

## Histoire de la cosmologie

Un cours offert aux étudiants  
de la Faculté des lettres,  
de la Faculté de biologie et de médecine,  
de la Faculté de géosciences et environnement,  
de la Faculté des sciences sociales et politiques et  
de la Faculté de théologie et de sciences des religions  
de l'Université de Lausanne

dans le cadre de « Sciences au carré »

## Histoire de la cosmologie



Prof. Georges Meylan

Laboratoire d'astrophysique  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Site web du laboratoire et du cours :  
<http://lastro.epfl.ch>

## Histoire de la cosmologie

### 03 – Le système solaire - B

03.B.1 Météores et météorites

03.B.2 Comètes

03.B.3 La formation du système solaire

03.B.4 Astéroïdes, astrobolèmes et les dangers des NEOs

03.B.5 L'explosion de la Tunguska du 30 juin 1908

03.B.6 Les canaux de Mars : histoire d'un mythe oublié

Voir le fichier [03-Systèmesolaire-B.pdf](#) sur le site web  
du laboratoire et du cours : <http://lastro.epfl.ch>

# Histoire de la cosmologie

## 03 – Le système solaire – B

Bibliographie succincte

- GOUNELLE, Matthieu. *Les Météorites*. Paris : PUF, 2009.
- LEVASSEUR-REGOURD A.-C. et de la COTARDIERE P. . *Les comètes et les astéroïdes*. Paris : Editions du Seuil, 1997.
- LUMINET, Jean-Pierre. *Le rendez-vous de Vénus*. Paris : JC Lattès, 1999.
- LUMINET, Jean-Pierre. *Le feu du ciel : Météores et astéroïdes tueurs*. Paris : Le Cherche-midi Editeur, 2002.
- YEOMANS, Donald K.. *Comets : A Chronological History of Observation, Science, Myth and Folklore*. New York : Wiley Science Editions, John Wiley & Sons, 1991.

## Météore et météorite

Définition du Petit Robert Edition 2004

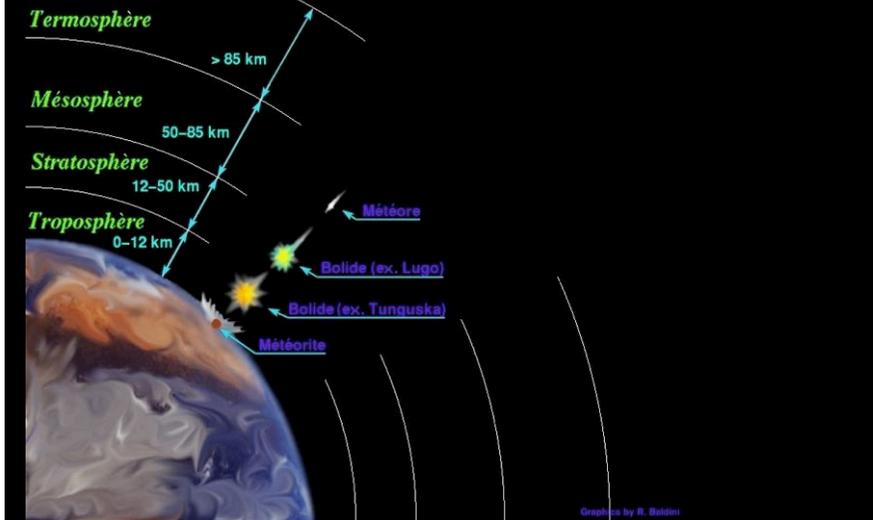
- **Météore** : n. m. v. 1270, du latin médiéval *meteora*, du grec *meteōros* « élevé dans les airs »  
Tout phénomène qui se produit dans l'atmosphère.  
Corps céleste qui traverse l'atmosphère terrestre (visible la nuit par une traînée lumineuse).
- **Météorite** : n. m. ou f. V. 1830  
Fragment de corps céleste qui traverse l'atmosphère et tombe sur la Terre

## 03.B.1

### Météores et météorites



# Du météore au météorite



Ensisheim, Alsace, le 7 novembre 1492 vers 11:30

Uon dem bonnerstein gefallē jm rēij. Jar: vor Ensisheim.



Gravure de l'époque dépeignant la pluie de météores au-dessus de Ensisheim, en Alsace, le 7 novembre 1492 vers 11:30.

Il s'agit de la première chute de météores bien observée en Europe et documentée.

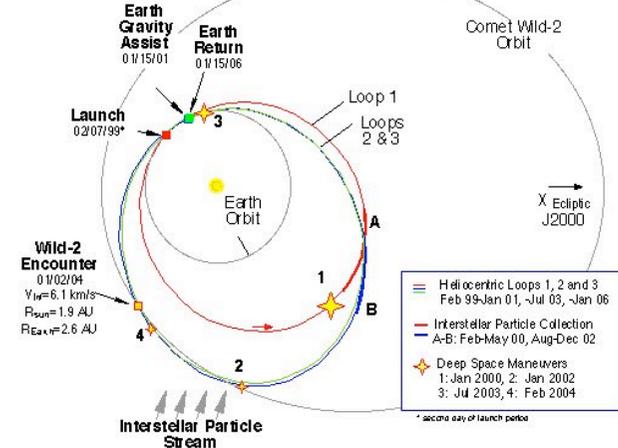
On a récupéré 127 kg de fragments

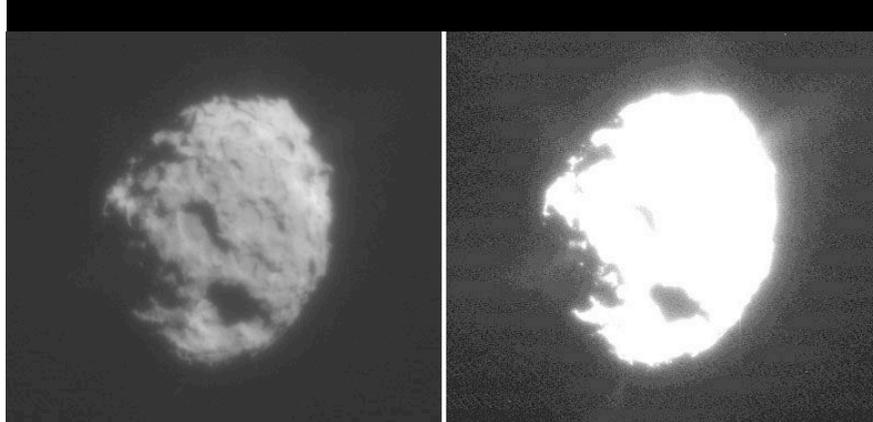
dont un, pesant 53 kg, est toujours exposé au musée de la ville.

# Le météorite de Peekskill – 9 octobre 1992

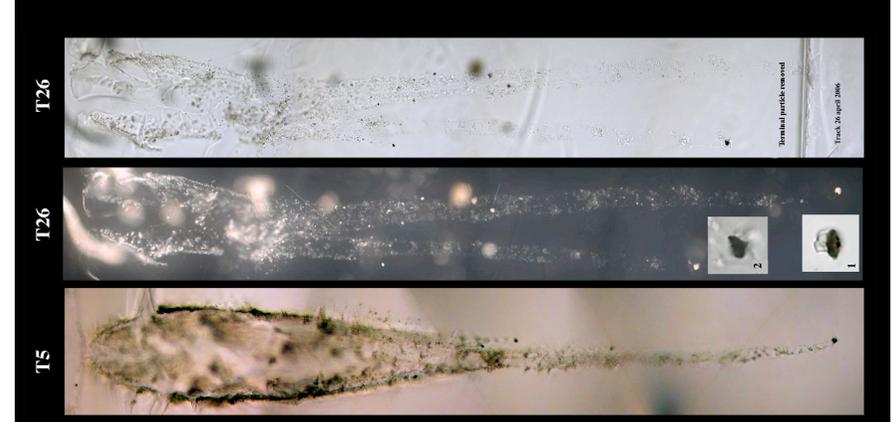


Lancement en février 1999, rendez-vous en janvier 2004 et retour sur Terre de l'échantillon en janvier 2006





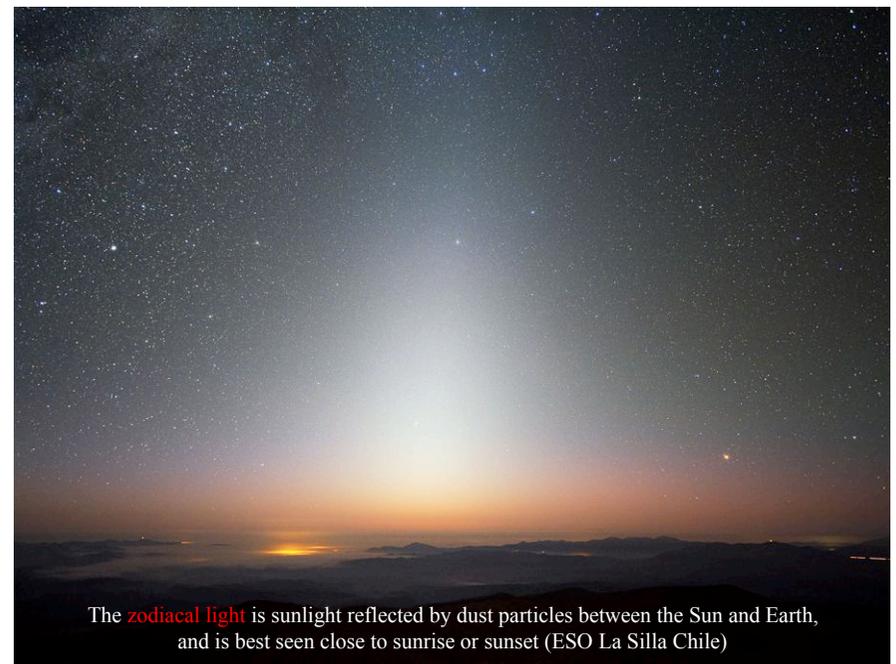
Comète Wild 2 photographiée le 2 janvier 2004 par la caméra du système de navigation de Stardust, au moment de l'approche maximale à environ 500 km.



Trois exemples de traces dans l'aérogel avec grains de poussières à leur extrémité ou laissés le long de la trace

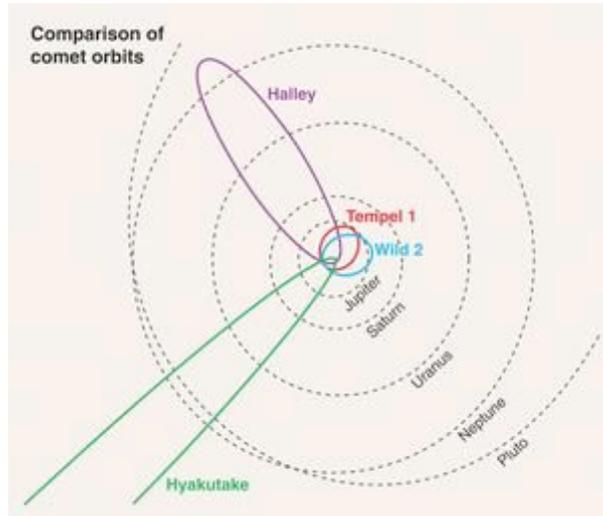


- Tout le système solaire baigne dans les **poussières interplanétaires**, particulièrement dans les micropoussières, abondantes dans le plan de l'écliptique. Ces poussières sont à l'origine du phénomène de la **lumière zodiacale**.
- Sur Terre, on récupère ces micropoussières, soit en fondant des mètres cube de **glace antarctique** prélevée à des centaines de kilomètres de toute montagne émergeant de la calotte et de toute source de pollution, soit avec des avions stratosphériques équipés de panneaux recouverts de gel adhésif.
- On peut également utiliser une sonde spatiale (comme **Stardust**) afin de visiter et échantillonner d'autres endroits du système solaire. On résume les principaux résultats de Stardust de la façon suivante : les grains de poussières de **Wild 2** ont en gros la composition chimique des chondrites vis à vis des silicates et sulfures métalliques. Il y a une abondance de silicates formés à haute température (olivine). La grande variabilité du rapport Mg/Fe dans ces silicates reflète une grande variété de conditions de formation de ces silicates, qui proviendraient donc d'**une grande variété de régions de la nébuleuse pré-solaire** où ces silicates ont pris naissance. On n'a pas encore identifié de silicates hydratés (genre serpentine ou argile), ce qui est très différent des chondrites carbonées, et très étonnant dans un corps majoritairement composé d'eau glacée.
- Tout ceci suggère qu'**une comète est faite d'un mélange de particules condensées loin du soleil (glace) et près du soleil (olivine)**. Le mélange de particules de provenances différentes lors de l'accrétion des comètes (ou de leurs corps parents) semble beaucoup plus important qu'on ne le pensait auparavant.

