

Les Nuits des étoiles

COMÈTES

&

ORIGINES

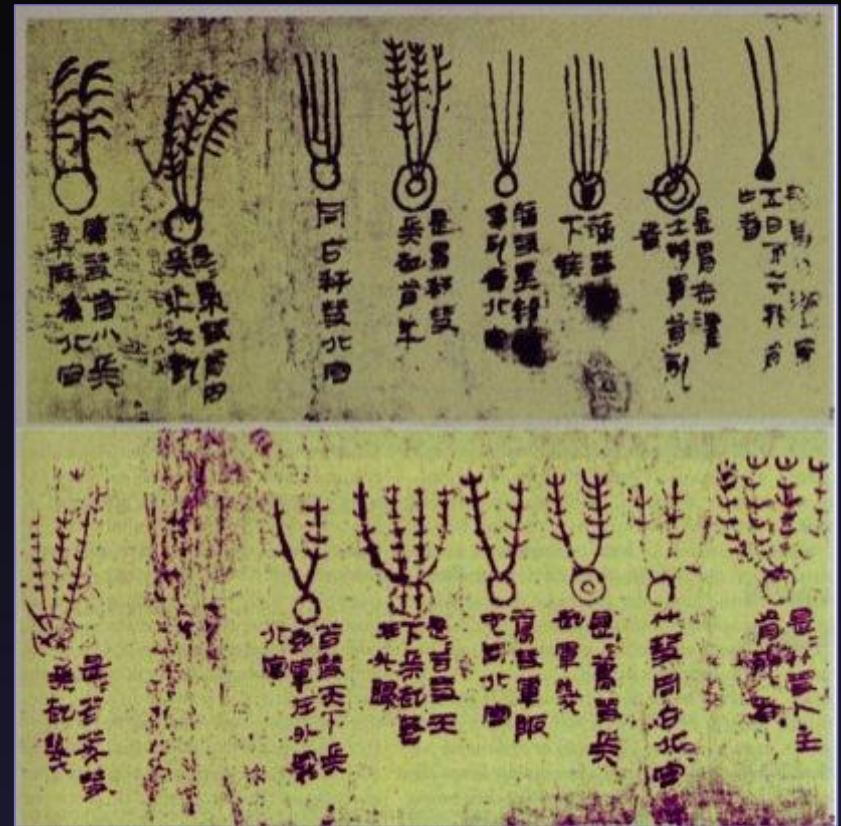




Les comètes dans l'HISTOIRE

- Antiquité

- Première trace écrite d'observations de comètes : Chaldée/Chine, XI^e s. av. JC
- Plus ancien passage attesté de la comète de Halley : Chine, 611 av. JC
- Plus ancien dessin de comètes : Chine, IV^e s. av. JC

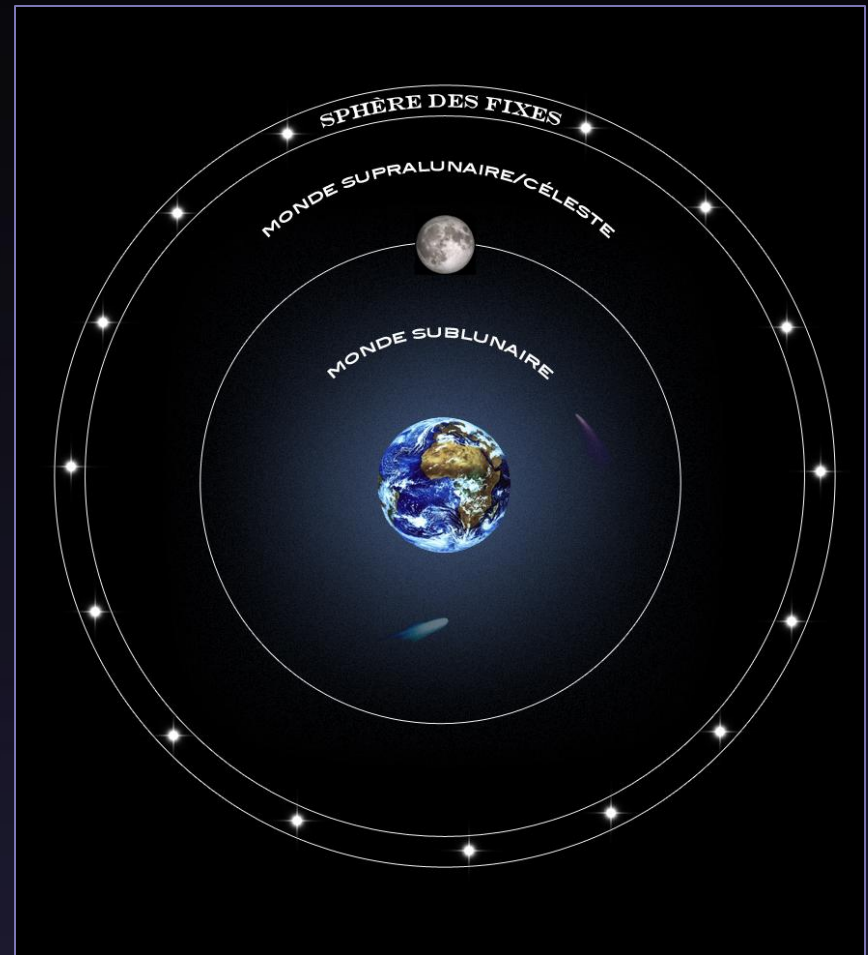


crédit: NASA

Comètes – Manuscrit Chinois, IV^e s. av. JC

Les comètes dans l'HISTOIRE

- **Antiquité grecque**
 - **Aristote** classe les comètes dans le monde sublunaire, imparfait et imprévisible ($\neq$ monde céleste)
 - **Les pythagoriciens** y voient des planètes rarement observables



crédit : Clément Plantureux

Monde selon Aristote

Les comètes dans l'HISTOIRE

- Moyen Âge
 - Les astrologues associent les comètes à des morts illustres : celle de 451 pour Attila, 632 pour Mahomet, 1223 pour Philippe-Auguste...
 - ou à des naissances!



L'étoile de Bethléem
représentée sous la forme d'une comète
- Giotto, *L'adoration des Rois Mages*, ~1306 -

Les comètes dans l'HISTOIRE

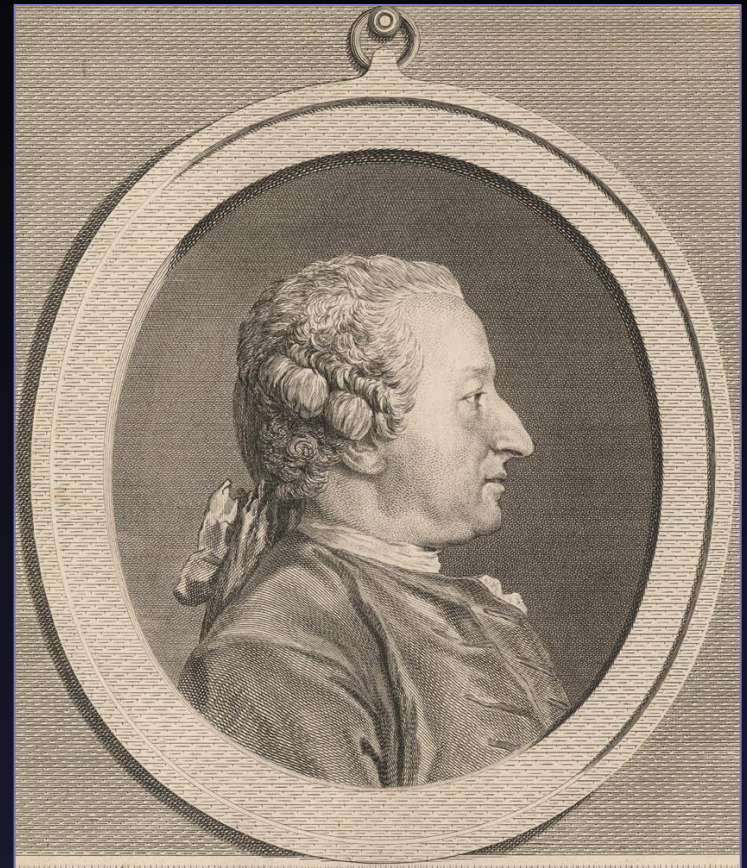
- XVIII^e siècle
 - Grâce aux travaux de **Newton** (les *Principia*), **Edmond Halley** démontre en 1704 que les comètes de 1531, 1607 et 1682 ne sont qu'une seule et même comète
 - Depuis **Halley** on comprend que les comètes ne sont pas des phénomènes atmosphériques mais des objets venant de l'espace



Edmond Halley

Clairaut et la comète de 1759

- **Halley** avait prévu le retour de la comète de 1682 pour l'année 1758.
- **Alexis Clairaut** calcule la date du passage au périhélie en tenant compte des perturbations de son mouvement orbital, causées par Jupiter et Saturne.
- Ce retour, prévu et observé, fait définitivement triompher les idées de **Newton** sur la gravitation universelle. **Nicolas de La Caille** propose de la nommer désormais « Comète de Halley ».

