



Le Système Solaire

LES ASTÉROÏDES



CLUB LES RANDONNEURS DES ETOILES
- EXPOSÉ ALAIN LIGAIRE - RÉV. 3 – SEPT. 2025

Principales références

- Near Earth Object Program / NASA

- ESA / CNES
- Neoshield Project / European Commission
- Minor Planet Center
- LTE Laboratoire Temps Espace (nouveau nom de l' IMCCE depuis janvier 2025)
- National Geographic : Atlas du Cosmos/ Les météoroïdes et la matière interplanétaire

Autres références : citées dans le diaporama

Les astéroïdes

Sommaire

1^{ère} partie

- Définitions de l'UAI
- Dénomination et classification
- Origine des astéroïdes
- Les principaux groupements d'astéroïdes
- Missions d'exploration



Leonids meteor shower /NASA

2^{ème} partie : Les dangers des astéroïdes

- Effets visibles / Recensement des géocroiseurs
- Définition du risque / Etude protection impact
- Apophis

Définitions de l'UAI

En 2006 , l'Union astronomique internationale (UAI) a corrigé la définition des planètes et autres corps de notre Système solaire. Hors satellites, Il y a 3 catégories :

1) Une **planète** est un corps céleste, qui :

- est en orbite autour du Soleil,
- a une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique, sous une forme presque sphérique,
- a éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche;

2) Une "**planète naine**" est un corps céleste, qui

- est en orbite autour du Soleil,
- a une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique, sous une forme presque sphérique,
- n'a pas éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche,
- n'est pas un satellite.
- => exemple : **Pluton, Cérès, Eris**

3) Tous les autres objets en orbite autour du Soleil, à l'exception des satellites, sont appelés "**petits corps du système solaire**".

- Dont **les astéroïdes**, les comètes , les objets transneptuniens et tous les autres corps

Définitions de l'UAI – Suite

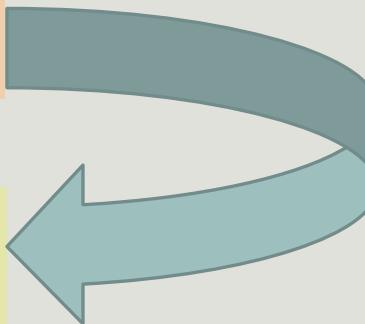
En résumé

- Planètes
- Satellites
- **Astéroïdes** ou petites planètes
- Comètes

Anciennes catégories

- Planètes
- Satellites
- Planètes naines
- Petits corps du système solaire

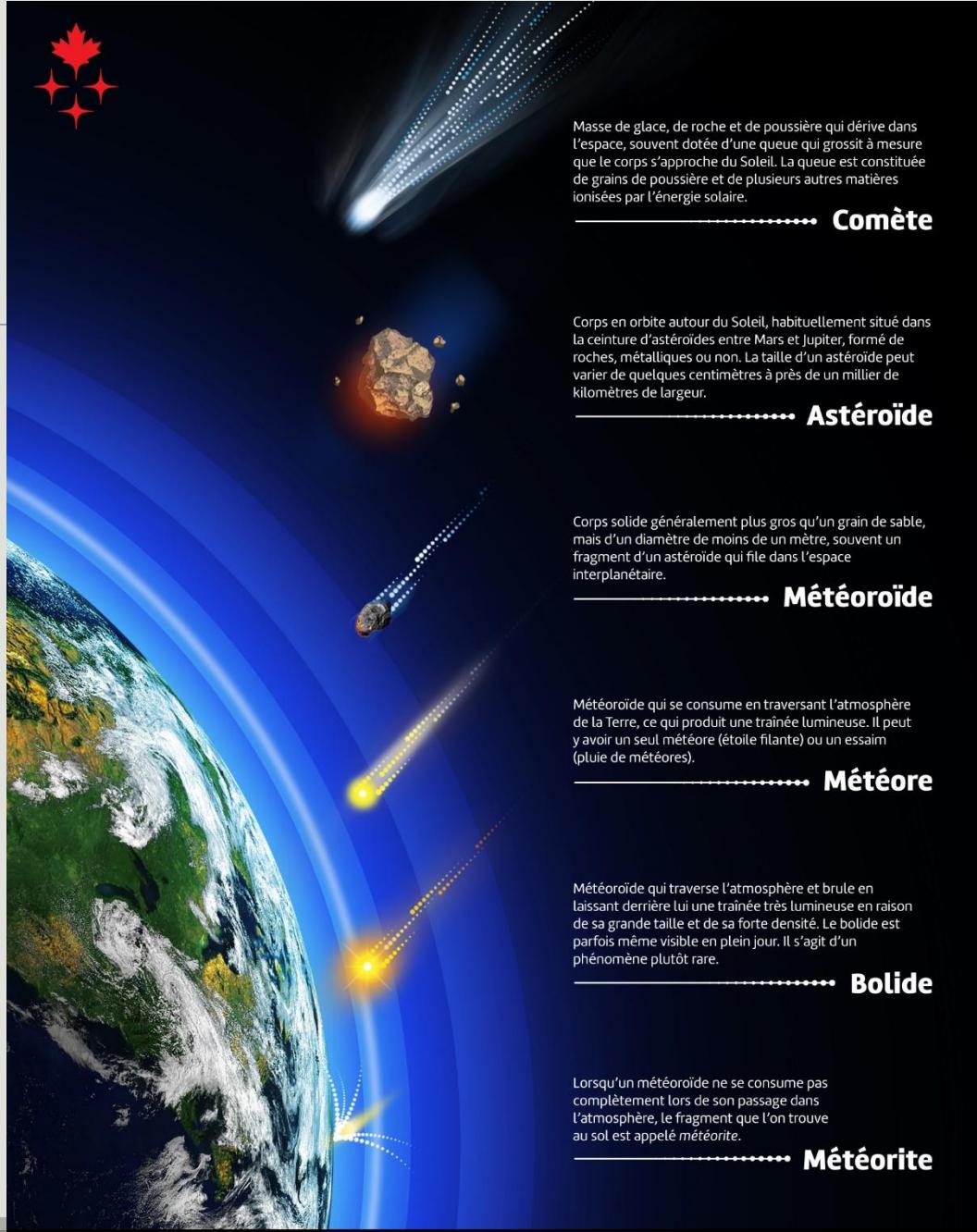
Nouvelles catégories





Glossaire

(à défaut de définition astronomique officielle)



Massue de glace, de roche et de poussière qui dérive dans l'espace, souvent dotée d'une queue qui grossit à mesure que le corps s'approche du Soleil. La queue est constituée de grains de poussière et de plusieurs autres matières ionisées par l'énergie solaire.

Comète

Corps en orbite autour du Soleil, habituellement situé dans la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter, formé de roches, métalliques ou non. La taille d'un astéroïde peut varier de quelques centimètres à près de un millier de kilomètres de largeur.

Astéroïde

Corps solide généralement plus gros qu'un grain de sable, mais d'un diamètre de moins de un mètre, souvent un fragment d'un astéroïde qui file dans l'espace interplanétaire.

Météoroïde

Météoroïde qui se consume en traversant l'atmosphère de la Terre, ce qui produit une traînée lumineuse. Il peut y avoir un seul météore (étoile filante) ou un essaim (pluie de météores).

Météore

Météoroïde qui traverse l'atmosphère et brûle en laissant derrière lui une traînée très lumineuse en raison de sa grande taille et de sa forte densité. Le bolide est parfois même visible en plein jour. Il s'agit d'un phénomène plutôt rare.

Bolide

Lorsqu'un météoroïde ne se consume pas complètement lors de son passage dans l'atmosphère, le fragment que l'on trouve au sol est appelé météorite.

Météorite



Nota : *les observations récentes tendent à montrer qu'il n'y a pas de distinction nette entre comètes et astéroïdes*

Ainsi extrait conférence fin 2011 de Chantal LEVASSEUR-REGOURD Professeur (Astronomie et Physique spatiale) à l'UPMC (Université P. & M. Curie, Paris)

En ce qui concerne la définition des astéroïdes et des comètes, on se heurte à quelques problèmes ::

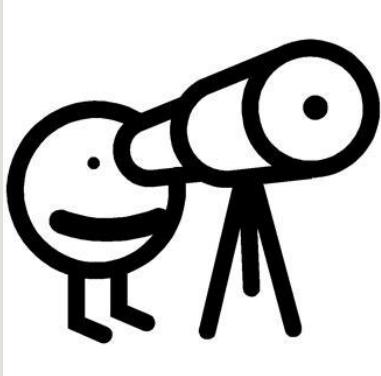
On découvre des noyaux cométaires qui deviennent des astéroïdes, ce sont des noyaux qui ont perdu toute leur glace et dont la surface est protégée par une couche isolante, comme pour **4015 Wilson-Harrington**. C'est une comète « éteinte »..

Des astéroïdes deviennent des comètes ; ce sont généralement des objets si éloignés que leur glace ne peut pas fondre ; un exemple est la découverte du Centaure 2060 Chiron en 1977 qui devient la **comète 95P/ Chiron**.

Tous les objets de la ceinture de Kuiper (les KBO) pourraient probablement devenir des comètes..

Il semble aussi que depuis quelques années on découvre des objets dans la ceinture principale qui seraient « mixtes », ils auraient une activité sur une partie de leur orbite. Des exemples : **133P/ Elst-Pizarro, 176P/ Linear, 238P/ Read..**

- Plus récemment , on peut citer l'objet hybride 311P/Panstarrs entre astéroïde et comète situé dans la ceinture principale et photographié par Hubble



Désignation des astéroïdes

- **Désignation provisoire** : Un astéroïde récemment découvert reçoit dans un 1^{er} temps une désignation provisoire établie par le « Minor Planet Center / IAU »
 - Ex: **2012 BD** pour année 2012, B: 2^{ème} quinzaine, D : 4^{ème} objet découvert sur cette période
- **Numérotation définitive** : une fois reconnu avec une trajectoire orbitale clairement établie, l'astéroïde reçoit un numéro définitif entre parenthèses suivi de sa désignation provisoire.
 - Ex : **(98034)** pour l'astéroïde de désignation provisoire 2000 RQ12 découvert le 2 septembre 2000
- **Nom Propre** : Certains astéroïdes reçoivent un nom qui remplace la désignation provisoire ex. “ **(162173) Ryugu** ” exploré par la sonde japonaise Hayabusa 2 en 2018
- Le 26 février 2025, le ‘Minor Planet Center’ dénombre 1 439 566 ‘minor planets’ (*) dont 773 916 numérotés, 661 076 non numérotés et 4574 comètes .

(*)Le terme ‘minor planets/planètes mineures regroupe ici tous les petits corps du système solaire

Exemple désignation 2010 TK7

Un astéroïde troyen de la Terre est désigné “ 2010 TK7 ”,

A quoi correspond le chiffre 7 ?

Réponse : L'utilisation des lettres de l'alphabet permet de classer en fait seulement 25 découvertes dans une quinzaine. En effet on prend les 26 lettres de l'alphabet moins le "I" qui prête à confusion avec le chiffre "1". Au delà de 25 découvertes sur une même quinzaine , on va utiliser un chiffre. Ce chiffre va indiquer combien de fois on a bouclé l'alphabet .

Prenons l'exemple de l'astéroïde “ 2010 TK7 ”

- **2010** : découvert en 2010
- **T** : découvert lors de la 1ère quinzaine d'octobre de cette année (la 1 ère quinzaine d'octobre est la 19ème de l'année , et T est la 19ème lettre de l'alphabet sans tenir compte du "I").
- **K7** : on a fait sur cette période déjà 7 boucles de l'alphabet avant d'arriver de nouveau à la lettre K .Les 7 boucles de l'alphabet représente : 7×25 soit 175. La lettre K est la 10ème lettre de l'alphabet (toujours sans le "I"). l'ordre de la découverte de cet astéroïde est : 175 + 10 soit 185.

Ainsi l'astéroïde “ 2010 TK7 ” est le 185ème astéroïde découvert dans la première quinzaine d'octobre 2010.



Dernières données du Centre des Planètes Mineures (CPM) / Minor Planet Center (MPC)

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

Census of Dwarf/Minor Planets

Inner/Mid Solar System	Count
Atens	3194
Apollos	20129
Amors	15901
Hungarias	31577
Mars-Crossers	28361

Mid/Outer Solar System	Count
Main-Belt Asteroids	1346409
Hildas	6569
Jupiter Trojans	15717
Distant Objects	6493

Dwarf Planets	Count
Dwarf Planets	5

Orbits and observations of these objects are available on the [MPC Database search](#) page.

