

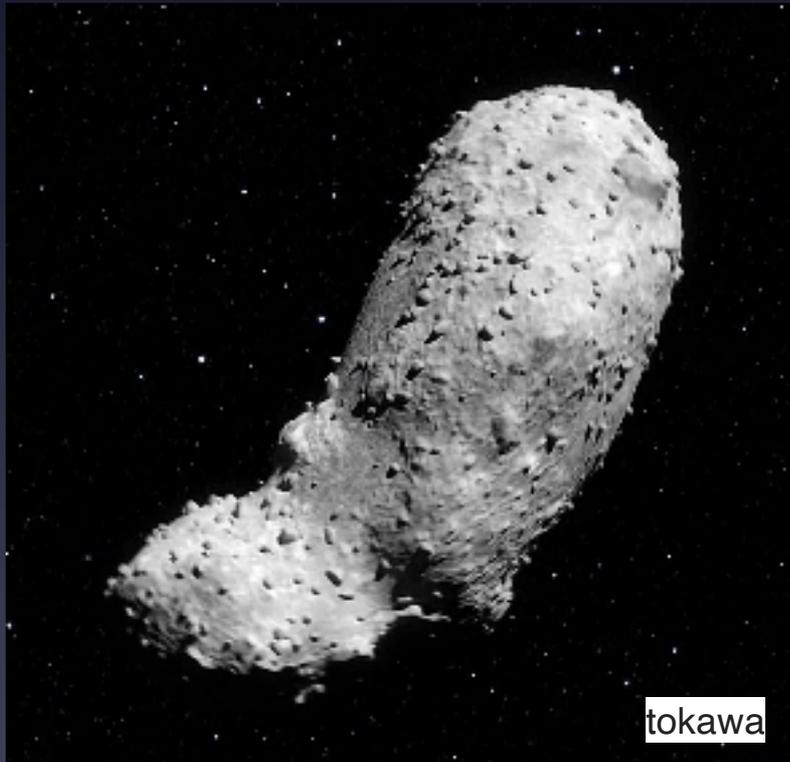


Les Astéroïdes





Les Astéroïdes 1ere partie



tokawa

Petits corps du système solaire

Localisation

Nombre, tailles, forme

Composition

Méthodes d'investigation

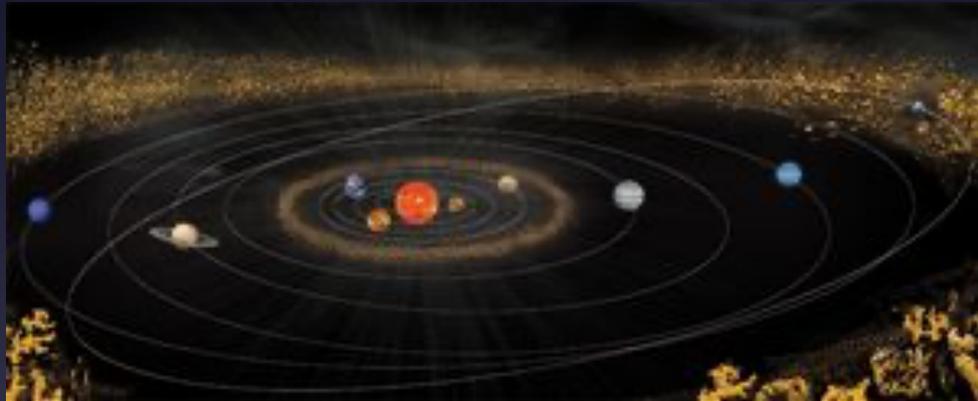
Les missions spatiales d'étude

Passées

En cours et à venir



Petits corps du système solaire



Également dénommés : « planètes mineures »

Site de référence : [Minor Planet Center \(MPC\)](#)



Découverte

- Cères

- 1er janvier 1801 par l'astronome italien Giuseppe Piazzi (catalogue d'étoiles).
- Orbite presque circulaire, située entre Mars et Jupiter => pas une comète ; planète manquante ?

- Pallas

- Mars 1802 par l'astronome Heinrich Olbers, orbite proche de celle de Cères
- Destruction d'une unique planète ?

- Juno, Vesta

- En 1804 et 1809

- Dizaines d'autres...



Cères

EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY/AFP/
ARCHIVES - L.CALCADA

William Herschel en 1802 :
terme d'**astéroïde** pour
désigner ces objets.

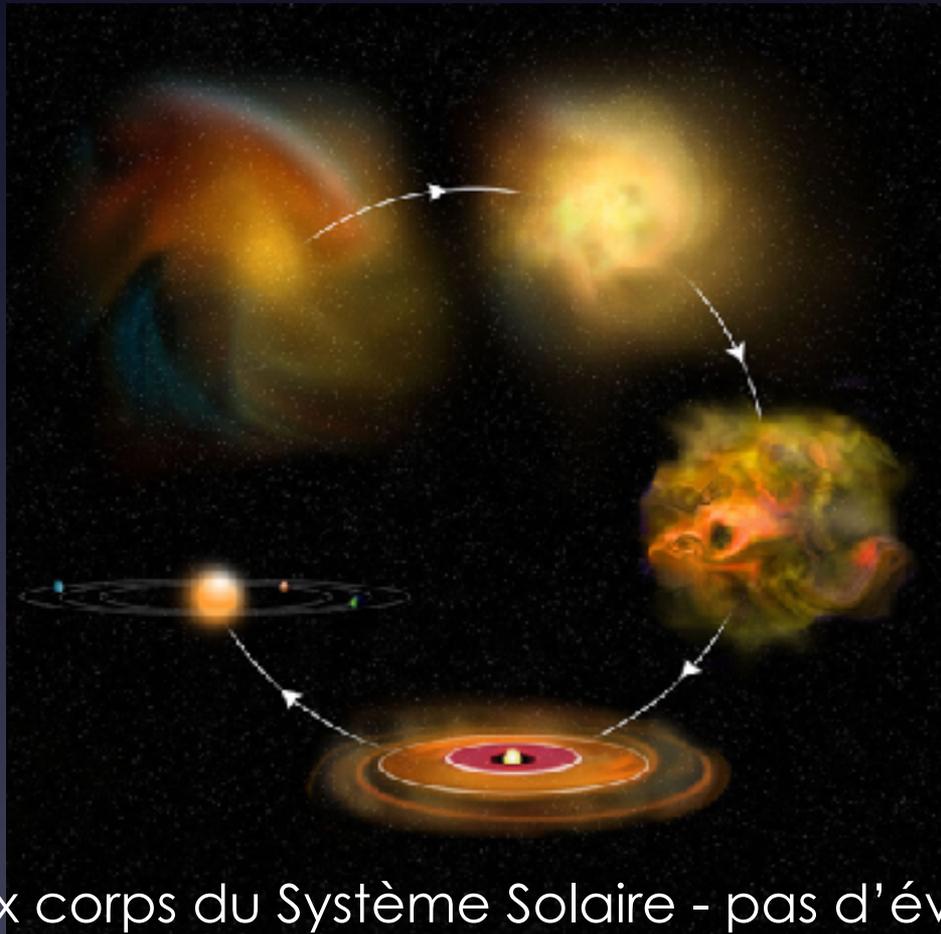
astéroïde provient du grec ἀστήρ
(astêr) qui signifie « étoile » et
εἶδος (eîdos) qui signifie « aspect
extérieur ».



Astéroïdes et comètes

Origine commune

restes du disque de poussières et de gaz qui a formé les planètes de notre système solaire.



les plus vieux corps du Système Solaire - pas d'évolution



Astéroïdes et comètes

Des petits corps différents

Astéroïde : composé essentiellement de roche, avec des métaux



Comète : composée essentiellement de glace d'eau, active



Une séparation.... qui devient poreuse

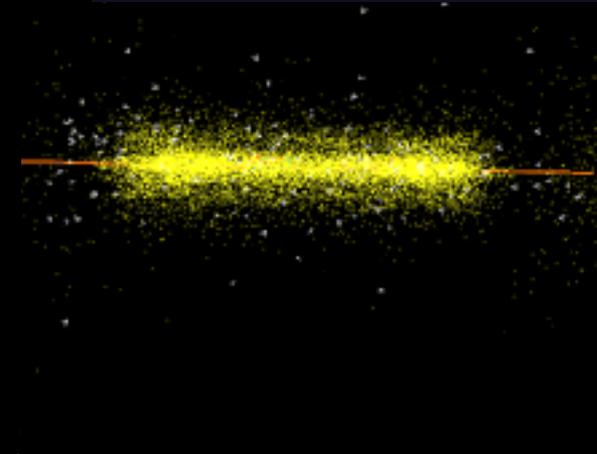
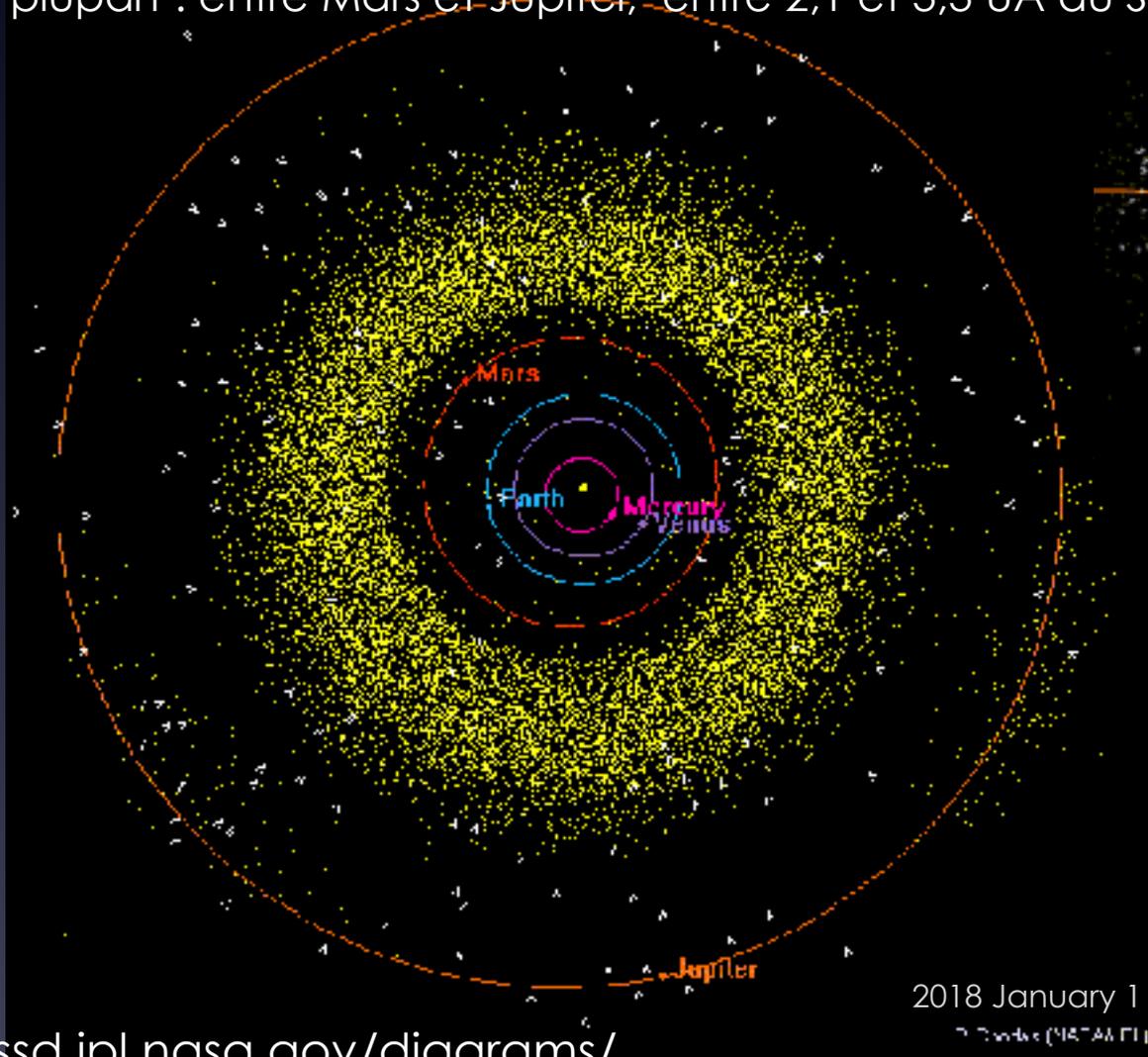
2010 : observation du dégazage de l'astéroïde (596) Scheila (découvert en 1906)
En 2021, 8 astéroïdes avec queue de poussières



Localisation

Ceinture principale d'astéroïdes (CPA)

La plupart : entre Mars et Jupiter, entre 2,1 et 3,3 UA du Soleil



espacement
moyen entre
deux astéroïdes :
environ un million
de km !

