

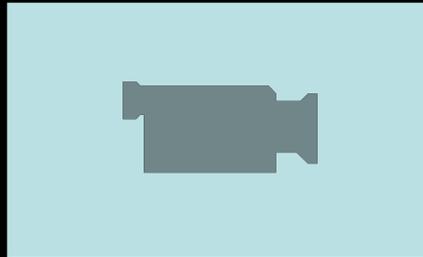
A la découverte des petits corps du système solaire



Quelques définitions...

METEOROIDE	Objet dont la masse est comprise entre 10^{-9} et 10^8 kg ou dont le diamètre est inférieur à 50 m.
METEORE	Météoroïde dont la traînée hydrodynamique provoque une trace lumineuse entre 50-85 km d'altitude
BOLIDE	Météore laissant une trace lumineuse aussi brillante que Vénus entre 12-80 km d'altitude avec ou sans explosion (airburst) dans l'atmosphère
METEORITE	Météoroïde qui percute le sol
COMETE	Astre composé de glace et roche
ASTEROIDE	Objet dont la taille est supérieure à 50 m

Tout commence il y a près de 4,6 milliards d'années



Les astéroïdes

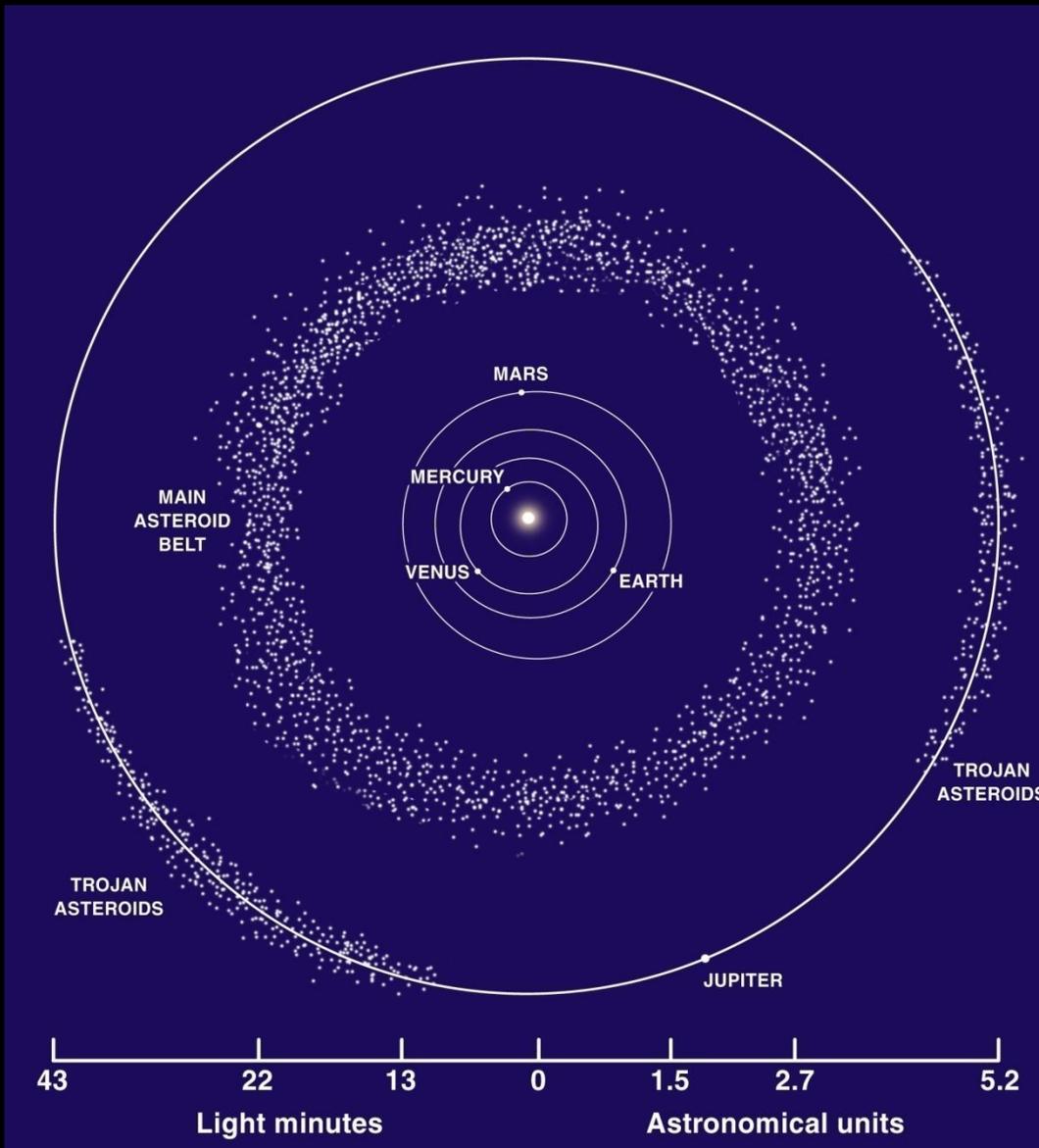


Actuellement, on en dénombre plus de 535000, principalement situés entre Mars et Jupiter. On estime leur nombre à quelques millions. La répartition est la suivante :

- Environ 520000 dans la ceinture principale
- Plus de 1300 dans la ceinture de Kuiper
- 5000 Troyens
- 8200 géocroiseurs



La ceinture principale



Située entre 2.2 et 3.3 UA, elle compte probablement plusieurs millions d'astéroïdes.

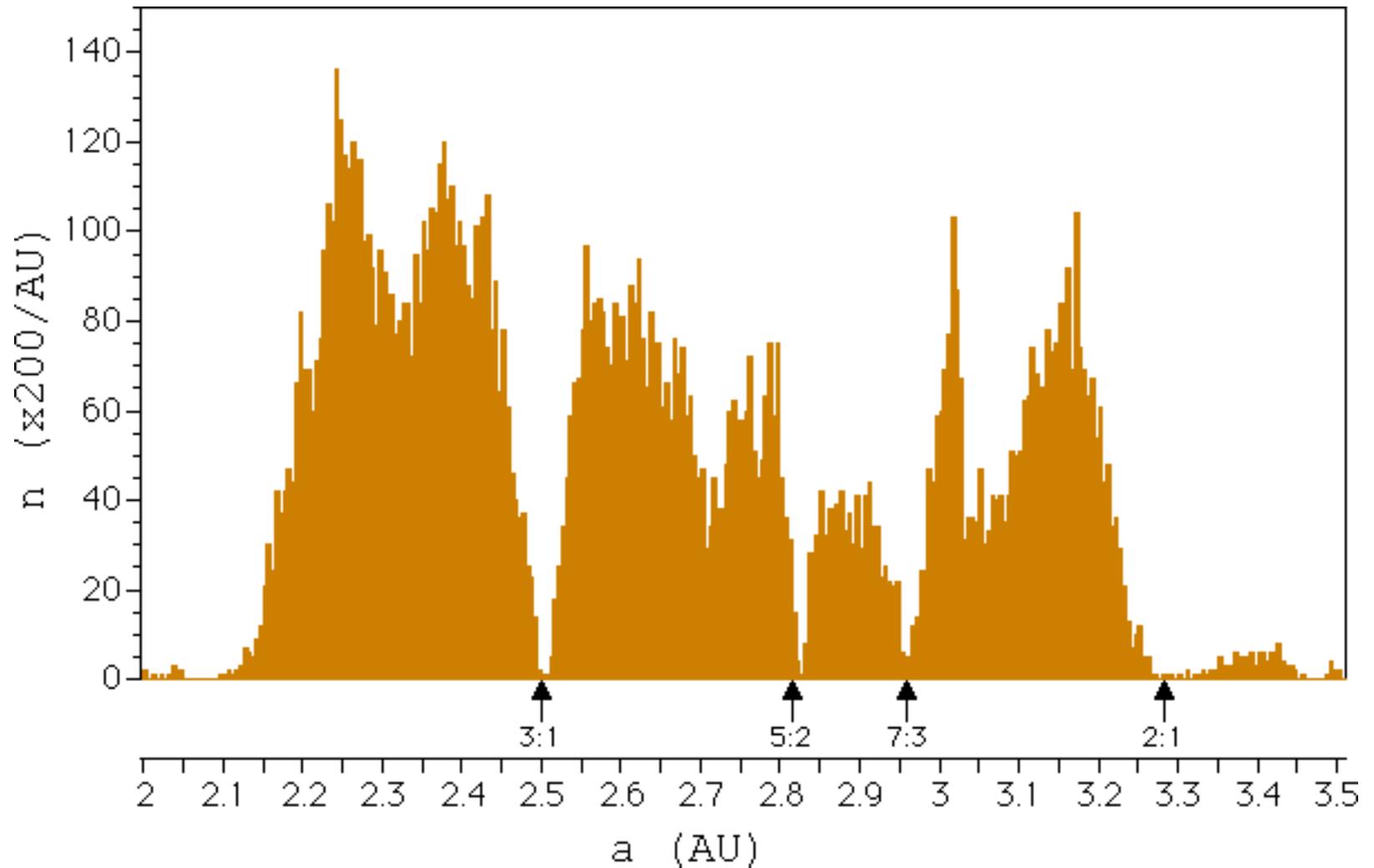
La masse totale de la ceinture d'astéroïdes est estimée à 4 % de la masse de la Lune.

On estime qu'il existe plus de 200 astéroïdes qui mesurent plus de 100 km et entre 700000 et 1700000 dont le diamètre est supérieur au km

Les 3 plus grands sont :

Céres (950 km), Pallas (572 km) et Vesta (530 km)

Répartition et lacunes de Kirkwood



Structure et classification



Les plus gros, dont le diamètre est supérieur à 400 km, sont différenciés. Ils possèdent un noyau métallique.

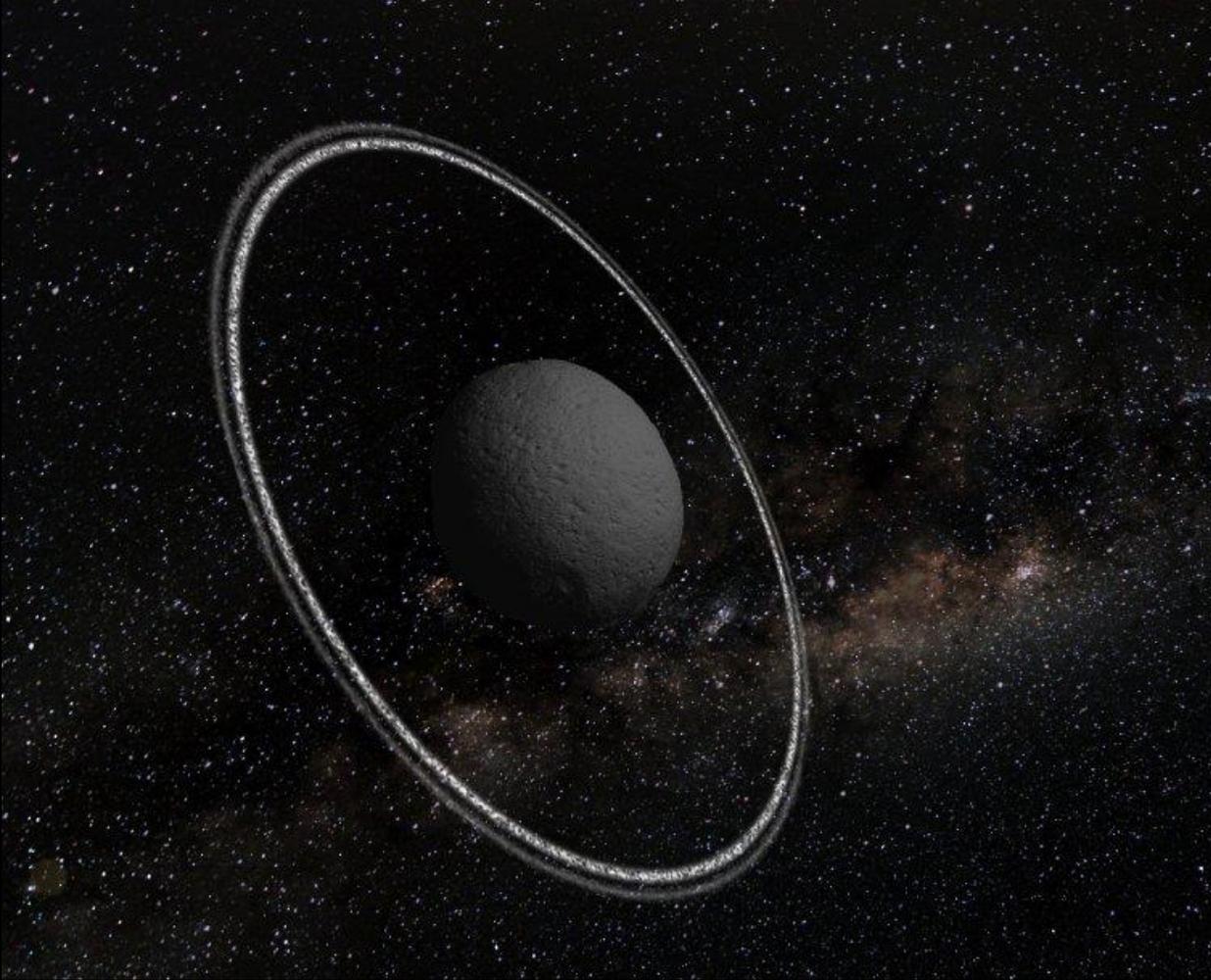


D'après leur couleur, leur albédo et leur spectre, on a pu déterminer leur composition et les classer en 3 catégories :