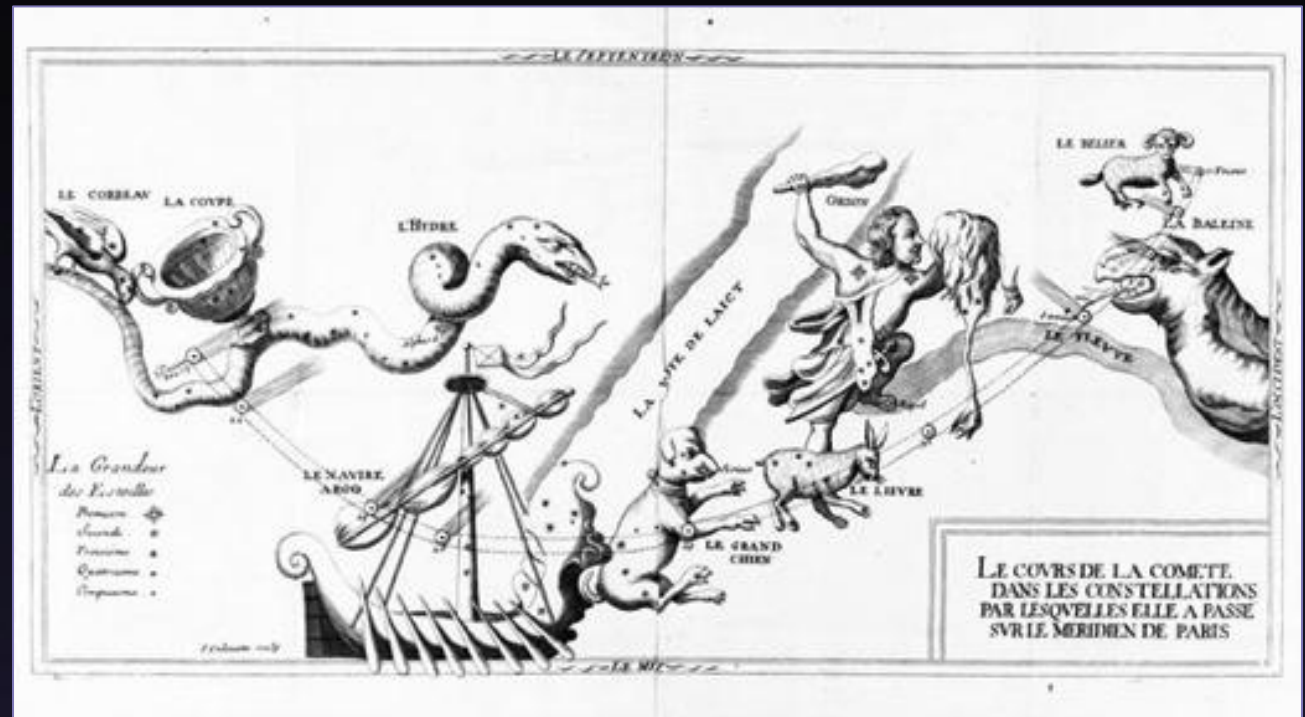


Alexis Clairaut, par Charles-Nicolas Cauchin

Comète : un mauvais présage ?

Les comètes ont longtemps été considérées comme annonciatrices de mauvais présages

- Guerres
- Maladies
- Morts de personnages illustres...



Trajectoire de la comète de 1664-1665
Une épidémie de peste se déclara à cette période en Europe



Tapissérie de Bayeux : Comète de Halley en 1066 – Bataille d'Hastings

La comète de 1811

- **Napoléon** y voyait un présage favorable pour la **campagne de Russie**
 - Défaite cuisante des armées napoléoniennes
- La comète coïncide avec une vendange de qualité exceptionnelle
 - **Vin de la comète**



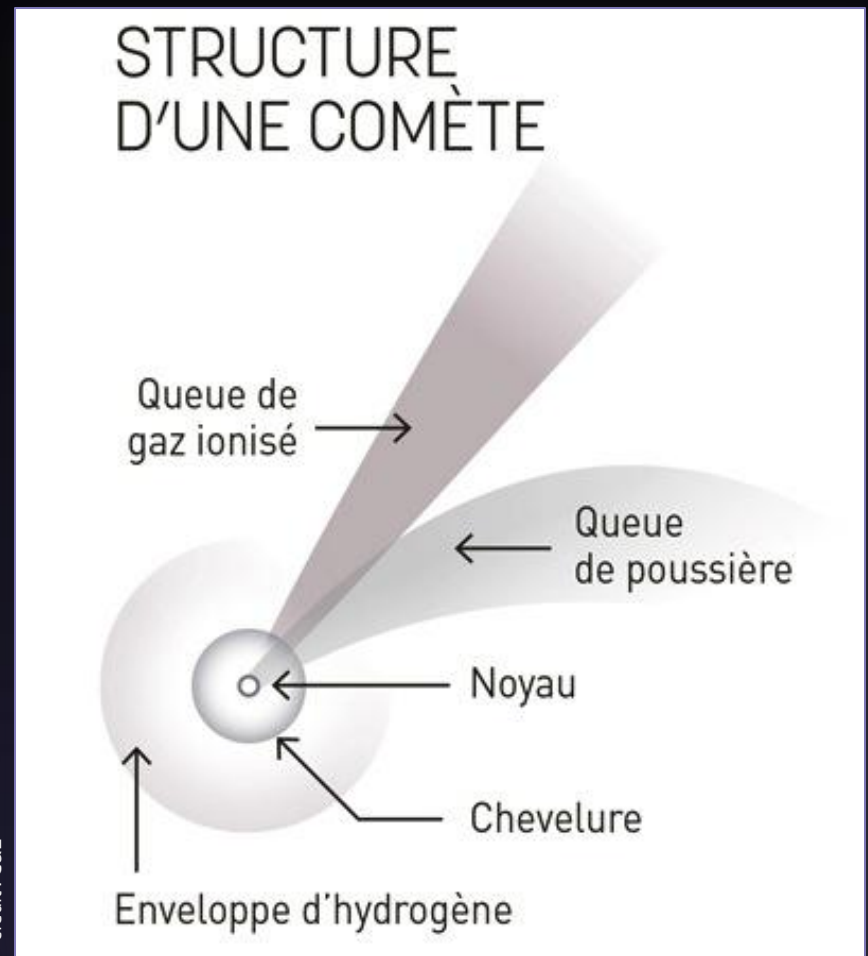
Comète de 1811

La comète de 1910 (Halley)



Qu'est-ce qu'une COMÈTE ?

- « Boule de neige sale »
 - Fred L. Whipple
- Composée de glaces et de poussières
- Le noyau
- La chevelure (ou coma)
- Les queues



Le NOYAU

COMPOSITION

- Glace (~50%)
- Matières météoritiques agglomérées (~50%)

TAILLE

- d'une centaine de mètres
- à quelques dizaines de kilomètres

DENSITÉ

- ~0,6 (eau → 1)
- Très faible densité !



crédit : NASA / Jet Propulsion Laboratory / University of Maryland

Noyau de la comète Tempel 1

La CHEVELURE (ou COMA)

COMPOSITION

- Atomes, gaz (H_2O , CO , $CO_2...$), poussières issus du noyau

TAILLE

- de 50 000 à 250 000 kilomètres !
- La chevelure est créée par la sublimation des glaces du noyau et les poussières soulevées par le gaz ainsi libéré



crédit : E. Beaudoin/Ciel et Espace Photos

Comète 17P/Holmes

Les QUEUES

- 2 types de **queues visibles** :
 - Queue de plasma (gaz ionisés, rectiligne, opposée au Soleil)
 - Queue de poussière (plus large, incurvée dans le plan de l'orbite)
- 1 type de **queue difficilement détectable** :
 - Queue de sodium, uniquement visible avec des instruments puissants munis de filtres appropriés

DIMENSIONS : dizaines de millions de km !