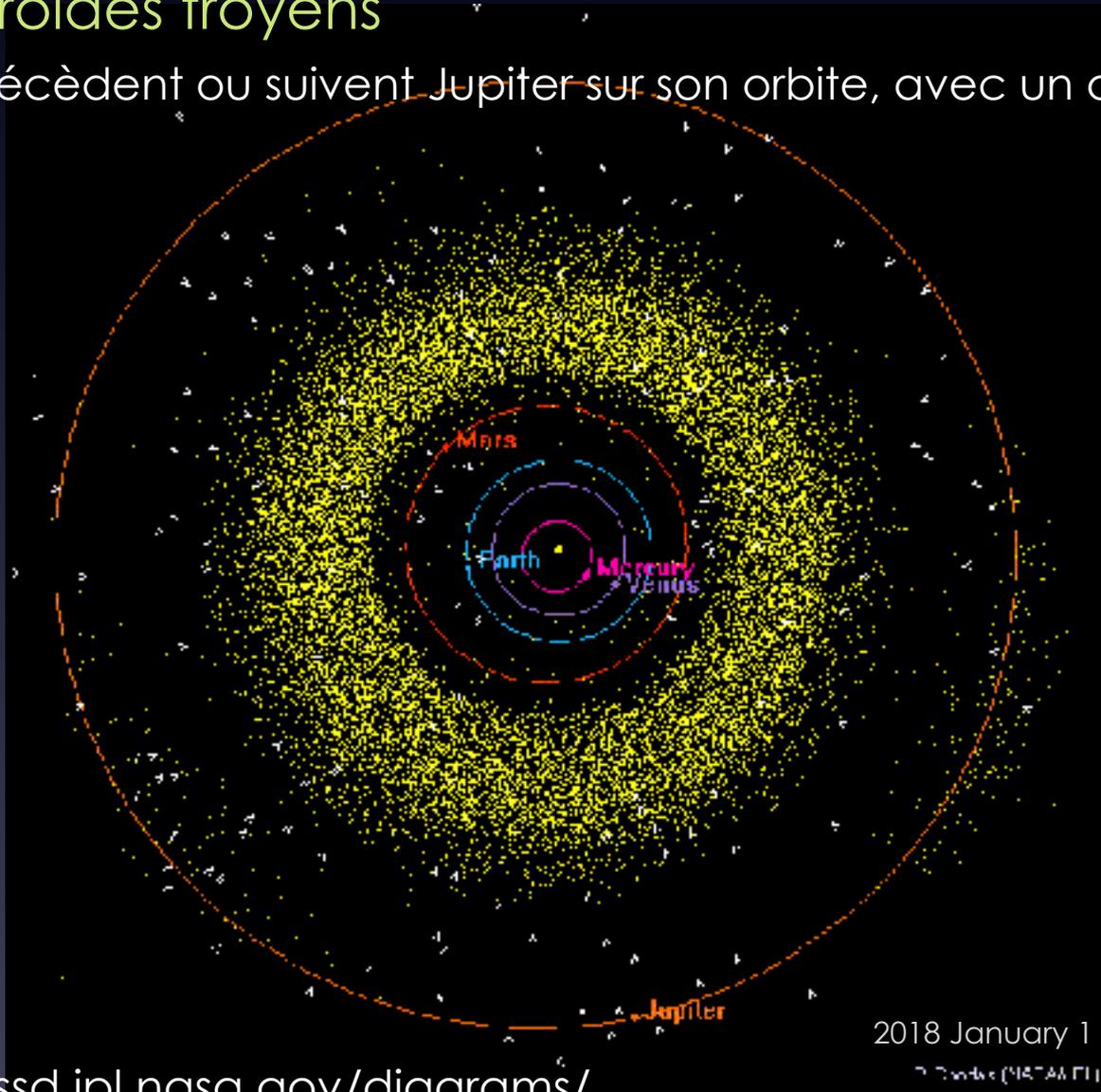


Localisation

Astéroïdes troyens

précèdent ou suivent Jupiter sur son orbite, avec un angle de 60° : 11980

12143



Terre : 2

Mars : 9

Uranus : 1

Neptune : 31

(Source MPC)



Localisation

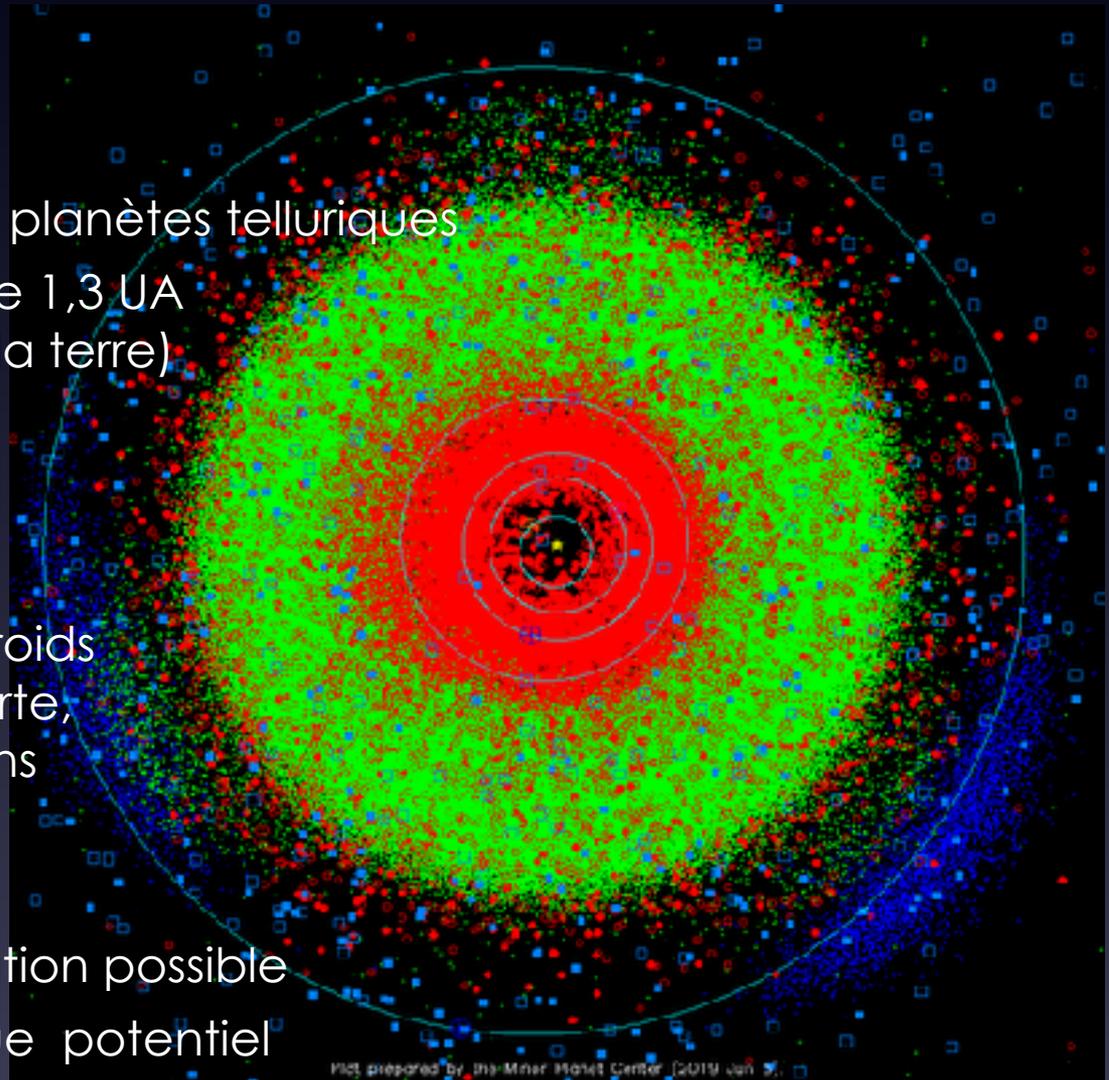
Les géocroiseurs

Objets dont l'orbite

- croise celles des planètes telluriques
- passe à moins de 1,3 UA du soleil (0,3 de la terre)

NEA: Near-Earth Asteroids
durée de vie très courte,
de « quelques » millions
d'années...

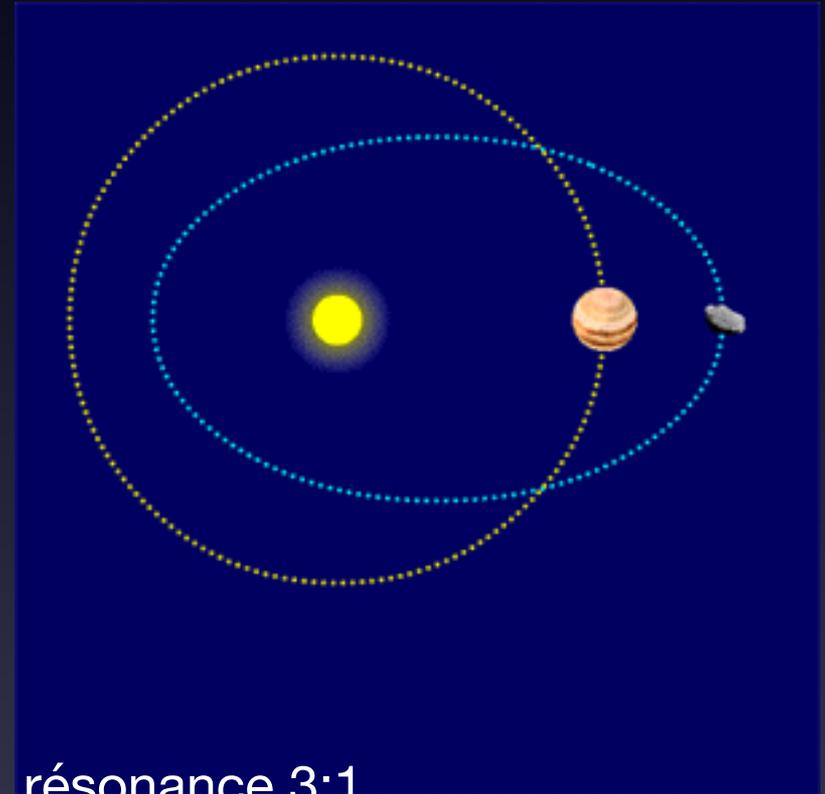
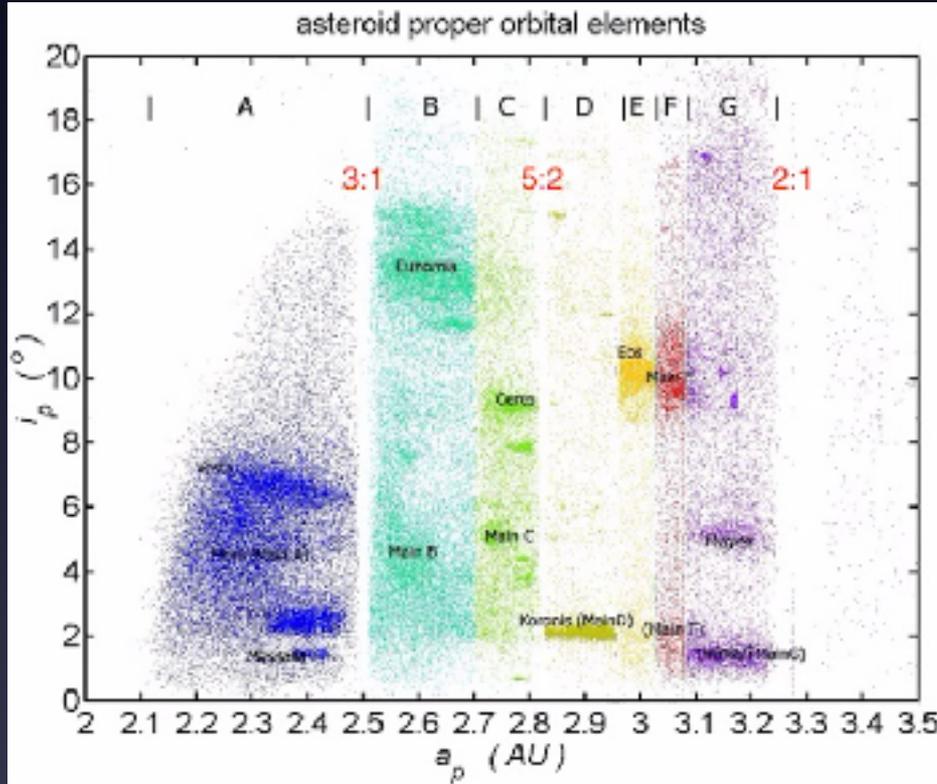
- ➔ Avantage : exploration possible
- ➔ Inconvénient : risque potentiel