- **type C** : riches en carbone et représentant 75 % des astéroïdes.
- **type S** : riches en silicate ; environ 15 % des astéroïdes
- **type M** : riches en métaux ; 10 %

En 2010, des astronomes ont trouvé des astéroïdes contenant une quantité de glace d'eau importante..

Un astéroïde avec des anneaux !



Situé au-delà de l'orbite de Saturne, Chariklo est un astéroïde d'environ 250 km. Le 26 mars 2014, on découvre deux anneaux :

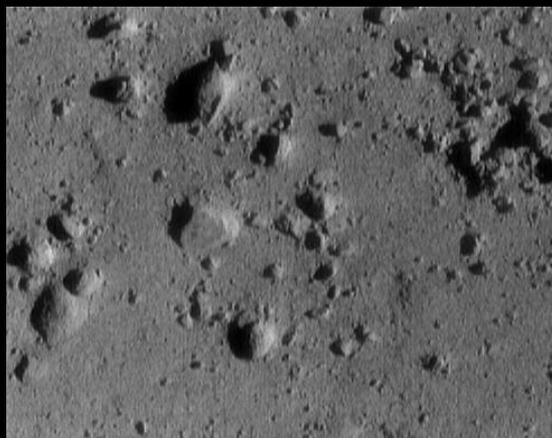
Le premier aurait un rayon de 391 km, pour 7 km de large et le second mesure 405 km de rayon pour 3 km de large.

Exploration de la ceinture d'astéroïdes



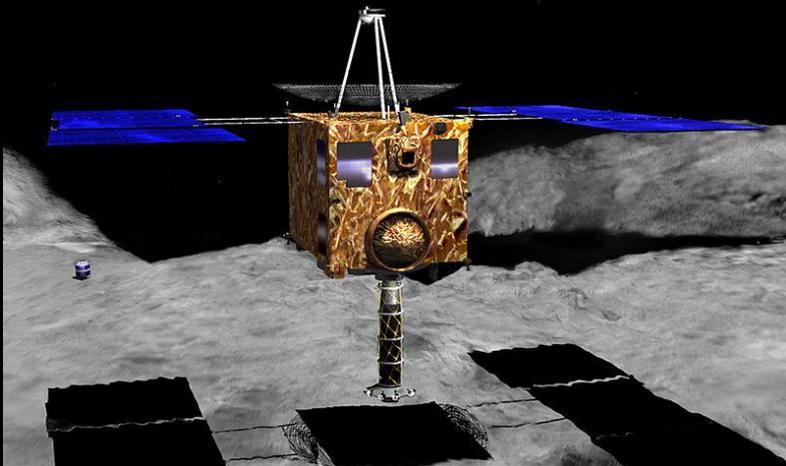
Première exploration d'un astéroïde, avec la **sonde Galiléo**, le 29.10.91 : Gaspra.

Le 28.08.93, elle photographie Ida et Dactyl.



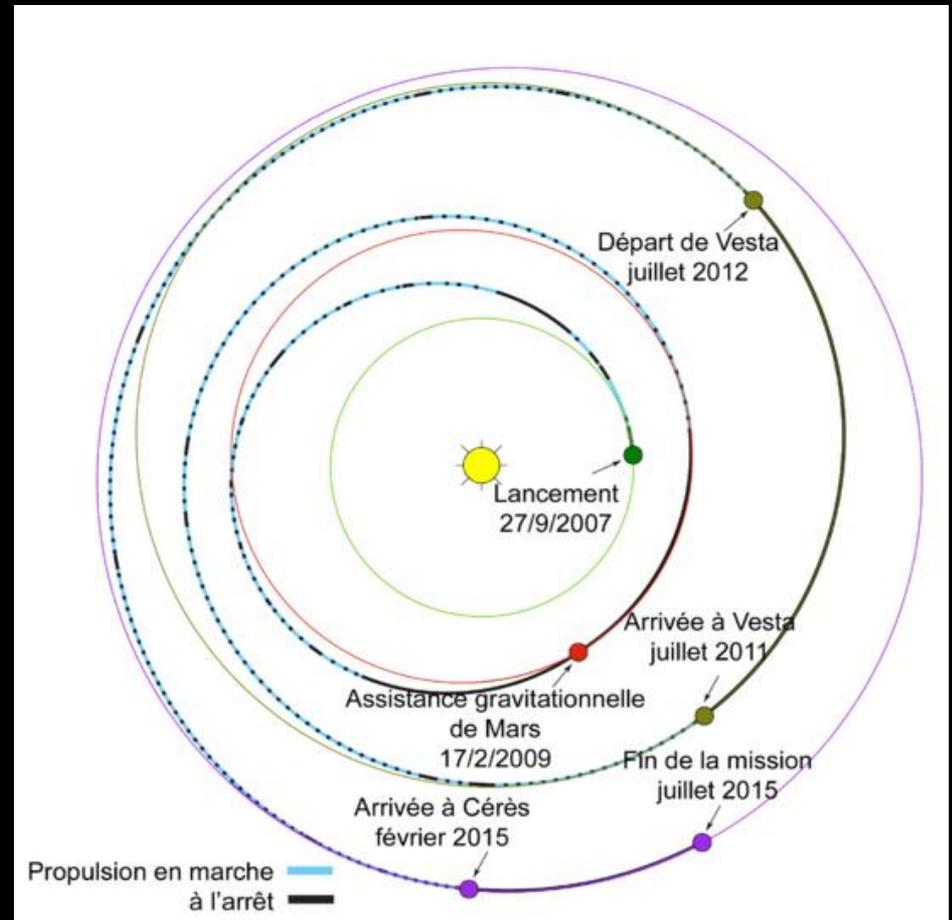
Première mise en orbite autour d'un astéroïde, Eros : la mission NEAR, qui arrive le 14.02.2000.

Mission Hayabusa : en 2005 une sonde se pose sur l'astéroïde Itokawa et ramène en 2010 quelques poussières prélevées à sa surface.





Mission Dawn 2007 - 2015





4 Vesta



21 Lutetia



253 Mathilde



243 Ida / 1 Dactyl



433 Eros



951 Gaspra



2867 Šteins



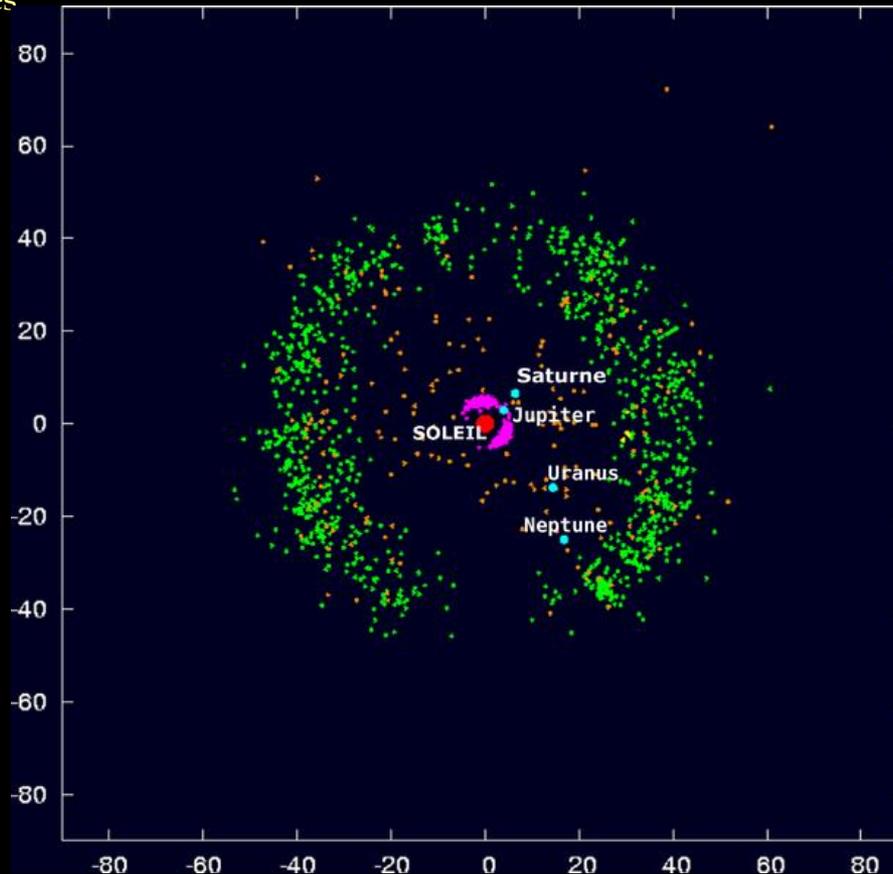
5535 Annefrank



25143 Itokawa

La ceinture de Kuiper

Imaginée au début des années 50 par Gérard Kuiper, le premier objet fut découvert en 1992. Elle s'étend de 30 et 55 UA. Elle contiendrait plus de 70000 corps de plus de 100 km, dont trois planètes naines : Pluton, Makemake et Hauméa. Eris serait l'un des plus gros astres de cette ceinture. On y trouverait également des comètes périodiques



Contrairement aux astéroïdes de la ceinture principale, ceux de la ceinture de Kuiper sont principalement composés d'un mélange de glace d'eau, d'hydrocarbure et d'ammoniac. La température est d'environ -225°C .