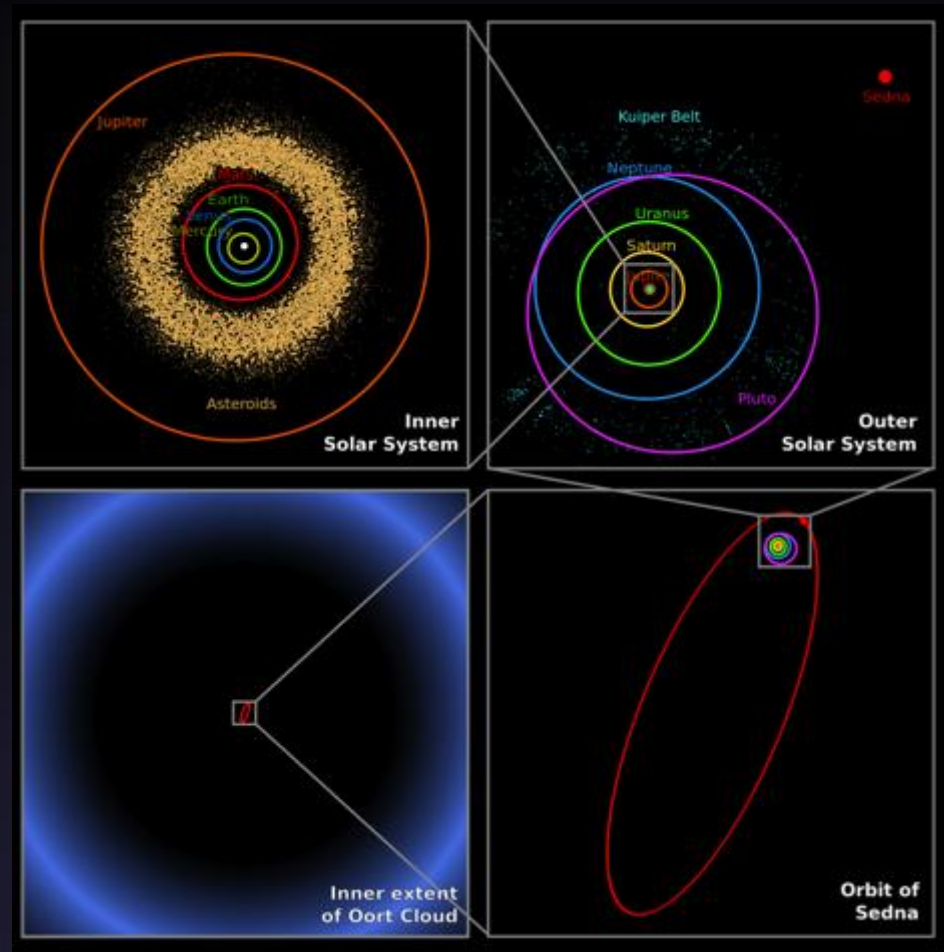


crédit : B&S Fletcher/Ciel et Espace Photos

Comète Hale-Bopp

D'où viennent les COMÈTES ?

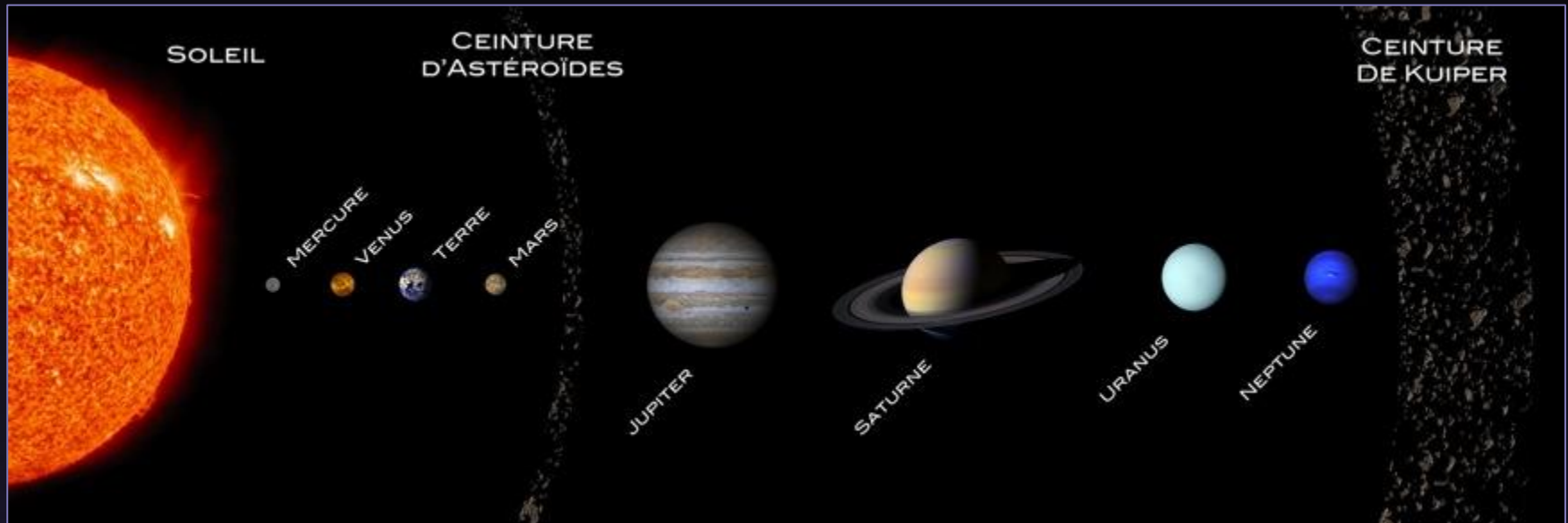
- 2 réservoirs principaux :
 - La Ceinture de Kuiper
(entre 30 et 55 UA*)
 - Le Nuage d'Oort
(de 20 000 à plus de 100 000 UA*)
- 1 UA (Unité Astronomique) =
Distance Terre-Soleil =
150 millions de kilomètres