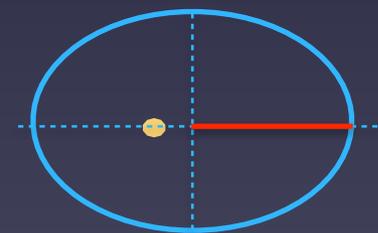
Localisation

Périodes orbitales interdites



résonance 3:1

l'astéroïde fait 3 révolutions
quand Jupiter en fait 1



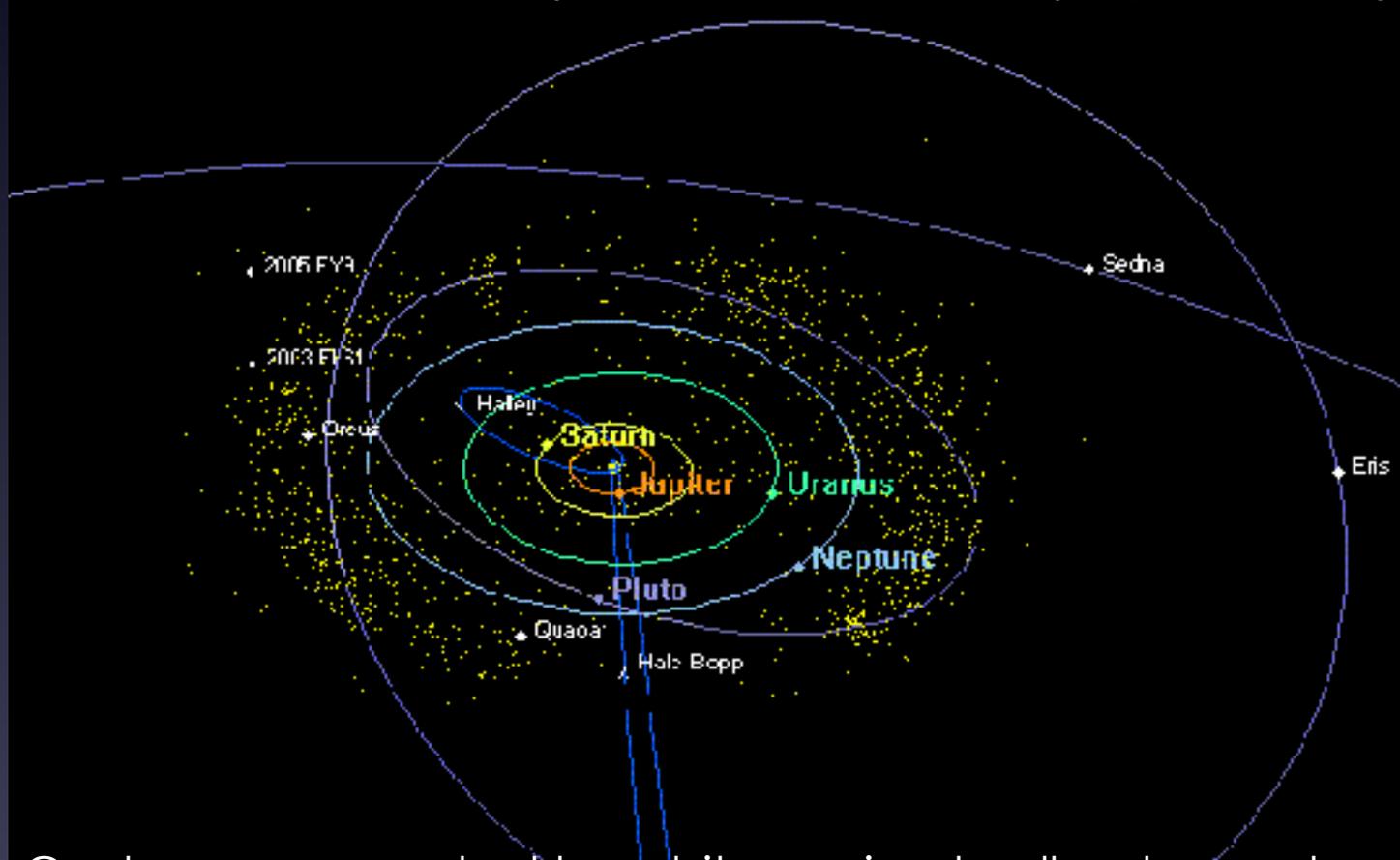
Les résonances gouvernent les mécanismes responsables du transfert des astéroïdes de la ceinture principale d'astéroïdes (CPA) vers les astéroïdes géocroiseurs.



Localisation

Ceinture d'Edgeworth-Kuiper

Au delà de Neptune (TNO) : planètes naines (Pluton, Eris) et astéroïdes (entre 30 et 100 UA environ) - nommés aussi KBO (Kuiper-Belt object)



Les Centaures : corps dont les orbites croisent celles des quatre planètes géantes (durées de vie très limitées)



Nombres d'astéroïdes

<https://minorplanetcenter.net>

Near-Earth Asteroids Discovered

THIS MONTH: 36
 THIS YEAR: 1576
 ALL TIME: 29396

Near-Earth Asteroids Discovered

THIS MONTH: 62
 THIS YEAR: 1829
 ALL TIME: 29654

Near-Earth Asteroids Discovered

THIS MONTH: 67
 THIS YEAR: 1837
 ALL TIME: 29664

Minor Planets Discovered

THIS MONTH: 57
 THIS YEAR: 7467
 ALL TIME: 1217333

Minor Planets Discovered

THIS MONTH: 100
 THIS YEAR: 10160
 ALL TIME: 1217219

Minor Planets Discovered

THIS MONTH: 110
 THIS YEAR: 10769
 ALL TIME: 1229550

18/08/2022

11/09/2022

16/09/2022

Objects

Total	Numbered Minor Planets	Unnumbered Minor Planets	Comets
1233963	619150	610400	4413

<https://minorplanetcenter.net//mpc/summary>



Taille et forme

Patatoïdes... et osoides

Objets de forme irrégulière (à part quelques sphériques)
De quelques mètres à des centaines de kilomètres



Céres
Planète naine
depuis 2006



Vesta
Plus gros
astéroïde
de la CPA

42 des objets les plus imposants de la ceinture d'astéroïdes

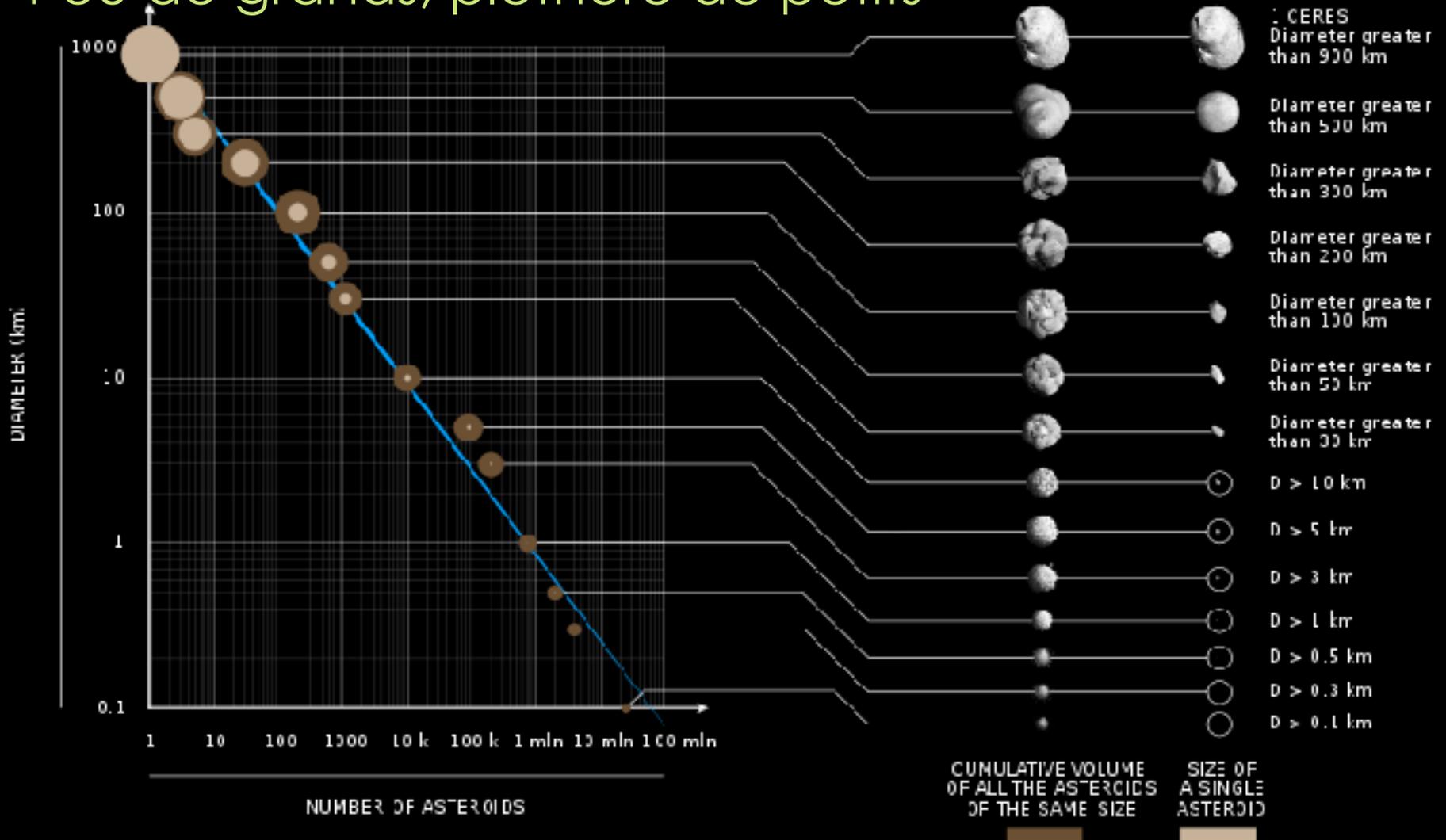
Images acquises par l'instrument SPHERE (Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet Research) installé sur le VLT de l'ESO.

Crédit: ESO/M. Kornmesser/Vernazza et al./MISTRAL algorithm (ONERA/CNRS)



Taille et forme

Peu de grands, pléthore de petits





Composition

Trois principaux types

1. Type C : carbonés (chondrite)

les plus courants, ~75% des connus
constitués de roches argileuses et silicatées, aspect sombre.
Probablement les objets les plus anciens du système solaire.

2. Type S : Silicatés

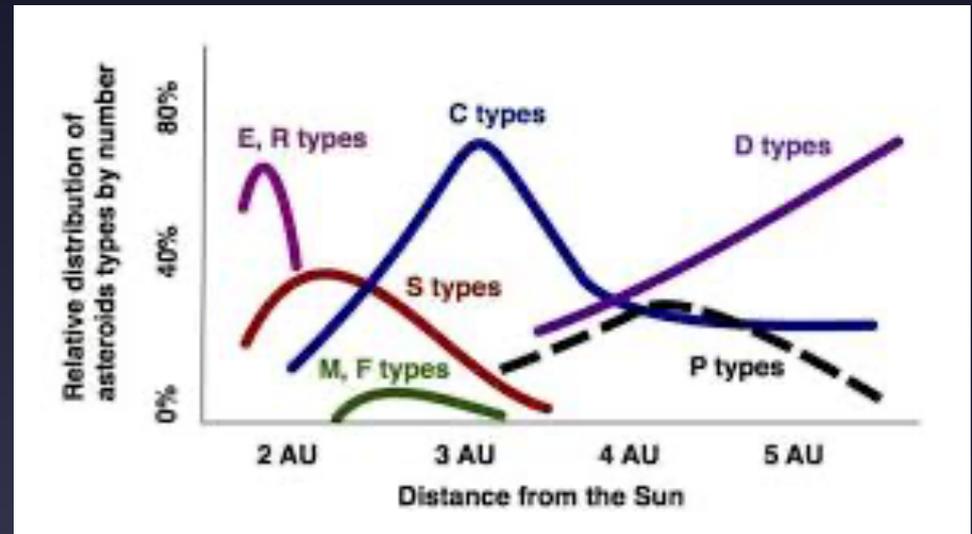
~17%

constitués de matériaux silicatés
silicates de fer et de magnésium

3. Type M : métalliques

Très rares, riches en fer et nickel

Autres types: E,R, ...