Les plus grands objets transneptuniens connus



Éris



Pluton



Makemake



Haumea



Sedna



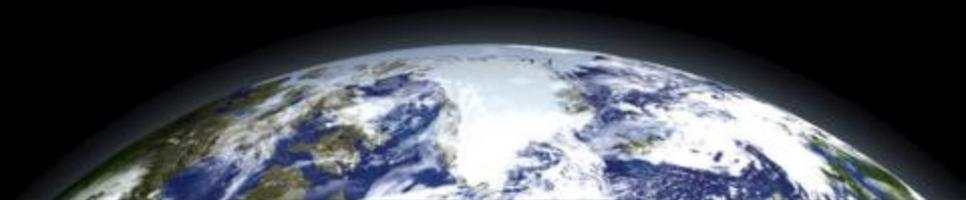
Orcus

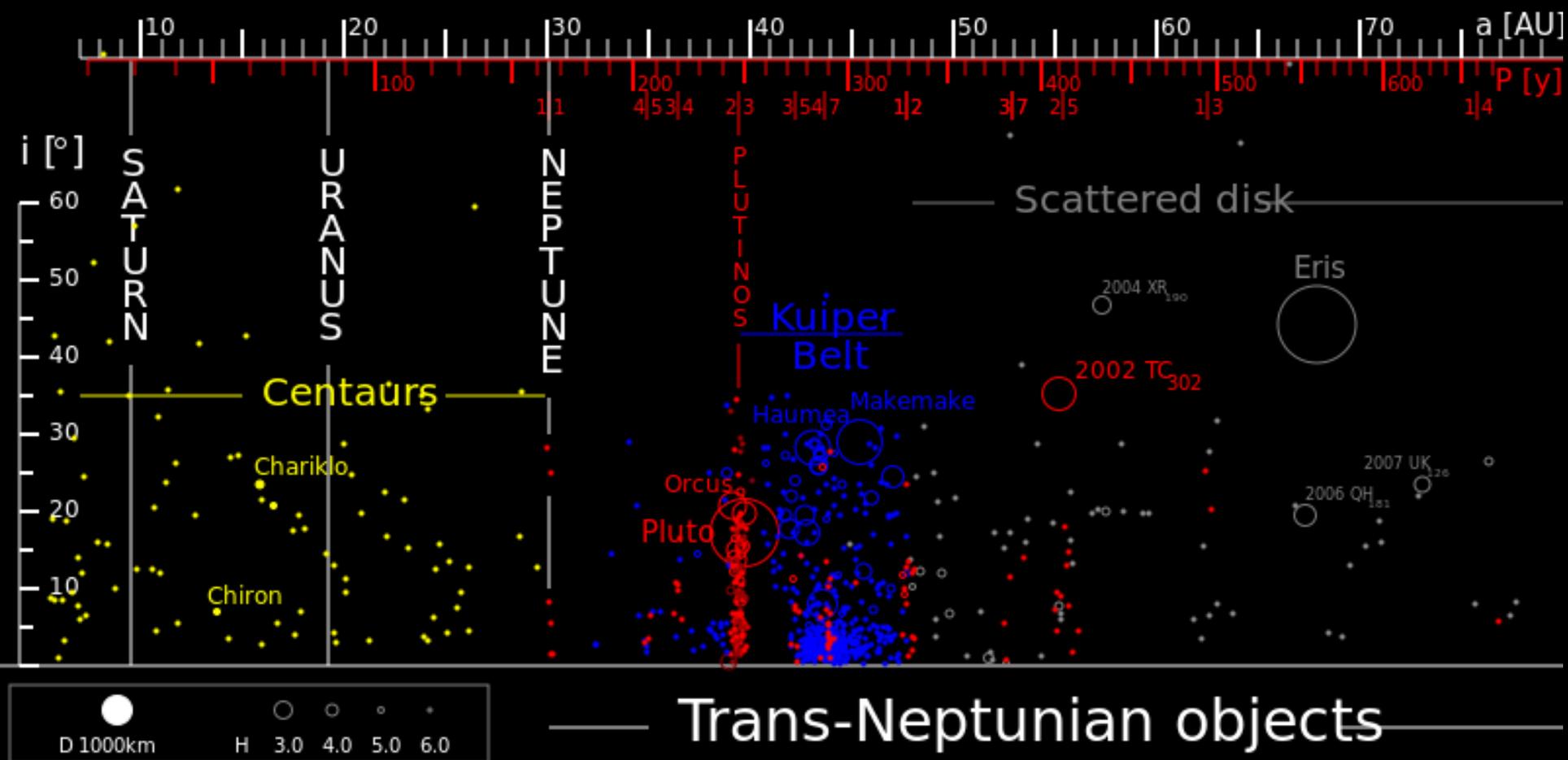


Quaoar



Varuna





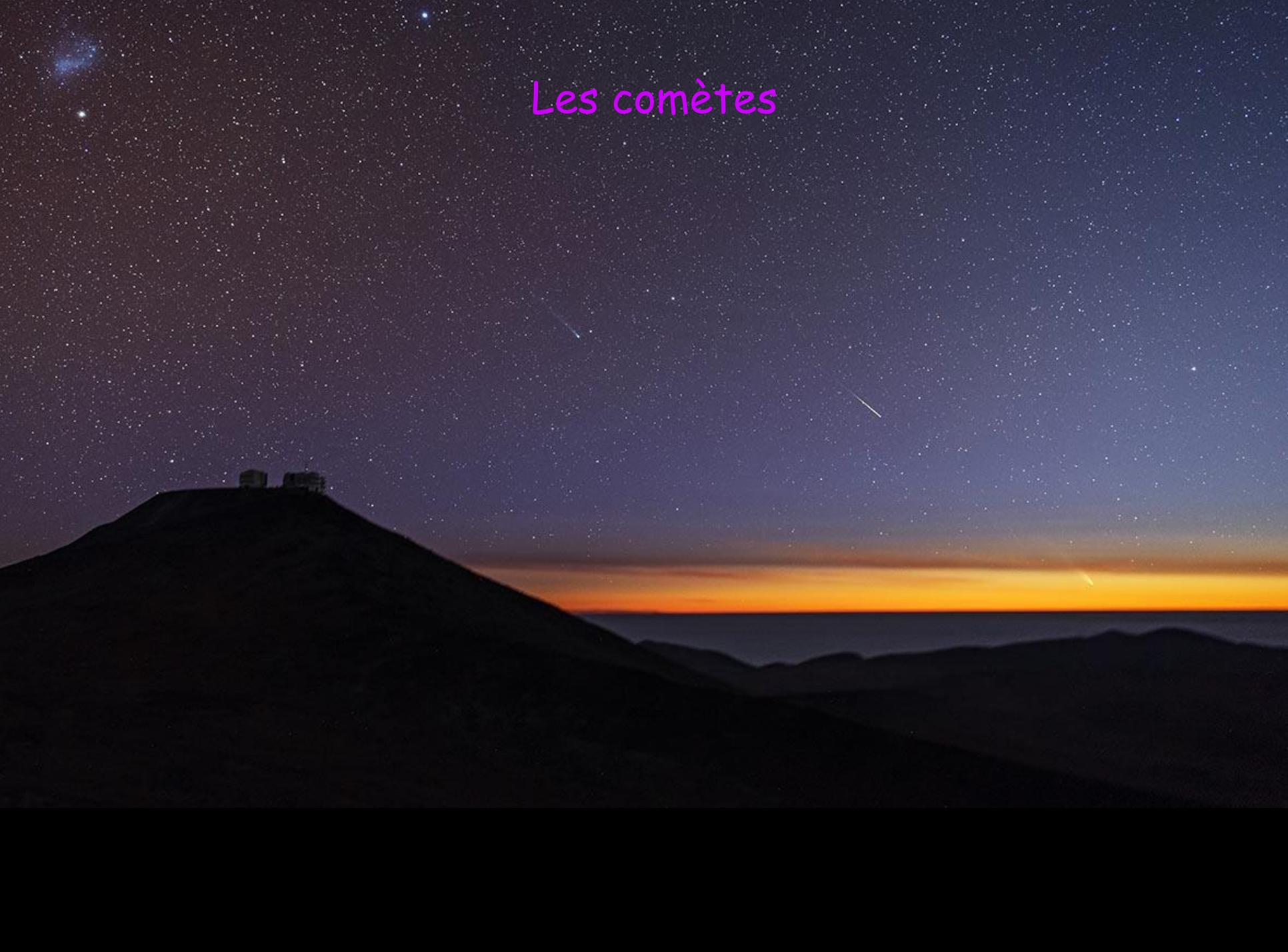
Les géocroiseurs

Il s'agit d'astéroïdes dont l'orbite croise celle de la Terre. On estime leur nombre à 4000 à 5000, ayant une taille comprise entre 100 m et plus de 1 km, dont 30 % sont identifiés. Il existerait 500000 géocroiseurs dont la taille est inférieure à 100 m.

Risque de collision : un astéroïde de moins de 50 m tous les 100 ans.

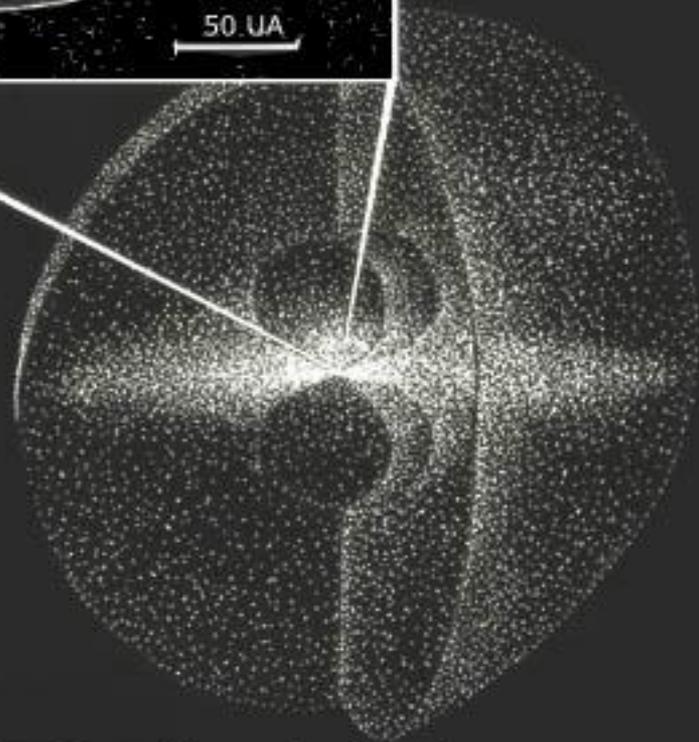
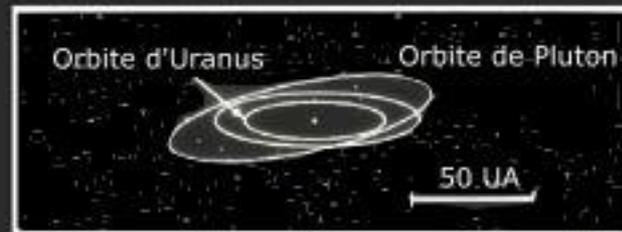


Les comètes



On connaît actuellement plus de 200 comètes périodiques. Mais la grande majorité serait située dans le nuage de Oort.