Extrait du 15/09/2025
Concernant les astéroïdes
et les planètes naines

Near-Earth Asteroids

Near-Earth Asteroids	39224
1+ KM Near-Earth Asteroids	866
Potentially Hazardous Asteroids	2507

The latest information about unconfirmed NEOs may be obtained on the [NEO Confirmation Page](#).

Classification spectrale des astéroïdes



253 Mathilde, un astéroïde de classe C

Le « **Système classique** » : (développé en 1975) , était principalement basé sur le spectre de la lumière réfléchie par les astéroïdes et *des hypothèses au sujet de leur composition de surface* :

- **Classe C (carbonés)**: objets carbonés très sombres (75% estimés des astéroïdes)
- **Classe S (silicatés)**: objets contenant principalement des silicates, plus brillants
- **Classe M (métallique)** : objets riches en fer et nickel , brillants
- **Autres classes** : les autres classes étaient des variantes des classes principales C, S et M .

A partir des années 90, trois classifications toujours basées sur des analyses spectrales mais plus poussées (dites de Tholen, Bus et Bus-DeMeo) ont pris le relais . Elles classent les astéroïdes en 3 groupes principaux dits **complexes S, C et X** subdivisés en classe et en des petits groupes dits ‘**end members** /classes mineures’ ... => Un même astéroïde peut avoir un classement différent suivant le système utilisé !



Remarque : le type spectral d'un astéroïde n'est pas indicatif de sa composition réelle

Nota : les météorites, corps minéral extra-terrestres trouvés sur Terre, font l'objet d'un autre système de classification. Il est plus précis car on peut faire des analyses chimiques de ces objets

Principaux groupements d'astéroïdes

Ceinture Principale

Ceinture de Kuiper

Nuage d'Oort

Centaures (entre Jupiter et Neptune)

Troyens (aux points de Lagrange des planètes)

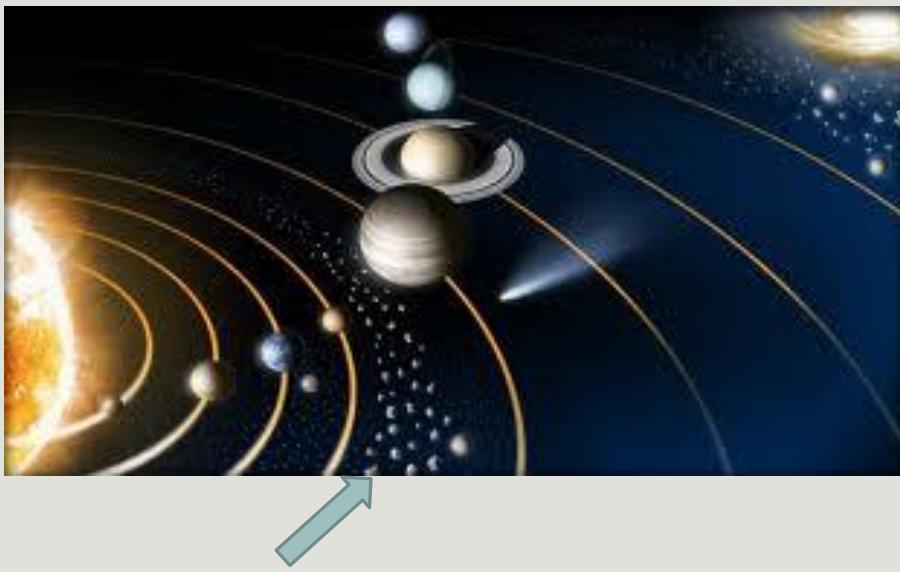
Astéroïdes croisant l'orbite d'autres planètes

Géocroiseurs

Certains astéroïdes peuvent faire partie de plusieurs de ces groupements

Origine des astéroïdes : => reliquat du disque proto-planétaire

La plupart des astéroïdes orbitent sur 3 régions différentes



1) La ceinture principale d'astéroïdes : entre les orbites de Mars et de Jupiter, certains rochers initiaux ne se sont pas agglomérés pour former une planète car perturbés par la gravité de l'immense Jupiter. Tous ces corps se sont stabilisés et rassemblés pour former la ceinture d'astéroïdes.

3) Nuage de Oort : est un vaste ensemble sphérique aux limites du système solaire au-delà de 20 000 ua et source de la plupart des comètes ..

2) La Ceinture de Kuiper est constituée de petits corps glacés, de la taille des astéroïdes, occupant une région en forme d'anneau dans le plan du Système solaire et s'étendant de l'orbite de Neptune (30 UA du Soleil) jusqu'à environ 100 ou 150 UA

La ceinture principale



STAR WARS, le Faucon Millenium, dans un champ d'astéroïdes
=> la Ceinture Principale : ce n'est pas ça !

La Ceinture principale d'astéroïdes

Nombre : La ceinture principale contient le plus grand nombre d'objets connus, environ 750 000. Elle comprend plus de 200 astéroïdes de plus de 100 km.

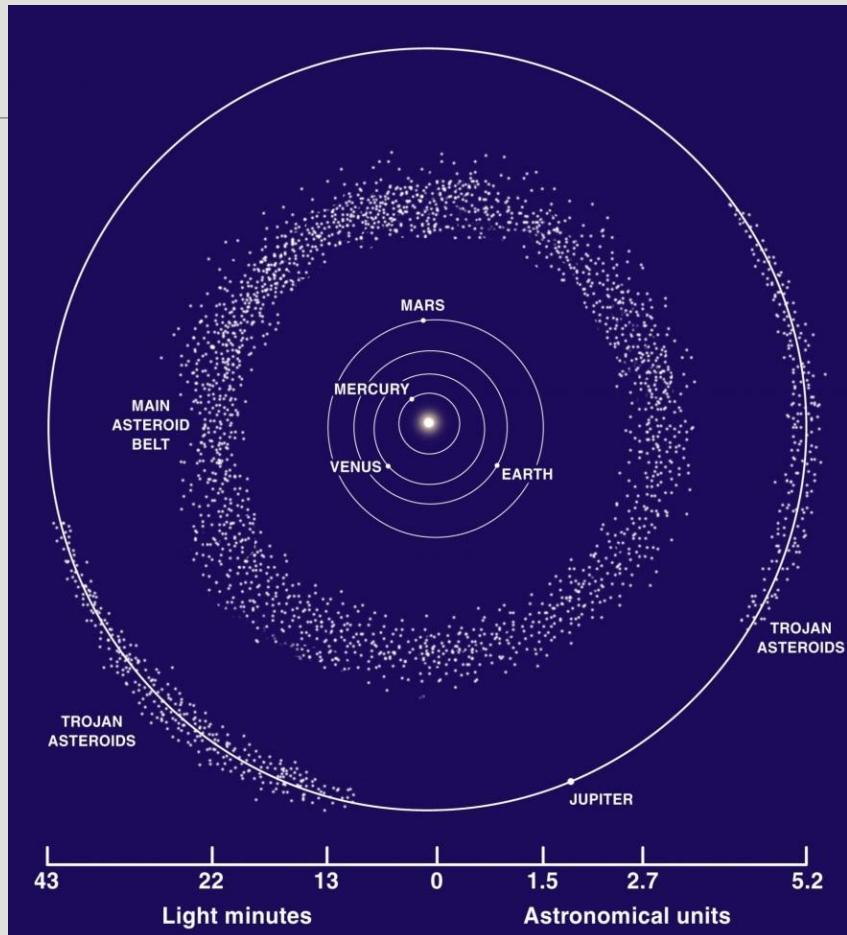
- La ceinture principale reste cependant essentiellement vide , la distance moyenne entre 2 petits corps est environ un million de km.

Masse : estimée à environ 4% de celle de la Lune. Les 4 plus grands objets) constituent quasiment la moitié de la masse totale :

- Cérès, 487 km, planète naine ,
- Vesta, 285 km, *visitée par la sonde DAWN*,
- Pallas, 285 km et Hygée,407 km.

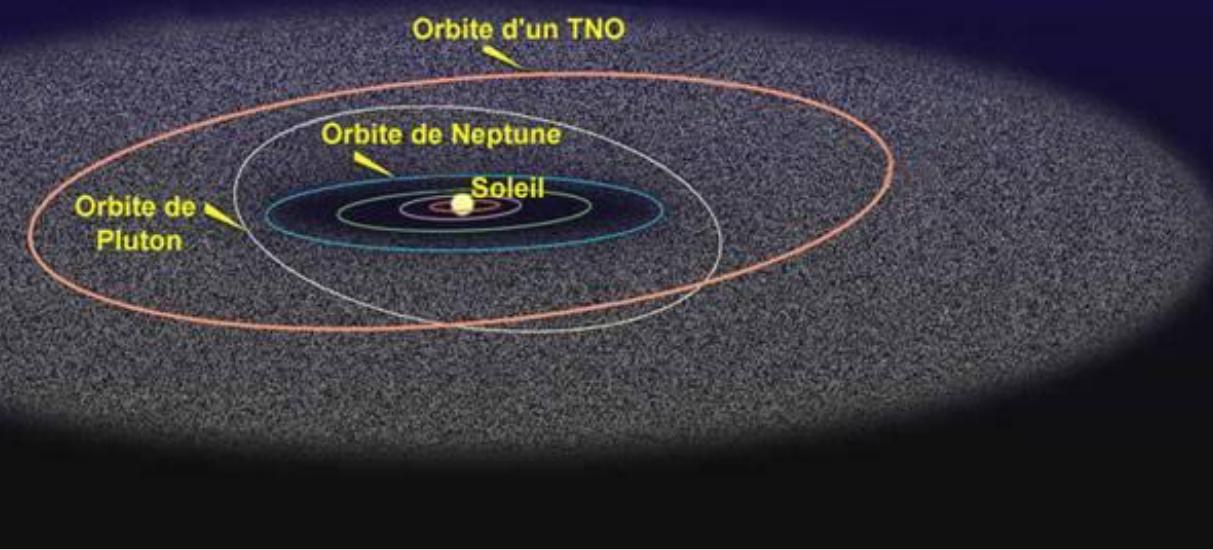
La ceinture principale

- Située entre 2,06 et 3,27 UA, elle forme un anneau stable de 200 millions de km de large, non homogène car elle contient des zones vides appelées Lacunes de Kirkwood.
- Il y a relativement peu d'astéroïdes au-delà de 4,2 UA jusqu'à l'orbite de Jupiter.
- Les deux groupes d'astéroïdes troyens de Jupiter ne sont pas considérés comme des membres de la Ceinture Principale d'astéroïdes



ESA image

LA CEINTURE DE KUIPER



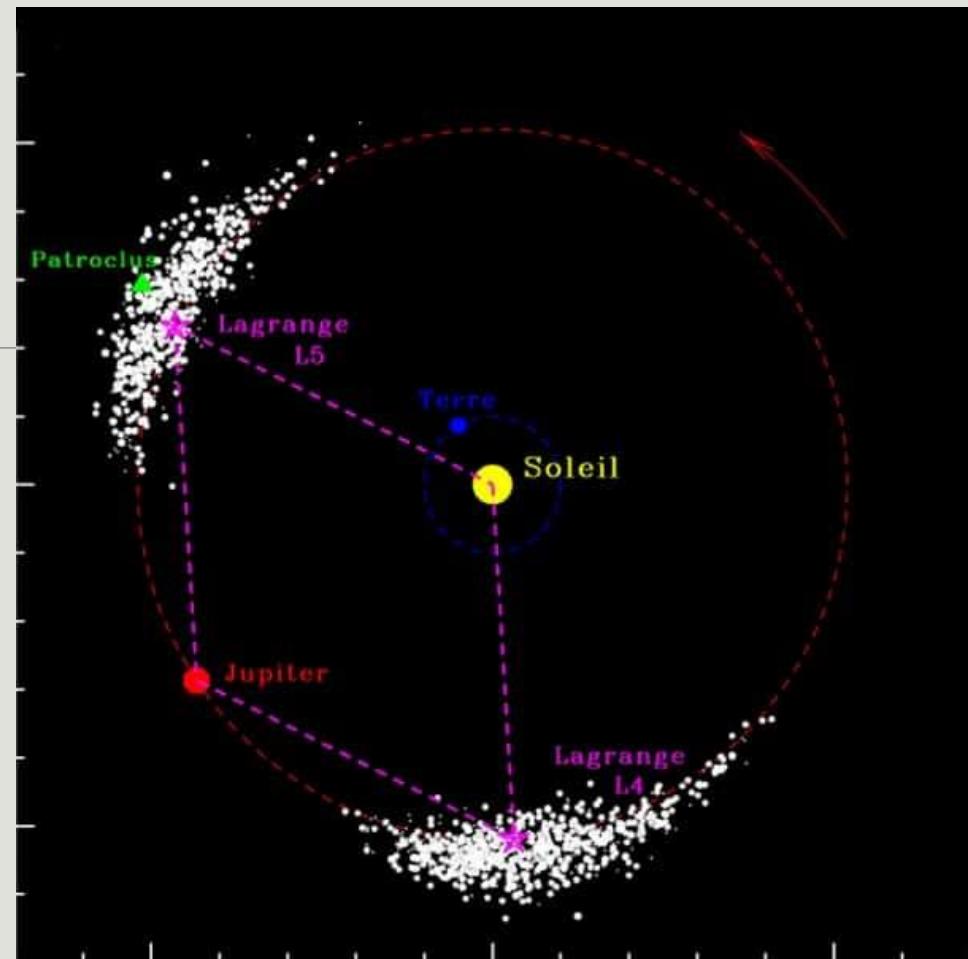
Représentation de la **Ceinture de Kuiper** située au-delà de l'orbite de Neptune.