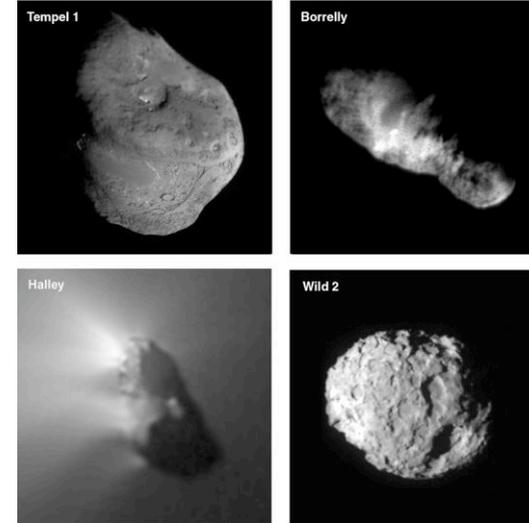


The **zodiacal light** is sunlight reflected by dust particles between the Sun and Earth, and is best seen close to sunrise or sunset (ESO La Silla Chile)

Trajectoires comparées des comètes à longue période (Hyakutake), à moyenne période (Halley) et à courte période (Tempel 1 ou Wild 2)

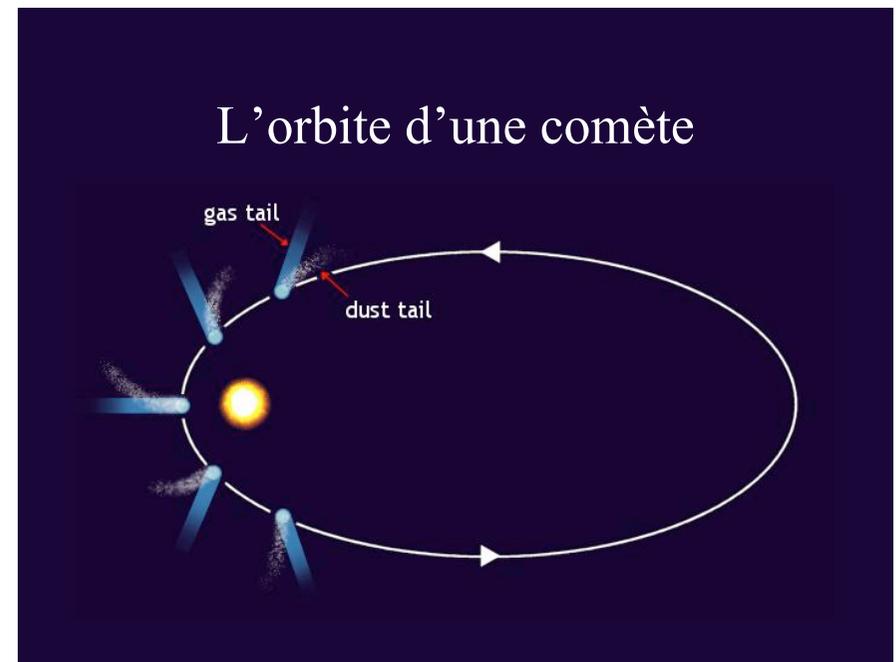


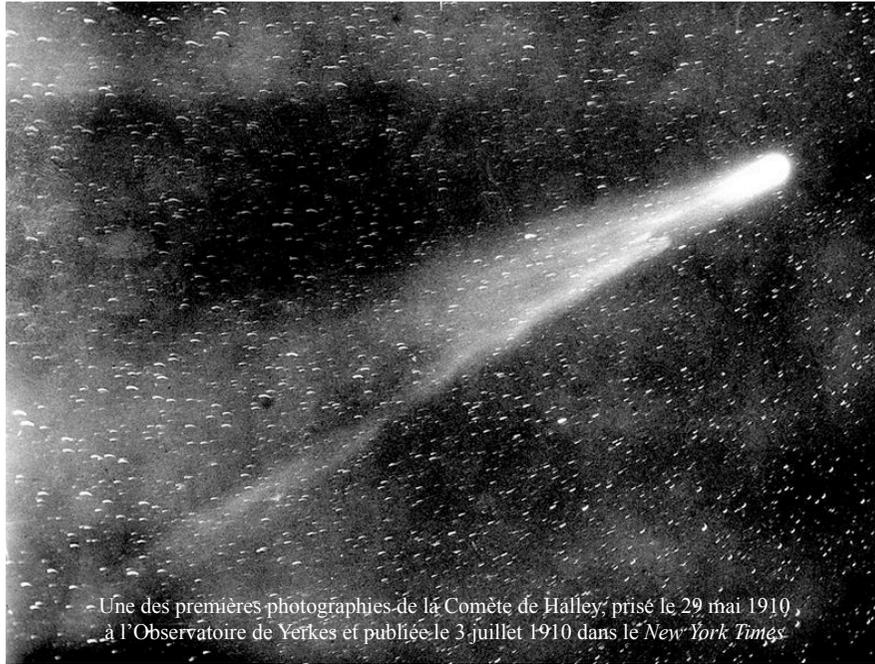
Les 4 comètes survolées à ce jour



Résultat : très grande variété de composants métalliques et rocheux

## 03.B.2 Comètes



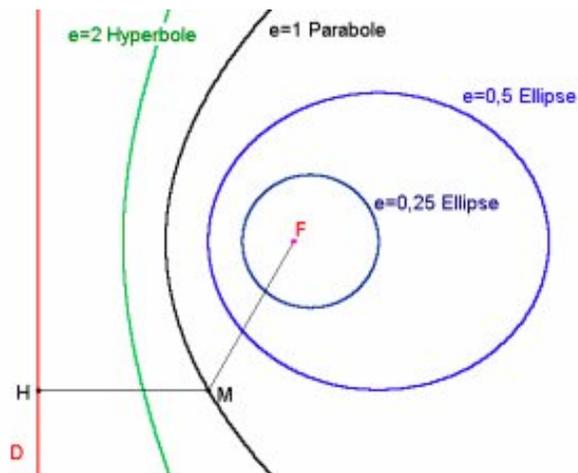


**Edmund Halley**  
(1656-1742)

**né à Londres,**  
**décédé à Greenwich**

Premier à déterminer la périodicité de la comète de 1682, qu'il fixa par calcul à 76 ans environ. Il prédit le retour de la comète pour 1758, qui depuis porte son nom

### Cercle, ellipse, parabole, hyperbole



### Comète de Halley :

#### Les dates connues de passage au périhélie

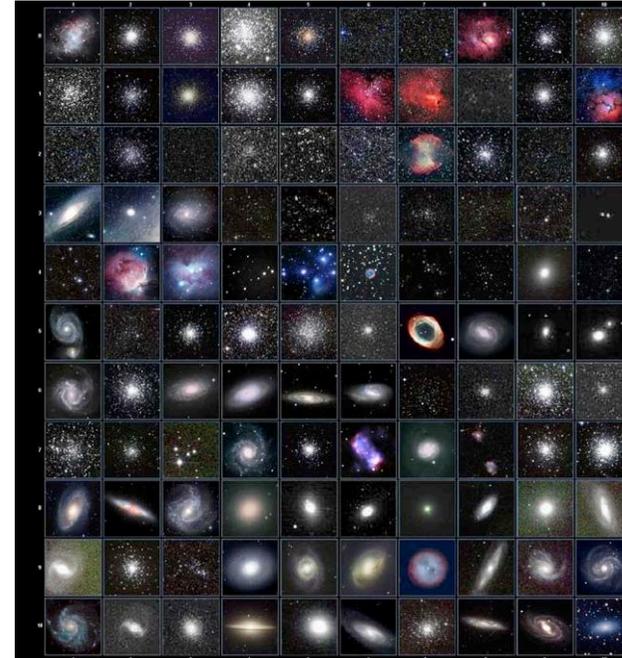
- -239 (25 May 240 BC)
- -163 (12 November 164 BC)
- -86 (6 August 87 BC)
- -11 (10 October 12 BC)
- 66 (25 January 66 AD)
- 141 (22 March 141)
- 218 (17 May 218)
- 295 (20 April 295)
- 374 (16 February 374)
- 451 (28 June 451)
- 530 (27 September 530)
- 607 (15 March 607)
- 684 (2 October 684)
- 760 (20 May 760)
- 837 (28 February 837)
- 912 (18 July 912)
- 989 (5 September 989)
- 1066 (20 March 1066)
- 1145 (18 April 1145)
- 1222 (28 September 1222)
- 1301 (25 October 1301)
- 1378 (10 November 1378)
- 1456 (9 June 1456)
- 1531 (26 August 1531)
- 1607 (27 October 1607)
- 1682 (15 September 1682)
- 1759 (13 March 1759)
- 1835 (16 November 1835)
- 1910 (20 April 1910)
- 1986 (9 February 1986)
- Next perihelion predicted 28 July 2061

Les premières relations d'observations de la comète de Halley datent d'environ 240 ans avant notre ère. La comète a, depuis, accompli 29 retours vers le Soleil.



## Charles Messier 1730 - 1817

Astronome français,  
éminent chasseur de comètes.  
Il en étudia scrupuleusement  
44 et en découvrit 20  
entre 1760 et 1801.  
Sa renommée est avant tout due  
à son **catalogue de 110 objets**  
du ciel profond d'aspect diffus  
(amas stellaires et nébuleuses),  
catalogue établi à l'intention  
des chercheurs de comètes afin  
d'éviter toute confusion avec  
ces objets fixes mais dont la nature  
était alors encore peu comprise.



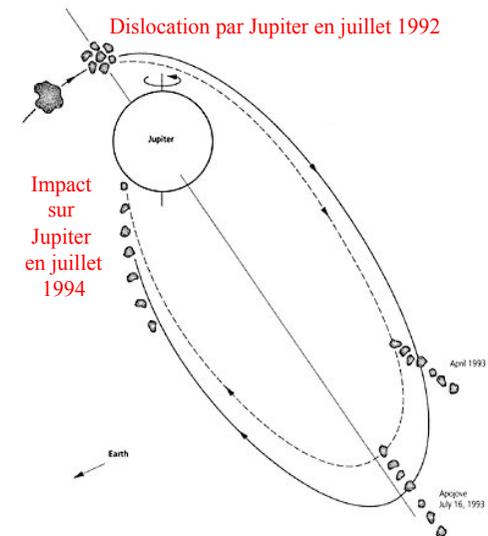
## Charles Messier (1739 – 1817)

Catalogue de  
nébuleuses  
publié en 1774  
facilitant  
la découverte  
des comètes