crédit : NASA/JPL-Caltech/R. Hurt

Ceinture de Kuiper et Nuage d'Oort

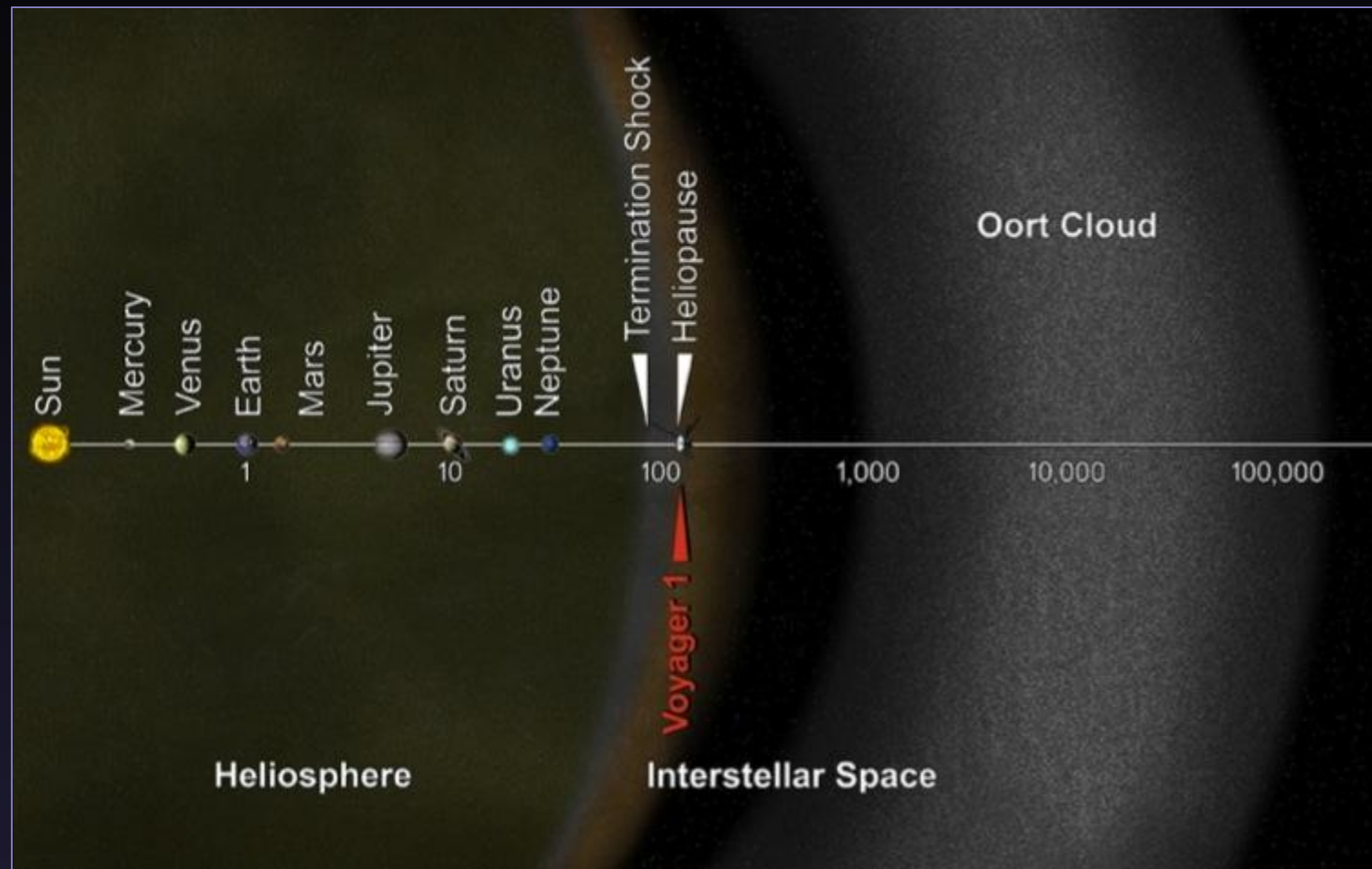
Ceinture de Kuiper



crédit: Clément Plantureux

Le Système Solaire et la Ceinture de Kuiper

Le Nuage d'Oort



L'Héliosphère et le Nuage d'Oort (échelle logarithmique)

Nom des comètes

- C pour longue période (ou non périodique), P pour courte période
- année de la découverte
- lettre majuscule pour la quinzaine du mois de la découverte
- chiffre précisant l'ordre chronologique de la découverte durant la quinzaine
- le(s) nom(s) du/des découvreur(s)
 - ex : C/1995 O1 Hale-Bopp



crédit: ESO

Comète Hale-Bopp à environ 2 milliards de kilomètres du Soleil

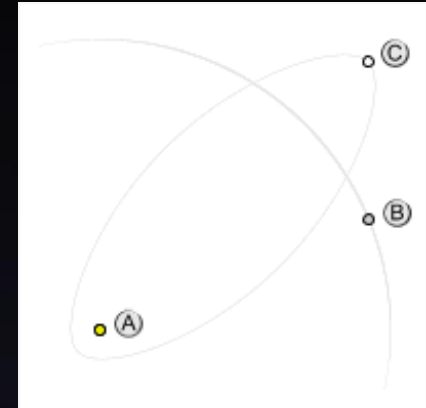
ORBITE

Les comètes peuvent être dites :

- **périodiques** ($e < 1$)
 - à courte période ($P < 200$ ans)
 - à longue période ($P > 200$ ans)
- **non-périodiques** ($e > 1$)
 - plus rare, généralement mises sur orbite hyperbolique sous l'influence gravitationnelle des planètes

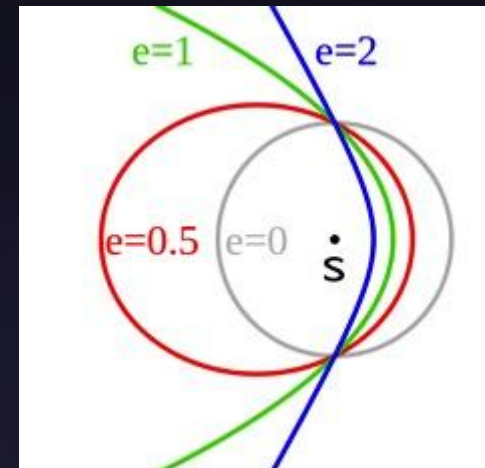
« e » définit l'**excentricité** de l'orbite

- si $e = 0 \rightarrow$ l'orbite est circulaire
- si $0 < e < 1 \rightarrow$ l'orbite est elliptique
- si $e = 1 \rightarrow$ l'orbite est parabolique
- si $e > 1 \rightarrow$ l'orbite est hyperbolique



crédit : Pixel

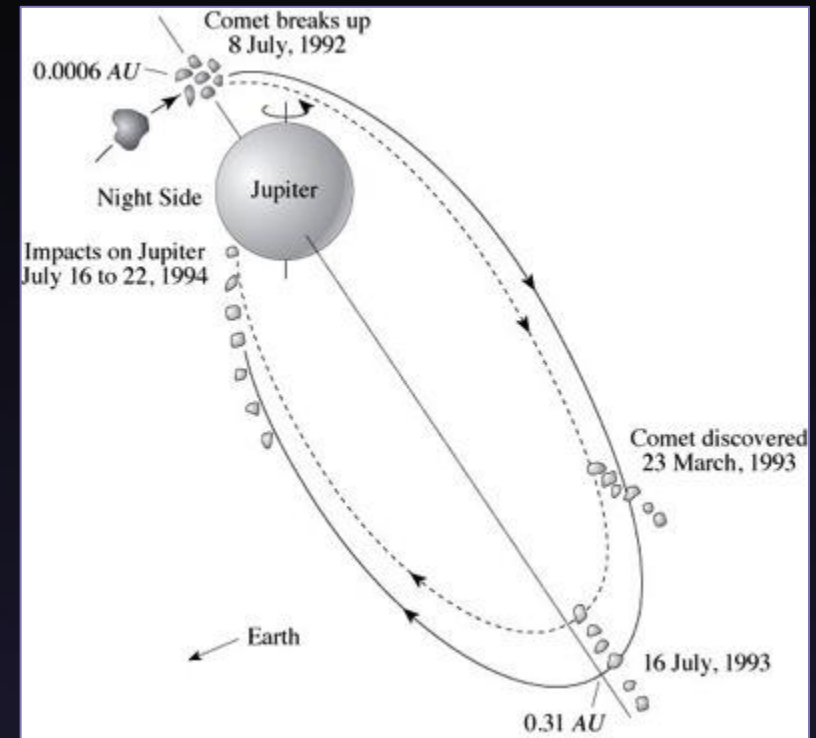
Trajet d'une comète périodique
A: Soleil, B: planète, C: comète



crédit : ScottAlanHill

Comment les comètes quittent-elles leur réservoir?

- **L'influence gravitationnelle** de Neptune ou encore Jupiter peut provoquer un changement d'orbite
- Les orbites peuvent évoluer plusieurs fois pour une même comète (ex : Halley)
- **Les collisions** (assez rare) entre objets dans les réservoirs cométaires peuvent faire décrocher les comètes de leur orbite initiale



Orbite finale de la comète Shoemaker-Levy 9 avant de s'écraser sur Jupiter

Les comètes sont-elles éternelles ?

- Plusieurs facteurs peuvent perturber la vie d'une comète :
 - **impact** avec une planète, un satellite ou le Soleil
 - **fragmentation** de la comète
 - **les passages successifs** autour du Soleil consomment la comète



crédit: Adam Block/Mount Lemmon SkyCenter/University of Arizona

La comète ISON s'est désagrégée après son passage au périhélie

Impacts cométaires

- Les impacts cométaires sont peu fréquents, mais deux ont été récemment recensés dans le Système Solaire :
 - **L'évènement de la Tougouska** en 1908, provoquant une explosion équivalente à une centaine de bombes Hiroshima et couchant près de 60 millions d'arbres en Sibérie
 - **La comète Shoemaker-Levy 9** qui est entrée en collision avec Jupiter en 1994 après s'être fragmentée en 23 morceaux