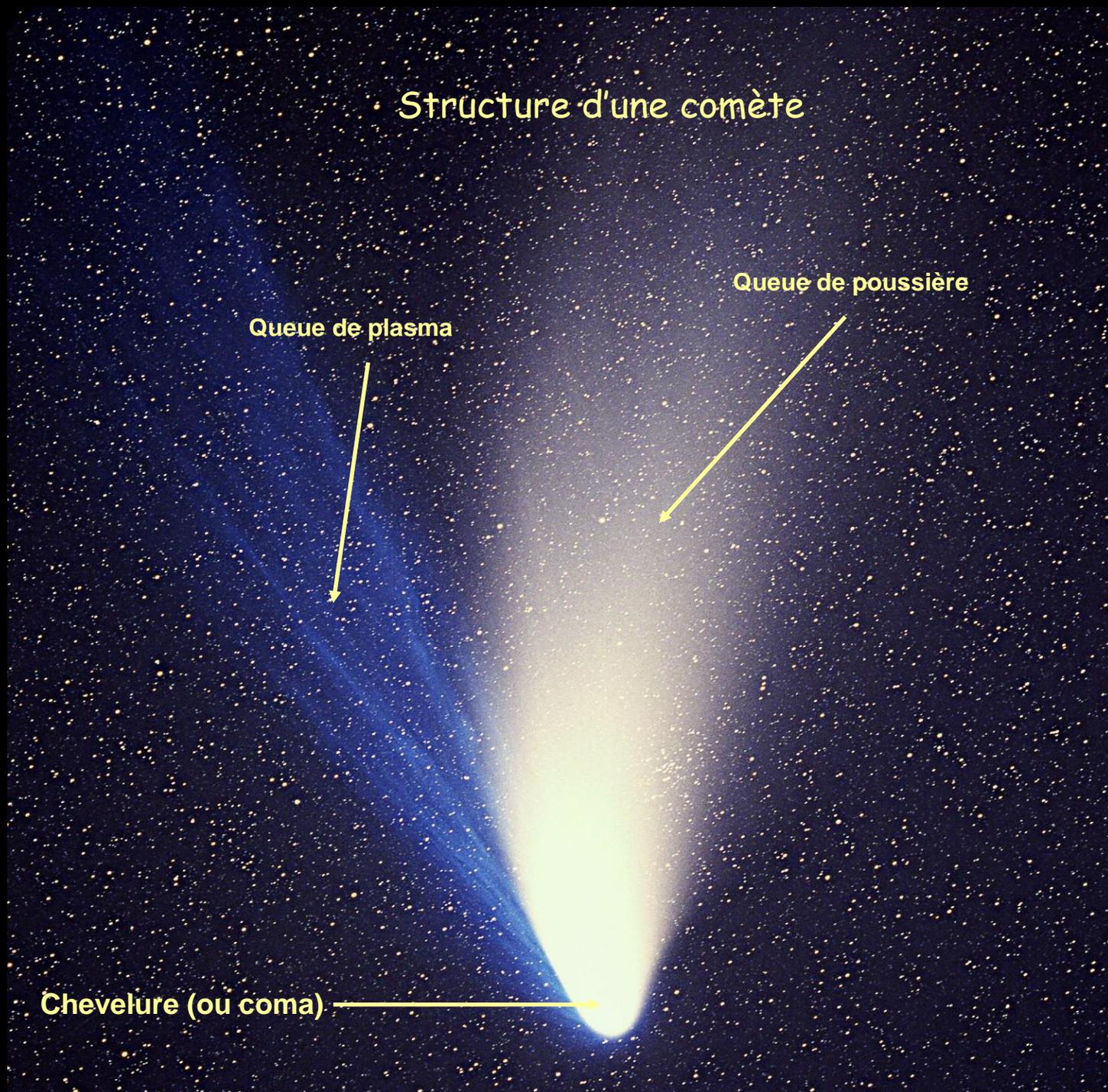
Le Nuage de Comètes de Oort

Structure d'une comète

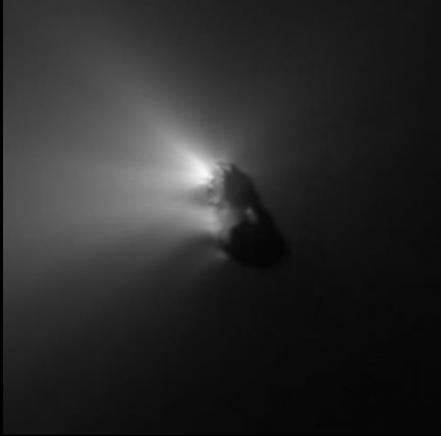
Queue de plasma

Queue de poussière

Chevelure (ou coma)



Le noyau



Depuis 1950 et le modèle de Fred Whipple, on parle de « boule de neige sale », composée de 50 % de glace d'eau et 50 % de matière rocheuse.

Il mesure de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres.

La chevelure

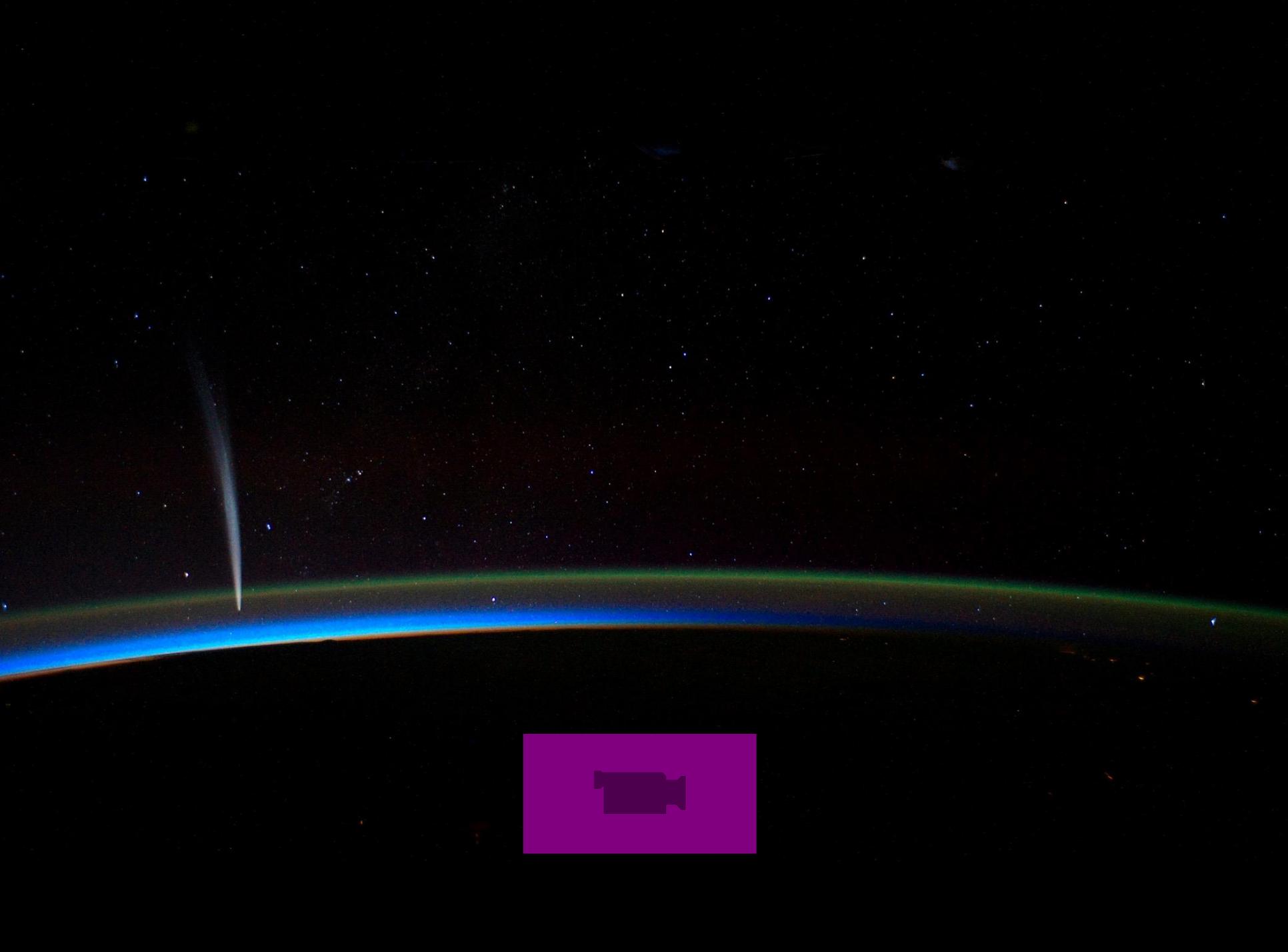


Elle s'étend habituellement entre 50000 et 250000 km, avec un record de 1.8 millions de kilomètres pour la comète Holmes. Il est composé de gaz (eau, monoxyde de carbone...) et de poussière. Il masque toujours le noyau.

Les queues



Les comètes les plus importantes possèdent 2 queues. La queue de plasma (ionique) constituée de gaz et toujours exactement à l'opposée du Soleil qui apparaît bleue et la queue de poussière, incurvée dans le plan de l'orbite par la gravité du Soleil. Elle s'étend sur plusieurs millions de km.



Quelques belles (et rares !) comètes



Lovejoy 2011



Halley 1910



West 1976



Hale-Bopp 1997



McNaught 2007

Les missions d'exploration



La sonde européenne Giotto : première sonde en 1986 à s'approcher du noyau d'une comète. Elle met en évidence que la surface est aussi sombre que du charbon et que seulement 10 % de la surface est active.

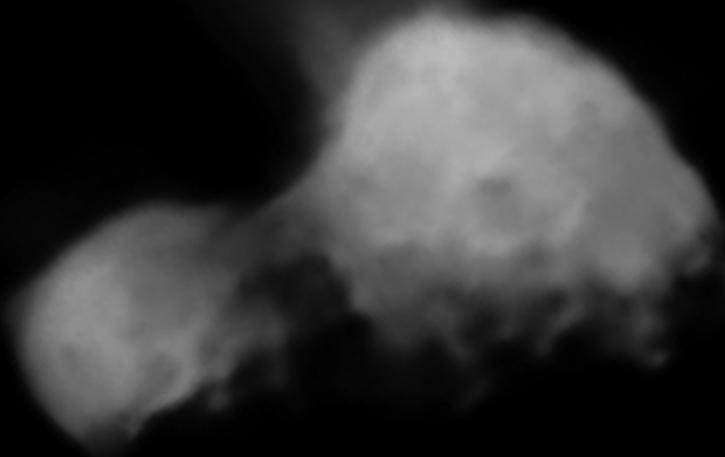


Comète Hartley 2, survolée en 2010 par la sonde Deep Impact



La mission Deep Impact, qui en juillet 2005 envoya un projectile de 370 kg sur la comète Tempel 1. Celui-ci creusa un cratère de 30 m de diamètre et provoqua l'éjection de plusieurs tonnes de matériaux.

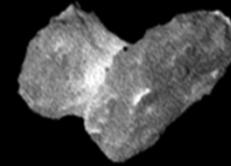
COMETS VISITED BY SPACECRAFT



1P/Halley
16 × 8 × 8 km
Vega 2, 1986



81P/Wild 2
5.5 × 4.0 × 3.3 km
Stardust, 2004



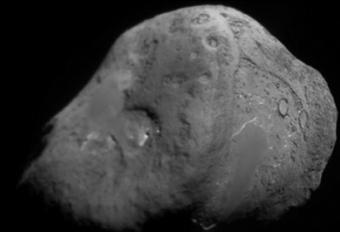
67P/Churyumov-
Gerasimenko
4 × 3 km
Rosetta, 2014



103P/Hartley 2
2.2 × 0.5 km
Deep Impact/EPOXI, 2010

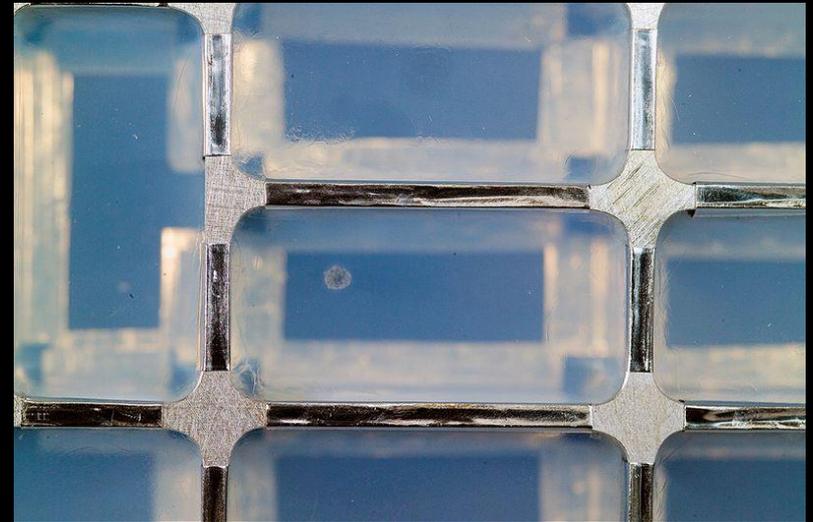
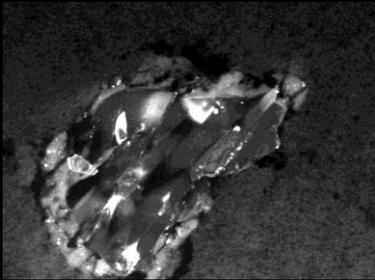


19P/Borrelly
8 × 4 km
Deep Space 1, 2001



9P/Tempel 1
7.6 × 4.9 km
Deep Impact, 2005

Modified 2014-07-31. For the latest version of this image, visit planetary.org/cometscale
Image credits: Halley: Russian Academy of Sciences / Ted Stryk. Borrelly: NASA / JPL / Ted Stryk. Tempel 1 and Hartley 2: NASA / JPL / UMD. Churyumov-Gerasimenko: ESA / Rosetta / MPS for OSIRIS Team MPS / UPD / LAM / IAA / SSO / INTA / UPM / DASP / IDA. Wild 2: NASA / JPL. Montage by Emily Lakdawalla.