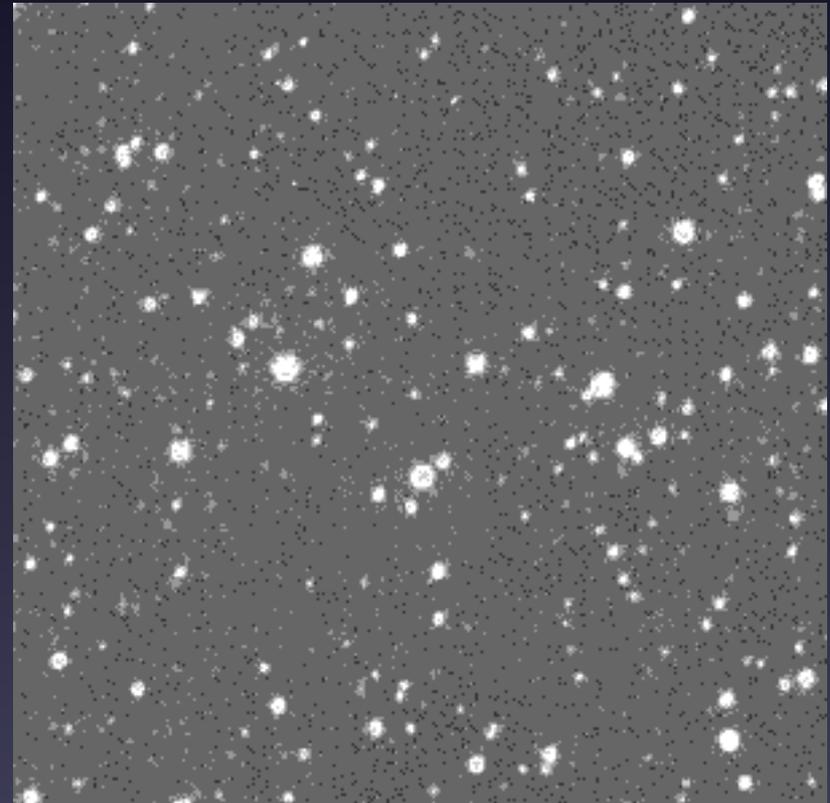
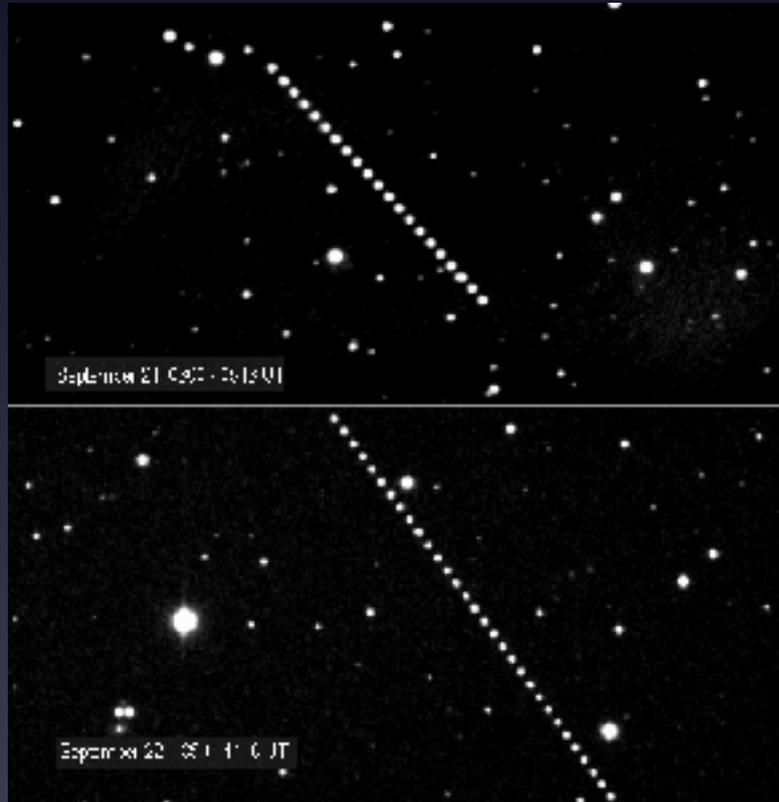
Les différences de composition des astéroïdes sont liées à la distance qui les sépare du Soleil.



Méthodes d'investigation

Photographies de champ d'étoiles

- ➔ Position et orbite
position sur le plan du ciel sans information sur la distance





Méthodes d'investigation

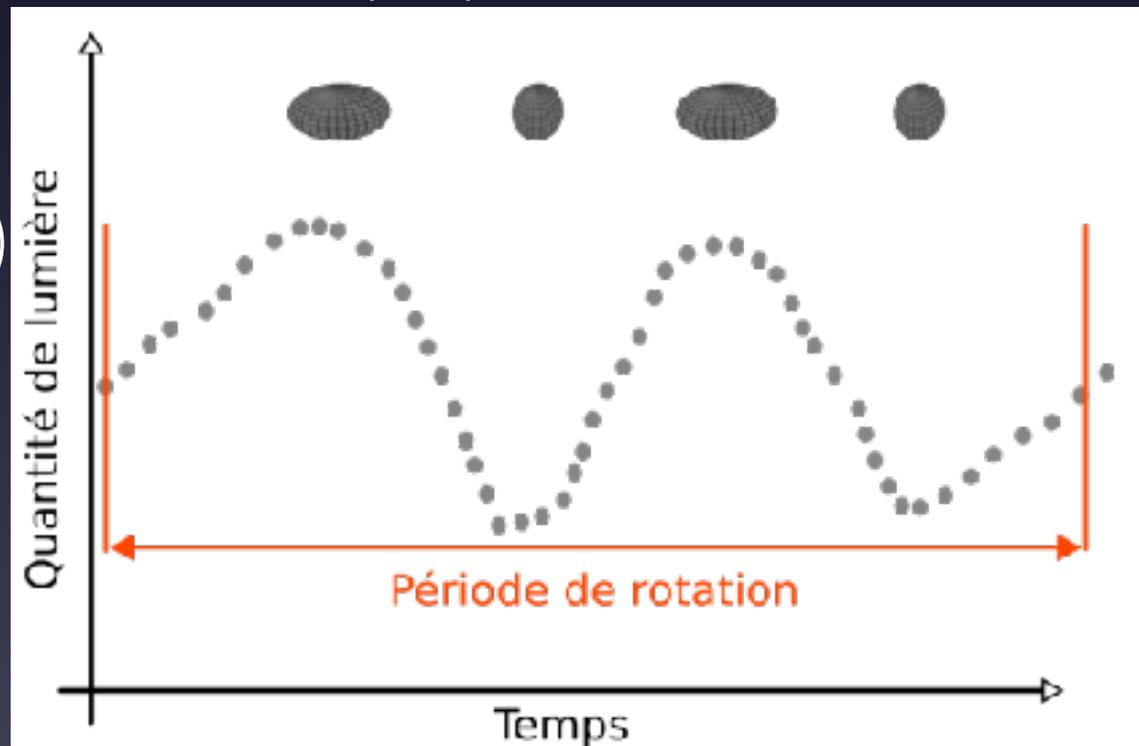
Courbes de lumière

variation de la brillance d'un astéroïde en fonction du temps.

⇒ Période de rotation et orientation

pour déterminer direction de l'axe de rotation, mesure de courbes de lumières à différentes époques

⇒ peut être utilisée pour reconstruire la forme 3-D du corps (modélisation)



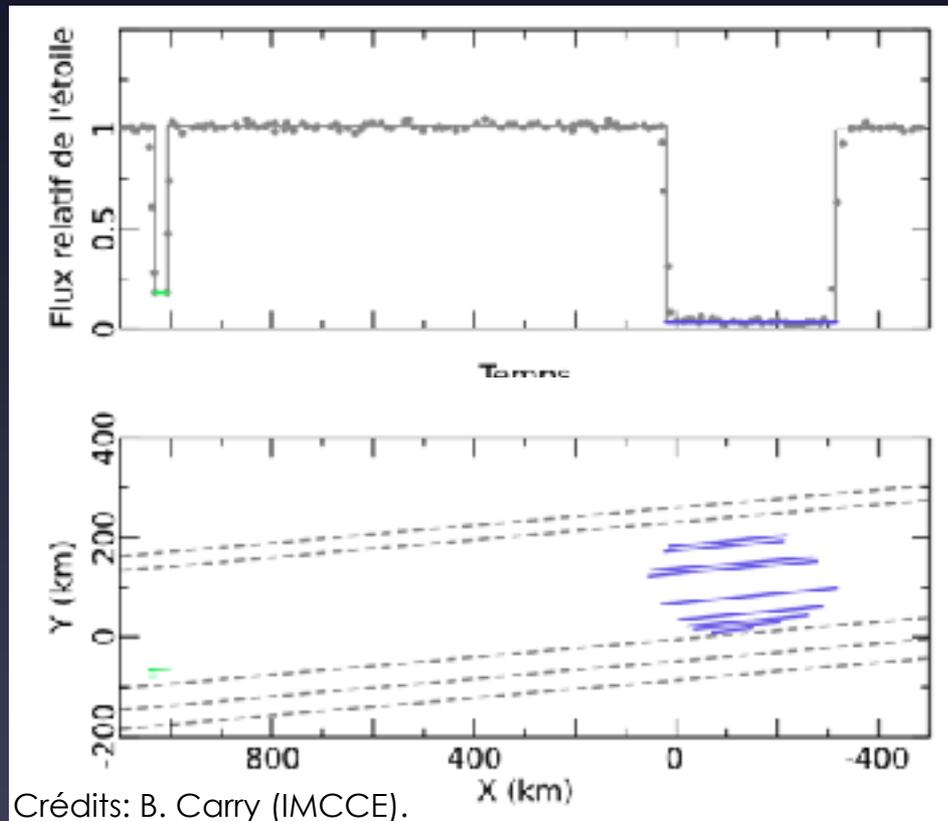


Méthodes d'investigation

Occultations stellaires

mesure du temps de disparition d'une étoile lorsqu'un astéroïde passe devant.

mesure directe de la taille et de la forme apparente des astéroïdes



Crédits: B. Carry (IMCCE).

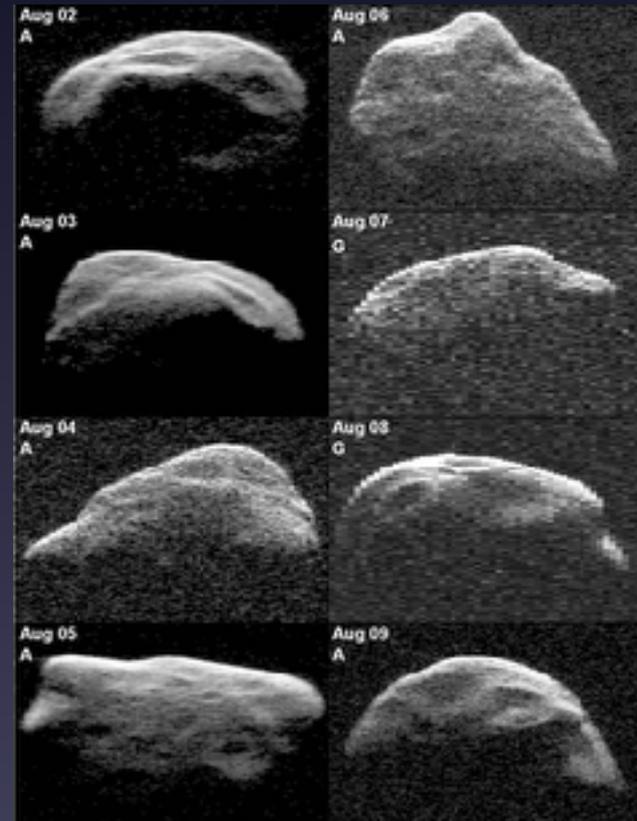
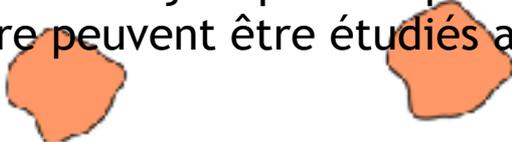