On appelle **objet transneptunien** (TNO), tout objet dont l'orbite est au-delà de celle de Neptune.

Exemple la planète naine Pluton (2372 km).

Autres exemples découverts dans les années 2000 dans la ceinture de Kuiper : Varuna (~ 678 km), Ixion (~ 750 km), Quaoar (~ 1100 km), Orcus (~ 910 km) . Plus éloignée : la planète naine Eris ($\sim 2\,326$ km), le 10^{ème} plus grand objet du système solaire, distance au soleil de 37 à 97 UA

Les Troyens



Les troyens de Jupiter

Auparavant expliquons les points de Lagrange !

Deux notions :

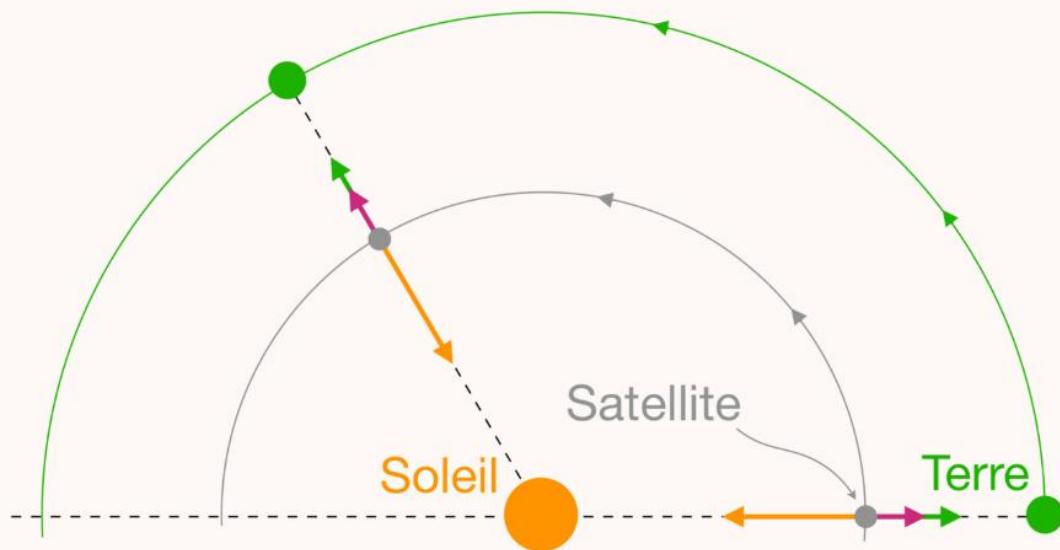
La force d'attraction



La force centrifuge



Points de Lagrange



↗ L'orbite de la Terre (vert) et celle du satellite (gris) autour du Soleil (orange) au centre. Les forces d'attraction de la Terre et du Soleil sont indiquées, ainsi que la force centrifuge subie par le satellite, en violet.

Considérons d'abord le mouvement de la Terre autour du Soleil, qui est un cercle quasi-parfait. Elle en fait le tour en un an, c'est ce que l'on appelle sa période de révolution. Imaginons maintenant que l'on place un satellite en orbite circulaire autour du Soleil, avec une période de révolution d'exactement un an, et de sorte qu'il soit toujours placé sur l'axe Terre-Soleil. En ajustant sa distance au Soleil, la force d'attraction de ce dernier peut être compensée par la somme de sa force centrifuge et de la force d'attraction de la Terre : voir les flèches colorées

On vient de définir le point de Lagrange L1

Points de Lagrange



On peut poursuivre le raisonnement mathématique sur ce même axe avec les points L3 (à l'opposé du Soleil) et L2 (à l'opposé de la Terre). Ce dernier est une excellente position d'équilibre pour y ancrer des satellites d'observations de l'univers exemple les satellites Planck ou Gaïa, ou plus récemment le télescope JWST.

- Le point L2 est situé à 1,5 millions de km de la Terre
- Rappel : la distance Terre-Soleil est 150 millions de km (100 x plus)

Le point L1 est intéressant pour l'observation du Soleil, ainsi le satellite SoHo y est installé actuellement

Nota : Les points de Lagrange sont des solutions particulières du problème à trois corps dit « restreint » dans lequel l'un des corps est tout petit comparé aux deux autres. C'est le cas du mouvement d'un satellite ou d'un astéroïde autour du Soleil et d'une planète.

Point de Lagrange L2 : position du JWST

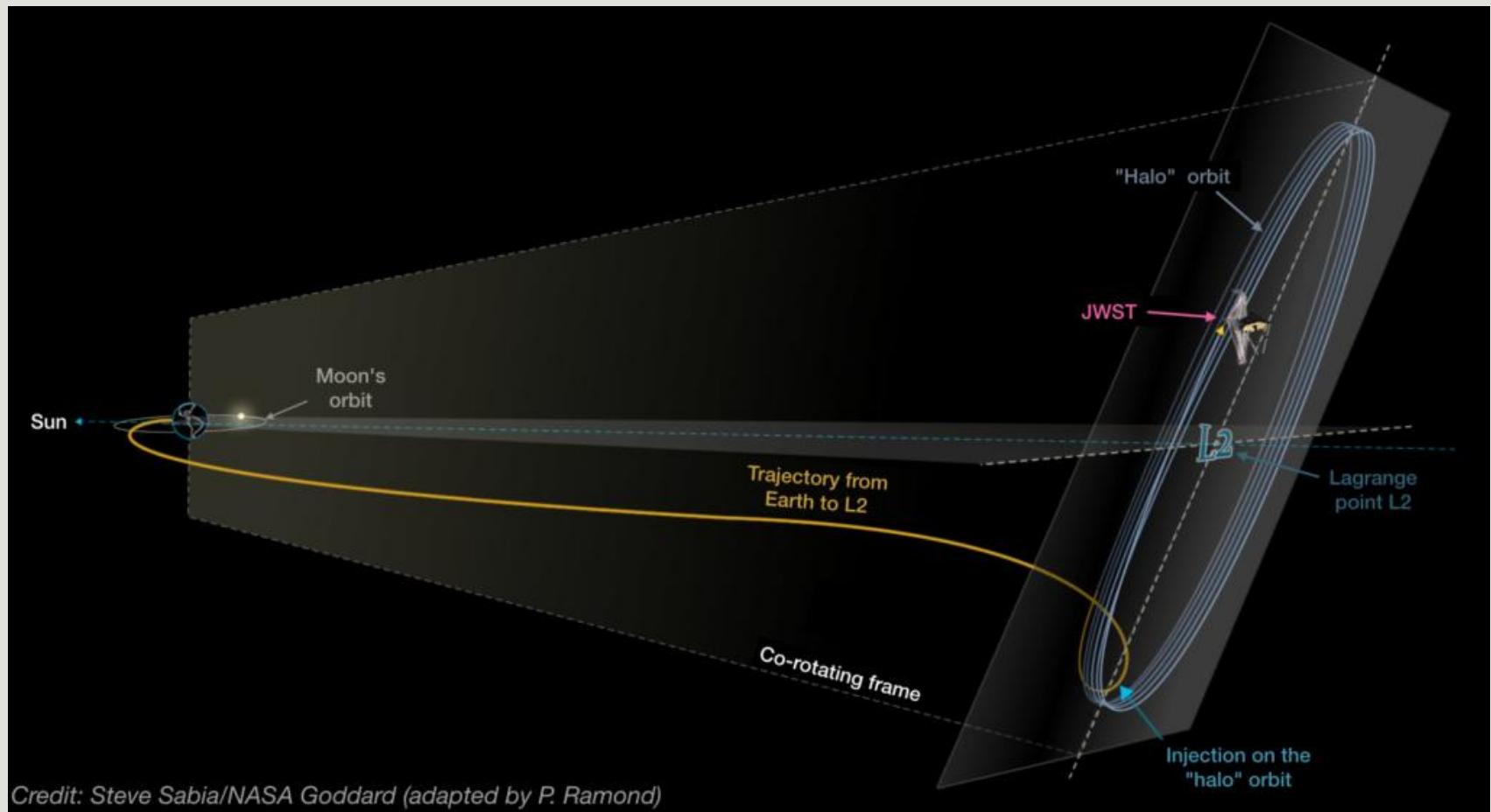
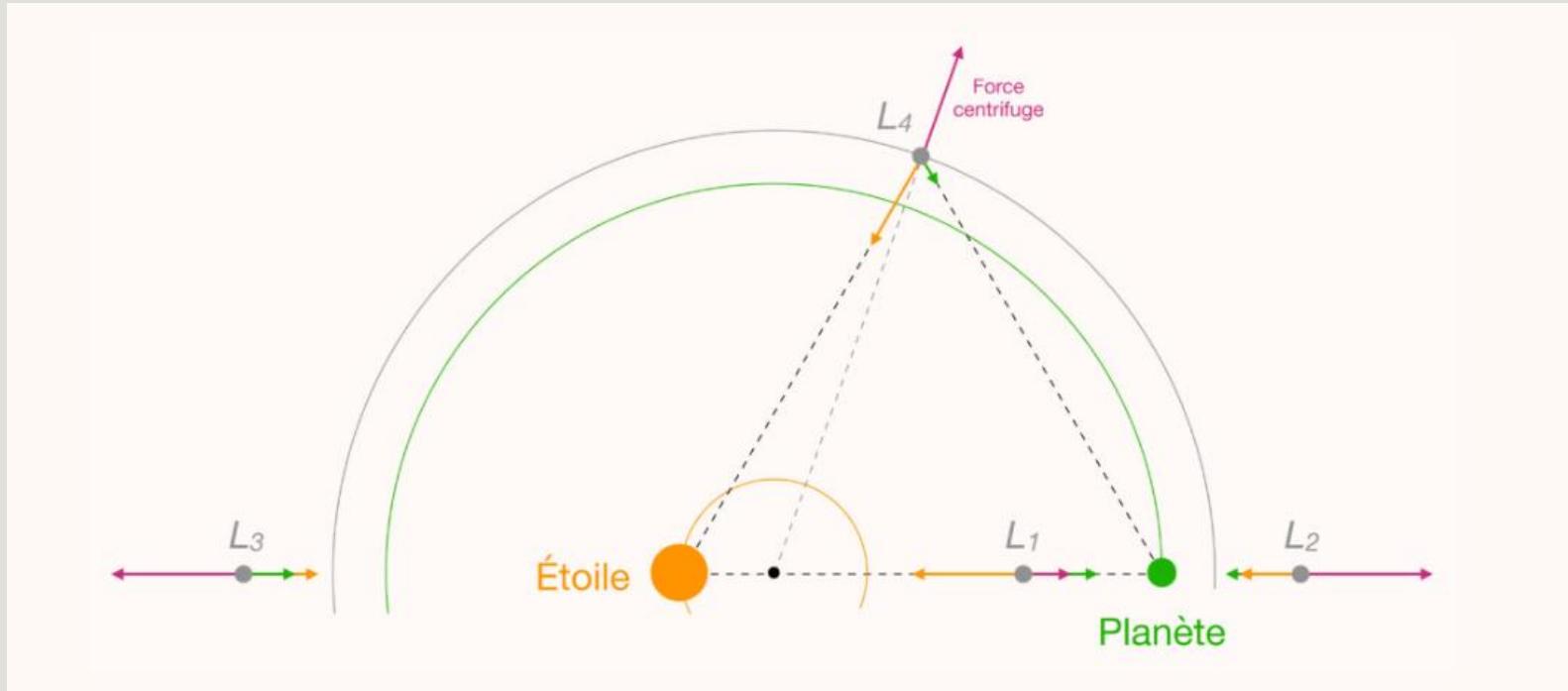