crédit: Leonid Kuilk

Arbres couchés après l'évènement de la Tougouska



crédit: Hubble Space Telescope Comet Team/NASA

Taches sombres laissées par les impacts de Shoemaker-Levy 9



www.spacetelescope.org

Fragmentation cométaire

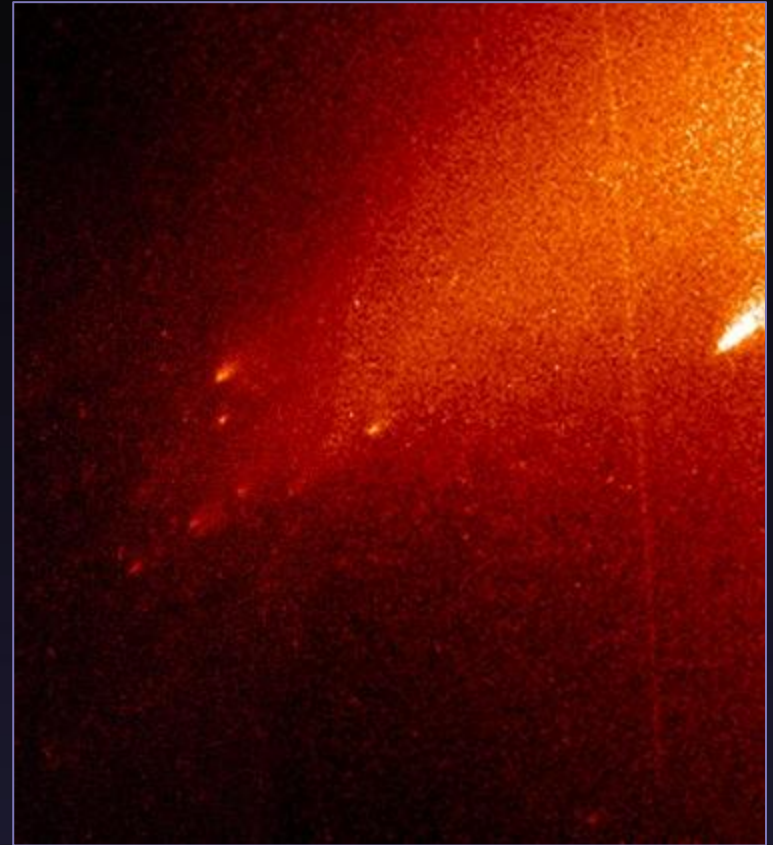
- Lorsque les comètes passent trop près d'un corps massif (Soleil, Jupiter...) les comètes peuvent se fragmenter et se désagréger
- **Limite de Roche** : distance à laquelle un petit objet se disloque par effet de marée près d'un objet plus massif

$$d = 2,42 \times R \times \sqrt[3]{\frac{\rho_M}{\rho_m}}$$

R : Rayon de l'objet massif

ρ_M : densité de l'objet massif

ρ_m : densité de la comète



crédit: Hal Weaver/NASA/ESA

Fragments de la comète LINEAR

crédit: NASA



Fragmentation de la comète ISON

Les comètes ne sont pas éternelles

- On estime que les comètes perdent toute leur glace après environ **500 passages** autour du Soleil (pour Halley ~ 38 000 ans)
- La comète de Halley perd environ **2 mètres d'épaisseur** à chaque passage (théoriquement, en fin de vie, Halley aura perdu 1 km d'épaisseur)



crédit: Halley Multicolor Camera Team/Giotto Project/ESA

Comète de Halley vue par Giotto

Les étoiles filantes

- Il existe deux types d'étoiles filantes :
 - les étoiles filantes sporadiques
(poussières d'astéroïdes)
 - les étoiles filantes d'essaims
(poussières cométaires)
- Les essaims sont créés par des comètes ayant traversé l'orbite terrestre. Il en existe des dizaines, les plus importantes étant :
 - les Perséides (en août)
 - les Léonides (en novembre)
 - les Géménides (en décembre)

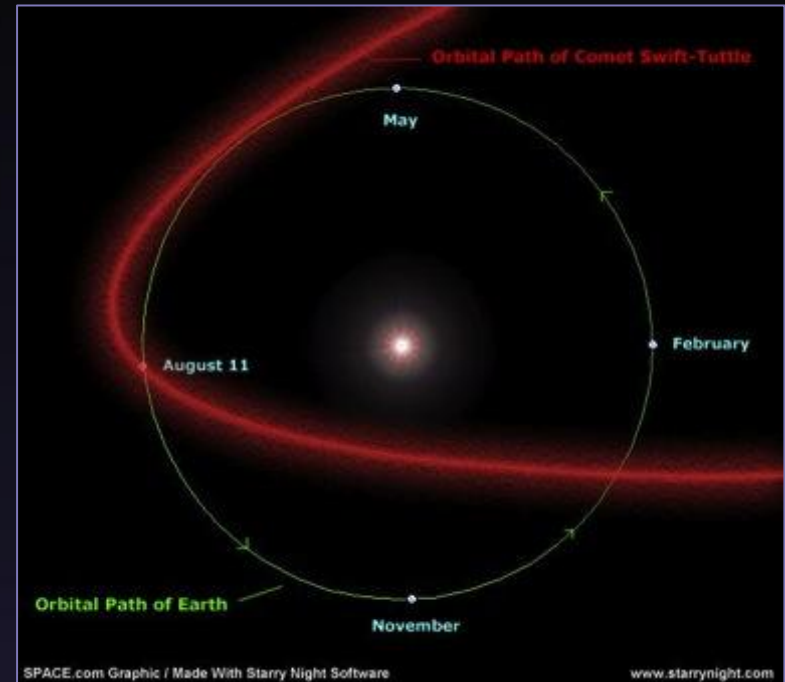


crédit: A. Fujii/Ciel et Espace Photos

Pluie d'étoiles filantes d'essaim

Les Perséides

- Aussi appelées les Larmes de St. Laurent
- Essaim de météores issus de la comète **Swift-Tuttle**
- La Terre traverse l'essaim entre la fin juillet et août (pic le 12 août)
- Près d'une centaine de minuscules particules se consomment chaque heure entre 115 et 90 km d'altitude

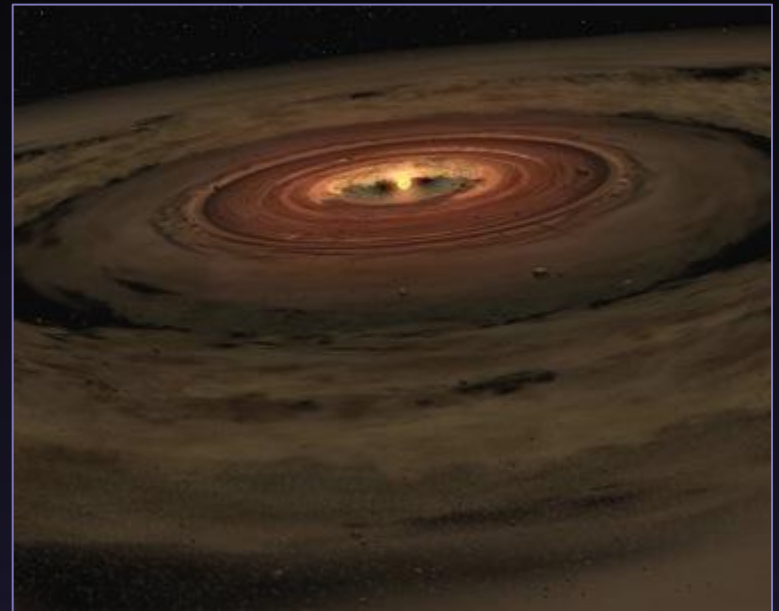


Trajectoire de la comète Swift-Tuttle

Pourquoi étudier les COMÈTES ?

- Objet céleste primitif : âge estimé à ~4,5 milliards d'années (correspond à la formation du Système Solaire)
⇒ informations sur notre genèse planétaire

Quelles étaient les conditions dans lesquelles le Système Solaire s'est formé ?



crédit : NASA/JPL-Caltech/T. Pyle (SSC)

Vue d'artiste de la formation d'un système planétaire

Pourquoi étudier les COMÈTES ?

- L'eau présente sur Terre pourrait venir des comètes
- Le télescope Herschel (ESA), en étudiant la comète Hartley 2, a montré que l'eau trouvée sur la comète était similaire à l'eau terrestre (même composition isotopique)

Qui des astéroïdes ou des comètes a apporté l'eau sur Terre ?