Méthodes d'investigation

Astrométrie radar

- distance → vitesse de l'astéroïde
- rotation, taille, et forme de l'astéroïde par l'analyse fine du signal reçu, en le décomposant en délai de réception et décalage Doppler

seuls les objets passant près de la Terre peuvent être étudiés ainsi



(53319) 1999 JM₈, Arecibo



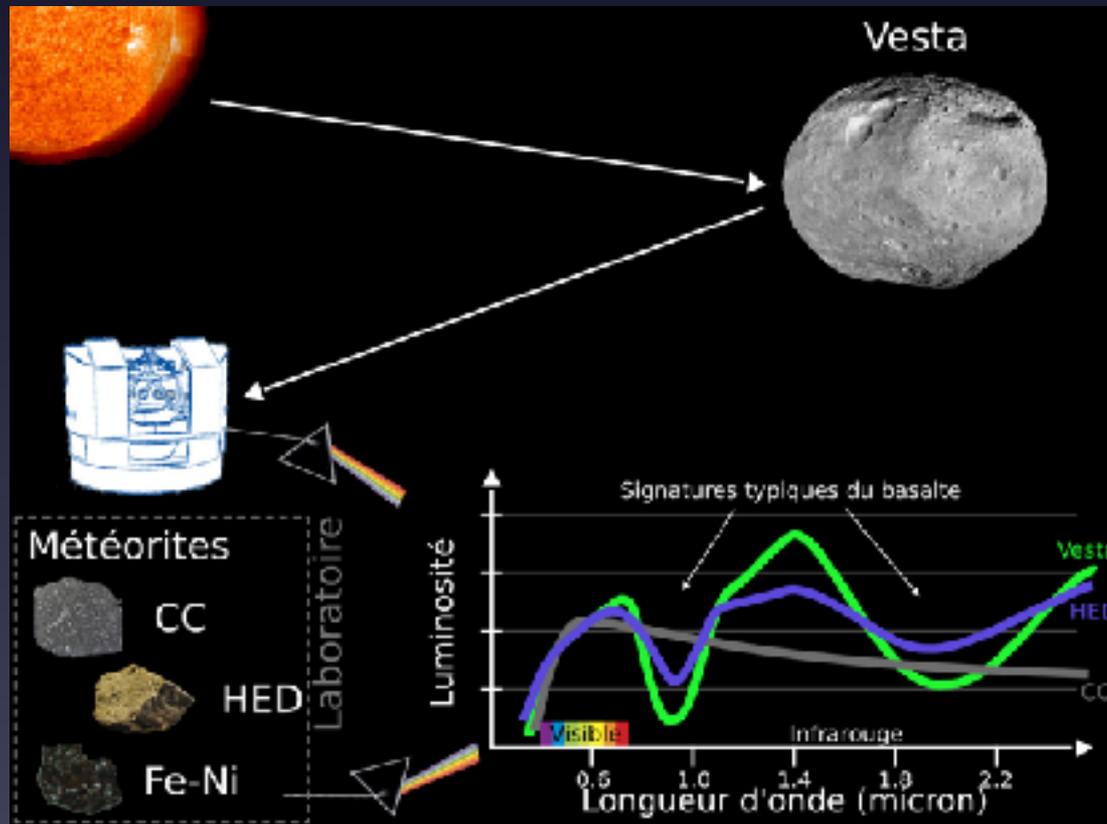
Méthodes d'investigation

Spectroscopie

Distribution en longueur d'onde de la lumière réfléchie par la surface → infos sur les matériaux qui le compose.

Bandes d'absorption dans le spectre

Identification des bandes → liste des composés en surface.

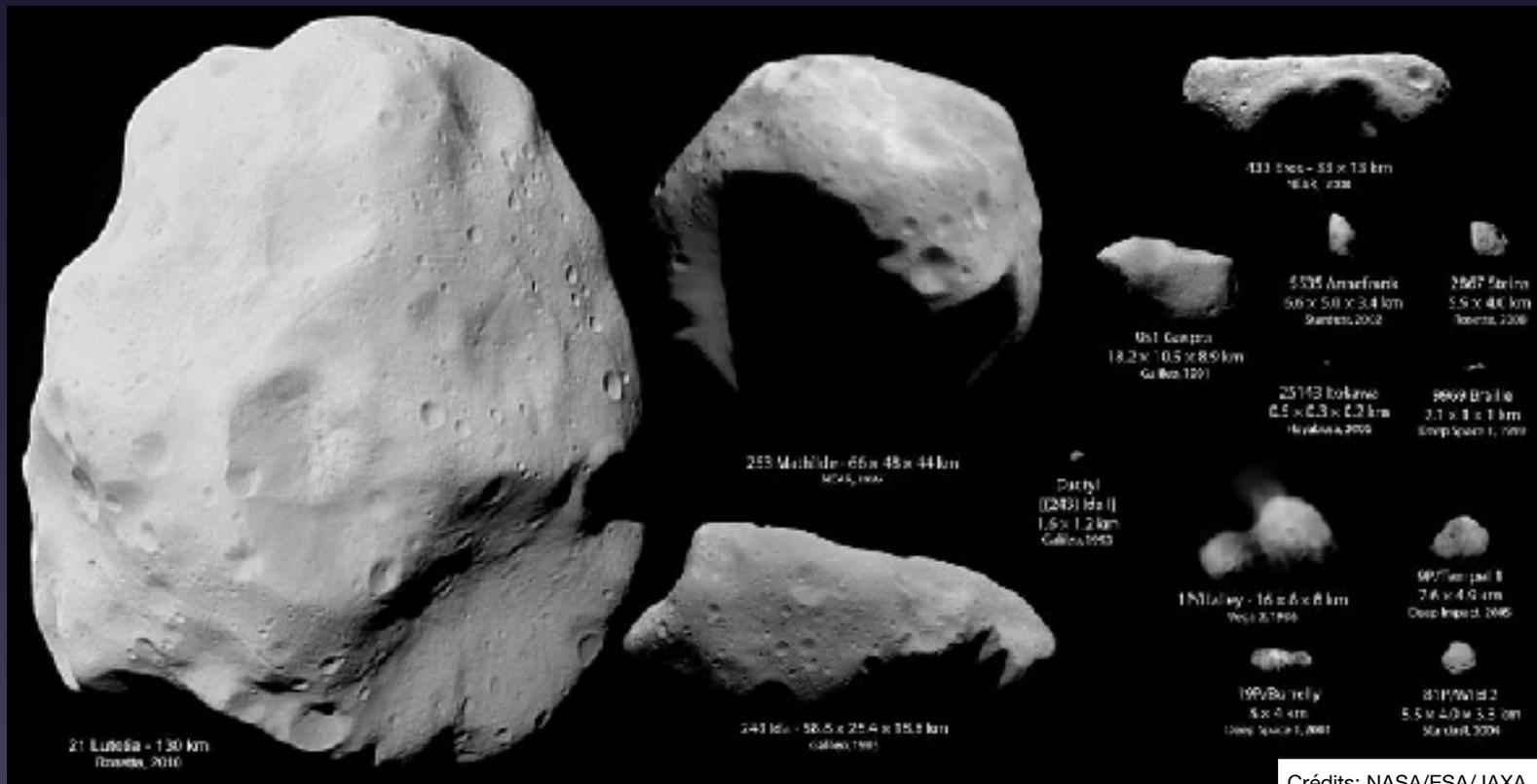




Méthodes d'investigation

Imagerie directe

- ➔ très difficile techniquement de les observer directement.
- ➔ Optique adaptative pour corriger la turbulence atmosphérique, télescope spatial Hubble
- ➔ Forme et taille ! Ex : au VLT
- ➔ 1^{ere} détection de satellites d'astéroïdes depuis la Terre => masse => densité





Identification et nomination

Attribué par le Minor Planet Center

Numéro temporaire AAAAYZ

AAAA : année de la découverte

Y: quinzaine dans le mois (de A à X)

Z: N° d'ordre dans la quinzaine

Une fois l'orbite connue (2 oppositions) :

(Nombre) nom - procédure longue !

- version courte : le découvreur d'un objet particulier a le privilège de suggérer un nom à un comité qui juge de sa pertinence.
- Il n'est pas possible d'acheter une planète mineure.
- Si vous avez un nom à proposer, le meilleur conseil est d'en découvrir une : [voir ici comment y parvenir](#)



Identification et nomination

Quelques noms

Nom de scientifiques, d'artistes, de villes, d'instituts, de héros de l'histoire et de la mythologie... mais pas que !

exemple en France: (4179) Toutatis, (21) Lutetia, (7462) Grenoble, (100122) Alpes Maritimes, (181702) Forcalquier, (40023) ANPCEN , (121865) Dauvergne, (13560) La Perouse (14238) d'Artagnan

(8749) Beatles, (35394) Countbasie, (9950) ESA, (6798) Couperin, (419435) Tiramisu, (2309)Mr. Spock,...;



B612 , l'astéroïde du Petit Prince

=> (46610) Besixdouze

Car B612 en base hexadécimale correspond à 46610 en base 10. !



Exploration spatiale des astéroïdes

Vue d'artiste de la mission Lucy © NASA





Les missions pionnières

Galileo (NASA)

Premier survol d'un astéroïde

- en octobre 1991, à moins de 1600 kilomètres de (951) Gaspra
- en 1993, (243) Ida => découverte de Dactyl, la lune d'Ida



NASA/JPL



Ida + Dactyl
Global
Mosaic

Image processing by David M. Hestroffer, 1998

Galileo and Ida: 10 Feb. 2004, 21:46, 22:42, 23:45, 24:48



Les missions pionnières

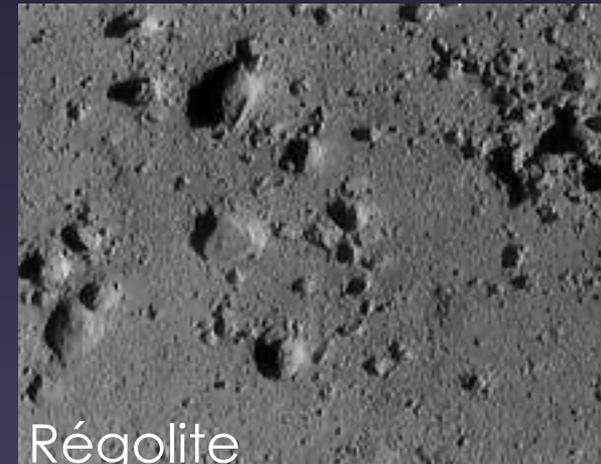
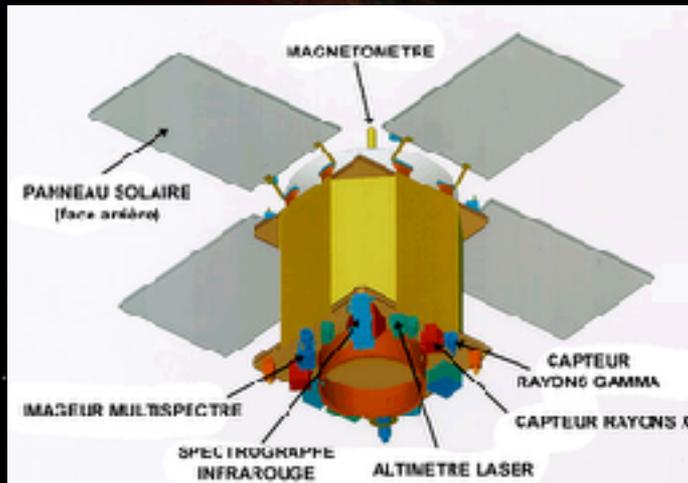
NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous) Shoemaker (NASA)

Envoyé en 1996, pour étudier (433) Eros, un des plus gros géocroiseurs

- Survol de (253) Mathilde en 1997: cratères !
- En orbite autour d'Eros de fév. 2000 à fév. 2001
 - Atterrissage en février 2001, 16 jours de transmission de données
 - Taille, masse, densité, composition minéralogique, champ magnétique (nul)



160 000 images de la surface





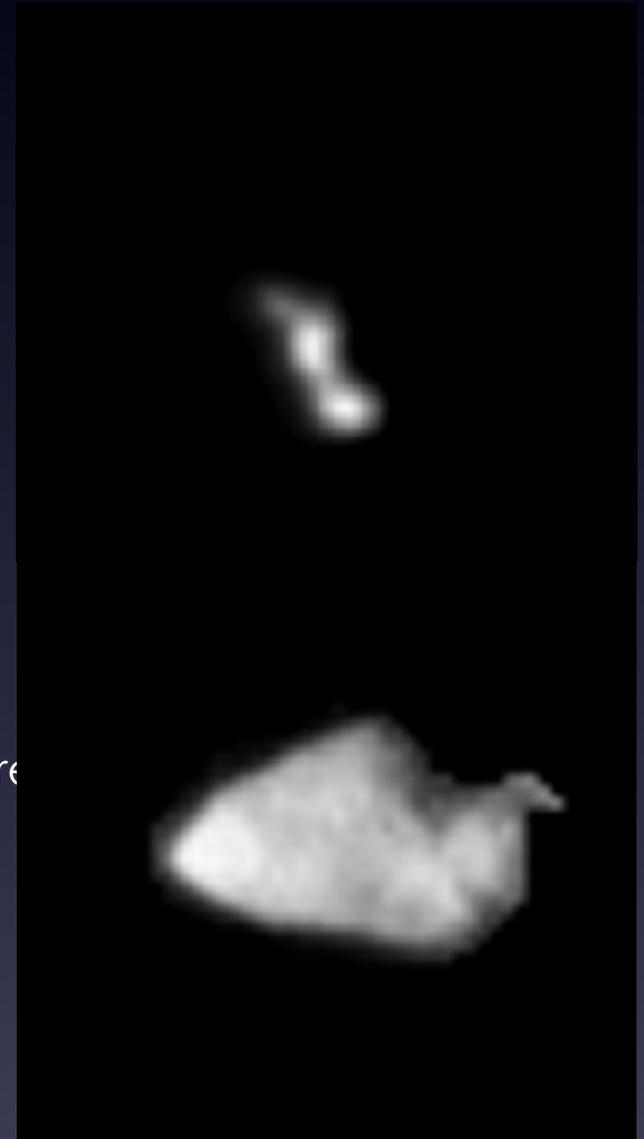
Les missions pionnières

Deep Space 1 (NASA)

- mission pour tester de nouvelles technologies - 1998/2001
- survol de 1992KD découvert en 1992 par des astronomes du JPL, nommé (9969) Braille.
- A 26 km => record
- Problèmes techniques => 2 images (1999)

Stardust (NASA)

- Lancé en 1999, collecte de poussière cométaire (81P/Wild)
- survol de (5535) Annefrank en nov. 2002
- 6 km de diamètre : Annefrank plus grand -- et plus sombre -- que prévu.