Schéma non à l'échelle

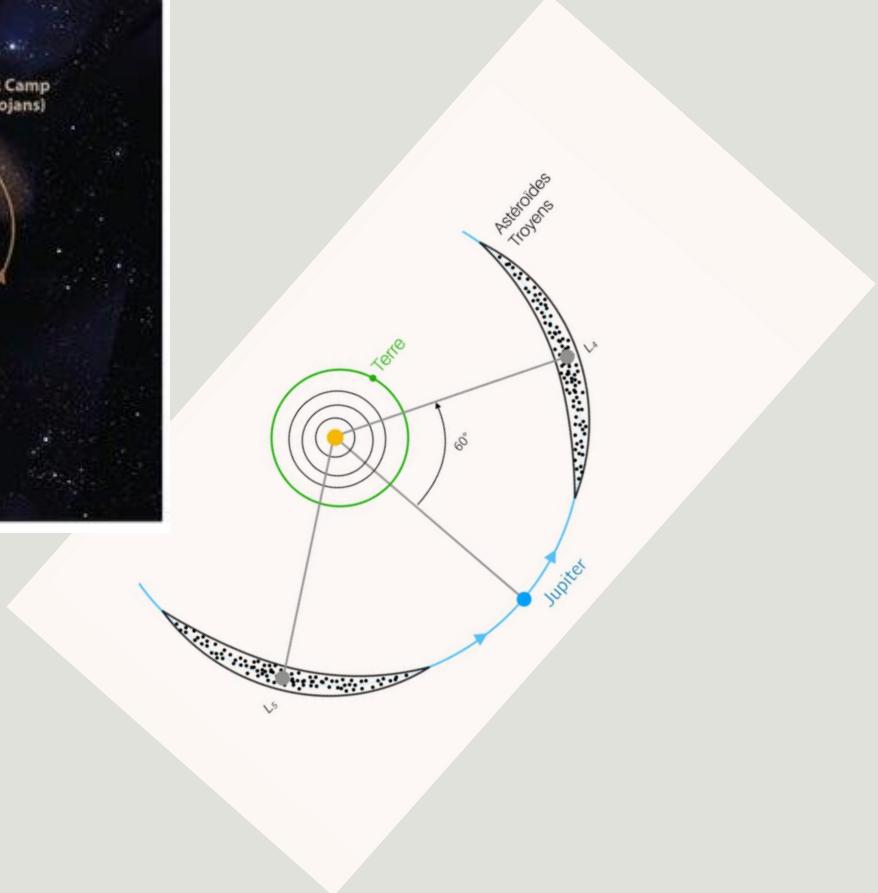
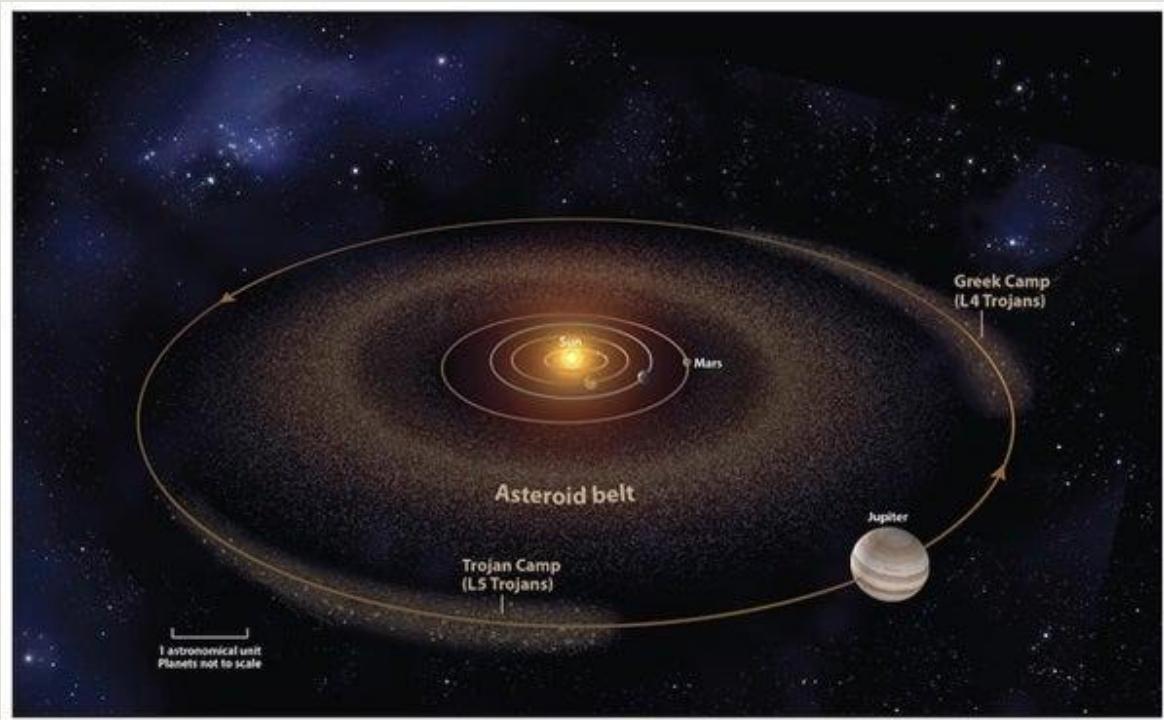
Points de Lagrange : Les astéroïdes troyens en L4 et L5



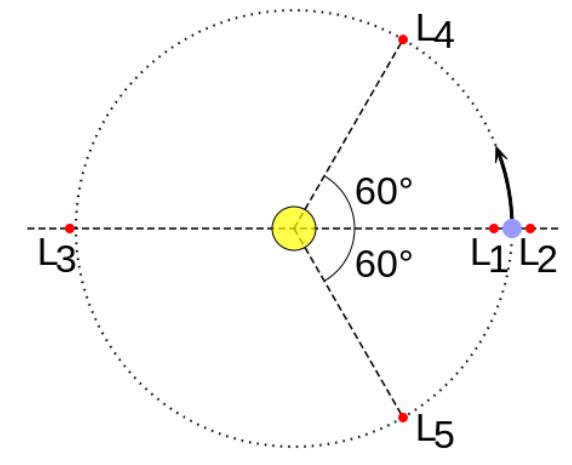
Les deux derniers : C'est Joseph-Louis Lagrange qui montra en 1772 que 2 autres points , L4 et L5, existent. Ils ne sont pas sur l'axe Soleil-planète, mais situés à égale distance d'eux, de telle sorte à former un triangle équilatéral. En ces points, les 2 forces gravitationnelles et la force centrifuge, bien que non alignées, se compensent parfaitement, voir figure ci-dessus. En pratique, l'astéroïde se situe donc quasiment sur l'orbite de la planète , avec 60° d'avance (L4), ou de recul (L5) par rapport à elle.

Référence : <https://www.polytechnique-insights.com/dossiers/espace/satellites-trous-noirs-exoplanetes-quand-la-science-voyage-au-delà-de-la-terre/satellites-limportance-des-points-de-lagrange/>

Les astéroïdes troyens de Jupiter en L4 et L5



Les astéroïdes Troyens



Les astéroïdes Troyens sont situés sur l'orbite d'une planète aux 2 points stables de Lagrange (L4 et L5)

Jupiter : dispose de la quasi-totalité des Troyens du système solaire ($> 15\,000$ en 2025)

Mars en possède 16

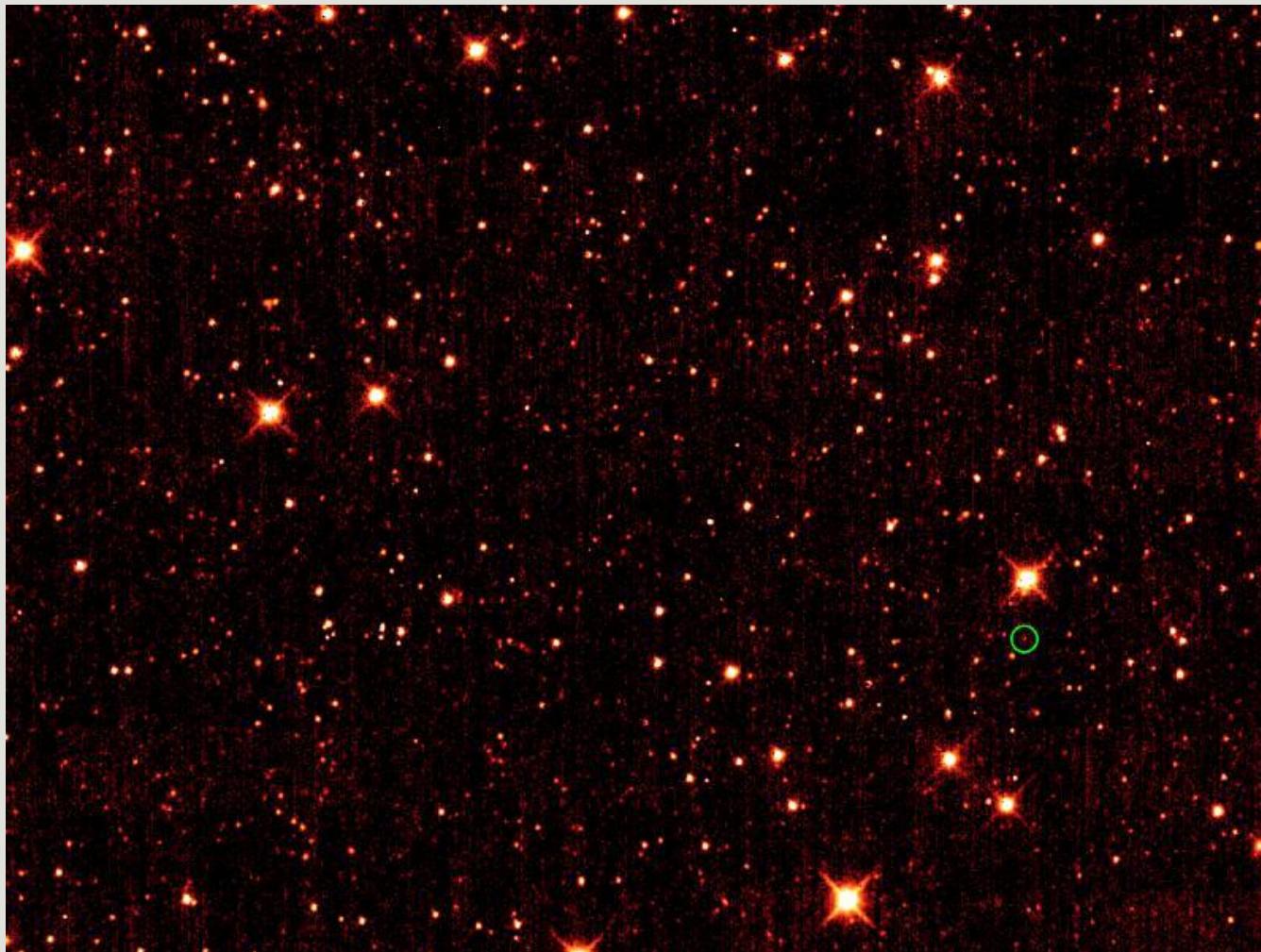
Neptune : 31. Dimension : de 50 à 180 km

La Terre : 2 qui oscillent autour de L4

- 1) **2010 TK7** : découvert le 1^{er} octobre 2010 par le télescope spatial WISE. Dimension estimé 300 m. . *Voir image suivante*
- 2) **2020 XL5** : découvert le 12 décembre 2020 par l'observatoire Pan-Starrs à Hawaï. Dimension entre 250 et 550m

Troyen de la Terre : photo de 2010 TK7 prise par WISE

(dans le cercle vert)



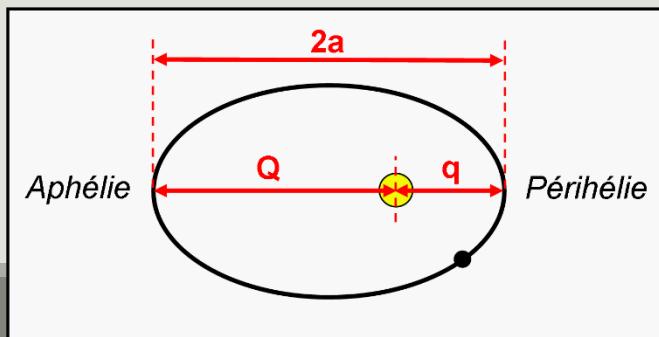
Magnitude
20,8. Pas de
donnée
spectrale

Astéroïdes géocroiseurs : les 4 familles

Les astéroïdes géocroiseurs sont des astéroïdes évoluant à proximité de la Terre (en anglais NEA : Near Earth Asteroids)

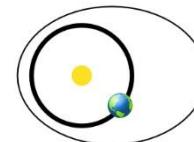
Les 4 familles (noms anglais)

- **Amors**, ils orbitent à l'extérieur de la Terre en la frôlant.
- **Apollos**, croisent l'orbite de la Terre. Le demi-grand axe est plus grand que celui de la Terre
- **Atens**, croisent l'orbite de la Terre. Le demi-grand axe est plus petit que celui de la Terre
- **Atiras**, frôle l'orbite de la Terre par l'intérieur.