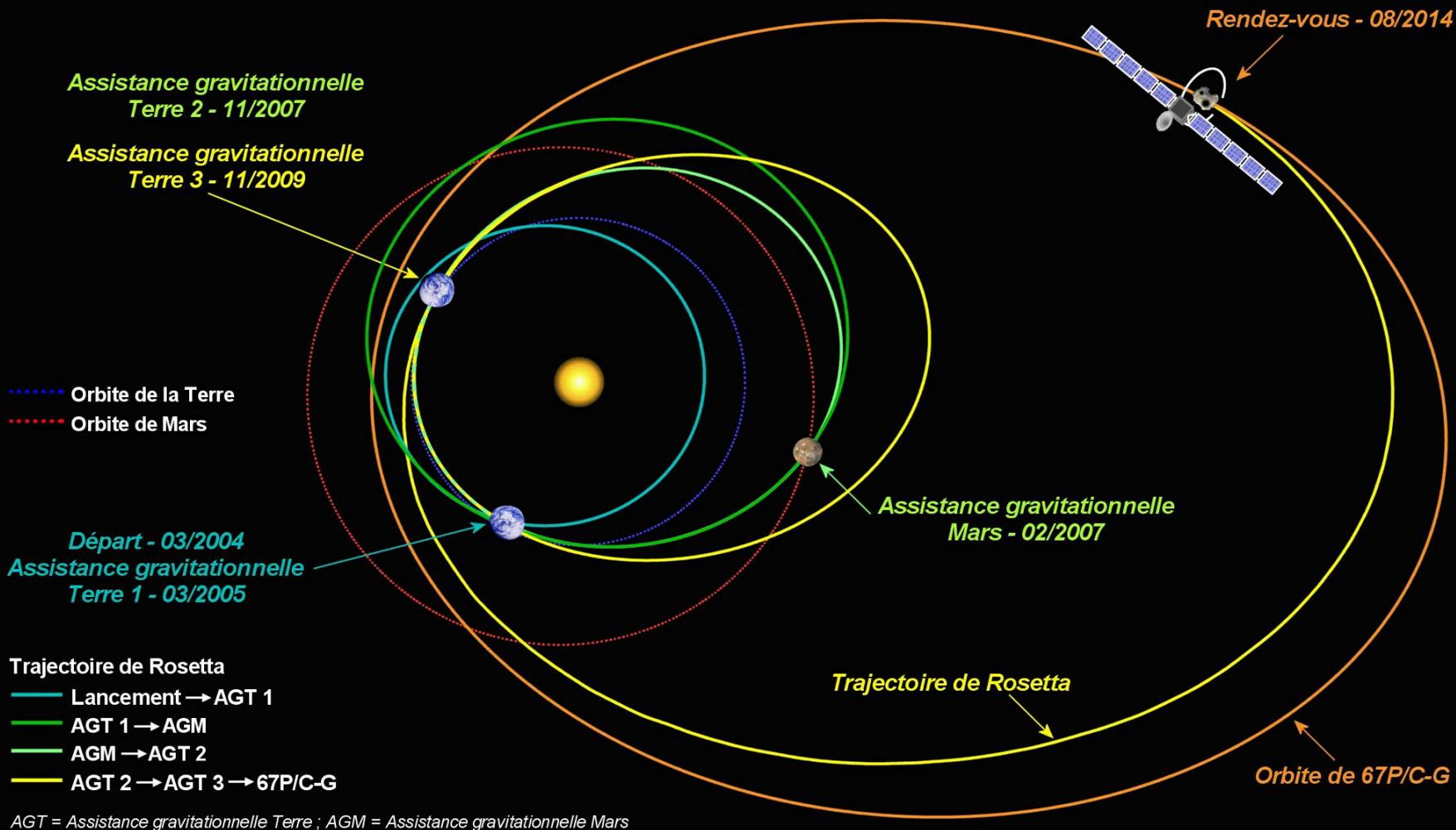


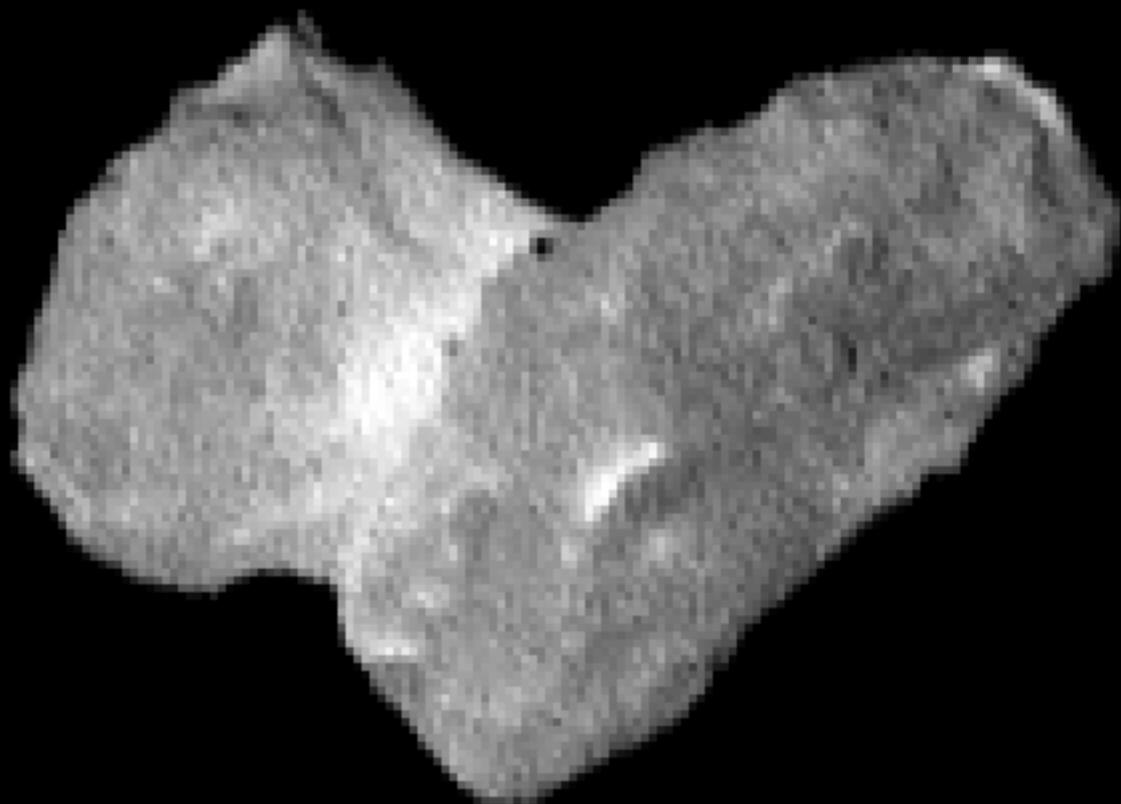
La mission Stardust : lancée en février 1999, la sonde collecte des poussières de comète en s'approchant à moins de 236 km du noyau, le 24 janvier 2004. Le retour des échantillons a eu lieu le 15 janvier 2006.

La mission Rosetta



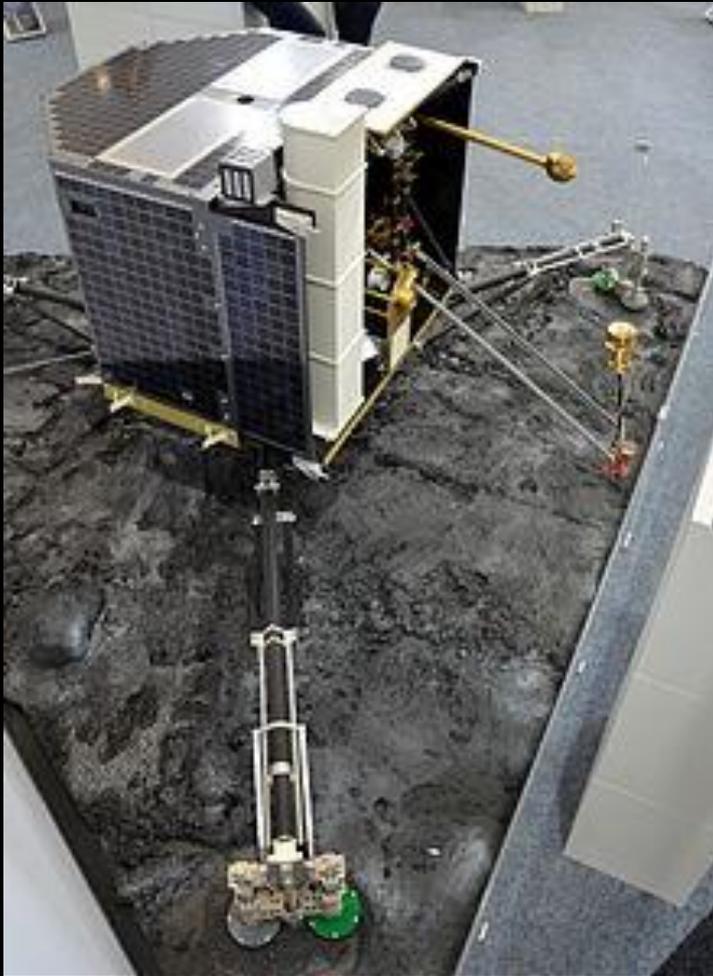
Lancée le 2 mars 2004, la sonde européenne atteindra sa cible, la comète Tchourioumov-Guerassimenko en août 2014.
Elle embarque un atterrisseur, Philae, qui pèse environ 100 kg.





2 km





Philae se posera sur la comète le 11 novembre 2014. Il disposera d'une foreuse capable de faire des carottages jusqu' à 20 cm de profondeur.



Une origine longtemps contestée

La météorite d'Ensisheim

« En l'an de grâce 1492, le mercredi d'avant la Saint-Martin, le 7^{ème} jour de novembre, se produisit un étrange miracle.(...) aux environs de midi, retentit un terrible coup de tonnerre accompagné de déflagrations et d'éclairs, et une pierre énorme de 260 livres tomba. »



Le 26 avril 1803, la chute de l'Aigle en Normandie, avec 3000 fragments, clôt le débat sur l'existence des météorites. Mais à l'époque, on pense qu'il s'agit de pierres volcaniques issues d'éruption sur la Lune.



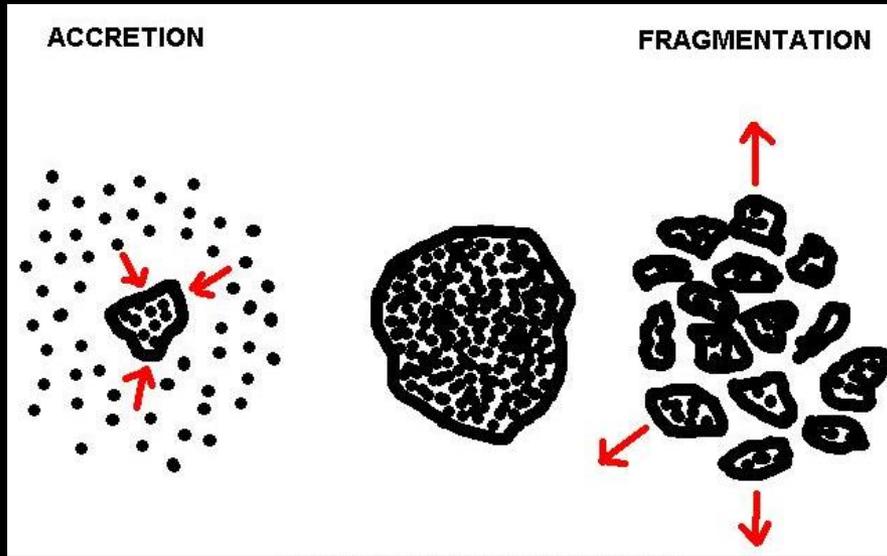
Le 14 mai 1864, une météorite de 14 kg s'écrase dans un champ près d'Orgueil

Origine des météorites

1. Résidu de la formation du système solaire
2. Issues de la collision entre des astéroïdes
3. Poussières de comètes

On estime qu'il tombe plusieurs tonnes de météorites par jour sur Terre. Mais 95 % serait sous la forme de micrométéorites (< 0.1 mg) et n'atteignent jamais le sol.