## Structure d'une comète



## Shoemaker Levy 9 : orbite autour de Jupiter



SL 9 de juillet 1992 à juillet 1994  
après sa dislocation, avant l'impact

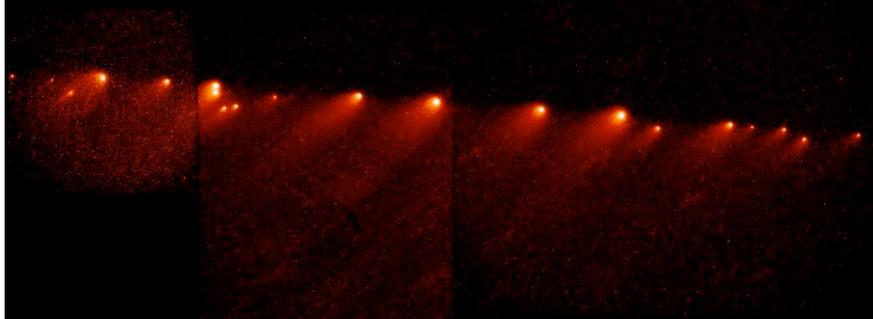
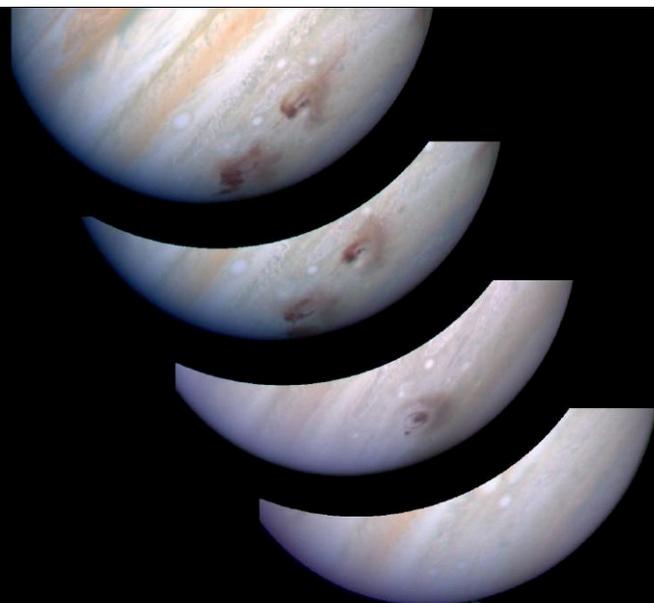


Photo de SL9 par Hubble 17 mai 1994

Vidéo SL9 MPI Heidelberg



Quelques impacts de SL9 observés par le Hubble Space Telescope NASA/ESA

Chaîne de cratères sur Ganymède,  
une des 4 grandes lunes de Jupiter



# 03.B.3

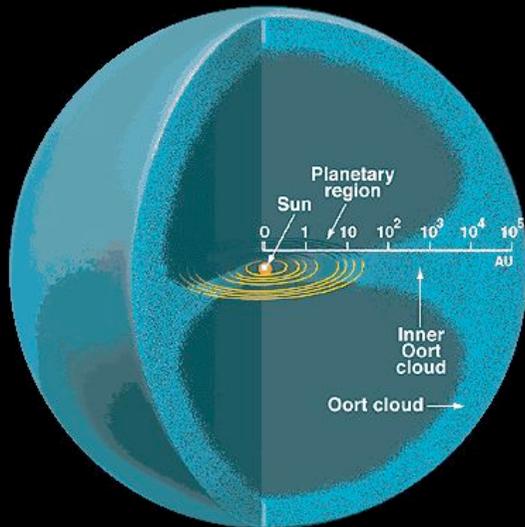
## La formation

### du système solaire

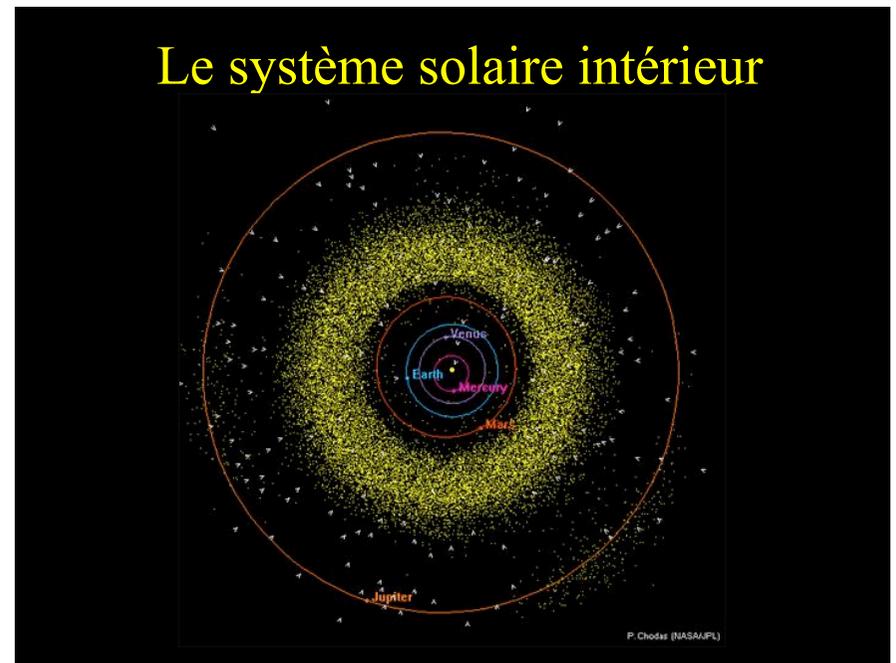
**Un monde régi par les collisions**  
Après 20 millions d'années le gaz disparaît,  
il ne reste que des cailloux



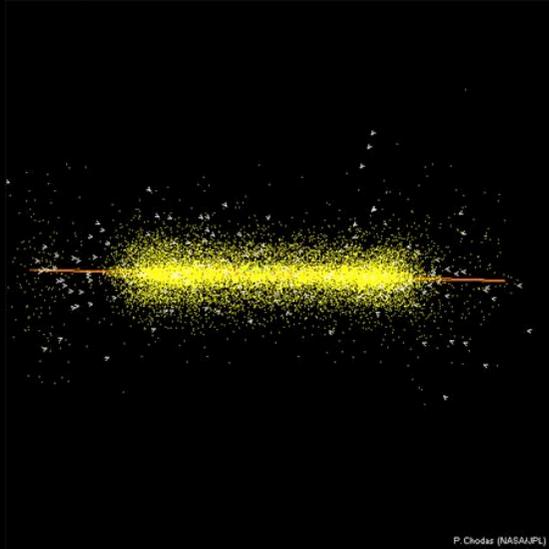
Le système solaire



Le système solaire intérieur



# Le système solaire intérieur

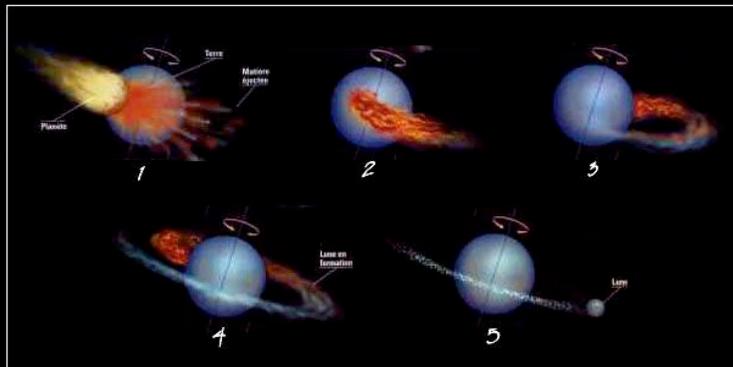


P. Chodas (NASA/JPL)

# Le Grand bombardement tardif

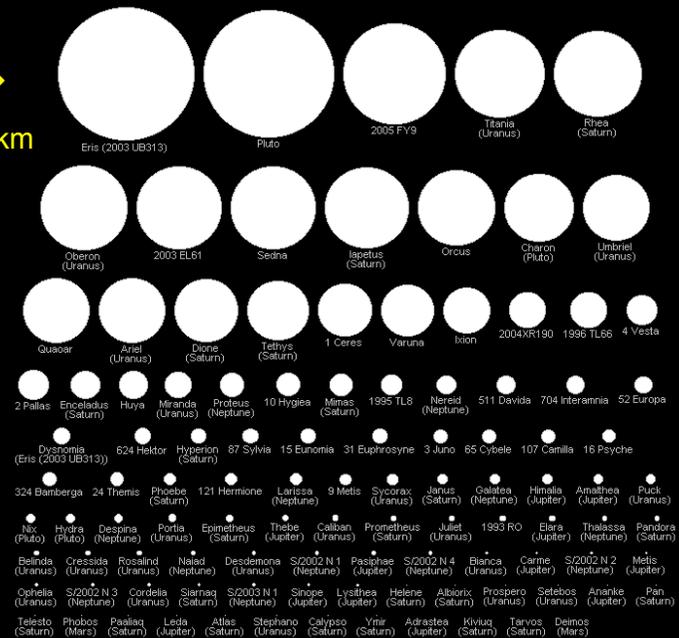
- Les trois dernières missions Apollo (Apollo 15, 16 et 17) avaient des sites d'alunissage choisis à proximité de grands bassins d'impacts, respectivement, la **Mer des Pluies** (*Mare Imbrium*), la **Mer des Nectars** (*Mare Nectaris*) et la **Mer de la Sérénité** (*Mare Serenitatis*). La datation des échantillons de roches lunaires rapportés sur Terre révéla que leurs âges s'étaient sur un intervalle de temps étroit, aux alentours de 3,8 à 4,1 milliards d'années. Cela suggère l'existence d'une abondance d'impacts durant cette courte époque.
- Cette période, appelée **Grand bombardement tardif**, semble avoir affecté de manière globale les planètes telluriques. Sa durée est estimée de 50 à 150 millions d'années, centrées sur 3,9 milliards d'années. Le taux d'impacts est estimé à 20 000 fois celui actuellement observé sur Terre, ce qui correspond par exemple à un impact d'un objet de plus de 1 km tous les 20 ans.
- Un bombardement cataclysmique, tardif par rapport à la formation du système solaire, n'est possible que s'il existe un réservoir de petits corps (astéroïdes) resté stable pendant 600 millions d'années, avant d'être déstabilisé par un élément déclencheur. Un tel réservoir, dans les régions externes au-delà des orbites d'Uranus et Neptune, constitué d'astéroïdes d'une masse totale importante (plus de 30 masses terrestres), aurait pu exister après la formation des planètes, pour être ensuite déstabilisé suite à une modification dans la structure orbitale des planètes géantes.

# La formation de la Lune



La Lune est beaucoup plus légère que la Terre et ne contient pas de noyau ferreux. Des simulations numériques montrent que les éléments légers de notre planète, contenus dans son enveloppe externe, auraient été majoritairement éjectés dans l'espace lors d'une collision et ensuite par accrétion auraient formé notre satellite. La Lune présente les mêmes minéraux que la Terre, mais dans des proportions différentes : beaucoup d'éléments légers, peu d'éléments lourds. A l'époque de la collision, le noyau ferreux de la Terre était déjà formé, ce qui explique la très faible proportion en fer de la Lune comparée à celle de la Terre.