Amors

Earth-approaching NEAs with orbits exterior to Earth's but interior to Mars' (named after asteroid (1221) Amor)



$$a > 1.0 \text{ AU}$$
$$1.017 \text{ AU} < q < 1.3 \text{ AU}$$

Apollos

Earth-crossing NEAs with semi-major axes larger than Earth's (named after asteroid (1862) Apollo)



$$a > 1.0 \text{ AU}$$
$$q < 1.017 \text{ AU}$$

Atens

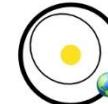
Earth-crossing NEAs with semi-major axes smaller than Earth's (named after asteroid (2062) Aten)



$$a < 1.0 \text{ AU}$$
$$Q > 0.983 \text{ AU}$$

Atiras

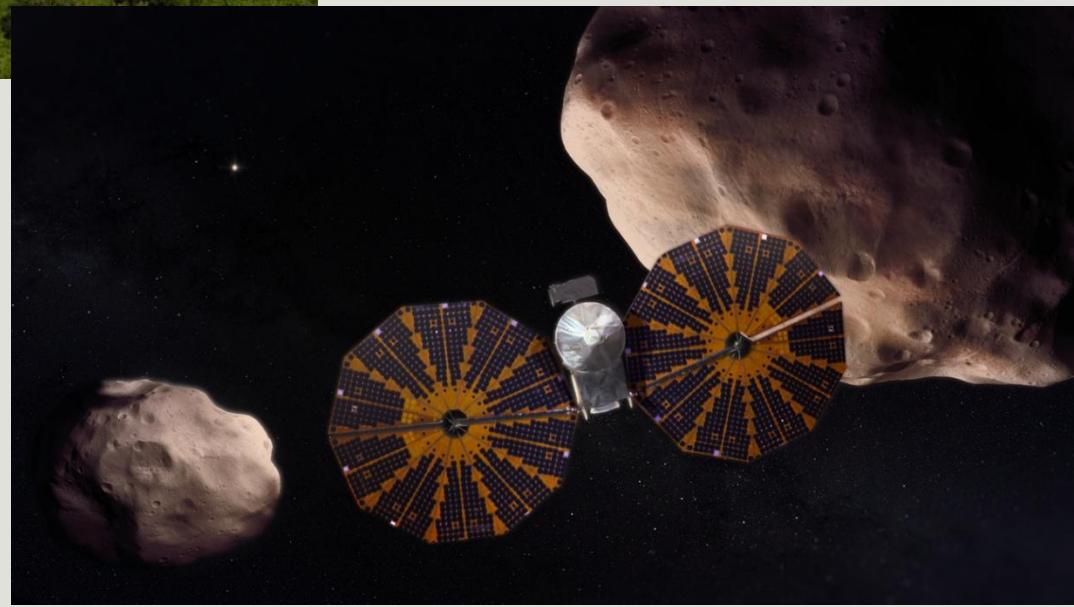
NEAs whose orbits are contained entirely within the orbit of the Earth (named after asteroid (163693) Atira)



$$a < 1.0 \text{ AU}$$
$$Q < 0.983 \text{ AU}$$

(q = perihelion distance, Q = aphelion distance, a = semi-major axis)

Exploration



Sonde Lucy

Extrait liste des sondes spatiales après 1985 dédiées à l'exploration des objets mineurs, planètes naines, astéroïdes,

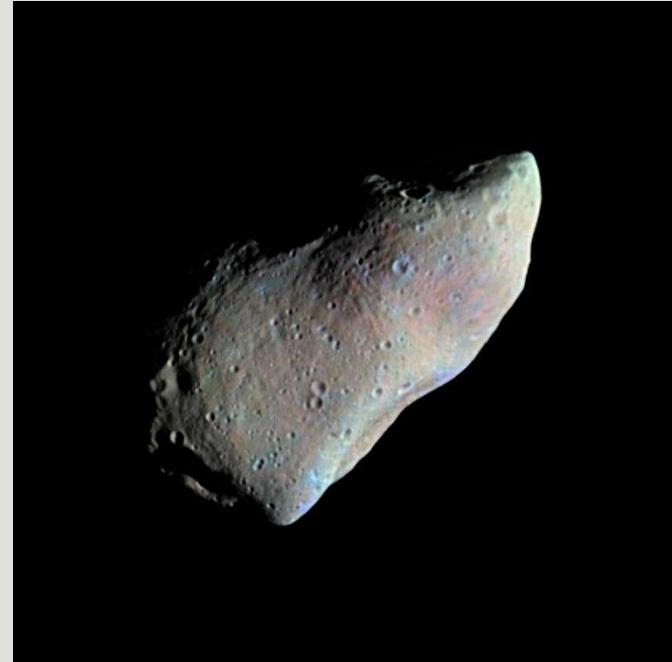
Date lancement	Noms	Nations	Cibles	Date arrivée	Fin mission	Remarques/ objectif principal
1996	Near Shoemaker	USA	Astéroïde géocroiseur Eros	2000	2001	1ère sonde à se mettre en orbite autour d'un astéroïde, puis à s'y poser. Sur le trajet a photographié l'astéroïde Mathilde.
2003	Hayabusa 1	Japon	Astéroïde Itokawa	2005	2010	1ère prise d'échantillon sur un astéroïde : 1500 particules de < 1 micron
2006	New Horizons	USA	Pluton ceinture de Kuiper	2015	2023	1ère sonde spatiale à explorer cette région du système solaire : les transneptuniens
2007	Dawn	USA	Vesta et Ceres	2011	2018	Ceinture principale d'astéroïdes : les 2 principaux corps sont Ceres (planète naine) et Vesta (astéroïde) et sont considérés comme des protoplanètes
2014	Hayabusa 2	Japon	Astéroïde Ryugu	2018	2020	prise d'échantillon : 5,4 g
2016	Osiris Rex	USA	Astéroïde géocroiseur Bennu	2018	/	Intérêt astéroïde ayant peu évolué depuis la formation du système solaire. Prise échantillon Bénou. Mission étendu 2029 : survol astéroïde géocroiseur Apophis
2021	Dart	USA	Impact astéroïde Dimorphos	2022	2022	tester méthode pour dévier un astéroïde. Impact réussi le 26 septembre 2022 :sonde de 550kg lancée à 6,58km/s. Dimorphos, diam. 160 m, est un satellite de Didymos
2021	Lucy	USA	Astéroïdes troyens de Jupiter	2027	/	Survol d'astéroïdes, 2 dans la CP et 5 troyens situés auparavant dans diverses parties du système solaire dont certains dans la ceinture de Kuiper (Modèle de Nice)
2023	Psyché	USA	Astéroïde Psyché	2029	/	Se placer en orbite autour de l'astéroïde métallique Psyché dans la CP
2024	Hera	Europe	Astéroïde Dimorphos	fin 2026	/	Hera est chargé de mesurer l'impact créé par la sonde Dart sur Dimorphos (forme, morphologie, qu de mouvement acquise)
Mai 2025	Tianwen 2	Chine	Astéroïdes Kamo'oalewa et 311P/Panstarss	/	2027 & 2033	Kamo'oalewa coorbite autour du soleil avec la même période que la Terre, distance < 100 x distande Terre-Lune. Prise d'échantillon prévue. Puis départ vers 311P/Panstarss situé dans la ceinture principale

Des sondes spatiales dédiées à des planètes ou des comètes ont aussi photographié des astéroïdes sur leur trajet ex Galileo, Rosetta,...etc

Sonde Galileo (lancée en 1989) / Photographie de (951) Gaspra

le 29 octobre 1991, (951) Gaspra est le 1^{er} astéroïde à avoir été observé de près à la suite du passage de la sonde spatiale Galileo, en route vers Jupiter. Il est situé à l'intérieur de la Ceinture principale.

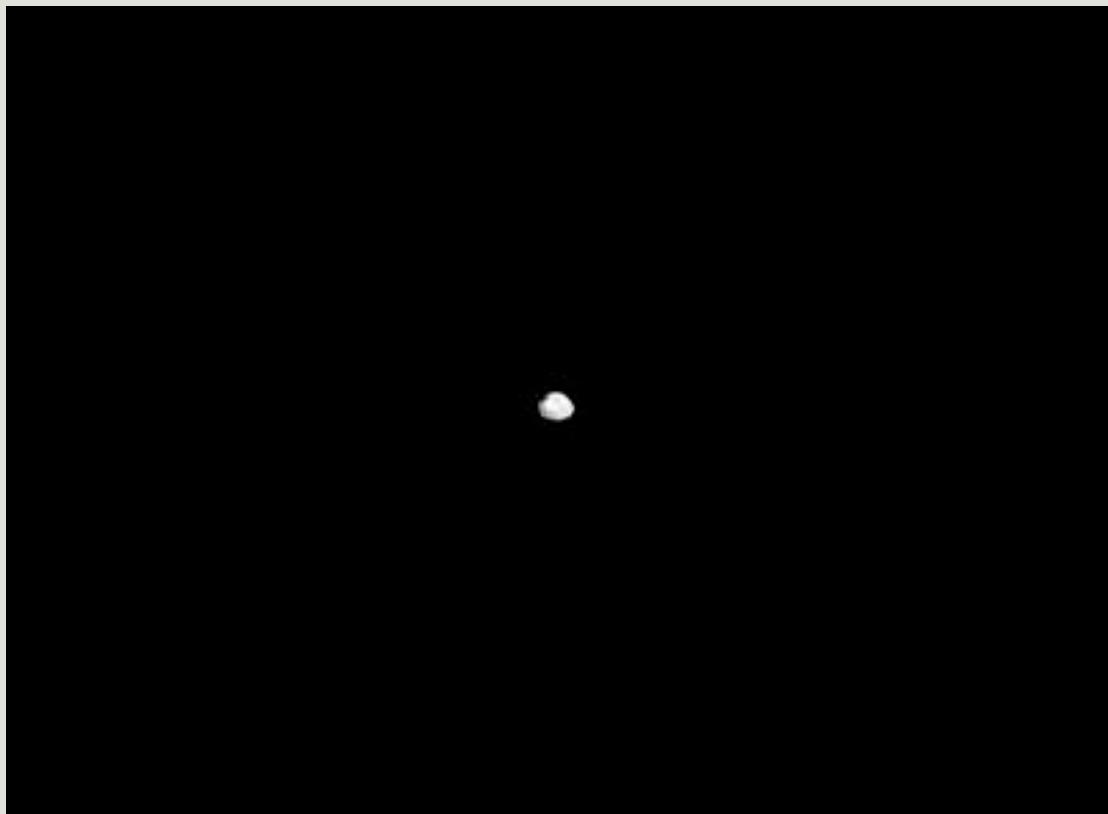
Dim : 19x12x11 km



Gaspra

Sonde Galileo / photographie astéroïde (243) Ida

Ida : astéroïde de la CP, de type S. Orbite : 4,8 ans ; rotation rapide en 4,6 h ! Un petit satellite de 1,4 km nommé Dactyl orbite autour de Ida