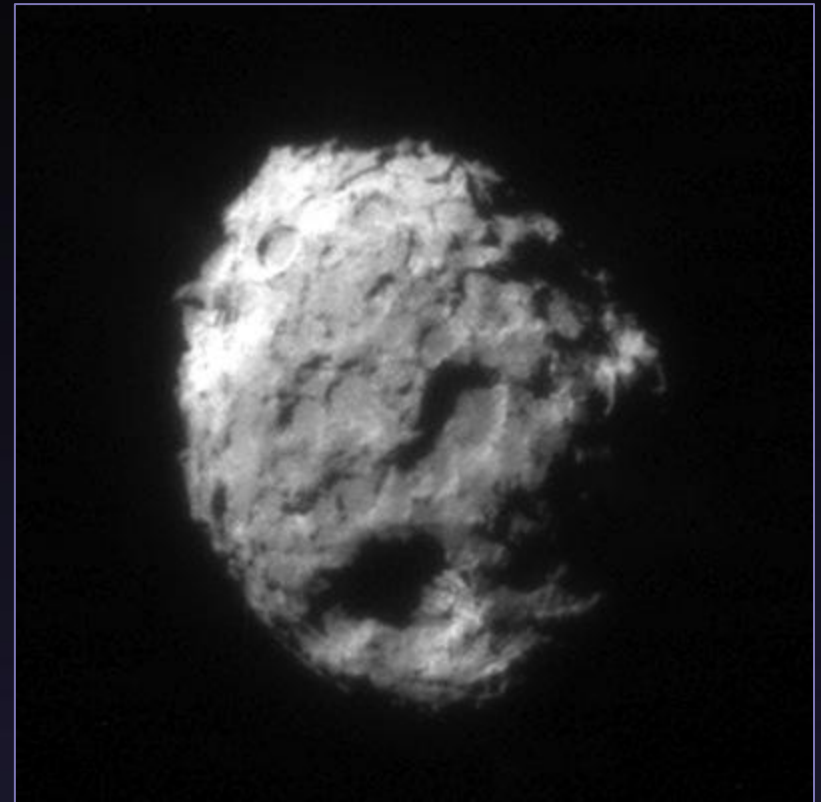
crédit : NASA/JPL-Caltech/UMD

Comète Hartley 2

Pourquoi étudier les COMÈTES ?

- Les ingrédients de la vie pourraient avoir été apportés par les comètes
- L'analyse chimique de la comète Wild 2 par Stardust (NASA) confirme la présence d'acides aminés, briques élémentaires du vivant

Les ingrédients de la vie sont-ils d'origine terrestre, ou proviennent-ils des comètes ?



Credit : NASA

Comète Wild 2

ASTÉROÏDE ou COMÈTE ?

ASTÉROÏDE

- **Composition** : roche, métal, glace
- **Origine** : Ceinture d'astéroïdes (entre Mars et Jupiter) & Ceinture de Kuiper (près de Neptune)
- **Densité** élevée (~2,5)
- **Inactif**

COMÈTE

- **Composition** : glace, poussière
- **Origine** : Ceinture de Kuiper et Nuage d'Oort (au-delà de l'orbite de Pluton)
- **Densité** faible (~0,6)
- **Active** près du périhélie

Lorsqu'un astéroïde ou une comète traverse l'atmosphère terrestre, on les nomme **MÉTÉORITES**

ASTÉROÏDE ou COMÈTE ?