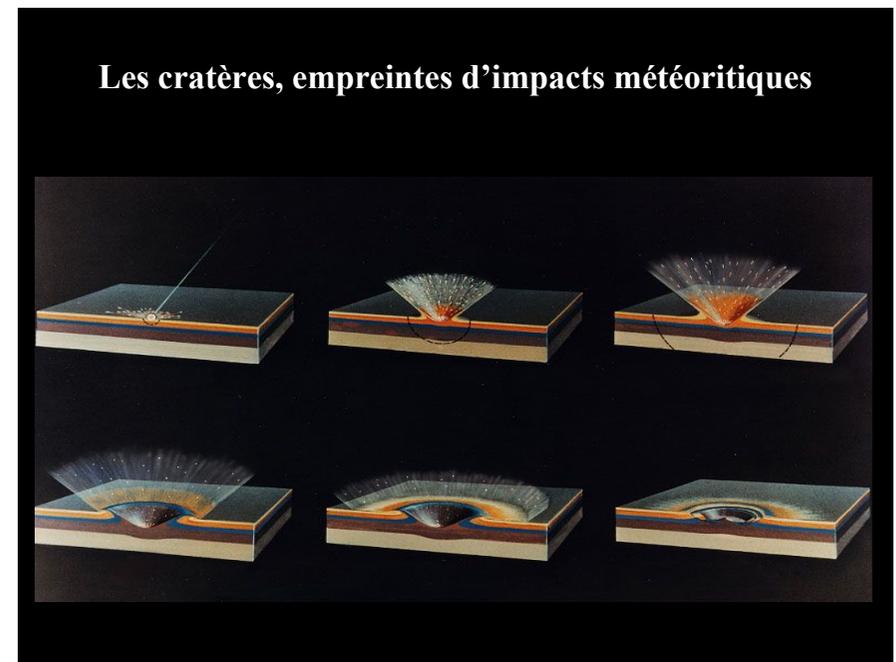
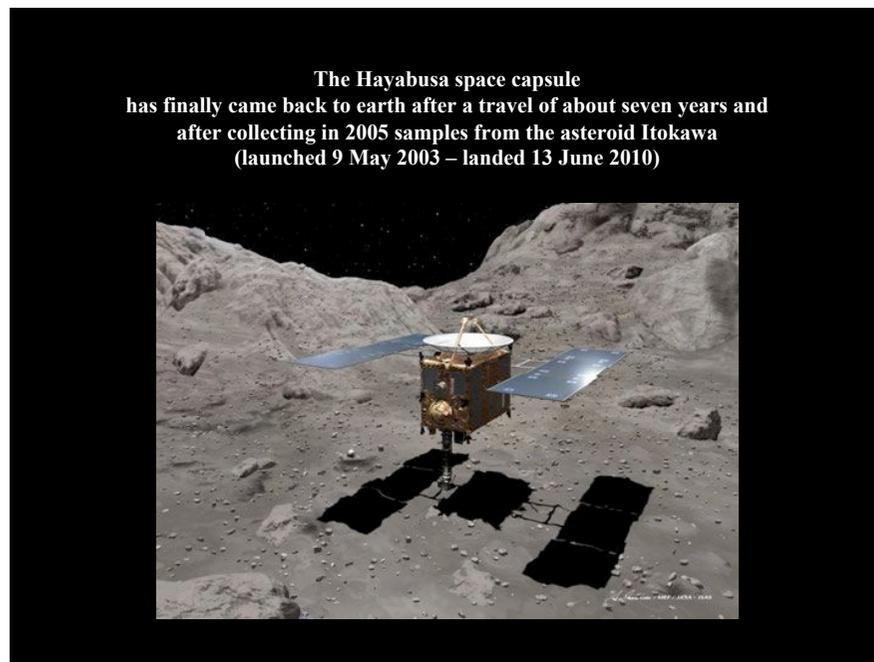
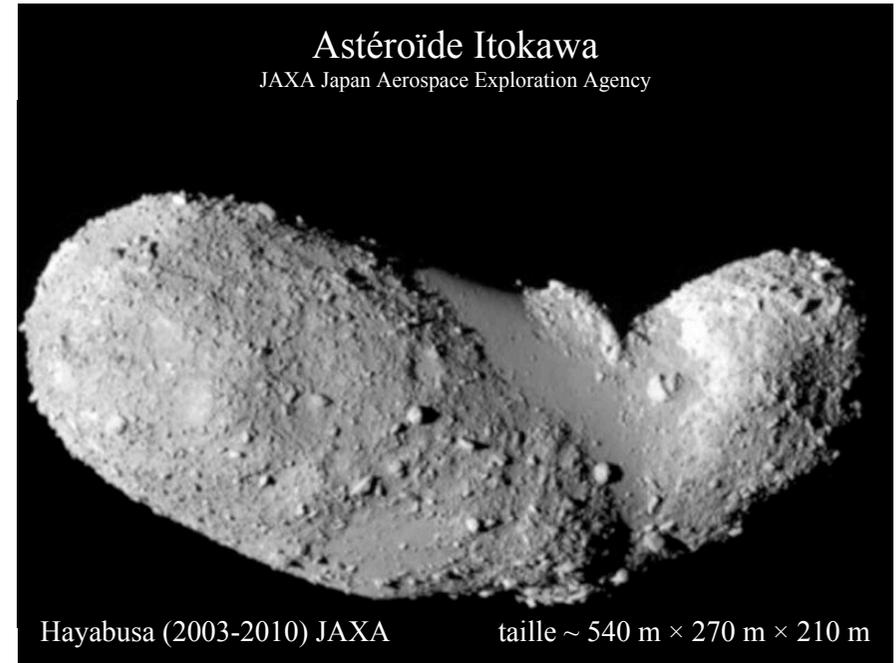
1000 km



© 2008 R.L. McNish. All Rights Reserved.

**03.B.4**  
**Astéroïdes, astrolèmes**  
**et**  
**les dangers des NEOs**

<http://www.cfa.harvard.edu/iau/TheIndex.html>





## Cratère d'impact de la Manicouagan, Québec, Canada

Le cratère aurait été formé suivant l'impact d'un astéroïde d'environ **5 km de diamètre**.

Le diamètre original du cratère est évalué à **100 km**, mais suite à l'érosion et au dépôt de sédiments, sa taille apparente aujourd'hui est réduite à **72 km**.

Parmi les cratères d'impact reconnus scientifiquement, il s'agit actuellement du 5<sup>e</sup> plus grand répertorié sur Terre.

Le Mont Babel au centre du réservoir est interprété comme le vestige du pic central du cratère.

L'âge estimé de l'impact est de  $214 \pm 1$  millions d'années, donc durant le Trias, précédant de 12 millions d'années l'extinction du Trias-Jurassique, donc l'impact de la Manicouagan ne peut être la cause de cette catastrophe.

Base de données de tous les impacts découverts sur Terre :

**University of New Brunswick Canada**

<http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/CIDiameterSort2.htm>

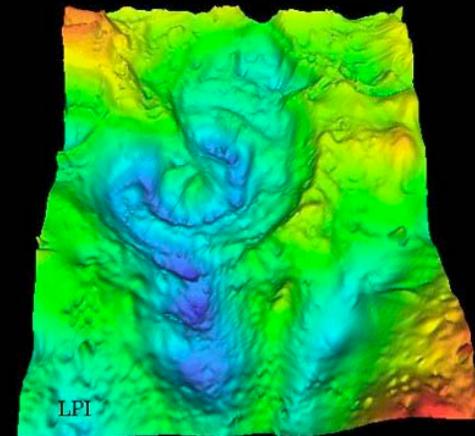
## Cratère Chicxulub

Submergé, avec des anneaux concentriques, ce grand cratère de 180 km de diamètre situé sur la côte nord du Yucatan, au Mexique, pourrait être la cause de la disparition des dinosaures.

Il porte le nom du village le plus proche de son centre (21° 20' N, 89° 30' W).



## Cratère de Chicxulub



Cette image en 3D des variations du champ de gravité local et du champ magnétique révèle le cratère de Chicxulub,

qui est maintenant enseveli sous des quantités énormes de sédiments.

On regarde vers la surface de la Terre avec un angle de vue de 60° par rapport à l'horizontale.

## Extinction des dinosaures ou la crise crétacé-tertiaire (crise K-T)

- La cause la plus probable ayant induit la crise K-T est la **chute d'un astéroïde ou d'une comète d'une dizaine de kilomètres de diamètre** provoquant une catastrophe majeure qui, par le biais de débris dus à la collision, plongea la Terre dans l'obscurité et le froid pendant plusieurs années, empêchant ainsi la photosynthèse, ce qui induisit un appauvrissement massif en plantes et surtout en plancton et conduisit à l'extinction de nombreuses espèces dépendant de ces ressources quel que soit leur niveau trophique.
- Cette théorie, de nos jours très argumentée (cratère de Chicxulub au Mexique daté de -65 Ma), permet notamment d'expliquer dans une certaine mesure les survies différentielles des taxons. De plus, suite à des découvertes récentes (avril 2008) de cénosphères (sphères microscopiques se formant suite à la combustion de charbon et de pétrole brut) dans les sédiments de la crise K-T, les chercheurs pensent que la météorite aurait pu s'écraser dans une réserve pétrolière, et projeter dans l'atmosphère de grandes quantités d'hydrocarbures enflammés expliquant la disparition de la majorité des espèces.

## Extinction des dinosaures

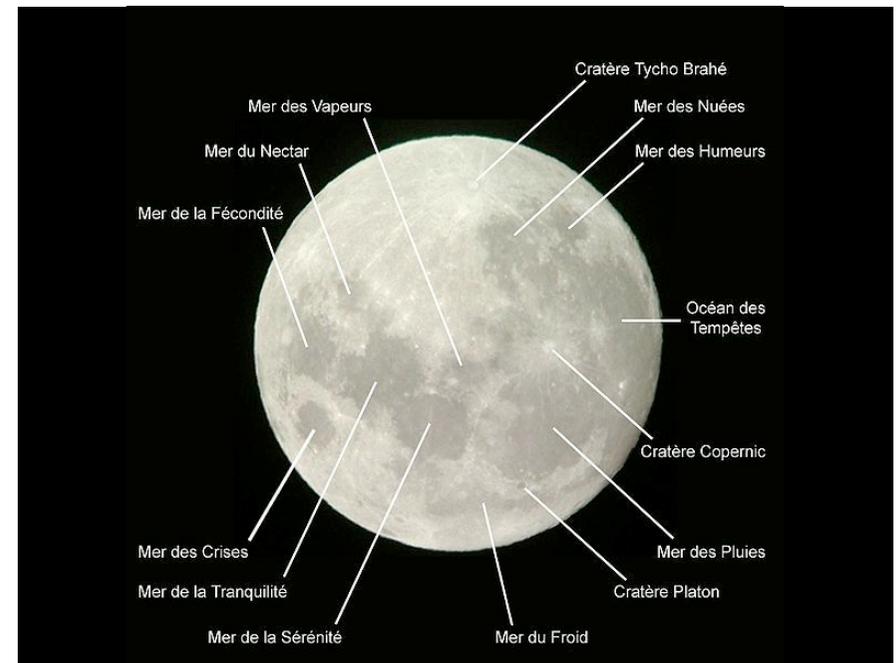
Les **dinosaures** (*Dinosauria* en latin) sont des animaux vertébrés ayant régné sur les écosystèmes terrestres durant plus de 160 millions d'années.

Ils sont apparus sur Terre dans la première moitié du Trias (env. -251 à -199,6 millions d'années), il y a plus de 230 millions d'années.

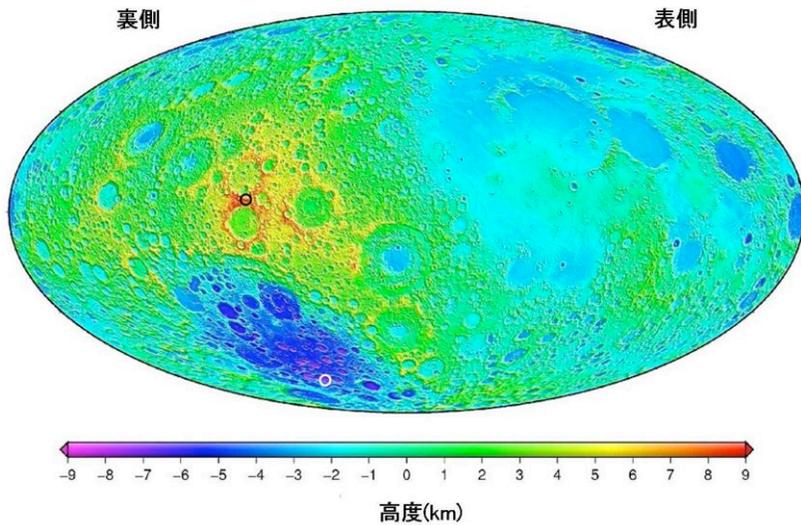
Les dinosaures ont colonisé tous les continents à pied sec.

A la fin du Crétacé, il y a environ 65 millions d'années, une catastrophe causa l'extinction des dinosaures et mit fin à leur domination écologique sur la faune terrestre.