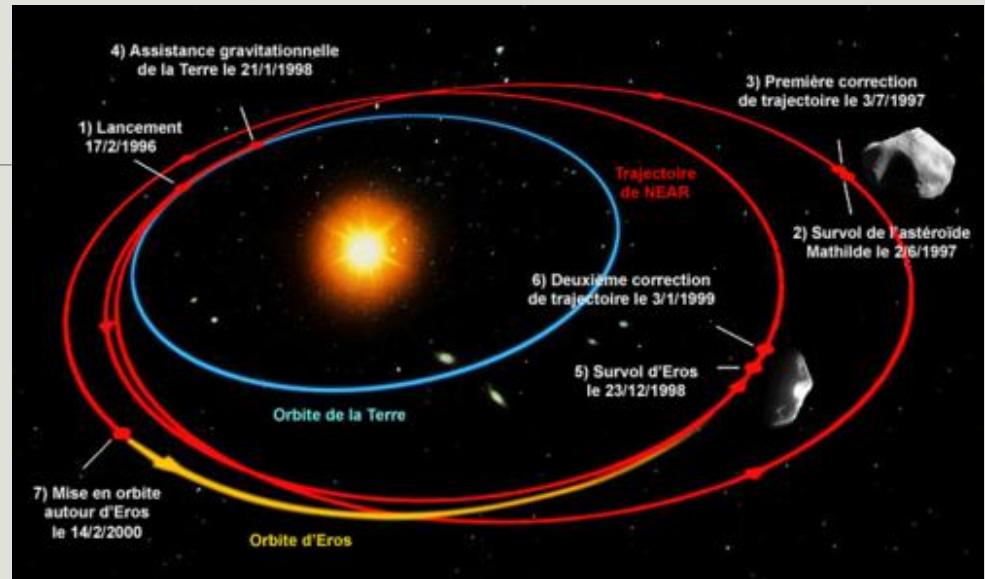
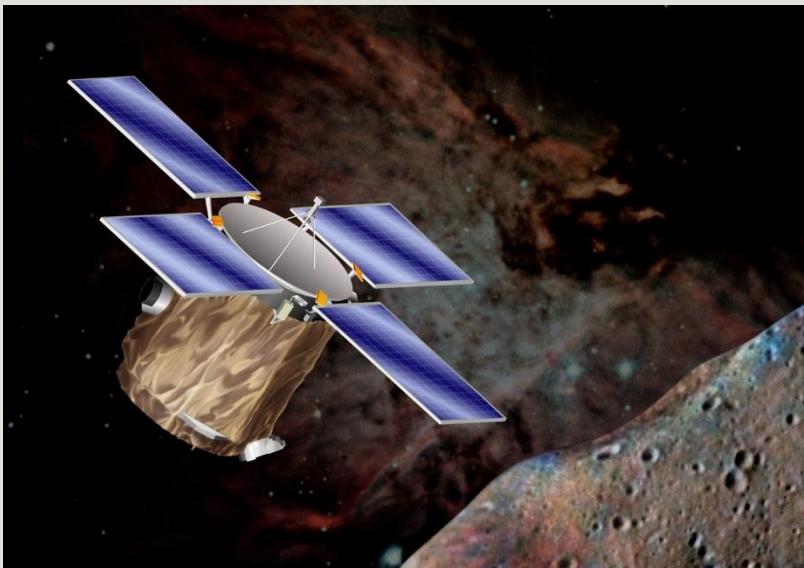


(243) Ida photographié en 1993 . Dim 56x24x21 km



Cratère Fingal de 1,5 km

Sonde Near Shoemaker (lancée en 1996)



Objectif : étudier (433) EROS . C'est la 1^{ère} sonde à avoir orbité autour d'un astéroïde et à atterrir à sa surface (le 12 février 2001).

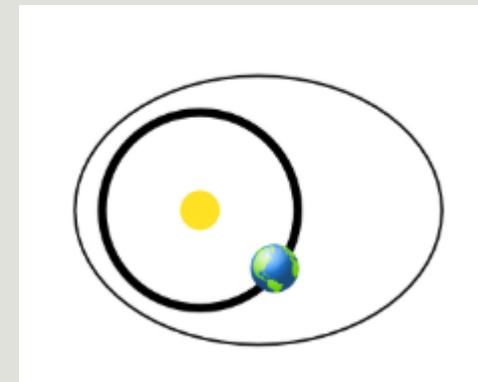
NEAR = 'Near Earth Asteroid Rendez-vous'

Sonde Near Shoemaker / Astéroïde (433) EROS

(433) Éros appartient à la sous-famille **Amor** qui se caractérisent par une orbite frôlant l'orbite terrestre en passant à l'extérieur de celle-ci.

Cet astéroïde de type S a une forme allongée et ses dimensions sont de $13 \times 13 \times 33$ km.

Il orbite autour du Soleil avec une périodicité d'environ un an
Période de révolution 1,76 ans. Rotation : 5,3 h

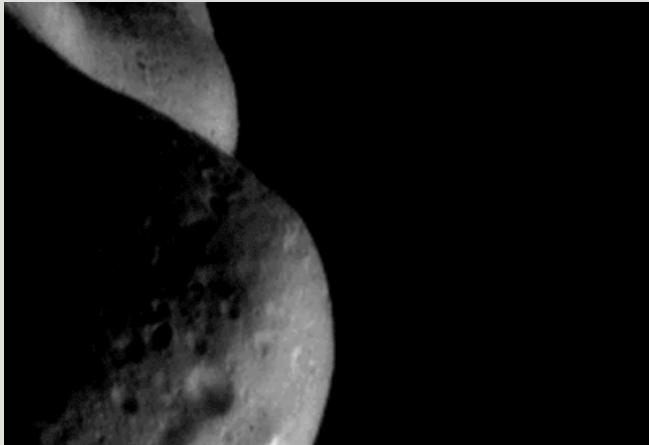


Astéroïde (433) EROS

Densité: 2,67 kg/dm³ env. , identique à celle de la croûte terrestre.

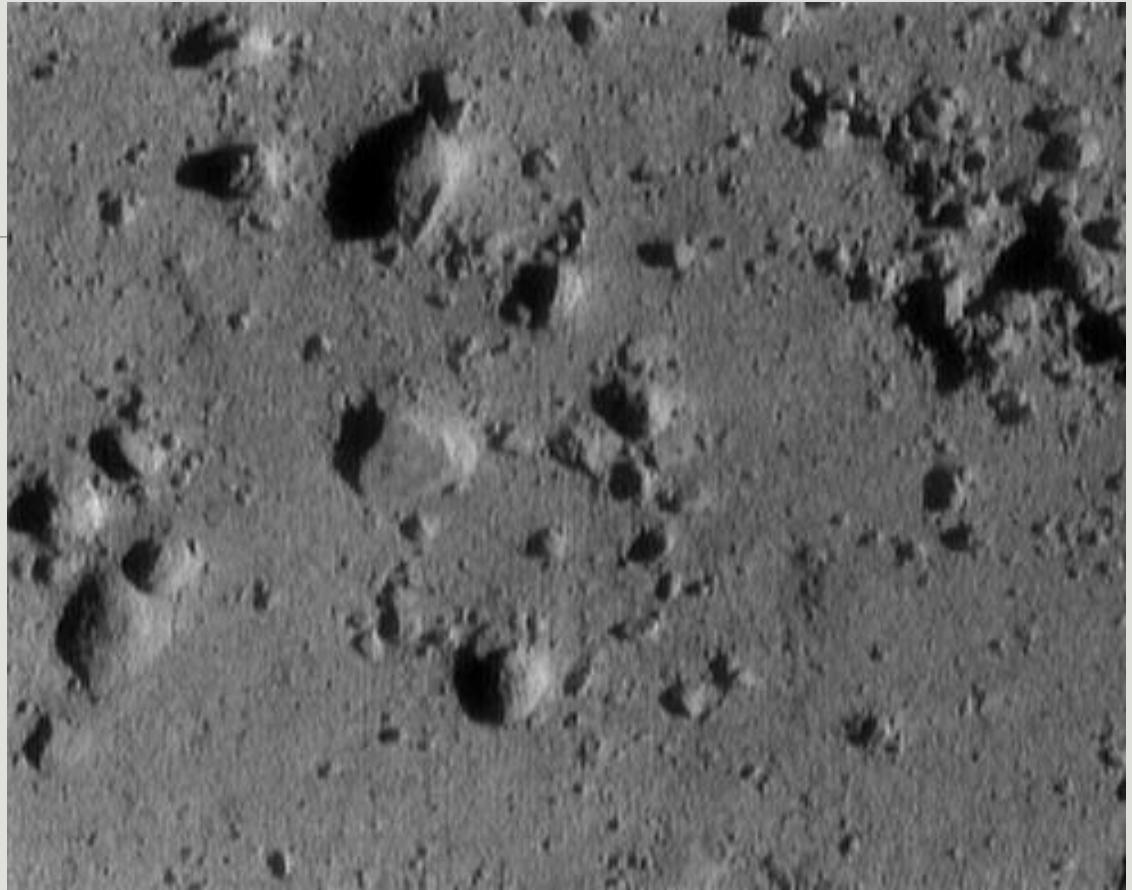
Composition : présence de magnésium, fer, silicium, aluminium et calcium

Classement spectroscopique : S



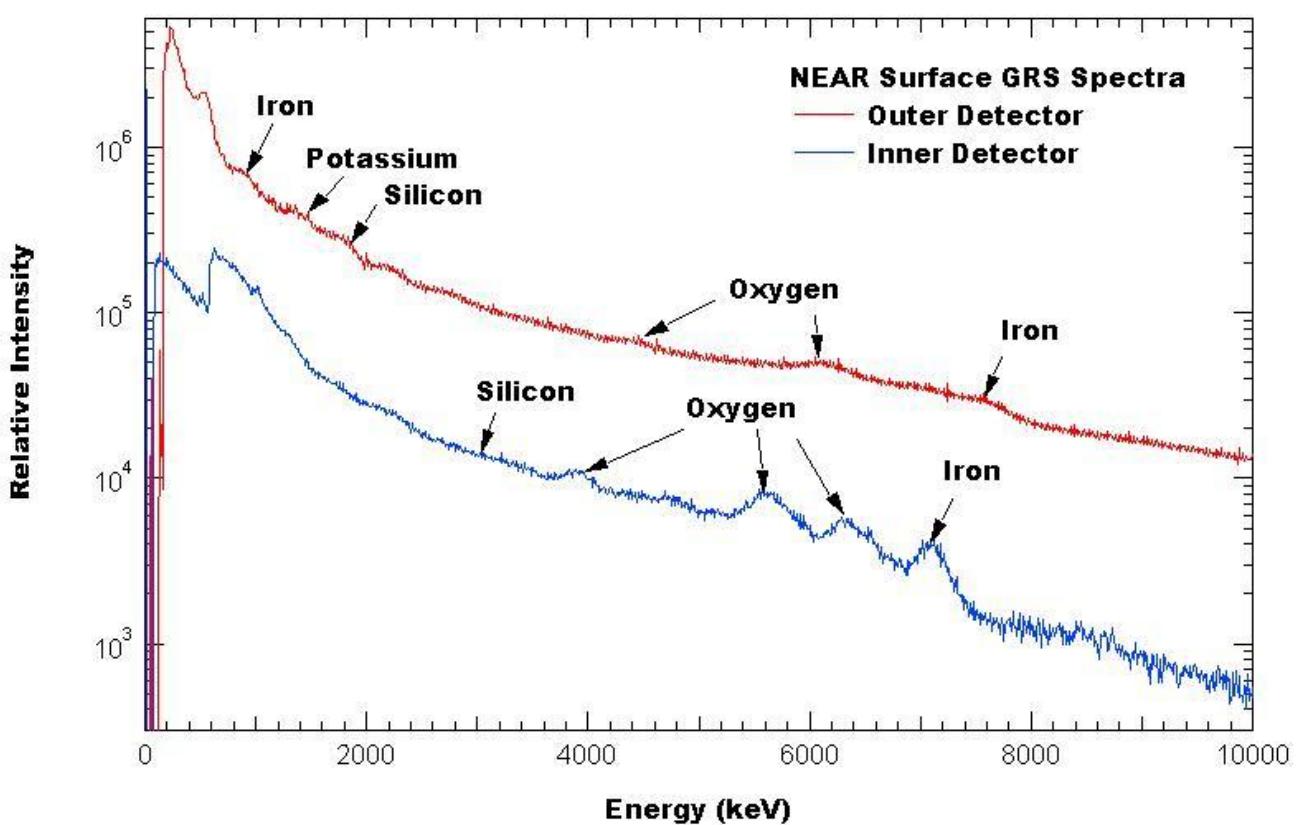
Taille du cratère visible sur le pole nord : 4 km

(433) EROS : surface



NEAR Shoemaker's image of asteroid (433) Eros taken from a range of 250 meters . The image is 12 meters across. - NASA

(433) EROS : Mesure de la composition

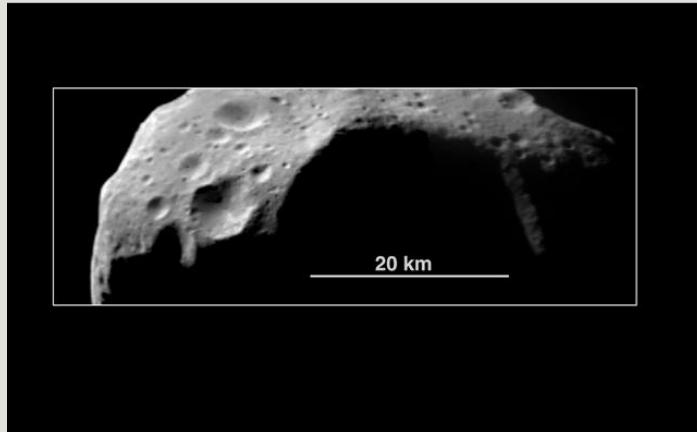


This chart shows the gamma-ray spectrum from the surface of Eros. These scientific data -- the first ever collected on the surface of an asteroid -- result from 7 days of measurements following NEAR Shoemaker's historic landing on February 12.

