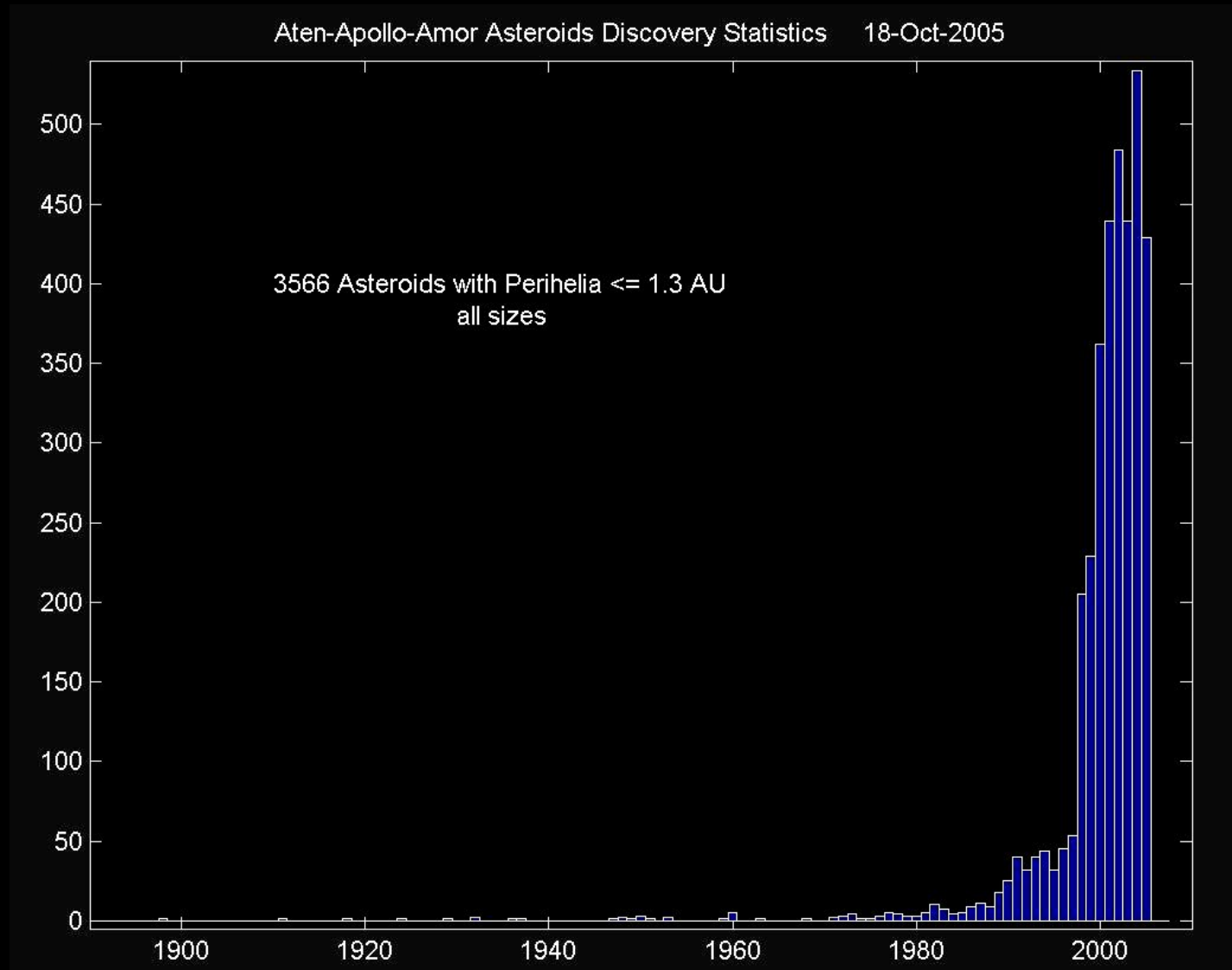


## *Et la suite .....*

Taille de l'objet	Fréquence (1 par ....)	Exemple et énergie
<50 m	Fréquent (50 000 tonnes/an)	Combustion dans l'atmosphère
50 m	200 à 400 ans	Tounguska-12 MT
100 m	1 000 à 5 000 ans	Barringer-15 MT
500 m	0,1 à 0,5 Ma	Mien-11 $10^3$ MT
1 km	1 Ma	Rochechouart-9 $10^4$ MT
5 km	10 à 50 Ma	Popigai-1 $10^7$ MT
10 km	100 à 500 Ma	Chicxulub-1 $10^8$ MT
>10 km	40 à 200 vers 3,9 Ga	?????
>100 km	Probable entre 4,6 et 3,9 Ga	?????
>1000 km	1 ou plus ?	?????