Vision d'artiste d'un événement dont les conséquences n'aurait rien d'artistique

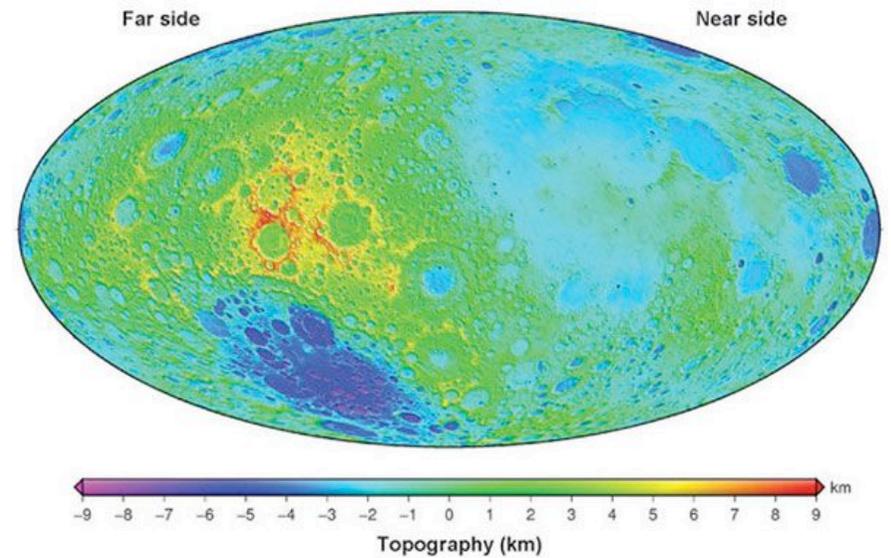


## Lunar global topographic map Kaguya Laser Altimetry (JAXA)



(c) JAXA/SELENE 処理・解析：国立天文台

## Lunar global topographic map Kaguya Laser Altimetry (JAXA)



### Near Earth Object Program

<http://neo.jpl.nasa.gov/>

**Small Asteroid 2009 VA Whizzes By The Earth**

Don Yeomans, Paul Chodas, Steve Chesley  
NASA/JPL Near-Earth Object Program Office  
November 9, 2009

**6 nov 2009 à 14'000 km avec 7 m de diam**

A newly discovered asteroid designated 2009 VA, which is only about 7 meters in size, passed about 2 Earth radii (14,000 km) from the Earth's surface Nov. 6 at around 16:30 EST. This is the third-closest known (non-impacting) Earth approach on record for a cataloged asteroid. The two closer approaches include the 1-meter sized asteroid 2008 TS26, which passed within 6,150 km of the Earth's surface on October 9, 2008, and the 7-meter sized asteroid 2004 FU162 that passed within 6,535 km on March 31, 2004. On average, objects the size of 2009 VA pass this close about twice per year and impact Earth about once every 5 years.

Asteroid 2009 VA was discovered by the Catalina Sky Survey about 15 hours before the close approach, and was quickly identified by the Minor Planet Center in Cambridge MA as an object that would soon pass very close to the Earth. JPL's Near-Earth Object Program Office also computed an orbit solution for this object, and determined that it was not headed for an impact. Only thirteen months ago, the somewhat smaller object 2008 TC3 was discovered under similar circumstances, but that one was found to be on a trajectory headed for the Earth, with impact only about 11 hours away.

Trajectory of Asteroid 2009 VA past Earth on November 6, 2009

Tick marks at 1 hour intervals relative to closest approach

Trajectory of Asteroid 2009 VA Past Earth on November 6, 2009

### Near Earth Object Program

<http://neo.jpl.nasa.gov/>

**Small Asteroid 2010 AL30 Will Fly Past The Earth**

Don Yeomans, Paul Chodas, Steve Chesley & Jon Giorgini  
NASA/JPL Near-Earth Object Program Office  
January 12, 2010

**13 jan 2010 à 110'000 km avec 10-15 m de diam**

Asteroid 2010 AL30, discovered by the LINEAR survey of MIT's Lincoln Laboratories on Jan. 10, will make a close approach to the Earth's surface to within 76,000 miles on Wednesday January 13 at 12:46 pm Greenwich time (7:46 EST, 4:46 PST). Because its orbital period is nearly identical to the Earth's one year period, some have suggested it may be a manmade rocket stage in orbit about the Sun. However, this object's orbit, reaches the orbit of Venus at its closest point to the Sun and nearly out to the orbit of Mars at its furthest point, crossing the Earth's orbit at a very steep angle, and this actually makes it very unlikely that 2010 AL30 is a rocket stage. Furthermore, our trajectory extrapolations show that this object cannot be associated with any recent launch and it has not made any close approaches to the Earth since well before the Space Age began.

It seems more likely that this is a near-Earth asteroid about 10-15 meters across, one of approximately 2 million such objects in near-Earth space. One would expect a near-Earth asteroid of this size to pass within the moon's distance about once every week on average.

To take advantage of this close approach, there are plans to observe it with the Goldstone planetary radar on Wednesday evening, Jan. 13 beginning at 6:20 PST. The radar data could dramatically improve the object's orbit and provide additional information on its size and shape.

Trajectory of Asteroid 2010 AL30 past the Earth on Jan. 12/13, 2010

With time ticks of 2 hours

Trajectory of Asteroid 2010 AL30 Past Earth on January 12/13, 2010

http://neo.jpl.nasa.gov/



## Near Earth Object Program

8 nov 2011 à 327'000 km avec 400 m de diam

PASADENA -- NASA's Deep Space Network antenna in Goldstone, Calif. has captured new radar images of Asteroid 2005 YU55 passing close to Earth.

The asteroid safely will fly past our planet slightly closer than the moon's orbit on Nov. 8. The last time a space rock this large came as close to Earth was in 1976, although astronomers did not know about the flyby at the time. The next known approach of an asteroid this size will be in 2028.

The image was taken on Nov. 7 at 11:45 a.m. PST, when the asteroid was approximately 1.38 million km away from Earth. Tracking of the aircraft carrier-sized asteroid began at Goldstone at 9:30 a.m. PDT on Nov. 4 with the 230-foot-wide (70-meter) antenna and lasted about two hours, with an additional four hours of tracking planned each day from Nov. 6 - 10.

Radar observations from the Arecibo Planetary Radar Facility in Puerto Rico will begin Nov. 8, the same day the asteroid will make its closest approach to Earth at 3:28 p.m. PST.

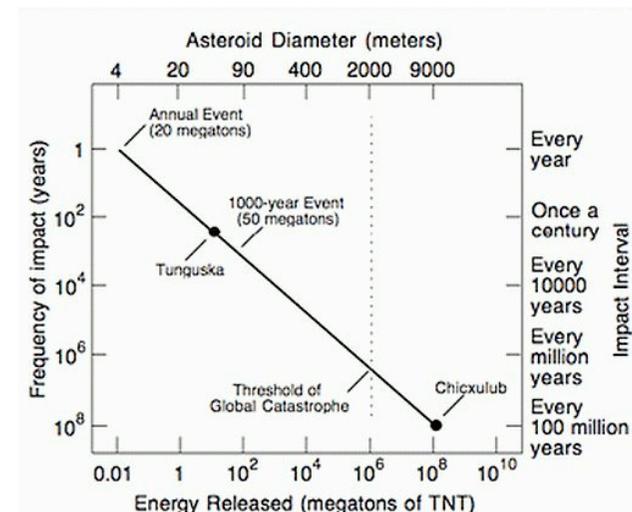
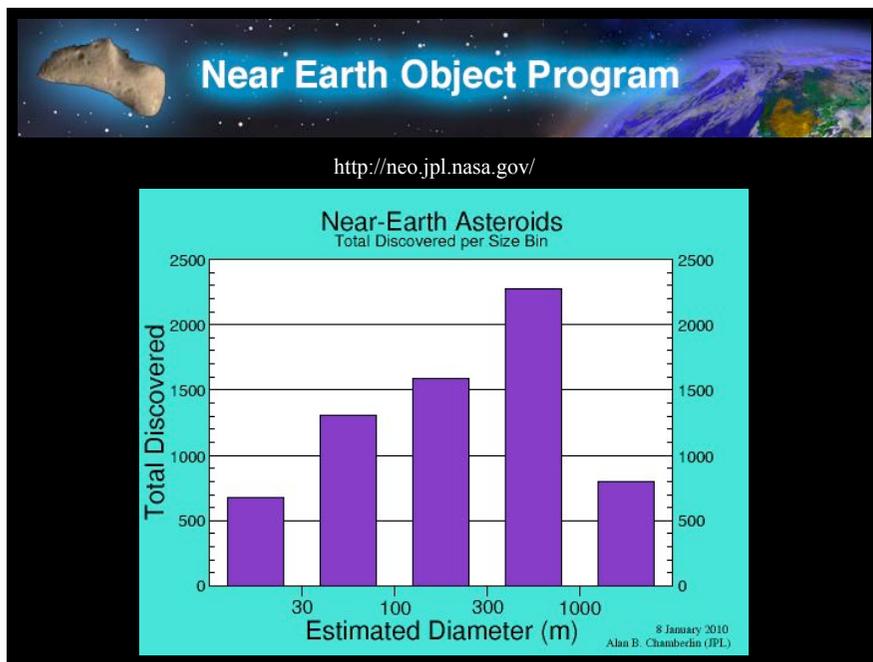
The trajectory of asteroid 2005 YU55 is well understood. At the point of closest approach, it will be no closer than 201,700 miles (324,600 kilometers) as measured from the center of Earth, or about 0.85 times the distance from the Moon to Earth. The gravitational influence of the asteroid will have no detectable effect on Earth, including tides and tectonic plates. Although the asteroid is in an orbit that regularly brings it to the vicinity of Earth, Venus and Mars, the 2011 encounter with Earth is the closest it has come for at least the last 200 years.

NASA detects, tracks and characterizes asteroids and comets passing close to Earth using both ground- and space-based telescopes. The Near-Earth Object Observations Program at the Jet Propulsion Laboratory (JPL) in Pasadena, Calif., commonly called "Spaceguard," discovers these objects, characterizes some of them, and plots their orbits to determine if any could be potentially hazardous to our planet. JPL manages the Near-Earth Object Program Office for NASA's Science Mission Directorate in Washington.

## Les comètes qui ont frôlé la Terre depuis l'an 837

| Nom               | Distance (km) | Date    |
|-------------------|---------------|---------|
| Lexell            | 223 500       | 07/1770 |
| Tempel-Tuttle     | 340 000       | 10/1366 |
| Iras-Araki-Alcock | 460 000       | 05/1983 |
| Halley            | 495 000       | 04/837  |
| Biela             | 542 000       | 12/1805 |

distance moyenne Terre – Lune = 385'000 km



Un impact majeur est statistiquement très improbable à l'échelle de l'histoire de l'Homme sur Terre

par contre

à l'échelle de l'histoire de l'évolution de la vie sur Terre, les impacts majeurs ont joué un rôle essentiel.

| Diamètre de l'impacteur | Fréquence moyenne d'impact | Conséquences   |
|-------------------------|----------------------------|--|
| 10 cm à 10 m            | 200 par an                 | Les météorites brûlent en général dans l'atmosphère. Leurs chutes peuvent toutefois endommager des objets comme une automobile ou une toiture. Les accidents mortels sont rarissimes.  |
| 50 m                    | Un par siècle              | Cataclysme local (degré 8 échelle de Turin). Exemples connus : impact du Meteor Crater (il y a 50 000 ans) ou explosion de la Tunguska (1908). Risques : pertes humaines équivalentes à une inondation ou à un grand tremblement de terre. |

**Le feu du ciel**  
**Météores et astéroïdes tueurs**  
 Edit. Le cherche midi 2002  
 ISBN 2-7491-00-30-5

| Diamètre de l'impacteur | Fréquence moyenne d'impact        | Conséquences  |
|-------------------------|-----------------------------------|---|
| 100 m                   | Un par millénaire                 | Un impact continental détruit une zone de la taille d'une ville. Un impact océanique soulève une vague de 35 mètres de haut et un raz de marée inonde les pays en bordure de l'océan. |
| 500 m                   | Un tous les 100 000 ans           | Les impacts terrestres détruisent un État de taille moyenne. Les impacts océaniques causent de grands tsunamis.   |
| 1 km                    | Un tous les 300 000 ans           | Cataclysme régional (degré 9 échelle de Turin). Destruction de grands États. Pertes humaines : 100 millions de morts  |
| 10 km                   | Un tous les 100 millions d'années | Cataclysme planétaire (degré 10 échelle de Turin). Extinction de masse.   |

## L'échelle de Turin

En ce qui concerne les risques sur Terre représentés par les géocroiseurs, l'**échelle de Turin** est à l'astronomie ce que l'**échelle de Richter** est à la géologie pour les tremblements de terre.