Premier retour d'échantillon

Hayabusa (JAXA)

- Lancée en 2003 vers (25143) Itokawa (géocroiseur) pour rapporter échantillon (gravité extrêmement faible)
- Septembre 2005 : mise en orbite, 1er puis 2nd atterrissage, prélèvement de la poussière en surface.
- Problème dans le système de propulsion mais trajectoire de retour vers la Terre en novembre 2005 => capsule avec échantillons : juin 2010.



Vue d'artiste de la sonde Hayabusa à l'approche de l'astéroïde (25143) Itokawa

Crédits A. Ikeshita/MEF/ISAS/JAXA

- analyse des grains récupérés par la sonde
 - tournant dans l'étude de la composition des astéroïdes
 - similaire à celle des météorites dites « chondrites ordinaires »,



Survol d'astéroïdes en chemin

Rosetta (ESA)

Pour explorer la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko
Survol des astéroïdes (2867) Steins en 2008, et (21) Lutetia en 2010.



très différent de ceux observés jusque là (missions de la NASA)
forme complexe, très irrégulière
relief est très prononcé, avec de fortes pentes.



Crédit: ESA 2010/Osiris

(21)Lutetia est un corps allongé, dont le plus grand axe atteint environ 130 km.
monde tourmenté parsemé de multiples cratères.



Survol d'astéroïdes en chemin

Chang'e 2 (CNSA)

Lancé en 2010, mission autour de la lune, et au point L2,

En 2012 : survol de (4179) Toutatis, astéroïde potentiellement dangereux (son orbite coupe celle de notre planète)

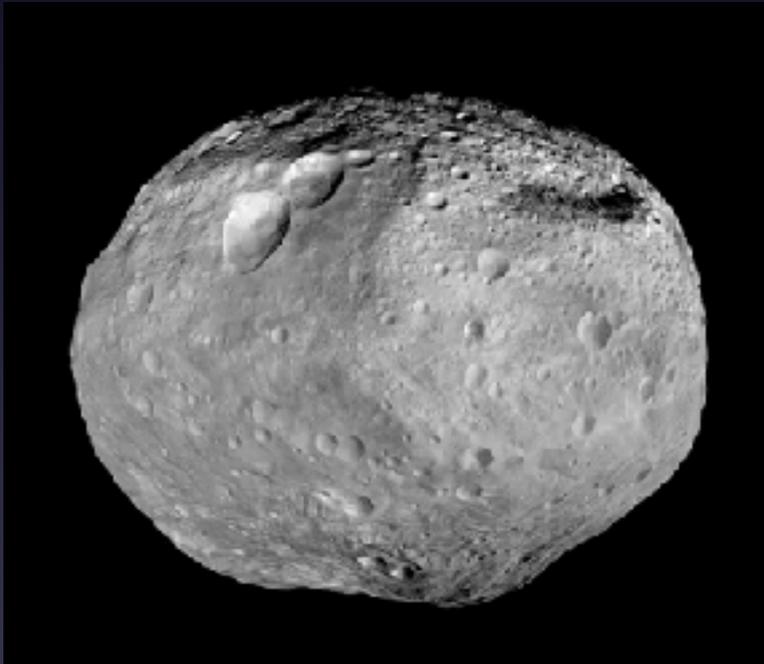




Missions récentes, en cours

DAWN (NASA)

Lancement en 2007 : exploration de (4)Vesta, puis de (1) Cérès témoins de la genèse du Système solaire. des témoins de la



2011



2015
Présence de glace d'eau sous la surface
Taches blanches => sels minéraux, glaces, poussières



Astéroïdes visités < 2015

Ceres comparés aux autres astéroïdes visités



- Vesta
- Lutetia
- Mathilde
- Ida/Dactyl
- Eros
- Gaspra
- Steins
- Annefrank
- Braille
- Itokawa



Missions récentes, en cours

New Horizons

Lancée en janvier 2006, a visité Pluton et Charon

Objet découvert le 26 juin 2014 (HST), 2014 MU69, officiellement choisi en 2015 comme cible d'un survol par New Horizons

Survol le 1er janvier 2019

Record :

- objet le plus lointain jamais visité par un vaisseau spatial !
- de plus, découvert plus de 8 ans après le lancement de la sonde....

Binaire de contact

A été nommé: (486958) Arrokoth



Credits: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute/Roman Tkachenko



Missions récentes, en cours

Hayabusa 2 (JAXA)

Lancé en décembre 2014
en orbite en 2018 autour de (162173)
Ryugu (géocroiseur) diam.~ 950 m,
faiblement lumineux

- étude avec caméras multispectrales et thermiques, altimètres laser, spectroscopes en proche infrarouge
- atterrisseur MASCOT et rovers (une 1ere) : mesures sur la surface
- Prélèvement d'échantillons, revenus sur terre en décembre 2020
 - présence d'acides aminés
 - Présence d'eau

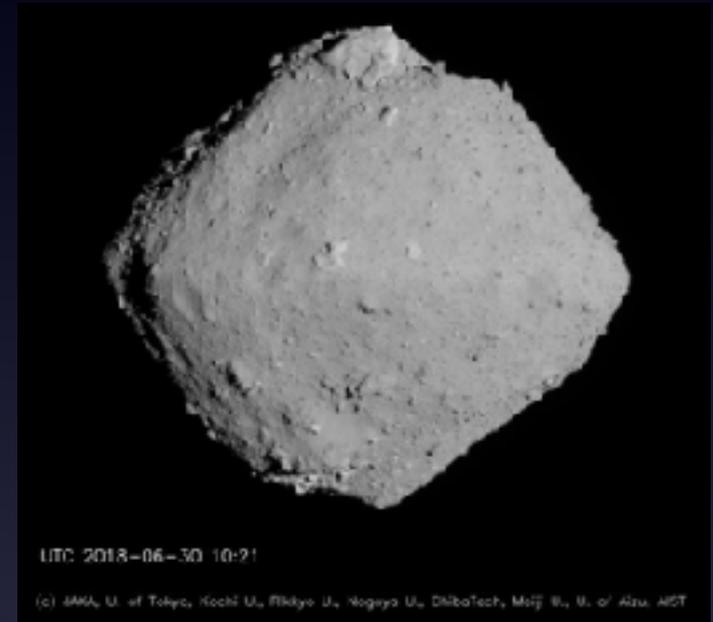


photo de l'Agence d'exploration aérospatiale japonaise, publiée le 24 décembre 2020, montrant des échantillons de l'astéroïde Ryugu. (HANDOUT / AFP)

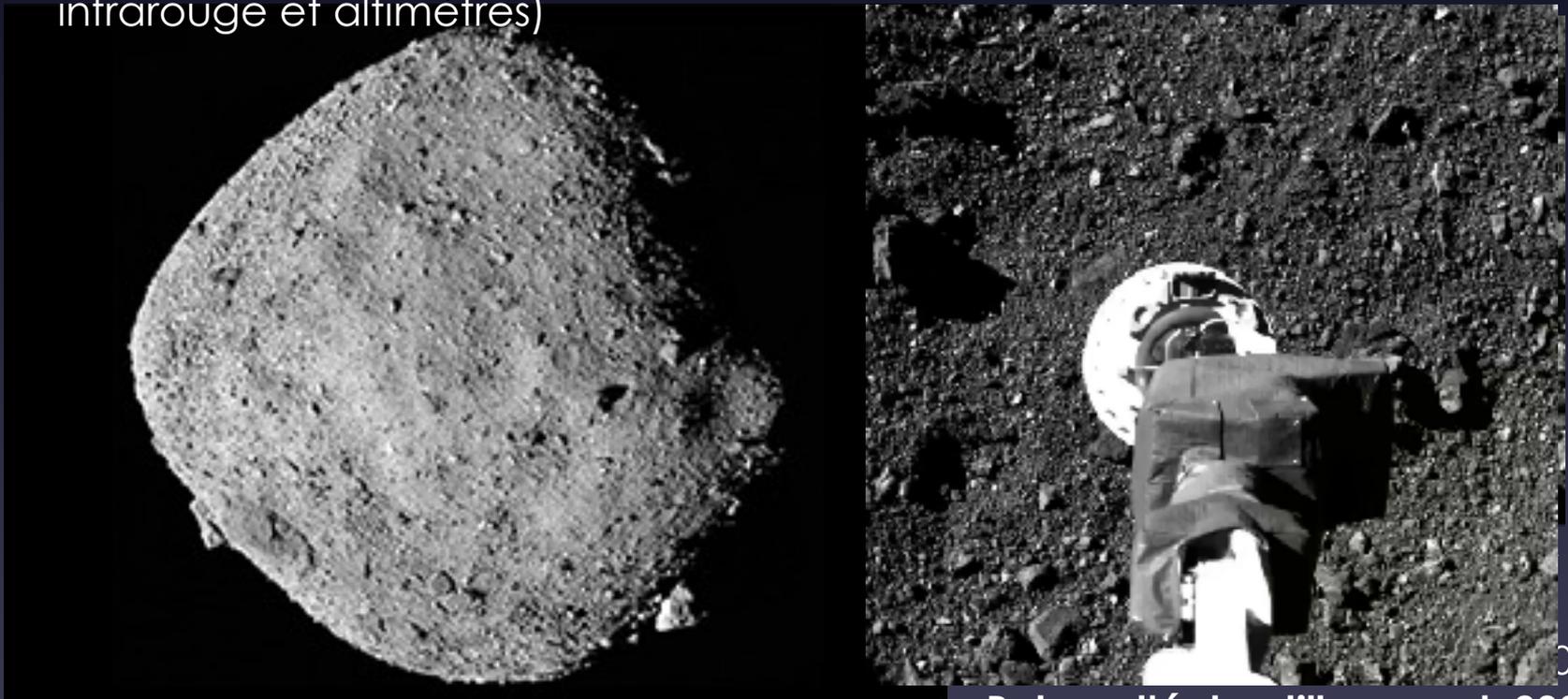


Missions récentes, en cours

OSIRIS-REx

Exploration de (101955) Bennu, 500m de diamètre, 1.2 UA, orbite chaotique

- Sonde envoyée en sept. 2016, arrivée en 2018
- cinq instruments embarqués (caméras, spectrographes, détecteurs X et infrarouge et altimètres)