The gamma-ray instrument (spectromètre rayons gamma) has two detectors -- marked above by the red and blue traces -- which picked up clear signatures of key elements in the composition of Eros. These data, which surpass in quality all the data accumulated by this instrument from orbit

Sonde Near Shoemaker / Astéroïde (253) Mathilde dans la CP

Le 27 juin 1997, sur sa route vers Eros , la sonde NEAR a photographié l'astéroïde Mathilde



- Dimension 66 x 46 km . Densité 1,3.
- Révolution 4,3 ans. Rotation 17,5 jours
- Orbite : Aphélie 3,3 ua ; périhélie 1,9 ua

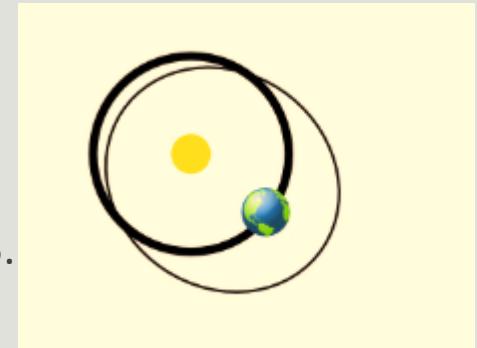


Sonde Hayabusa (lancée en 2003)

La sonde japonaise a atteint son objectif **(25143) Itokawa** en 2005.

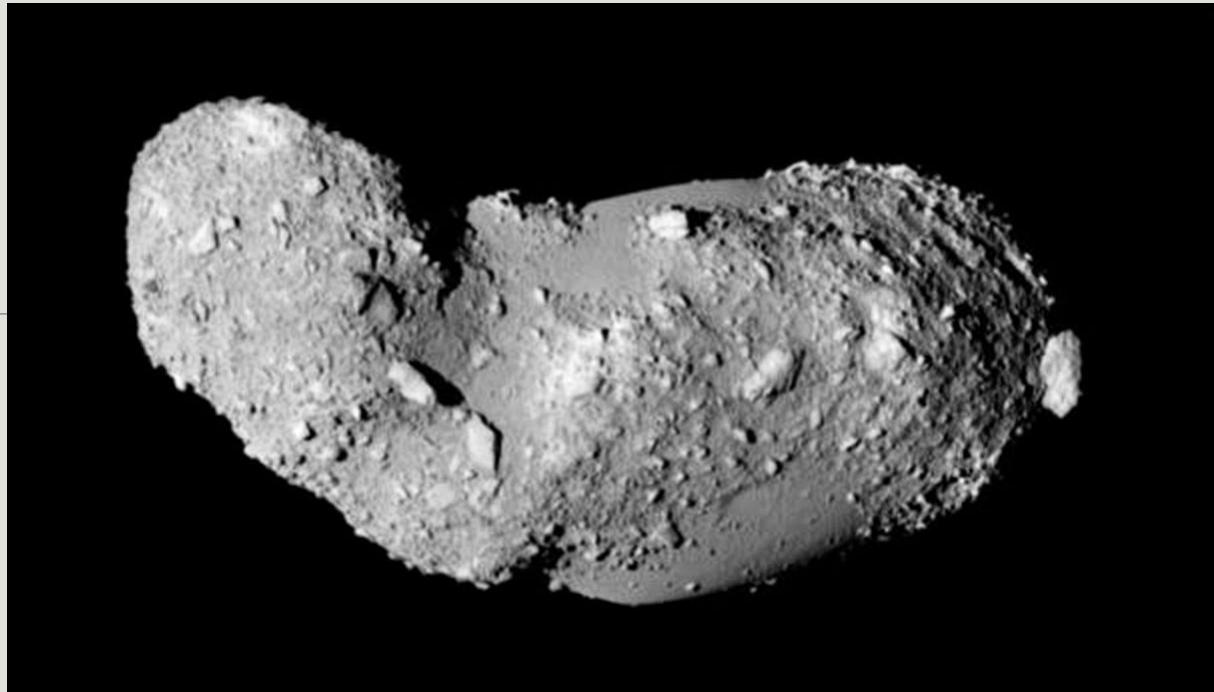
(25143) Itokawa est un astéroïde géocroiseur de la famille Apollo.

Distance moyenne de Itokawa au soleil 1,32 ua. Orbite elliptique : Aphélie 1,69 ua ; Périhélie 0,953 ua .



Sonde Hayabusa

Dimension de Itokawa :
~ 607x287x264 m



(25143) Itokawa est un « agglomérat lâche » : ce n'est pas un monolithe mais une composition de nombreux morceaux de roches assemblés sous l'influence de la gravité. Ceci explique qu'il n'a pas de cratères

La sonde Hayabusa s'est posée sur l'astéroïde le 19 novembre 2005. Le mini robot a manqué son but cependant des échantillons de particules ont été prélevés. Ils ont été collectés en juin 2010 dans une capsule récupérée dans le désert australien.



Astéroïde (25143) Itokawa



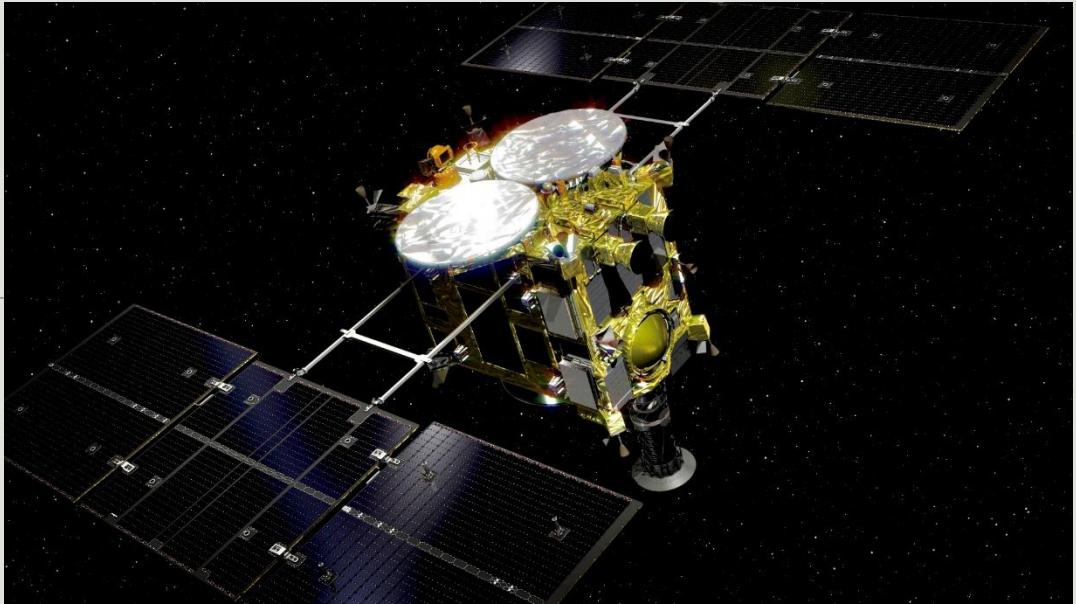
Analyse des échantillons de sol (2011)

- Pour la première fois les laboratoires sur Terre disposaient d'échantillons du sol d'un astéroïde. 1500 grains d'une taille généralement inférieurs à 10 microns ont été trouvés dans la capsule utilisée pour ramener l'échantillon du sol de la comète sur Terre
- L'analyse au microscope électronique et la spectroscopie aux rayons X ont confirmé que les météorites les plus courantes sur Terre, les chondrites ordinaires, proviennent des astéroïdes de type S tel que Itokawa.
- Les 2/3 des particules recueillies sont composées d'olivine, de pyroxènes ou de feldspaths et le tiers restant de silicates ou des assemblages métalliques.

Sonde Hayabusa 2

(lancée en 2014)

La mission est relativement analogue à la première, à savoir la récupération d'échantillons sur un petit astéroïde



L' objectif atteint en juin 2018 est l'astéroïde (**162173**) Ryugu de type C.

(162173) Ryugu est un astéroïde géocroiseur de la famille Apollo.

Orbite elliptique : Aphélie 1,41 ua ; Périhélie 0,963 ua .

Forme en ‘toupie’ de diamètre ~ 875m. Rotation en 7,63 h

Mission Hayabusa 2/ Astéroïde (162173) Ryugu

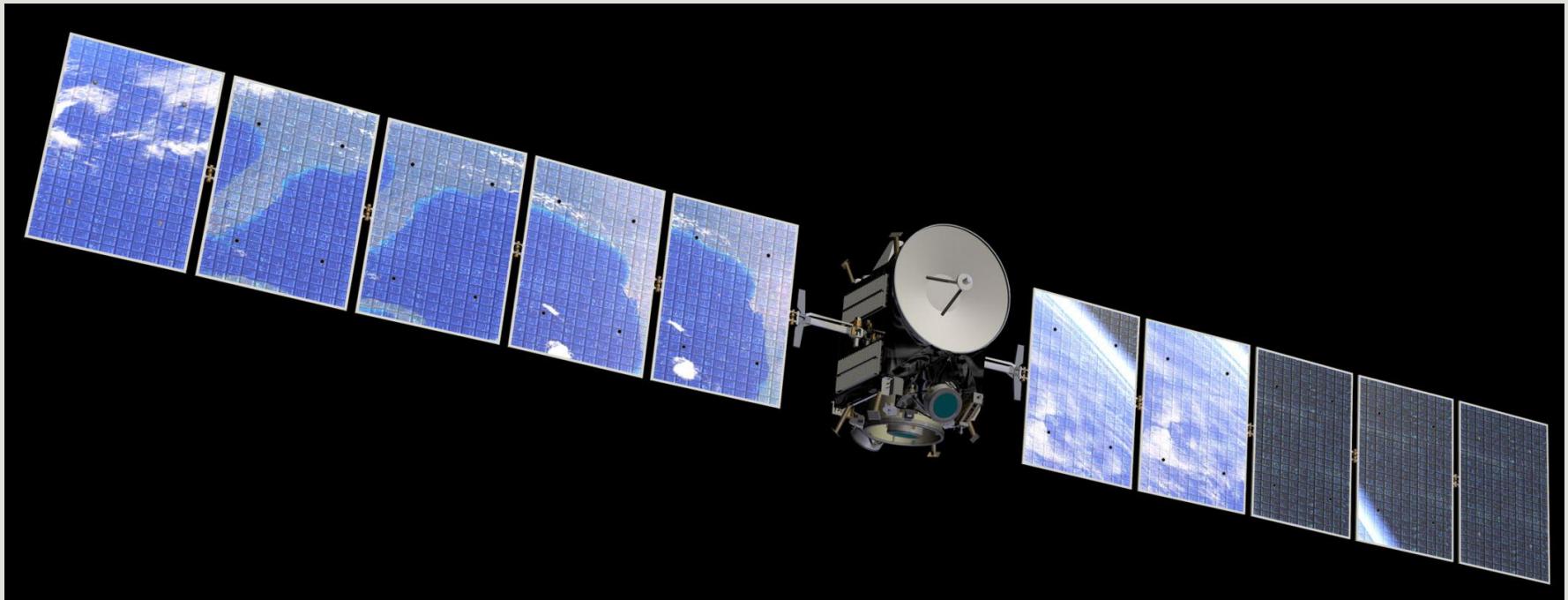


En décembre 2020, le vaisseau spatial Hayabusa2 a rapporté des échantillons collectés à la surface de Ryugu, un astéroïde carboné proche de la Terre. Un consortium international, qui a analysé la matière organique soluble de ces échantillons, révèle dans la revue *Science* la présence de nombreuses molécules organiques, dont les briques de base du vivant. Une nouvelle preuve que nos origines pourraient bien être extraterrestres.