Utilisée en astronomie, l'**échelle de Turin** est un moyen de classifier :

- (i) les risques d'impact combinés avec (ii) ses conséquences à la surface de la Terre, pour un objet géocroiseur tel qu'un astéroïde ou une comète.

Graduée de 0 — aucune chance de collision — à 10 — collision certaine entraînant une catastrophe climatique globale —, elle est destinée à donner une indication simple des estimations de la gravité d'une collision, en combinant les probabilités d'impact et le potentiel destructeur, en une seule valeur.

L'**échelle de Turin** a été créée par Richard Binzel, du MIT, et présentée à l'ONU en 1995 sous le nom de « *A Near-Earth Object Hazard Index* ». Une version révisée fut présentée lors d'une conférence de l'UAI sur les objets géocroiseurs à Turin, en Italie, en juin 1999 ; cette version fut alors adoptée car il n'existait jusqu'ici aucune manière simple d'explicitement le risque de collision avec la Terre que pose vraiment un astéroïde donné.

Le nom de la ville de Turin lui fut alors attribué.

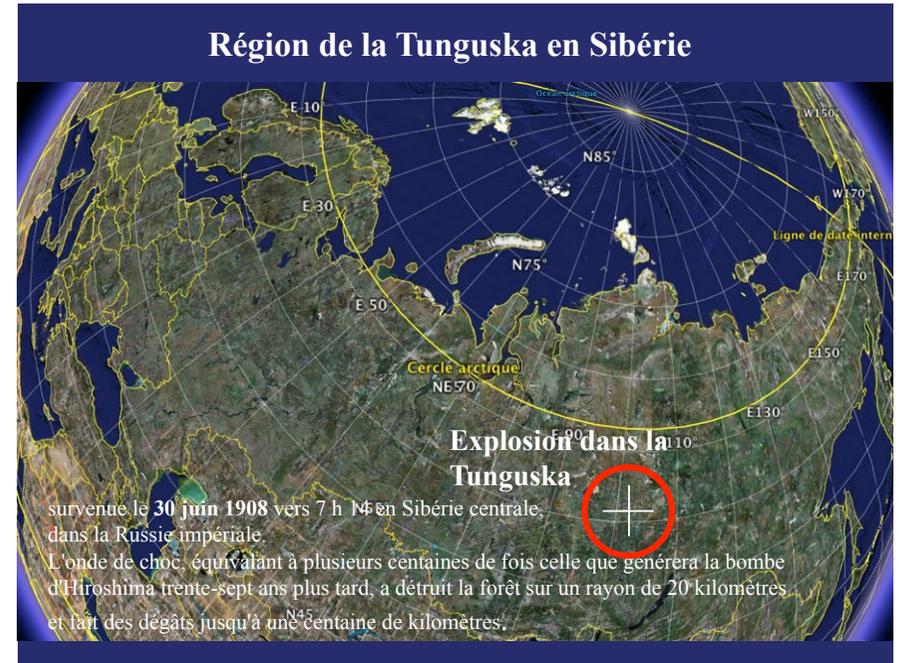


Callisto

Les cratères de Callisto sont le plus souvent assez petits (moins de 150 km), mais on y observe aussi un immense bassin d'impact, Valhalla, dont le diamètre est de l'ordre de 600 km. Il est entouré d'une quinzaine d'anneaux concentriques, dont le plus grand atteint les 2600 kilomètres.

## 03.B.5

# L'explosion de la Tunguska du 30 juin 1908



### Que s'est-il passé le 30 juin 1908 ?

#### Enquête difficile !

Première expédition sur place en 1927 seulement,  
dirigée par Leonid Kulik

Peu de témoignages visuels directs

Seulement quelques photos disponibles, de 1927 et plus tard

Pas de cratère

Pas de débris

Pendant longtemps, pas d'ordinateurs pour des simulations

### Que s'est-il passé le 30 juin 1908 ?

#### Autres indices observationnels :

Secousses sismiques ressenties à plus de 1000 km

« Boule de feu » vue jusqu'à 1000 km

Onde de pression ressentie à Londres !

Onde de chaleur ressentie à 200 km

Feux allumés simultanément dans une zone de 20 km de rayon

La zone dévastée a la forme d'un papillon

Phénomènes atmosphériques lumineux vus pendant plusieurs jours

## Que s'est-il passé le 30 juin 1908 ?

Hypothèses envisageables :

**Comète**

Météorite ferreux

Météorite pierreux

Autres hypothèses, farfelues...



## Que s'est-il passé le 30 juin 1908 ?

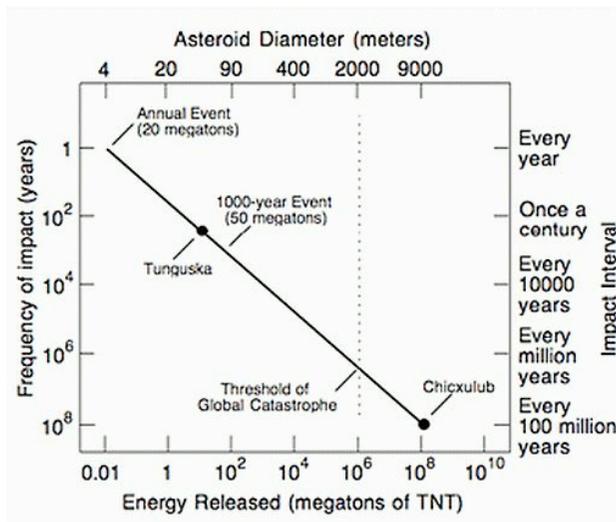
Hypothèses envisageables :

Comète

Météorite ferreux

**Météorite pierreux**

Autres hypothèses, farfelues...



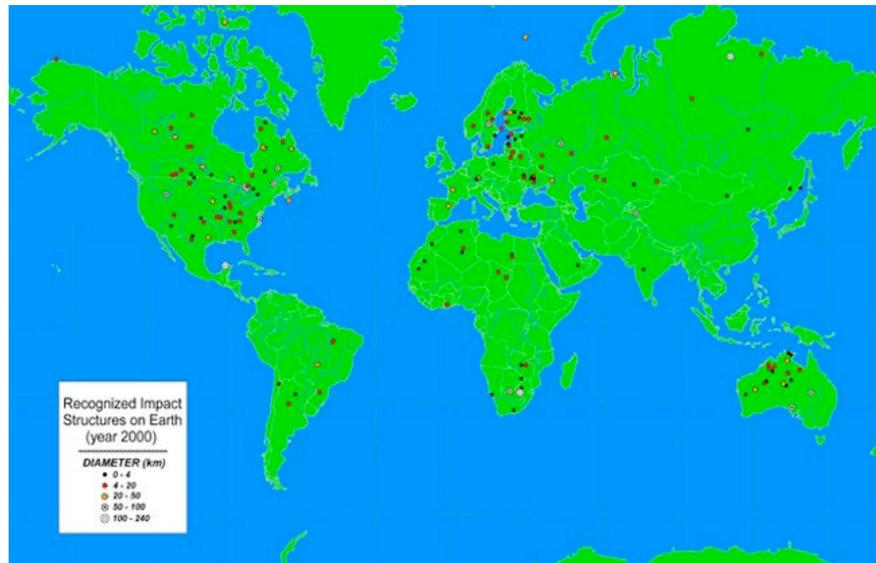
**L'explosion de la Tunguska pourrait être finalement un phénomène assez fréquent ...**

## Répartition des 136 impacts atmosphériques de 1975 à 1992



Ces 136 météores, phénomènes atmosphériques uniquement, correspondent à des objets de plusieurs mètres de diamètre, dont les flashes ont été observés par des satellites militaires

## Positions de tous les cratères connus



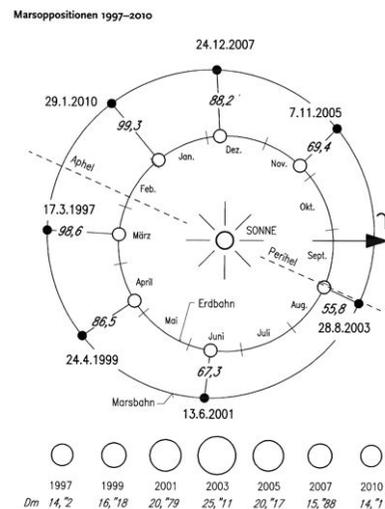
## 03.B.6

# Les canaux de Mars histoire d'un mythe oublié

voir en annexe sur la page web du cours le fichier :  
Annexe-01-CanauxdeMarsOrion.pdf

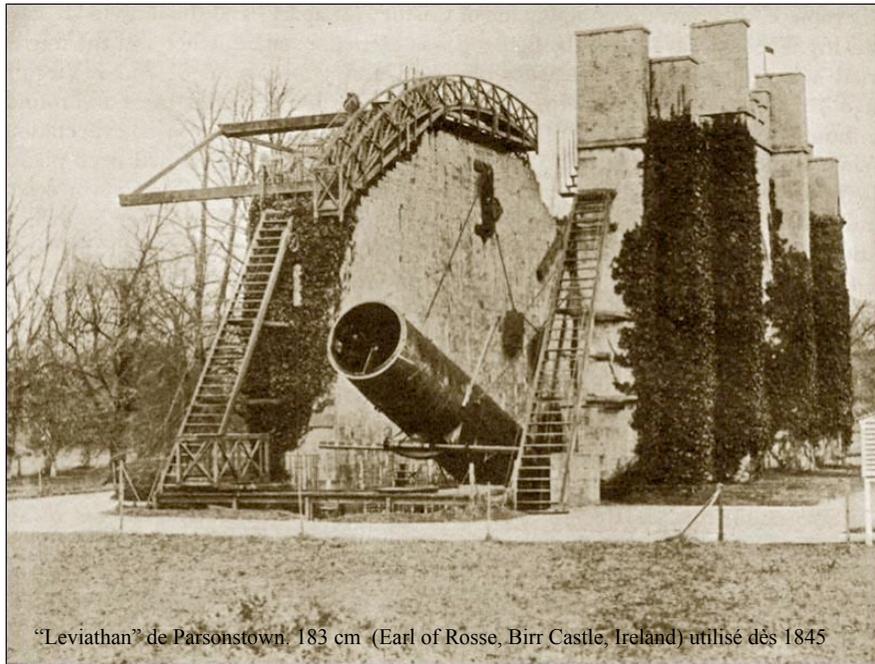
## L'orbite de Mars

mouvement apparent, opposition, rayon apparent



La seconde moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle voit une lutte technologique entre les réfracteurs et les réflecteurs.

Les observations s'effectuent à l'œil nu aidé du télescope, la photographie ne remplace que lentement l'observateur.