ASTÉROÏDE



crédit: NASA/JHUAPL

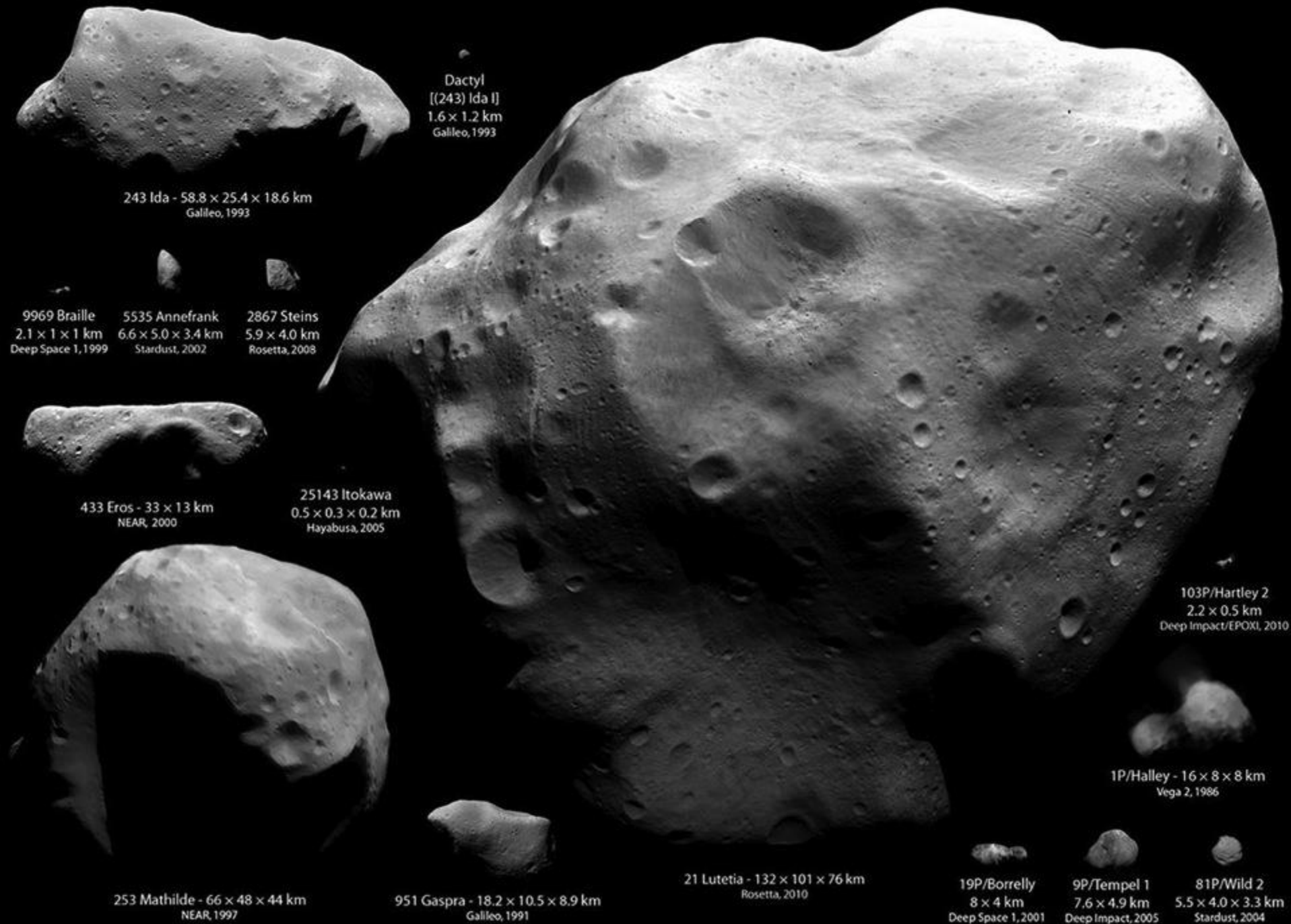
Astéroïde Eros

COMÈTE

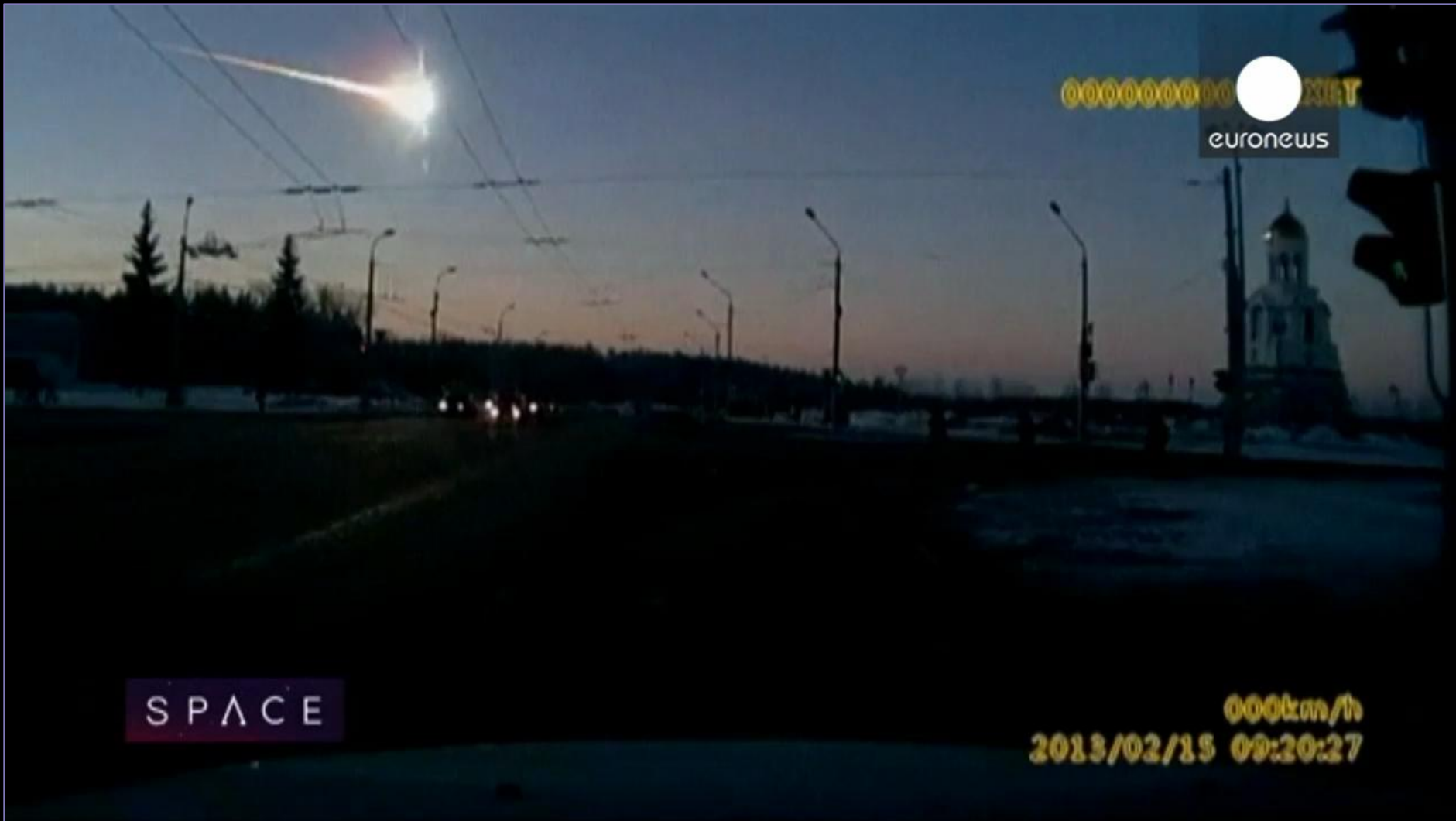


crédit: NASA/JPL-Caltech/UMD

Comète Hartley 2



crédit: ESA



Météorite de Chelyabinsk – 15 février 2013

Comète de Halley

crédit: A. Fujii/Ciel et Espace Photos



Période : ~76 ans

Taille : 8 x 7 x 16 km

Périhélie : ~0,6 UA

Dernier passage : 1986

Prochain passage : 2061

Comète Hale-Bopp

crédit: B&S Fletcher/Ciel et Espace Photos



Période : ~2 500 ans

Taille : ~60 km

Périhélie : ~0,9 UA

Dernier passage : 1997

Prochain passage : ~4400

Comète ISON

crédit: NASA/ESA



Période : ∞

Taille : < 1 km

Périhélie : $\sim 0,01$ UA

Dernier passage : 2013

Prochain passage : aucun

Comète McNaught

crédit: ESA



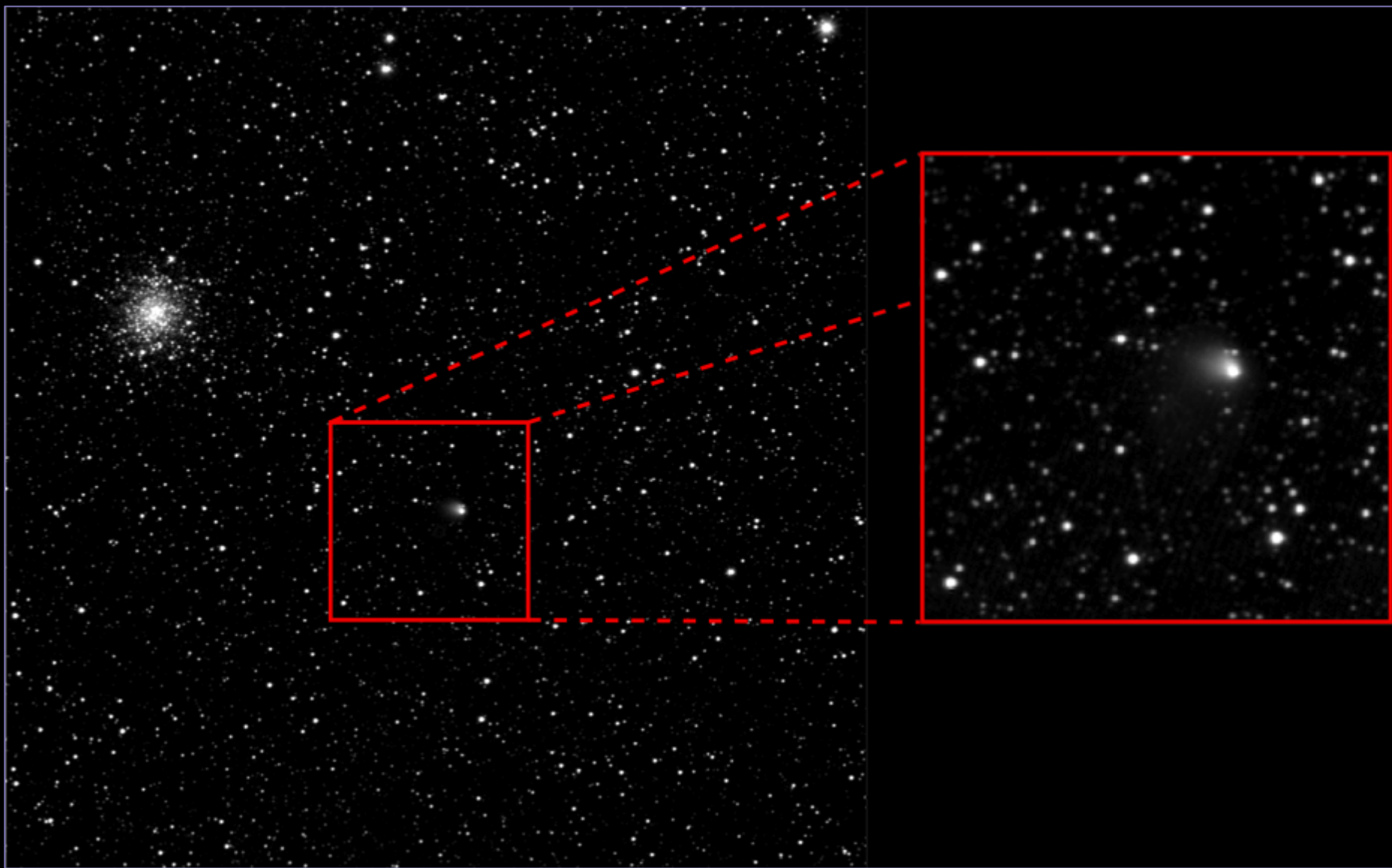
Période : ~100 000 ans

Taille : une dizaine de km

Périhélie : ~0,2 UA

Dernier passage : 2007

Prochain passage : ?



crédit: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA



14 July 2014
Rot = 0 deg



5 km





ROSETTA

- Mission de l'Agence Spatiale Européenne
- Lancée le 2 mars 2004 depuis le centre spatial guyanais, port spatial de l'Europe
- Lanceur Ariane 5G+
- Orbiteur + Atterrisseur (Philæ)
- Masse : 3000 kg
- Mission : Étudier la comète Churyumov-Gerasimenko



crédit: Airbus Defence & Space

Airbus Defence and Space
maitre d'œuvre de la sonde Rosetta

L'orbiteur

- Masse : 3 050 kg (carburant : 1 750 kg)
- Envergure : 32 m
- Possède les plus grands panneaux solaires pour une mission spatiale (65 m²)
- 11 instruments scientifiques



crédit: Medialab/ESA

Rosetta

L'atterrisseur - Philæ

- Développé conjointement par le **CNES et le DLR** (agence spatiale allemande)
- Masse : 98 kg
- 10 instruments scientifiques :
 - Étudier la structure du noyau
 - Analyser la composition du sol
 - Étudier les propriétés physiques du noyau
- **Premier *lander* sur une comète**