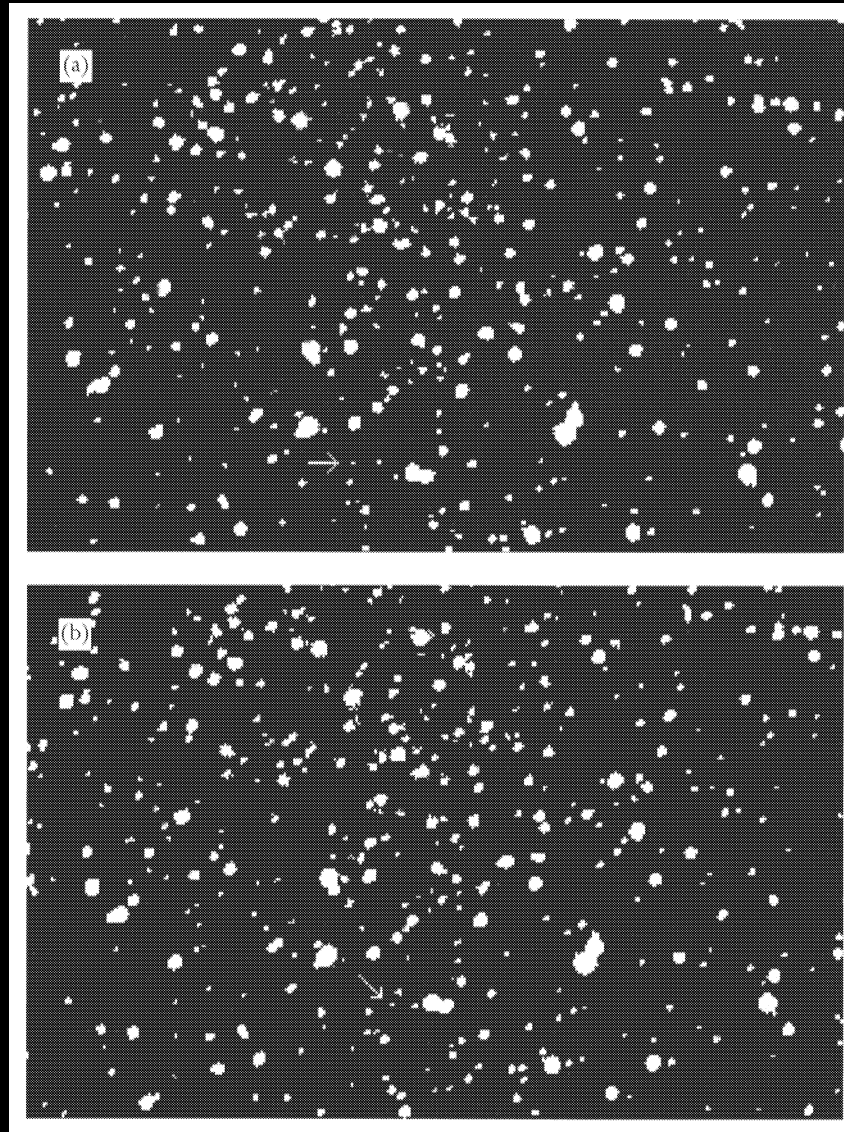
# Les géocroiseurs

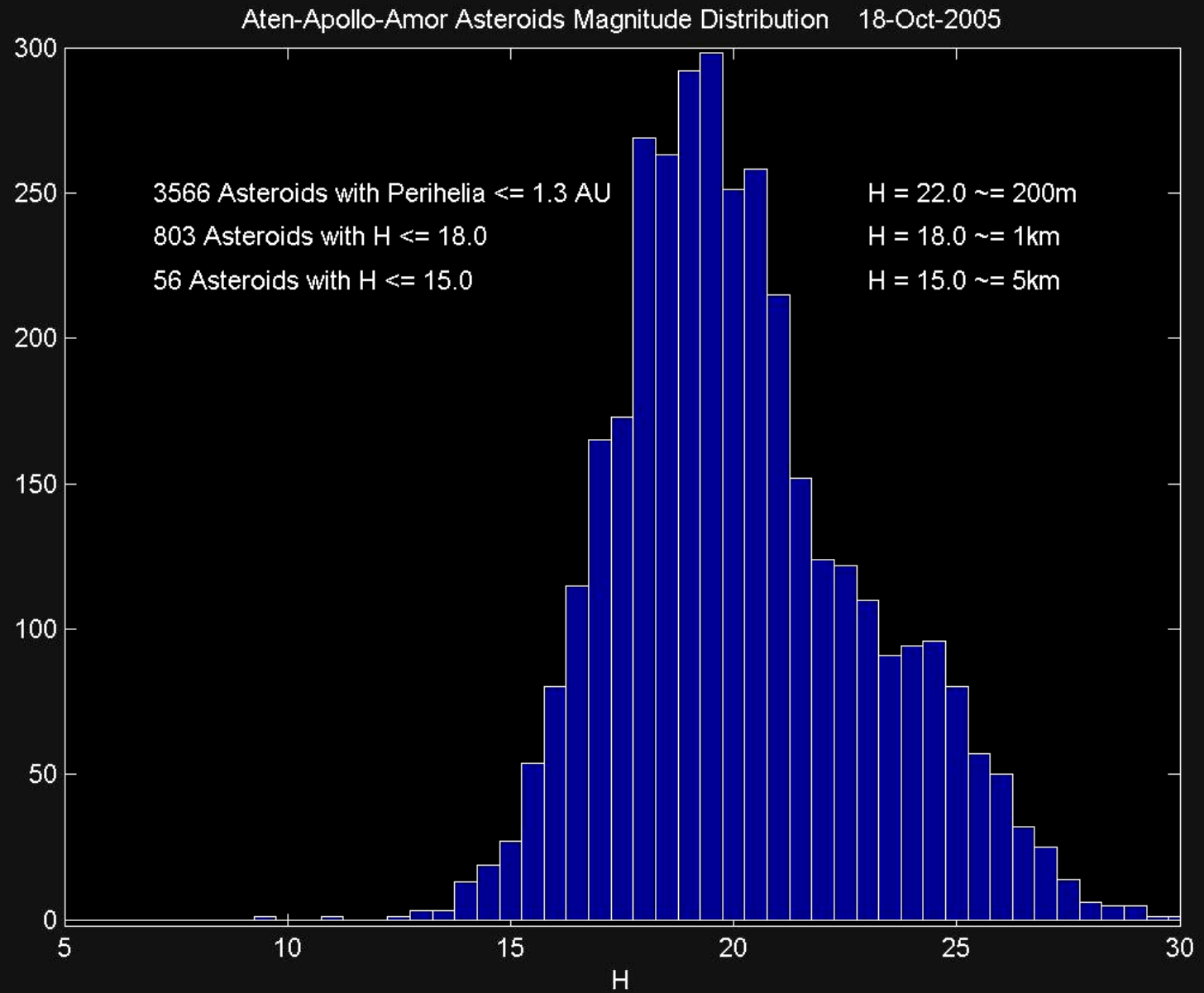
La population des géocroiseurs (NEOs) est composée d'astéroïdes et de comètes ayant des orbites avec un périhélie  $q < 1.3$  UA et une aphélie  $Q > 0.983$  UA