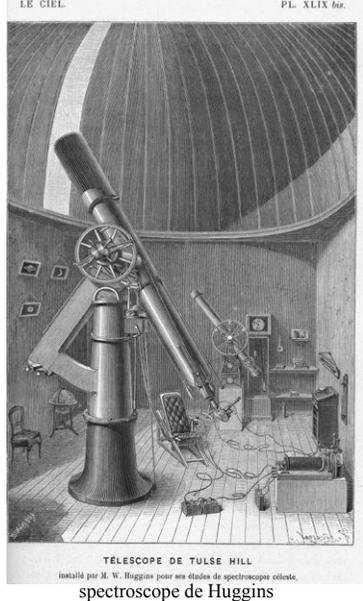


“Leviathan” de Parsonstown. 183 cm (Earl of Rosse, Birr Castle, Ireland) utilisé dès 1845

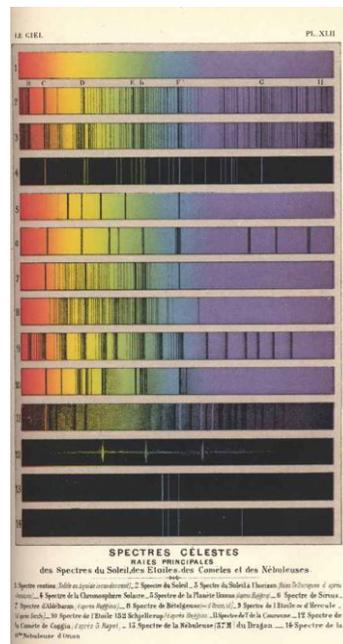


“Leviathan” de Parsonstown. 183 cm (Earl of Rosse, Birr Castle, Ireland) utilisé dès 1845

Spectroscopie astronomique dès 1864



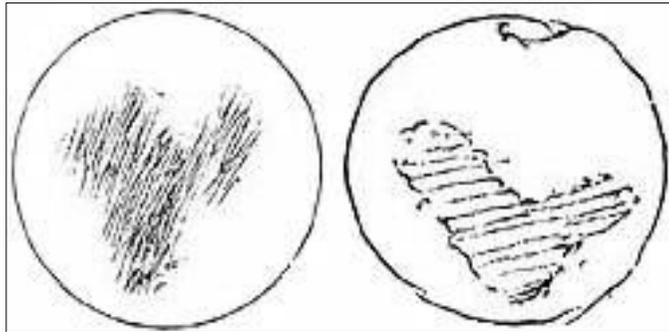
TELESCOPE DE TULSE HILL  
installé par M. W. Huggins pour ses études de spectroscopie céleste.  
spectroscopie de Huggins



Etat des techniques vers la fin du 19e siècle :  
connaissance des planètes

- Pluton inconnue, sera découverte en 1930
- Neptune découverte en 1846
- Rotation :  
Connue pour Mars (24h37) et pour Jupiter  
Inconnue pour Vénus et Mercure  
(supposée synchrone, jusqu'en 1965 :  $P_{\text{Mercure}} = 58,65 \text{ j} = 2/3 P_{\text{orb}}$   
Inconnue pour Uranus et Neptune (Slipher 1911 :  $P_{\text{Uranus}} = 10\text{h}45$ )
- Masse :  
Mal connue pour Mercure, Vénus, et pour Mars jusqu'en 1877 (satellites!)
- Nature du sol : inconnue partout ! Mars : mers, végétation ??
- Atmosphère :  
Présente sur Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, (Uranus, Neptune),  
incertaine sur Mercure  
Composition très mal connue ! Problème des raies telluriques (H<sub>2</sub>O!)  
Slipher 1904-05 : pas de vapeur d'eau sur Venus ni sur Mars

Les canaux de Mars : genèse ...



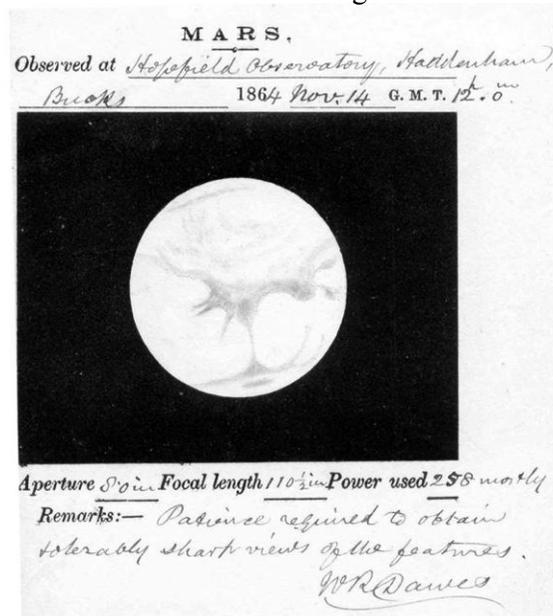
Dessin de Syrtis Major de novembre 1659 par Christiaan Huygens (14 April 1629 – 8 July 1695)

Les canaux de Mars : genèse ...



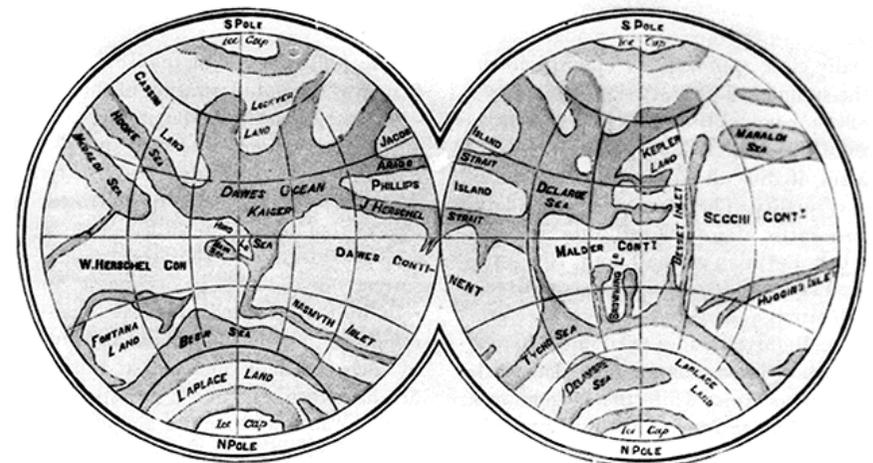
La plaine de Syrtis Major

Les canaux de Mars : genèse ...



Dawes (1864)

Les canaux de Mars : genèse ...



Carte de Mars publiée par Richard Anthony Proctor en 1867 d'après des dessins de William Dawes

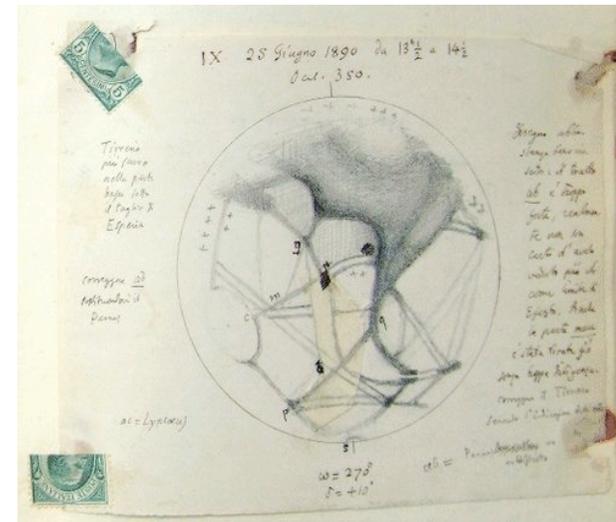
**Giovanni Virginio Schiaparelli**  
 (March 14, 1835 – July 4, 1910)  
 astronome italien et historien des sciences



Il étudie à l'Université de Turin et à l'Observatoire de Berlin. En 1859-1860 il travaille à l'Observatoire de Pulkovo et ensuite passe plus de 40 ans à l'Observatoire de Brera.

Il est également sénateur du royaume d'Italie et membre de Accademia dei Lincei.

**le « découvreur » des canaux**



**Carnet de notes de Schiaparelli**

« découvre » aussi les « géminations » des canaux apparaissant sur des échelles de temps de quelques jours, voir quelques heures



**Percival Lawrence Lowell**

13 mars 1855 - 12 novembre 1916

Homme d'affaires, auteur, mathématicien et astronome américain

A la base de spéculations sur l'existence de canaux sur Mars. Fondateur de l'Observatoire Lowell à Flagstaff, Arizona, et initiateur de l'effort qui mena à la découverte de Pluton 14 ans après son décès.

Le choix du nom de Pluton et de son symbole aurait été en parties influencé par ses initiales PL.

Percival Lowell was a giant in the astronomical circles of his day. He combined intellect, imagination, wealth, and personal magnetism into one package. Beginning when he was about twelve years old, Percival became enchanted with astronomy. He observed the heavens through a 2.5 inch refractor that his father had given him. For his graduation from Harvard in 1876, Lowell chose the nebular hypothesis as his topic.

Following his graduation, Lowell ran a cotton mill, managed trust funds, and made wise investments. By the time he was 28 years old, his finances were assured and he would not have to work again unless he chose. Luckily for the rest of the world, Lowell chose to devote the rest of his life to his loves of travel and astronomy. Lowell spent 10 years travelling to the Far East and writing about his experiences.

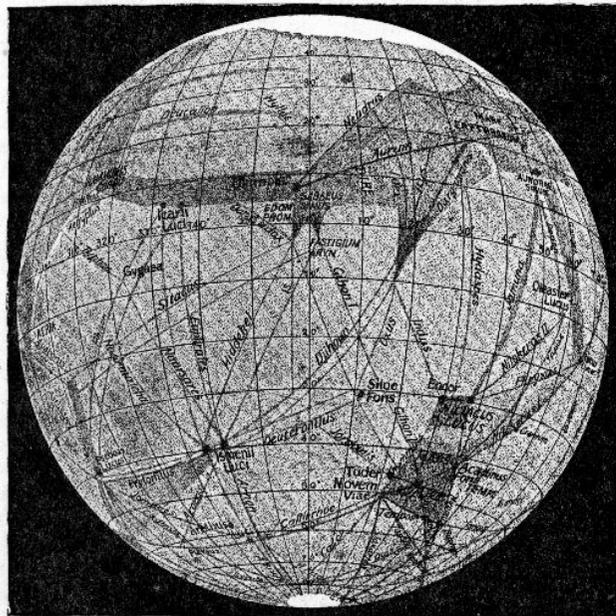
Following this, he became interested in Mars. Lowell was determined to build a great observatory to study Mars. The work would have to be done in time for the opposition (near approach) in the fall of 1894. In April of that year, Lowell and his team determined that **Flagstaff, Arizona** would be the site of the new observatory. Incredibly enough, the observatory and its telescopes were on line on June 1st, 1894. The refractor was built in 1896.

Using the new observatory, Lowell and his staff soon had detected about **500 canals** on Mars, as well as about **200 dark circles** that Lowell named "oases." The oases seemed to be interconnected to each other via numerous canals. **The canals came and went at various times, and some were double canals.** Lowell wrote up his ideas in several books, including *Mars*, *Mars and its Canals*, and *Mars as an Abode of Life*. He theorized that intelligent Martians used an elaborate canal system to transfer water from the Martian poles to farming areas. **While the idea of canals on Mars was well accepted by the public, it was not universally accepted by other astronomers.** Using more powerful telescopes, they were unable to see the canals. Or the canals dissolved into a series of unconnected features.

Shifting gears, **Lowell became interested in the possibility of a planet beyond Neptune.** His calculations indicated that a planet was causing perturbations in the orbits of Uranus and Neptune. Lowell calculated where the Planet X would be in the sky, and began a comprehensive search. The search culminated in the 1930 discovery of the planet **Pluto** by Clyde W. Tombaugh.



Percival Lowell,  
principal avocat  
de l'existence  
des canaux martiens



Dessin  
des canaux de  
Mars par  
P. Lowell qui  
avec l'aide de  
A. E. Douglass et  
V. M. Slipher  
identifiera jusqu'à  
700 canaux ... !

Observation du  
phénomène de  
« géminations »  
ou dédoublements  
des canaux  
par Schiaparelli  
et Lowell

### Fin du XIX<sup>ème</sup> siècle ou la "confirmation" des sommets de la civilisation des canaux martiens



Nicolas Camille Flammarion  
26 février 1842—3 juin 1925



Eugène Michel Antoniadi  
1 mars 1870 – 10 février 1944

de 1893 à 1902

## Début du XX<sup>ème</sup> siècle : vers la décadence par la contestation des “mal-voyants” !



Edward Emerson Barnard  
16 déc 1857 – 6 fév 1923

Deux « mal-voyants » contestataires :

- E. E. Barnard, lunette de Yerkes (103 cm)
- E.M. Antoniadi, lunette de Meudon (83 cm)

Arguments de défense exprimés par P. Lowell :

- acuité visuelle : fait défaut à ceux qui ne voient pas les canaux
- Le site de Flagstaff (Arizona) est meilleur
- il faut diaphragmer l'objectif (61cm → 46 cm → 30 cm !!)