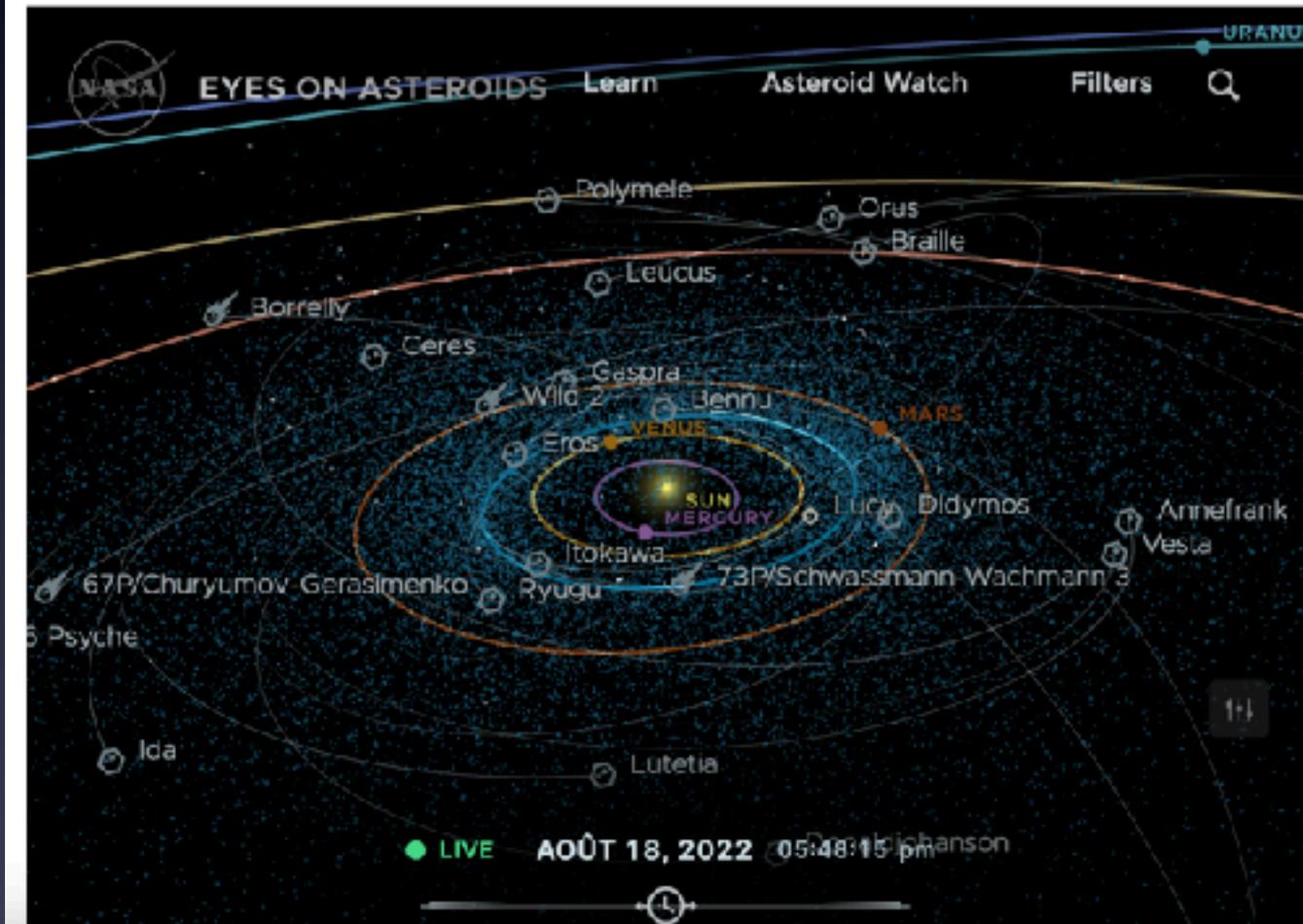
=> **Retour d'échantillon : sept. 2023**

- ensuite nouvelle mission, OSIRIS-APEX, pour aller à la rencontre de (99942) Apophis (2029)

020



The current known asteroid count is: **1,113,527**.





Future mission

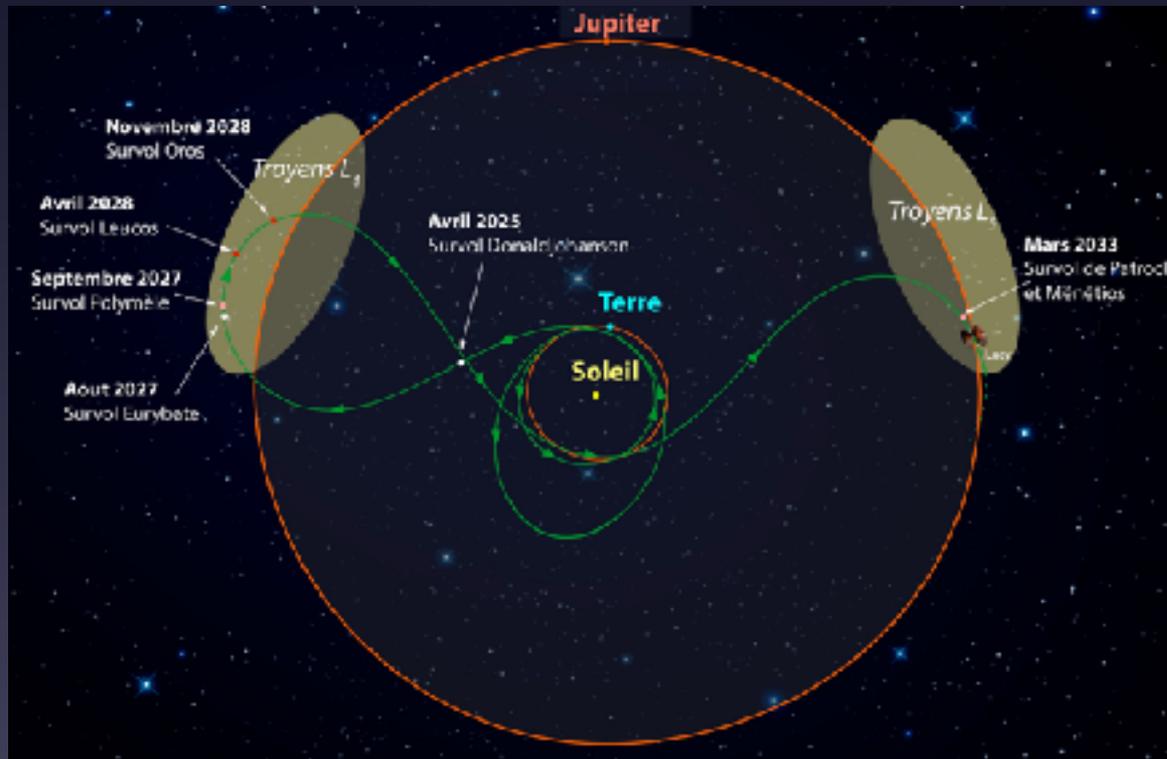


Lucy (NASA)

Lucy in the sky with Trojans

Lancée en octobre 2021

1^{ere} mission pour étudier les astéroïdes Troyens de Jupiter, dernière population d'astéroïdes à ne pas avoir été explorée.





Future mission

Psyché (NASA)

Astéroïde psyché

Lancement prévu en 2022 reporté.





PROCHAINEMENT*:

Les astéroïdes géocroiseurs

Différentes catégories

Programme d'observation et de suivi

Impacts passés, dinosaures, Tunguska, etc

Stratégies explorées en cas de potentiel impacteur



* pas avant décembre, engagement non contractuel



MERCI DE VOTRE ATTENTION

Sources et références :

Voir en fin de deuxième exposé sur les
astéroïdes géocroiseurs

Ci-après: quelques planches en réserve



Titius-Bode

Reprenant les travaux de son compatriote le philosophe allemand Christian Wolff, le mathématicien Daniel Tietz (qui avait latinisé son nom en Titius, procédé courant à l'époque) divisait la distance entre le Soleil et Saturne en cent unités et notait que les distances des planètes au Soleil formaient une suite numérique basée sur une progression mathématique.

Progression	0	+3	+6	+12	+24	+48	+96
Distance au Soleil	4	7	10	16	28	52	100
Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars	?	Jupiter	Saturne

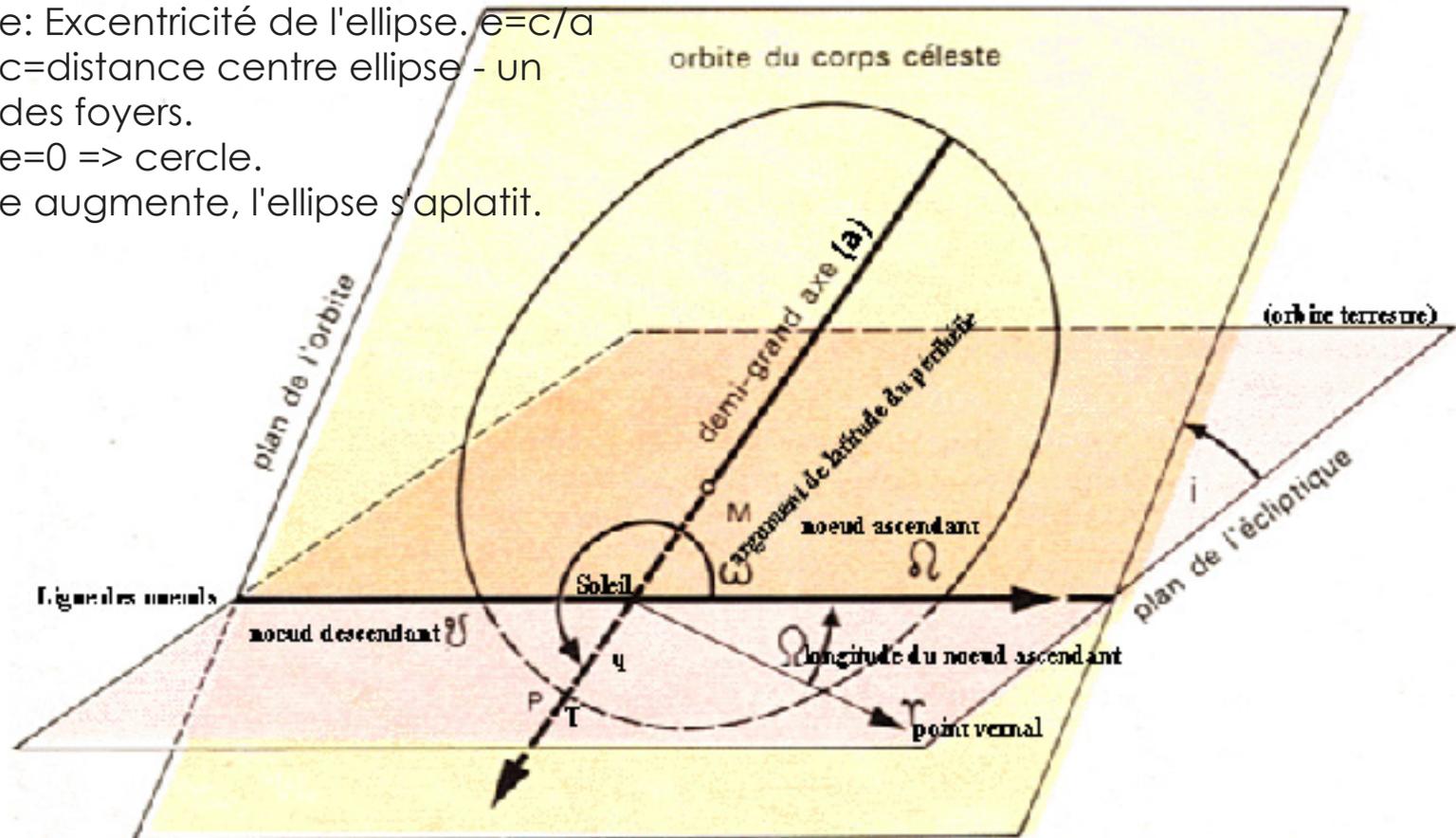
L'absence de ce que l'on appela la « planète 28 » était pour le moins surprenante. L'astronome allemand Johann Elert Bode et le baron hongrois Franz Xavier von Zach mirent sur pied une police du ciel destinée à rechercher la planète manquante et les astronomes les plus



Intermédiaire : paramètres orbitaux

Orbite : ellipse

e : Excentricité de l'ellipse. $e=c/a$
 c =distance centre ellipse - un
des foyers.
 $e=0 \Rightarrow$ cercle.
 e augmente, l'ellipse s'aplatit.