Naissance des météorites et classification

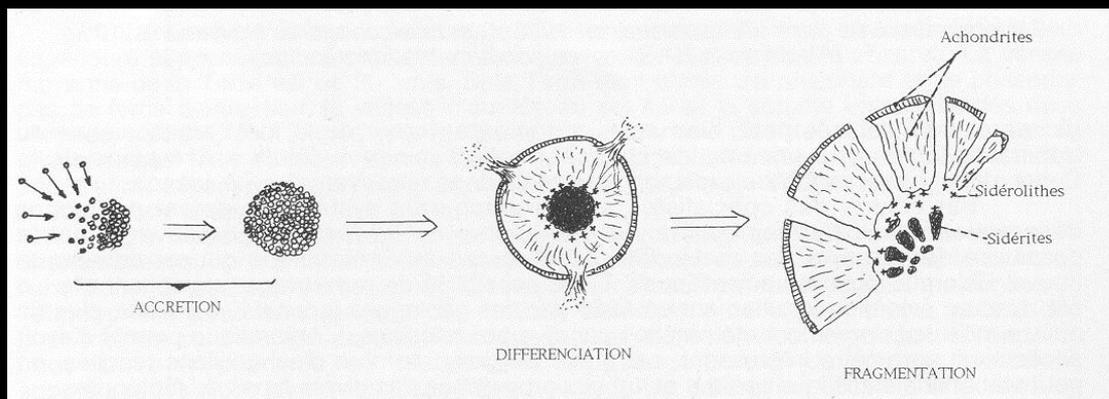


Les météorites non différenciées « primitives »

Les chondrites

Elles gardent la mémoire de ce qu'était le système solaire avant la formation des planètes

Les éléments qu'elles renferment sont de véritables empreintes de la nébuleuse primitive !!!



Les météorites différenciées

Comme les roches terrestres, les corps d'origine de ces météorites ont été fondus, et ont vu leur composition chimique et leur structure se transformer

Ils ont subi la *différenciation* .

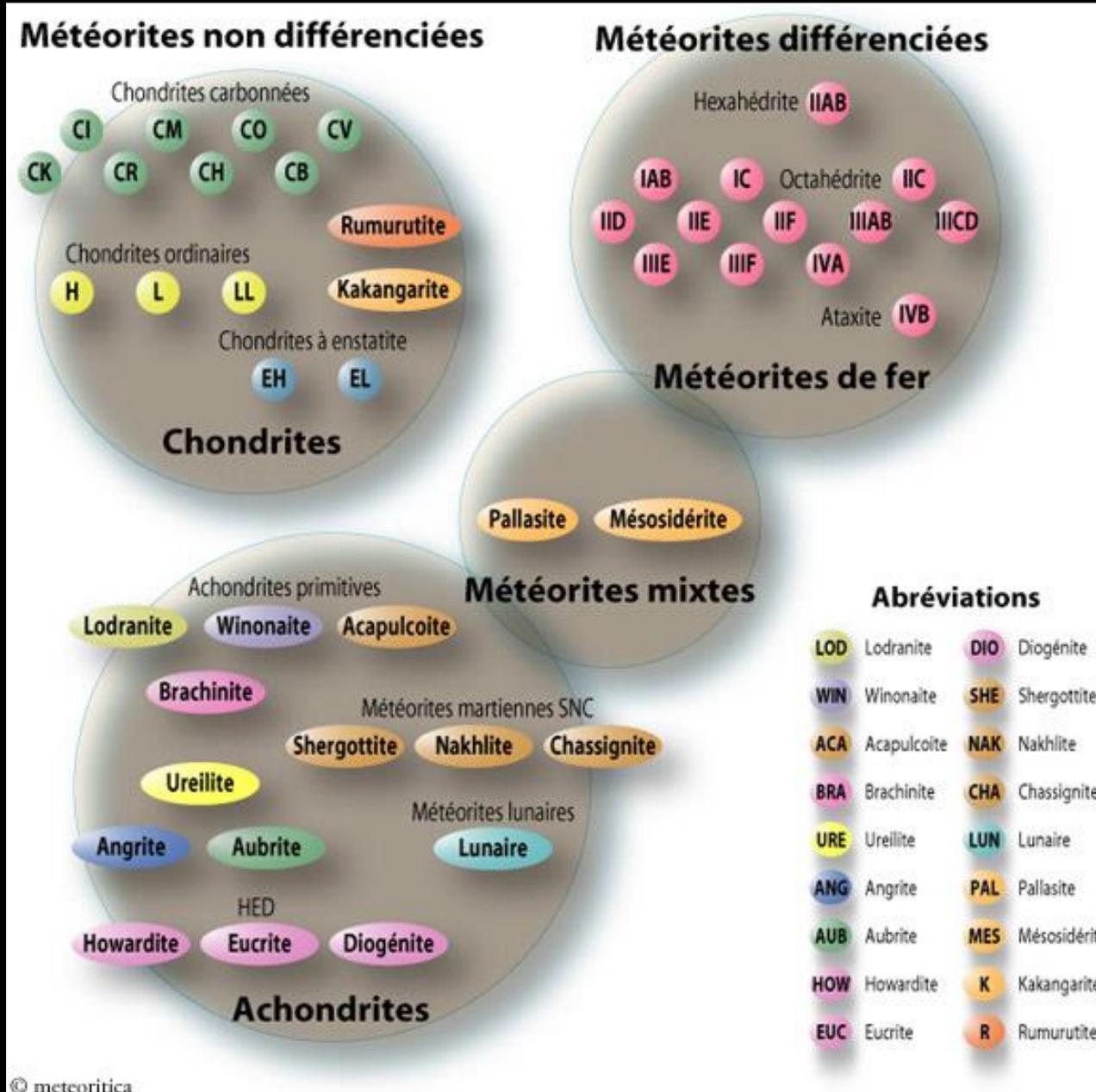
92 % des météorites sont « pierreuses », 6 % métalliques et 2 % mixtes.

Les **chondrites** seraient issues des premiers instants de la formation du système solaire.

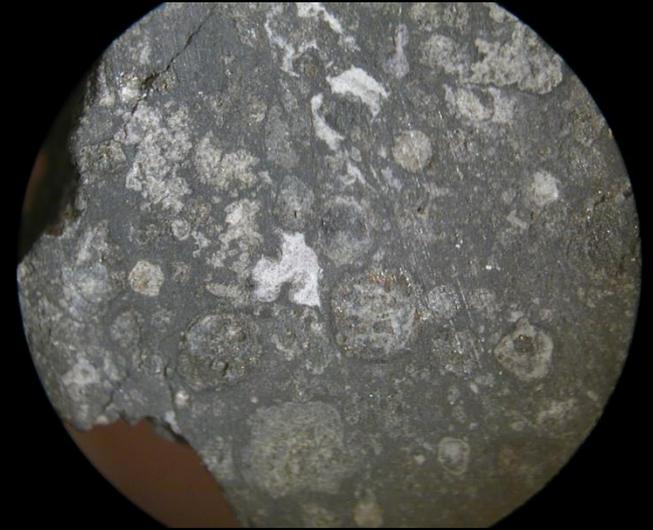
Les **météorites de fer**, appelées anciennement sidérites, seraient les restes de noyau d'astéroïdes ayant été détruits par collision.

Les **météorites achondrites**, désignent des météorites pierreuses (moins de 35 % de métaux) différenciées qui viendraient de la surface d'astéroïdes.

Les **météorites mixtes**, viendraient de l'interface entre le manteau rocheux et le noyau métallique d'un astéroïde différencié.



Météorites non différenciées : les chondrites



Pueblito de Allende, Mexique

Chondrite carbonées

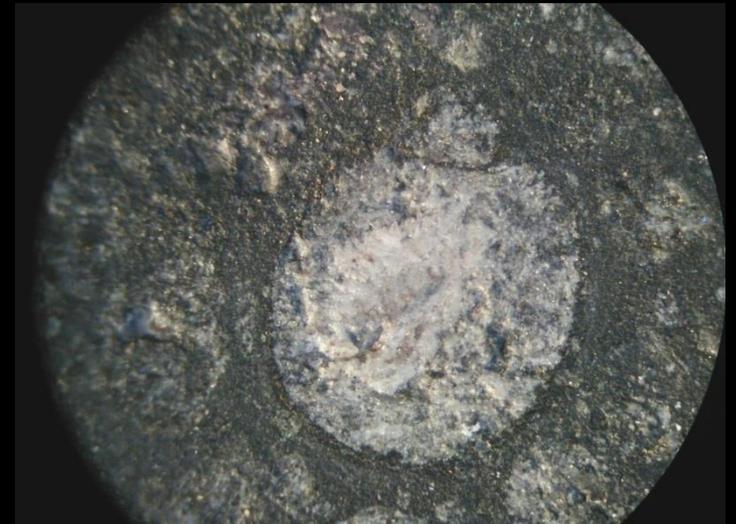
30 tonnes (plus gros fragment 20 kg)

Fragments sur 450 km²

3 000 kg d'échantillons ramassés

4,567 milliards d'années : la naissance du système solaire

Allende est une roche antérieure à sa formation !



MURCHINSON



Australie, 1969

Les météorites carbonées renferment des composés organiques variés.

Des composés plus proches des composés biologiques ont été identifiés : acides carboxyliques, acides aminés...

La météorite carbonée de Murchison renferme plus de soixante-dix acides aminés différents

ZAG



Maroc, 1998

Cristaux de chlorure de sodium enrichi au xenon (début du Système Solaire) issus de l'évaporation d'eau!