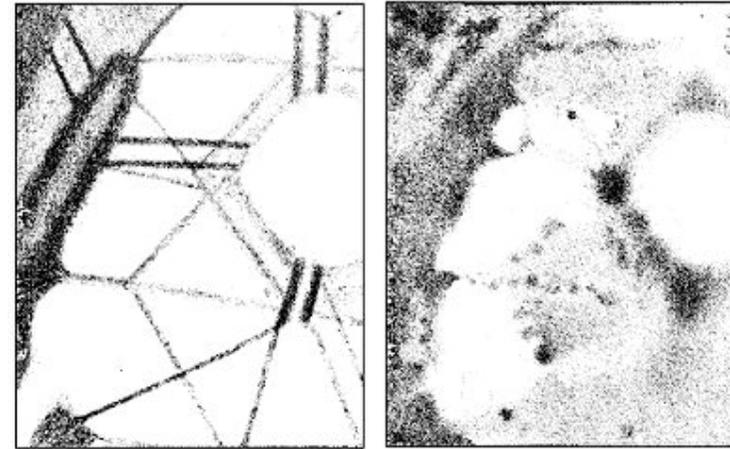
Critiques de Barnard :

Si les grands télescopes sont capables de résoudre les étoiles doubles bien mieux que les petits, malgré l'agitation atmosphérique, pourquoi sont-ils incapables de voir les canaux ?

Réponse de P. Lowell à E.M. Antoniadi :

« Celui marqué « définition tremblotante » me frappe comme étant le meilleur. Il est capital... les autres ne paraissent pas aussi bien définis, et c'est le danger d'une grande ouverture - une image de qualité apparemment superbe alors qu'en fait il y a un léger brouillage imperceptible qui transforme un détail réellement continu en taches apparentes... Ce sujet a été soigneusement étudié ici et tous nos observateurs le reconnaissent. »

Cette comparaison de deux dessins de la région d'Elysium permet de comprendre l'illusion des canaux martiens (Antoniadi 1930).



A gauche, un dessin de Schiaparelli effectué d'après des observations réalisées entre 1877 et 1890.

A droite, un croquis d'Eugène Antoniadi synthétisant des observations de 1909, 1911, 1924 et 1926.

Les belles lignes rectilignes observées par Schiaparelli (puis par d'autres astronomes, dont Percival Lowell) étaient en fait des alignements de taches plus ou moins régulières.

## Effets de projections dus à la rotation de la planète

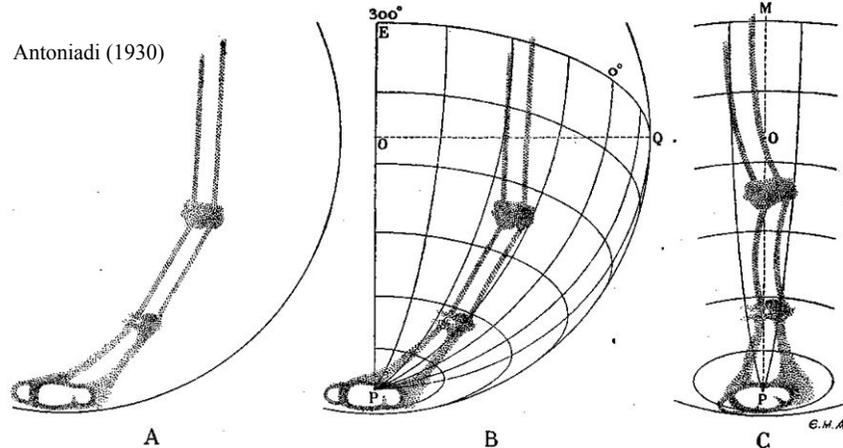


Fig. 6. — Forme apparente de l'Euphrates-Arnon en juin 1888

Voilà donc des arcs de grand cercle de la sphère sur le méridien central, qui se transforment en arcs de petits cercles à 35° du méridien, afin que chaque segment paraisse rectiligne au découvreur de « canaux » martiens !

Pourquoi des visions de canaux ?

1) Effet de la diffraction

étoile double vue dans un petit télescope

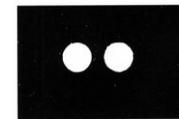
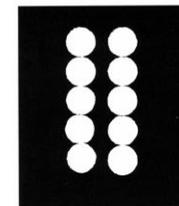


Figure 5a:  
Effet de la diffraction dans le cas d'une étoile double. A gauche, une étoile double vue à travers un petit instrument; à droite, la même vue dans un grand instrument, à même grossissement.

étoile double vue dans un grand télescope



série d'étoiles doubles vue dans un petit télescope



série d'étoiles doubles vue dans un grand télescope

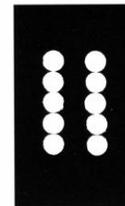
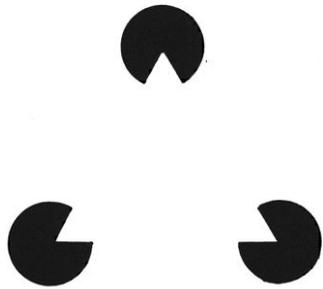


Figure 5b:  
Même chose qu'en figure 5a, dans une situation imaginaire où l'on aurait une série de doubles superposées; remarquez comment le « canal » qu'elles forment s'élargit dans un grand instrument (à droite).  
Mais d'après Antoniadi, si l'on examine les canaux de Schiaparelli avec un grand instrument, on ne voit pas les bandes larges qui devraient leur correspondre selon les lois de la diffraction; on ne voit que, par exemple, «le bord irrégulier d'un faible demi-ton» (Antoniadi 1930, p. 27).

Antoniadi 1930

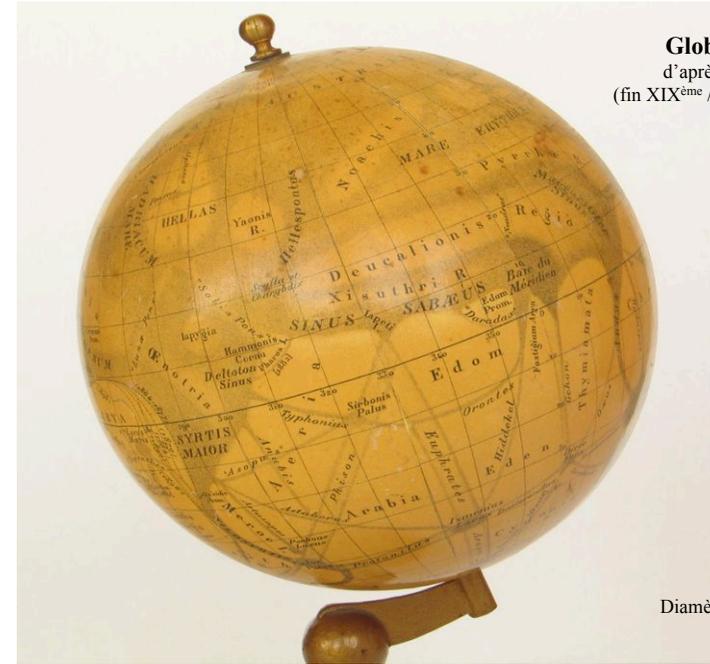
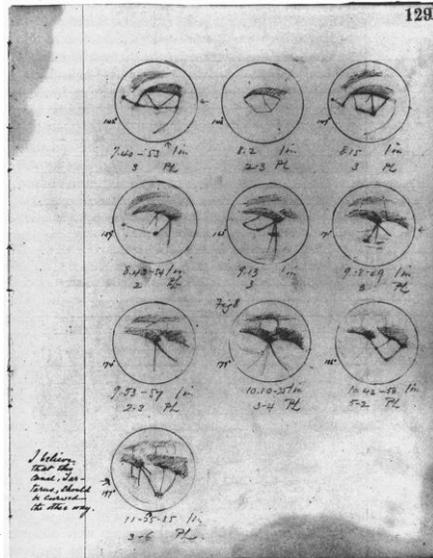
Pourquoi des visions de canaux ?

2) Illusions d'optique



Triangle de Kaniza :  
le cerveau humain tend à compléter  
les contours lacunaires de figures suggérées  
par l'image examinée

Apparition fugitive des canaux (Lowell 1894) :  
effet « tachistoscopique » (Sheehan 1988),  
élaboration partielle d'une image par le cerveau



Globe de Mars  
d'après Flammarion  
(fin XIX<sup>ème</sup> / début XX<sup>ème</sup> siècle)



Diamètre env. 15 cm

## Les canaux et la vie extraterrestre

La théorie martienne de P. Lowell et d'autres :

- Mars plus évolué que la Terre : en voie de désertification
- Eau (!) dans les calottes polaires blanches
- Canaux = système d'irrigation pour transférer l'eau des pôles

Les **2 piliers** de la théorie:

**1. Conditions physiques propices à la vie :**

- Présence d'une atmosphère
- T moyenne = 9 °C (!)
- Génération spontanée de la vie + évolution darwinienne

**2. Preuve de vie intelligente :**

- Canaux
- Plages sombres = végétation irriguée : varie de teinte avec saison
- « vague d'assombrissement » pôle → équateur

## Les canaux et la vie extraterrestre

Politique et sociologie martiennes :

Canaux → organisation planétaire → martiens intelligents & pacifiques

**2 visions :**

a) E.G. Clement (1907) :

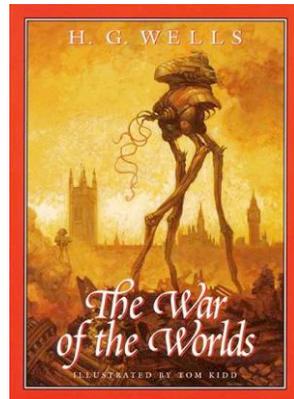
poème « The Gospel from Mars »

« *In short I am going to show why Mars is carrying through our Heavens the heart-red flag of socialism!* »

b) P. Lowell (1911): sur Mars, la sécheresse

« *necessitates a community of interest under penalty of death ... undoubtedly a uniform government controls the economic activities of the whole planet ... We may be very certain that in the Martian world-economy, the fittest only have survived.* »

# Herbert George Wells & Orson Welles



Le 30 octobre 1938, veille de Halloween, Orson Welles et la troupe du théâtre Mercury diffusent sur le réseau CBS aux Etats-Unis une adaptation du roman de 1898.

Malgré les avertissements très clairs du début et de la fin de l'émission, de nombreux auditeurs se sont laissés bernés et ont cru que la Terre et Mars étaient en guerre et, qu'en quelques heures, les Terriens perdaient.

## Conclusion :

Comment éviter un mythe (pseudo) scientifique?

« This is to miss what seems to be the whole point of a scientific theory, that its value depends on the possibility of disproving it : T. Gold has expressed this most aptly by saying that « for a theory to be of any value it must be vulnerable ». Vulnerability supplies the conditions for success or failure in accordance with observational tests, and it is on this that science, and indeed all rational argument, is based. The aim in science is not to build a theory that is so hedged in with protective conditions that nobody can get at it. The aim is to build a theory that is exposed to observational attack in as many direction as possible, and which then manages to survive. »

Fred Hoyle 1955  
Frontiers of Astronomy  
Harper & Brothers p.354

## Conclusion :

Comment éviter un mythe (pseudo) scientifique ?

« For since the theory of intelligent life on the planet Mars was first enunciated 21 years ago, each new fact discovered has been found to be accordant with it. Not a single thing has been detected which it does not explain. This is really a remarkable record for a theory. »

P. Lowell 1916

Critère de Popper (« falsifiabilité ») :

**Toutes les fausses sciences sont irréfutables**

**Toute théorie scientifique est réfutable**

## Du caractère scientifique d'une théorie

- Le caractère **réfutable** (aussi appelée parfois **falsifiable**) est un concept important de l'épistémologie.
- Une théorie est dite **réfutable** s'il est possible de consigner une observation ou de mener une expérience qui démontre que **l'affirmation est fausse** (voir Karl Popper et Steven Weinberg).
- Une proposition réfutable est réputée être scientifique tant que l'observation qui permet de la réfuter n'a pas été faite.
- En revanche, une proposition non réfutable (irréfutable au sens logique) est considérée comme non scientifique.