crédit: Medialab/ESA

Philæ sur la comète Churyumov-Gerasimenko

MONT BLANC
4810 metres

Comet 67P/C-G
4000 metres

MOUNT FUJI
3776 metres

MOUNT OLYMPUS
2917 metres

BURJ KHALIFA
829 metres

**EMPIRE STATE
BUILDING**
381 metres

VESUVIUS
1281 metres

**EIFFEL
TOWER**
324 metres

**MONUMENT
VALLEY**
300 metres

**GIZA
PYRAMID**
146 metres

Les objectifs de Rosetta

- Comprendre l'activité des comètes
- Obtenir des informations sur la formation du Système solaire :
 - Les comètes ont peu évolué depuis la formation du Système solaire, environ **4,5 milliards d'années**
 - Les comètes pourraient contenir les éléments nécessaires à **l'apparition de la vie sur Terre**
 - Les comètes pourraient être à l'origine des **océans terrestres**



crédit: Michael Carlowicz/NASA Earth Observatory

La comète Lovejoy vue depuis l'ISS

Rosetta depuis 2004

- Lancement parfait le 2 mars 2004
- Lanceur Ariane 5G+
- Vol V158

	Visée	Obtenue
Vitesse (m/s)	3 544,5	3 542,9
Déclinaison (°)	-1,982	-1,983
Ascension droite (°)	129,39	129,45



crédit: CNES/ESA/Arianespace/CSG Service Optique

Vol 158 avant le décollage à Kourou



L'atterrissage de Philæ

- Choix du site :
 - L'ensoleillement
 - Le relief et les aspérités locales
 - Capacité à atterrir
 - Contraintes imposées par l'orbiteur (altitudes, orbites...)
 - L'ellipse d'incertitude sur le site visé

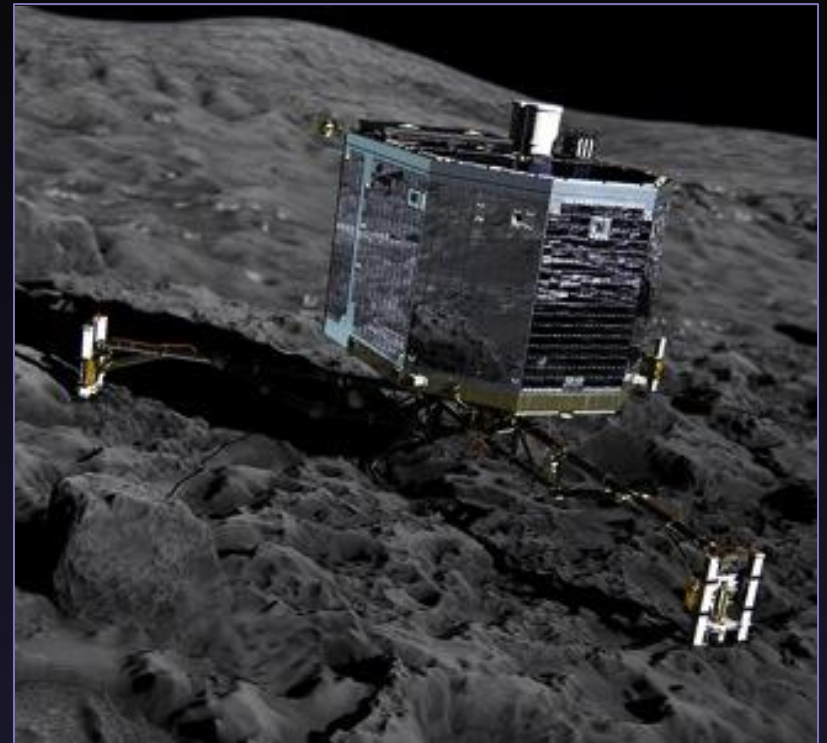


crédit: Medialab/ESA

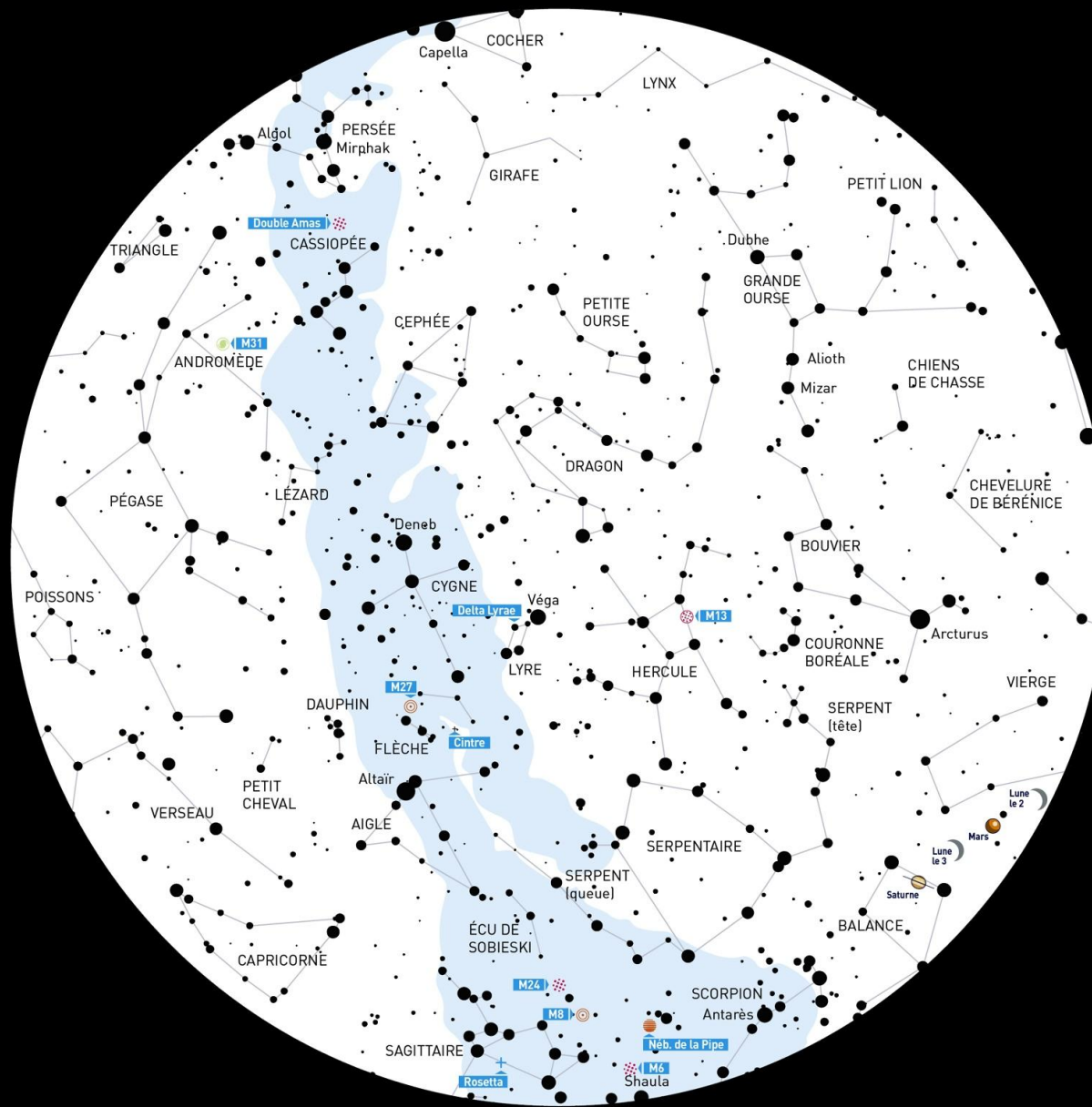
Choix du site d'atterrissage pour Philæ

Les « rendez-vous » de Rosetta

- **20 janvier** : Sortie d'hibernation
- **Avril** : détection de la comète par l'instrument Osiris
- **Mai-août** : Manœuvre de freinage de Rosetta pour s'arrêter le 6 août à 100 km de 67P
- **Août-octobre** : observation de la comète (forme, masse, axe de rotation, choix du site d'atterrissage)
- **Novembre** : largage puis atterrissage de Philæ
- **Novembre-mars 2015** : Science de long-terme. Arrêt probable de Philæ vers 2 UA



Philæ après l'atterrissage sur CG



Carte du Ciel – 1^{er}, 2 et 3 août 2014 – 23h30

Remerciements

- Un grand merci à nos partenaires: le **CNES**, **Airbus Defence & Space**, le **CNRS**, **SES**, **l'Observatoire de Paris**, le **Secrétariat d'État à l'Enseignement Supérieur** et à la **Recherche et Ciel et Espace**