Age : 2 millions d'années après la naissance du Système Solaire

L'eau était présente dans le Système Solaire primitif

Météorites différenciées : les sidérites (fer)

Hoba



Namibie, trouvaille 1920
60 tonnes



El Chaco
Argentine, trouvaille 1969
37 tonnes





Willamette

USA, Oregon, trouvaille 1902

14 tonnes



Sikhote Alin

Sibérie, chute en 1947

60 tonnes

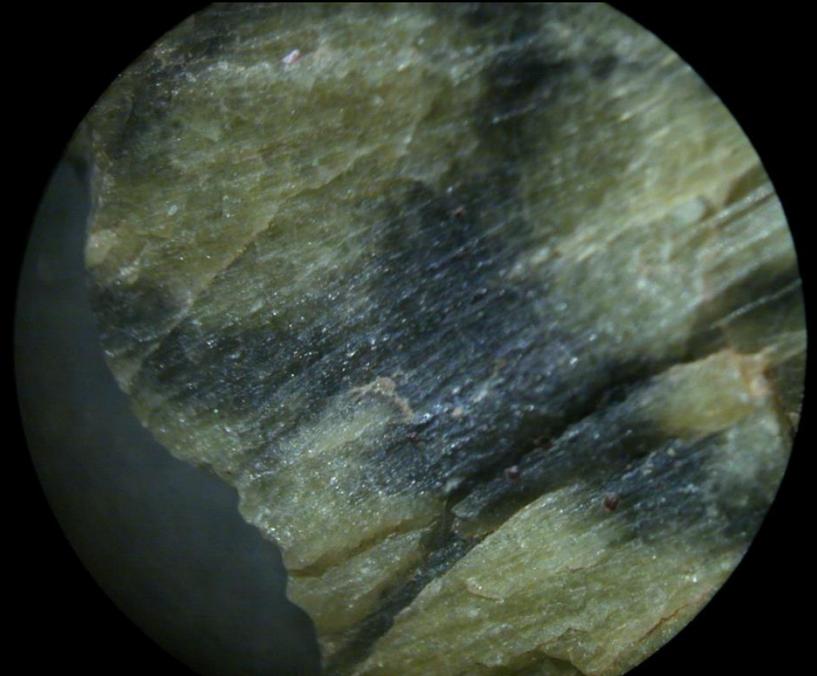
Météorites différenciées : les achondrites



Tunisie, chute le 27 juin 1931

On retrouve 12 kg

Origine probable : l'astéroïde Vesta



Les achondrites d'origines lunaires

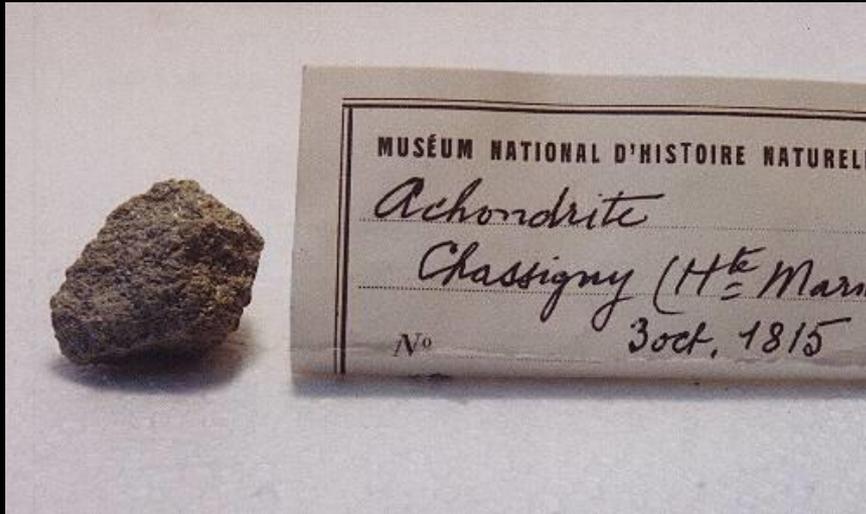
Environ 80 météorites sont reconnues comme étant des roches lunaires



ALH A 81005 Antarctique

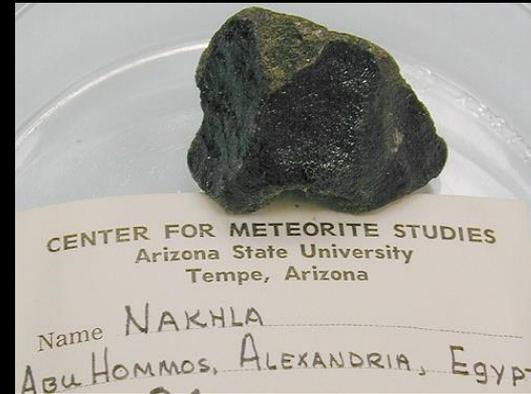


Les achondrites d'origines martiennes



Chassigny, chute le 3 octobre 1815

Environ 80 météorites identifiées



El Nakhla, Egypte, chute le 28 juin 1911

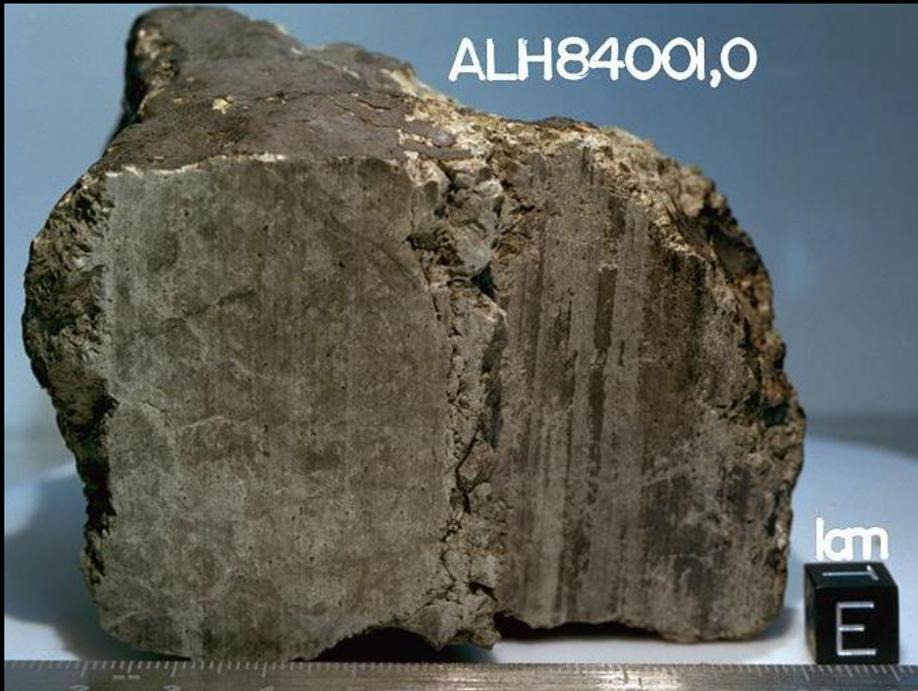


Shergotty, Inde, chute le 25 août 1865



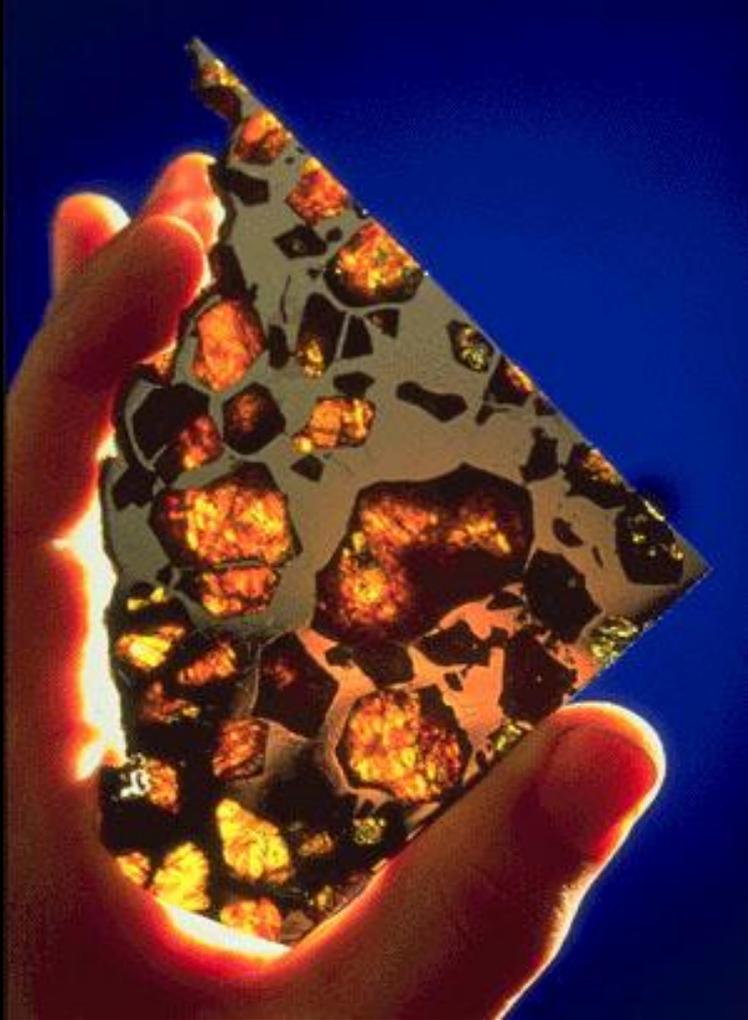
**Zagami, Niger,
chute le 3 octobre 1962
18 kg
1000 \$ le gramme**

ALH84001,0

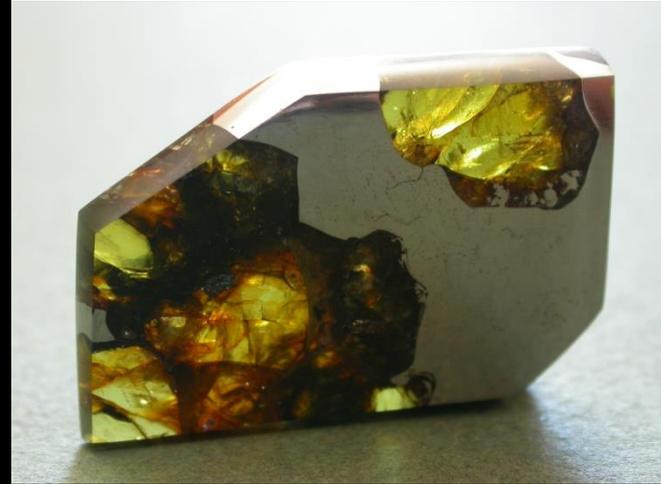


Météorites différenciées : les mixtes

Les pallasites



Esquel Argentine, trouvaille, 1951

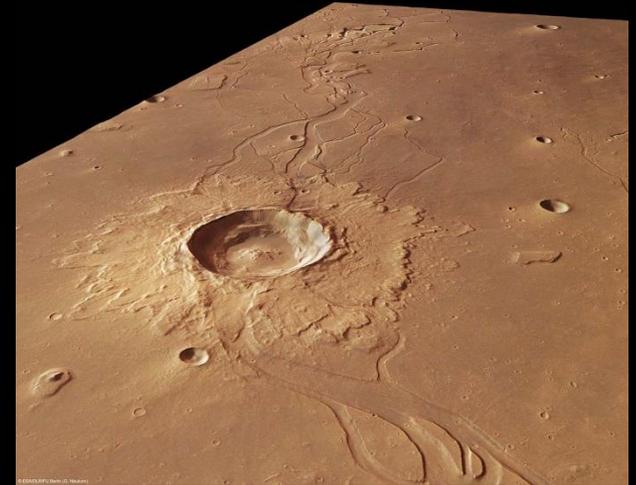


65 kg 100 000 \$

Rencontres et impactisme



Impactisme dans le système solaire



- ✓ Chaque année, il tomberait entre 15000 et 100000 T de météorites sur Terre. 95 % sont sous forme de micrométéorites.
- ✓ Vitesse de rencontre avec la Terre : de 11 à 83 km/s
- ✓ Le frottement maximal a lieu vers 20 km d'altitude
- ✓ Les météorites de quelques dizaines de tonnes sont entièrement détruites dans l'atmosphère
- ✓ Toute l'énergie cinétique est convertie en une fraction de seconde en chaleur et en onde de choc qui produisent la volatilisation de l'astéroïde et un cratère 10 à 20 fois plus grand que l'objet impacteur.

Taille de la météorite	Fréquence
1 μm	30 μs
1 mm	30 secondes
1 m	1 an
50 m	100 ans
100 m	10000 ans
1 km	1 million d'années
10 km	100 millions d'années



Quelques rencontres célèbres...





Toungouska

30 juin 1908

Explosion entendue à plus de 1000 km

1000 fois Hiroshima

Chute enregistrée sur les sismographes du monde entier

Première expédition en 1921

Arbres couchés et brûlés dans un rayon de 30 km



Meteor Crater, Arizona



Cratère de 1200 m de diamètre pour
190 m de profondeur.

Taille estimée de la météorite 50 m
pour 30000 T.

Il y a environ 50000 ans.