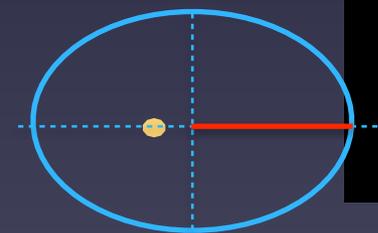
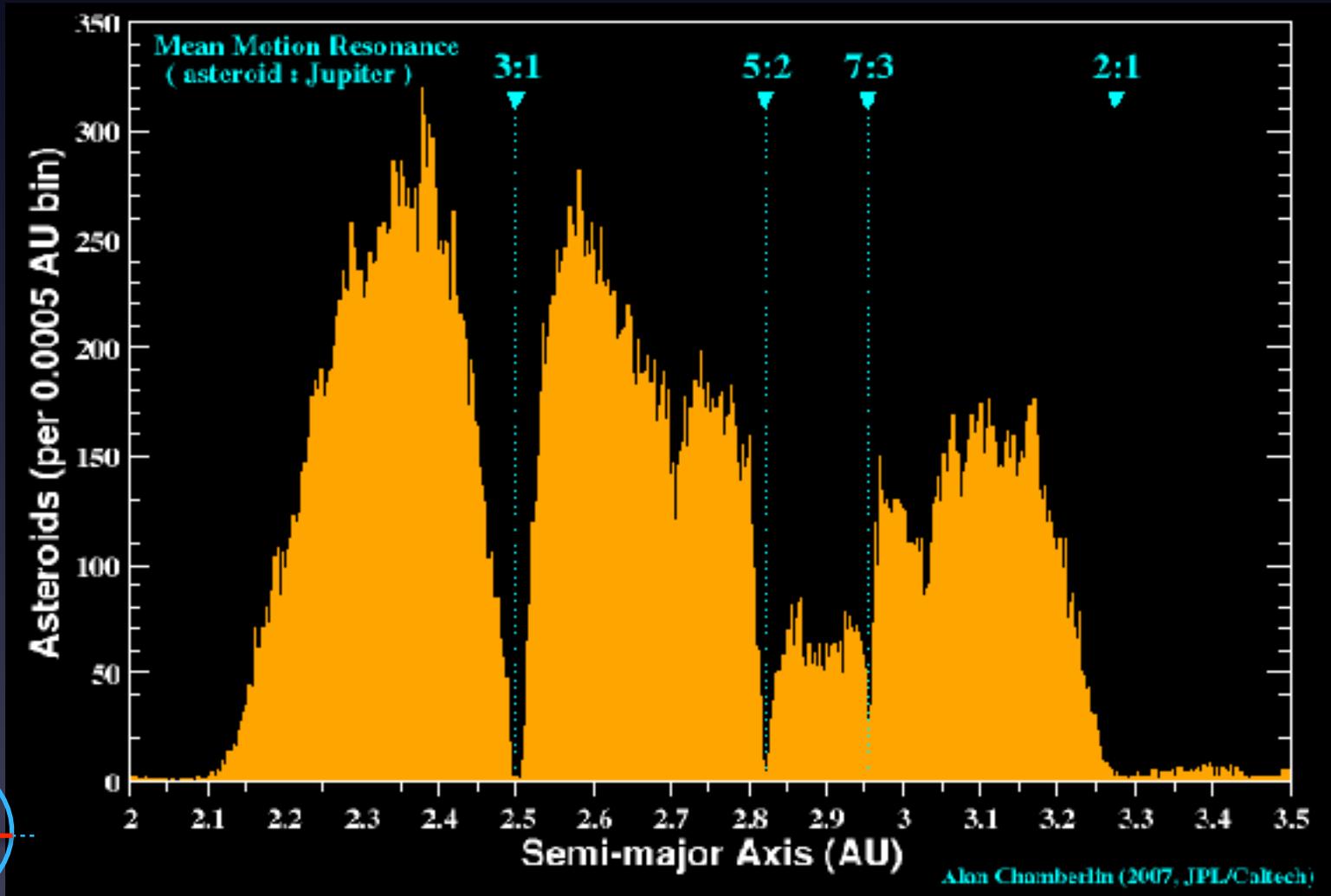
Les éléments orbitaux

(Lire du livre Atlas d'astronomie, édition blocks, page 60)



Localisation

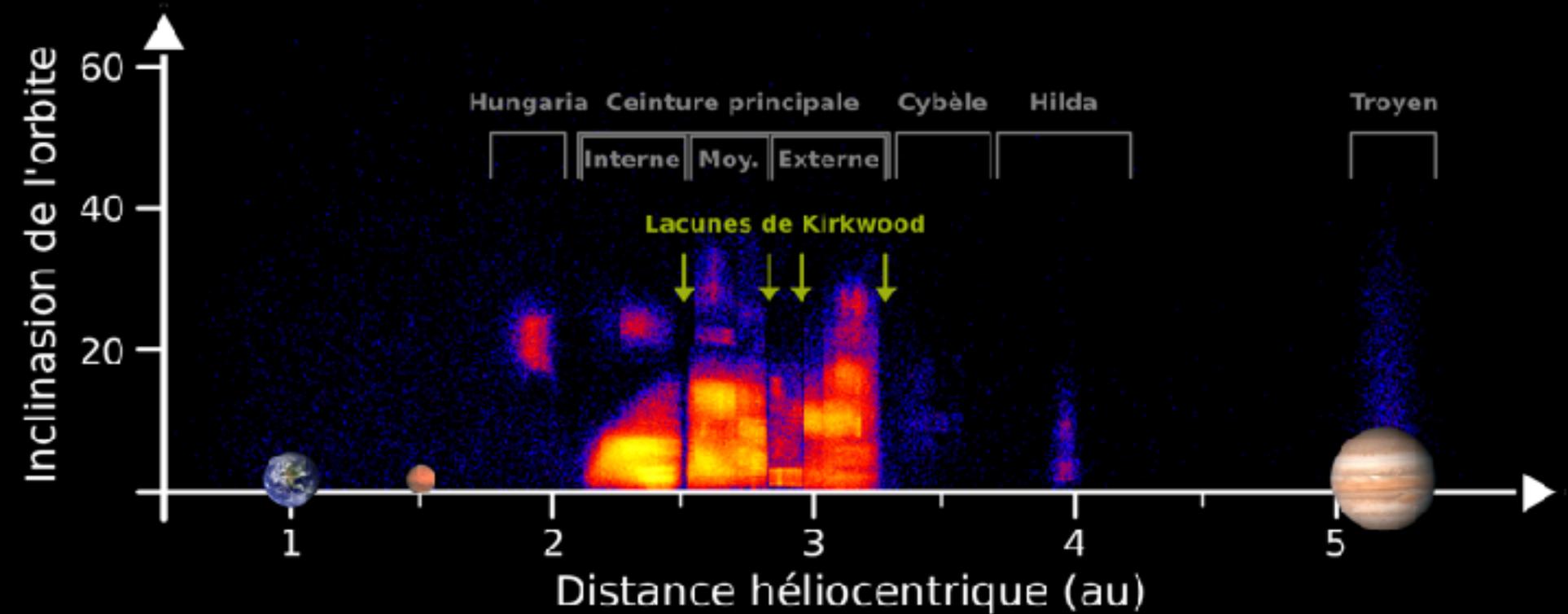
Distribution des astéroïdes dans la CPA





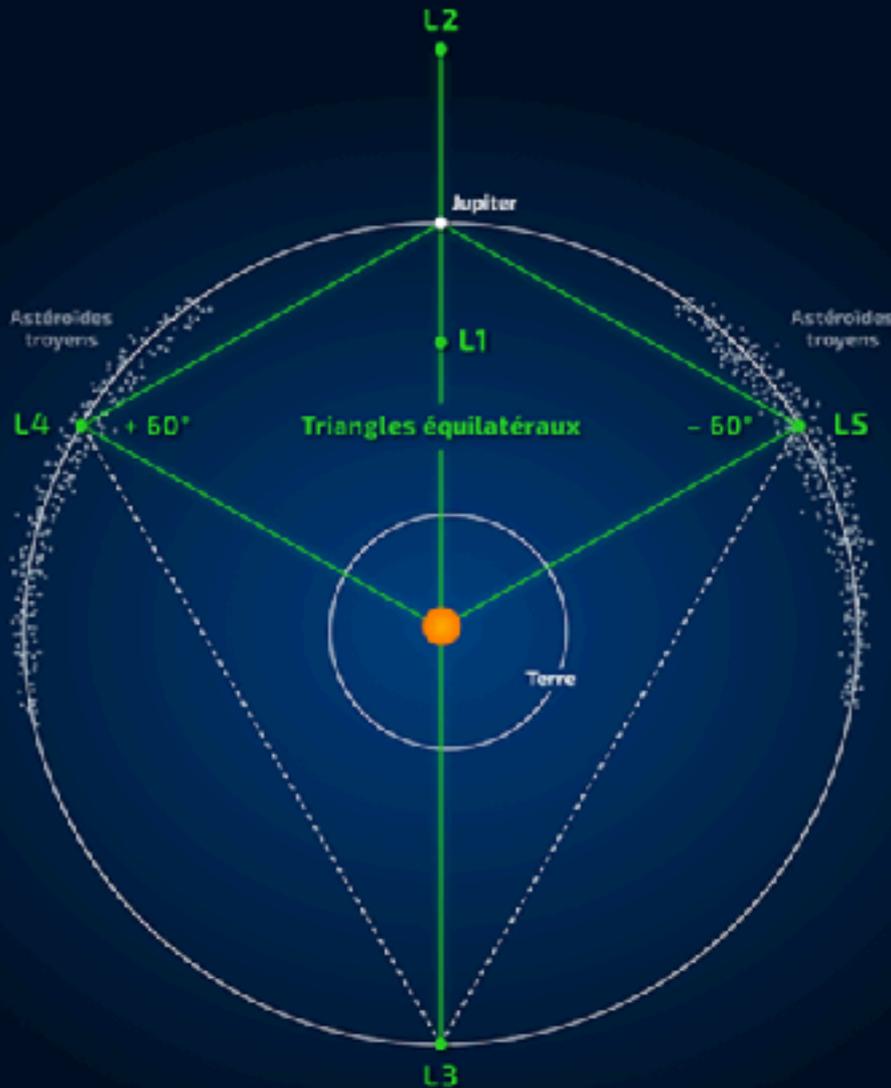
Localisation

De la Terre à Jupiter





Points de Lagrange



LES POINTS DE LAGRANGE

Alors que les points L_1 , L_2 et L_3 sont instables, au sens où un corps qui s'y trouve s'en éloigne nécessairement, les points L_4 et L_5 sont stables, à condition que le corps qui s'y trouve soit de masse négligeable, suffisamment faible pour ne pas affecter le mouvement de la planète, et que les masses des deux corps principaux aient des valeurs proches.

Crédits Y. Gominet/IMCCE (Source NASA)



Sur tout le système solaire

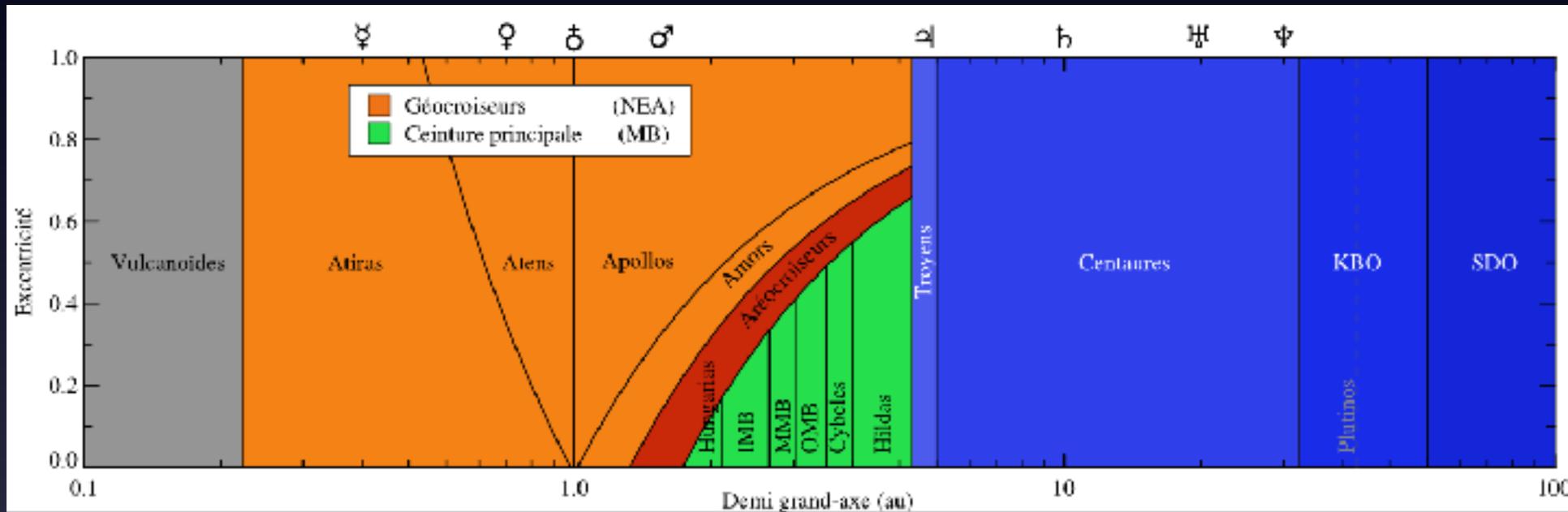


Table 2: Définitions des différentes classes orbitales d'astéroïdes géocroiseurs.

Groupe	Demi-grand axe a (ua)	Périhélie q (ua)	Aphélie Q (ua)
Atens	<1.0		>0.983
Apollos	>1.0	<1.017	
Amors		1.017 - 1.3	
Atiras			<1.0
Mars-Crosser		<1.666	



Structure interne

Composition de surface + densité

Si l'astéroïde est plus dense que ses matériaux de surface, cela signifie qu'il possède des matériaux plus denses sous la surface, ce qui laisse penser que l'astéroïde est différencié, comme c'est le cas pour (4) Vesta par exemple.

Si l'astéroïde est au contraire moins dense que ses matériaux de surface, cela signifie qu'il possède des matériaux moins denses sous la surface, comme des glaces, ou même des grands vides. Certains astéroïdes sont en effet si peu denses qu'il est difficile d'expliquer leur densité sans invoquer des vides ou fractures en leur sein.

Si l'astéroïde a la même densité que ses matériaux de surface, il est a priori homogène.