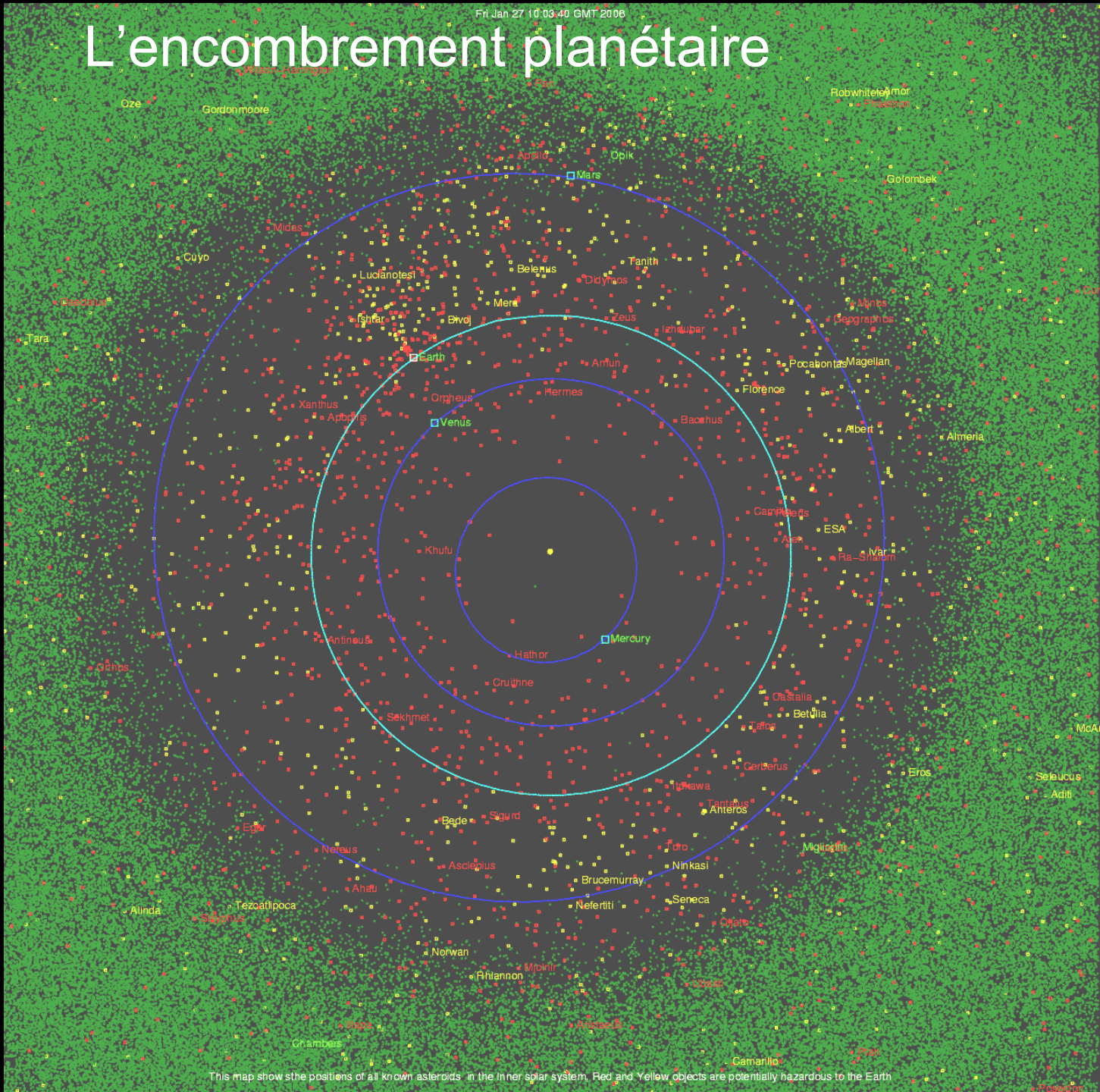


# Les géocroiseurs





# L'encombrement planétaire



This map shows the positions of all known asteroids in the inner solar system. Red and Yellow objects are potentially hazardous to the Earth