Holsinger 630 kg

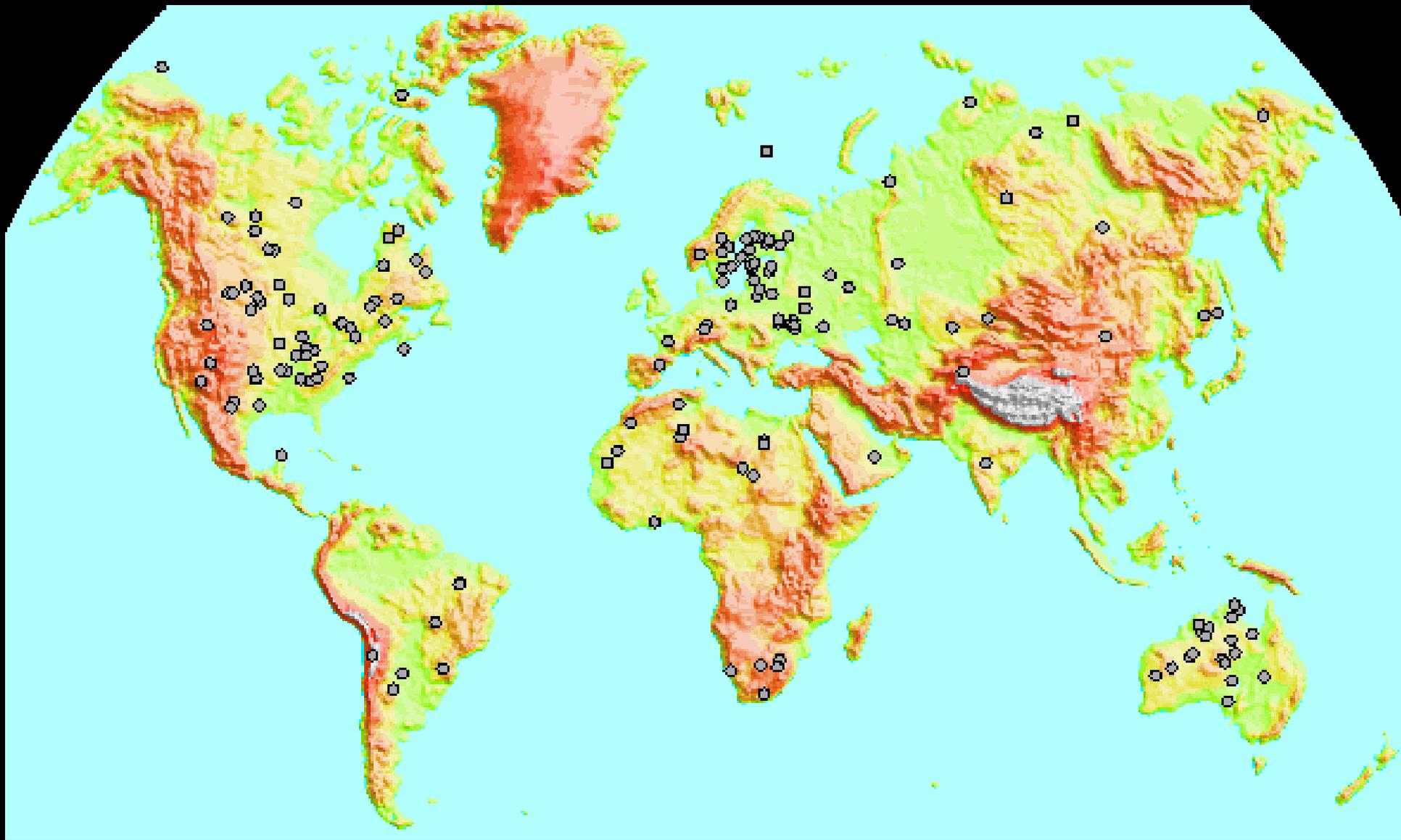


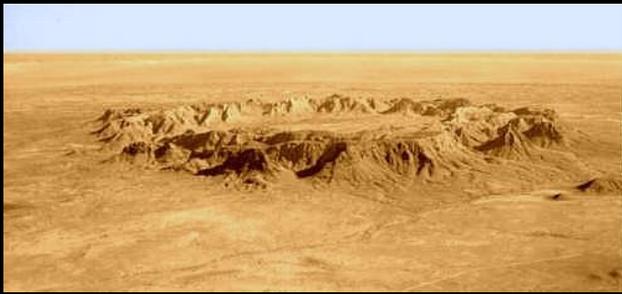
15 février 2015, Tcheliabinsk

- Taille estimée : 15 à 17 m
- Masse : 7000 à 10000 tonnes
- 30 fois la puissance de la bombe d'Hiroshima.



De nombreux cratères sur Terre

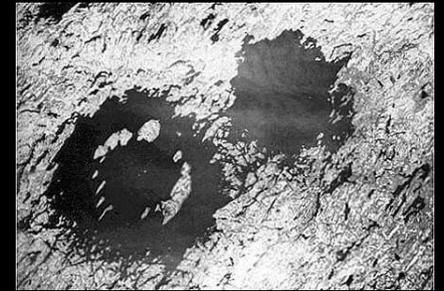




Gosses Bluf, Australie, 24km



Tenoumer, Mauritanie, 2 km



Clear Water, Canada, 26 & 36 km



Popigai, Sibérie, 100 km



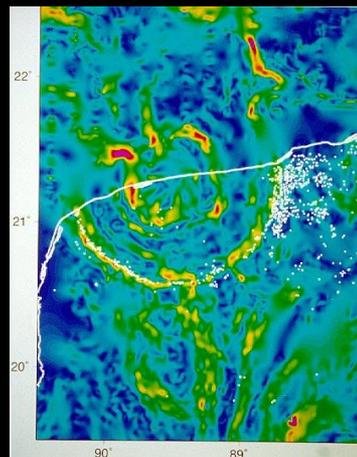
Manicouagan, Québec, 100 km



Ries, Allemagne, 24 km

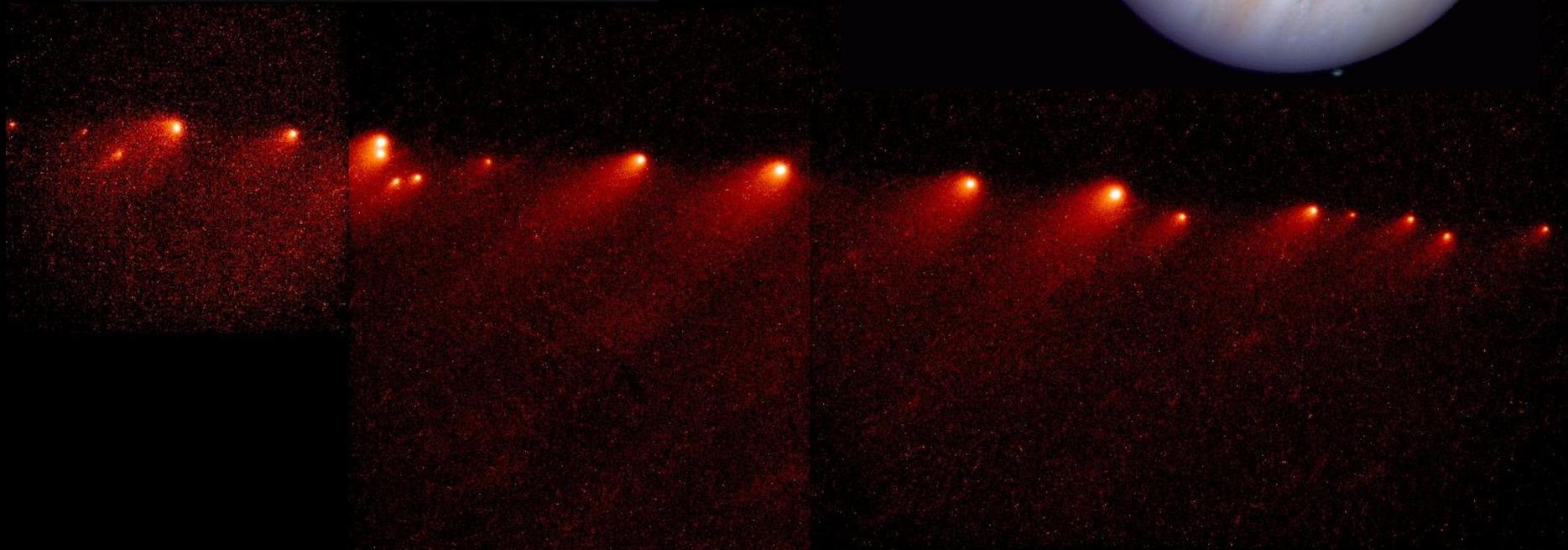
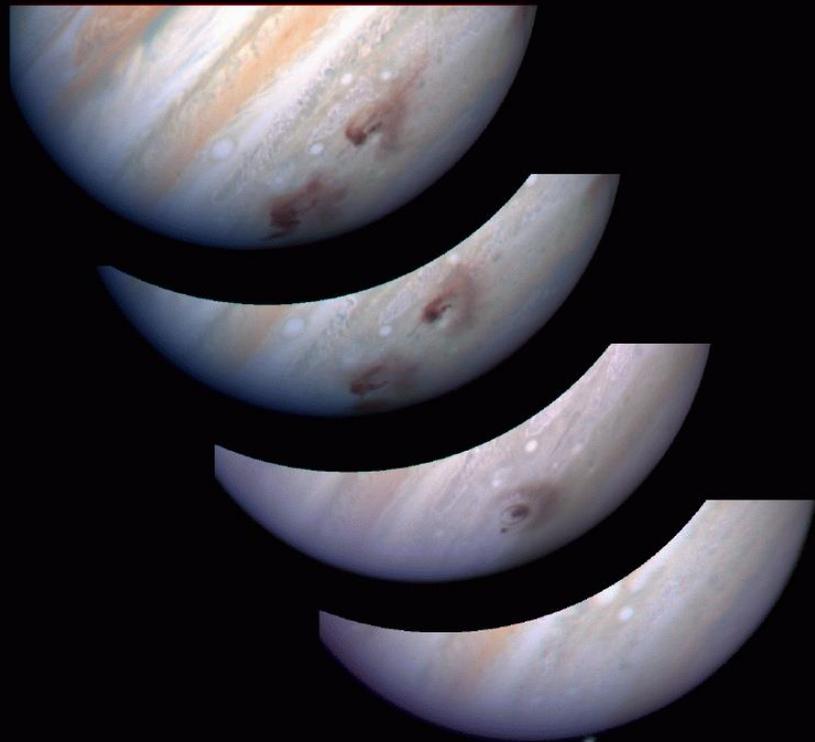
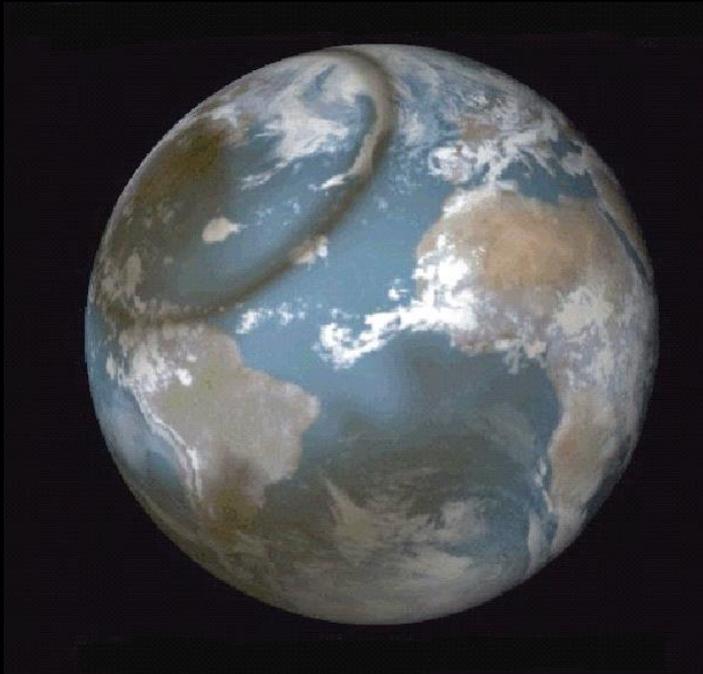


Amguid, Algérie



**Chicxulub, Mexique, 180 km,
65 millions d'années**





Entre le 16 et 22 juillet 1994, 23 fragments de la comète Shoemaker-Levy 9 tombent sur Jupiter.