Extrait article CNRS 07 mars 2023

<https://www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/lasteroide-ryugu-contient-les-briques-de-bases-necessaires-la-vie>

Sonde DAWN (NASA , lancée en sept 2007)



Objectif : étude de l'astéroïde **(4)Vesta** et de la planète naine **(1) Cérès** , les 2 principaux corps de la ceinture d'astéroïde.

Le 16 juillet 2011, la sonde à moteurs ioniques s'est mise en orbite autour de Vesta.

La sonde a quitté Vesta le 5 sept 2012 et a atteint Cérès en mars 2015

Sonde Dawn / Astéroïde (4)Vesta

- Le plus gros astéroïde de la CP : 578 x 560 x 458 km
- Il tourne sur lui-même en 5 h 20 mn.
- La surface est constituée de basalte, probablement épanchée par volcanisme peu après sa formation



Prise par Dawn le 24 juillet 2011, cette vidéo montre l'astéroïde à une distance de 5.200 km.

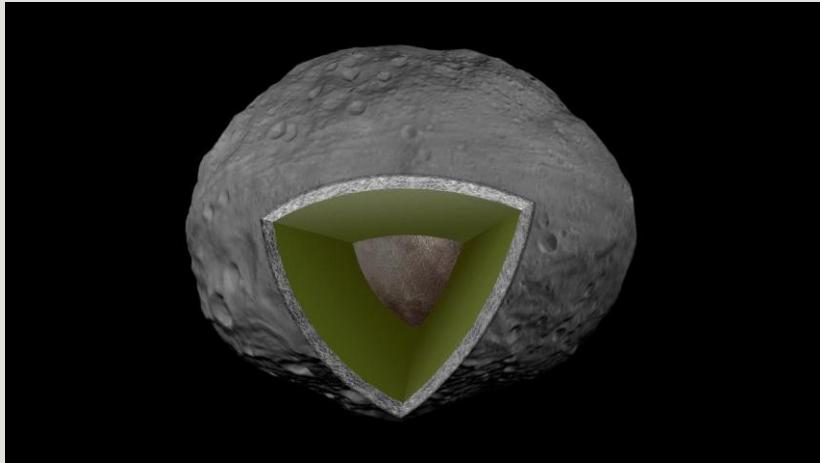


Schéma : **Vesta** possèderait une structure différenciée : en brun, le noyau métallique ; en vert, le manteau rocheux ; en gris, la croûte

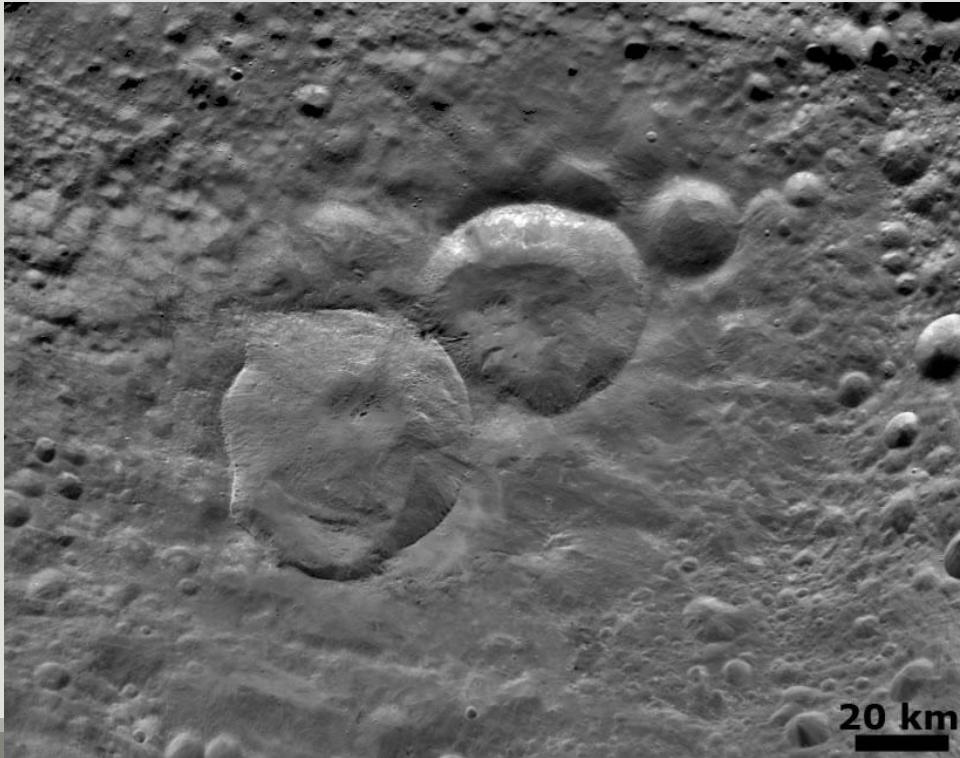


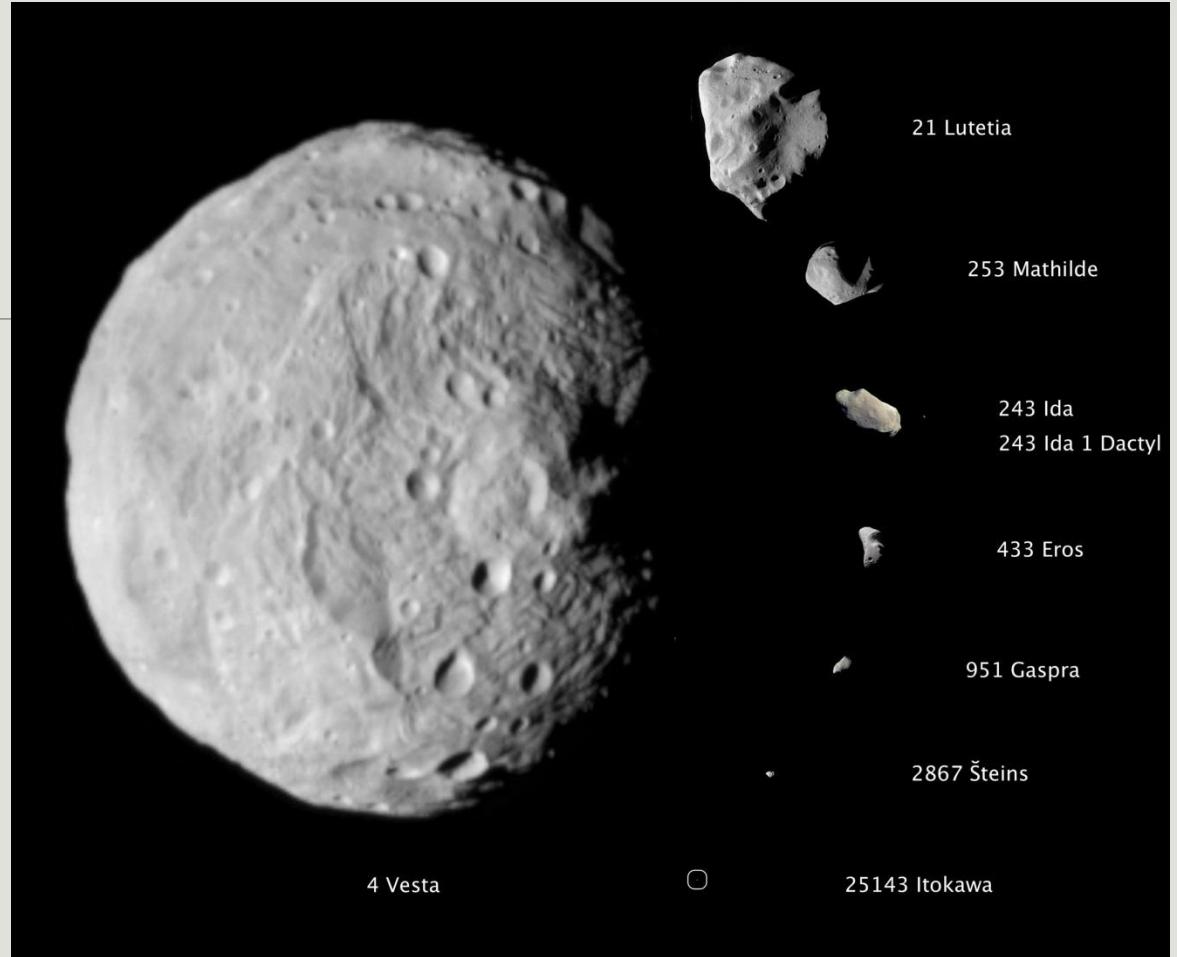
Photo de Dawn : Le "bonhomme de neige" est un ensemble de 3 cratères tangents par ordre de taille

(4) Vesta

Taille comparée par rapport à d'autres astéroïdes connus



Vesta, Cérès, la Lune



Sonde DAWN en route vers la planète naine CERES : Le plus gros objet de la Ceinture Principale



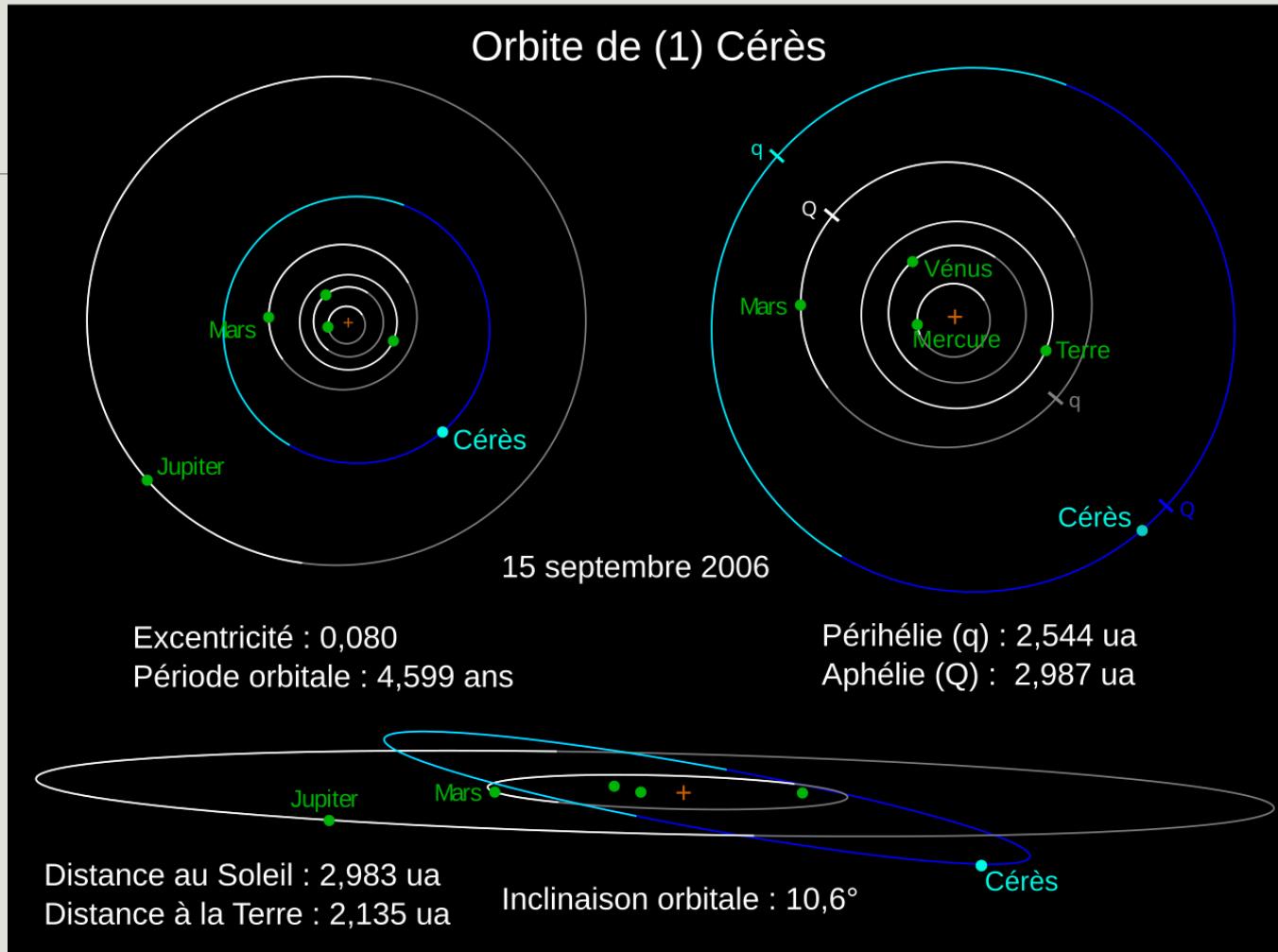
Photo prise par Hubble en
janvier 2004

Observation Cérès par astronome amateur du club

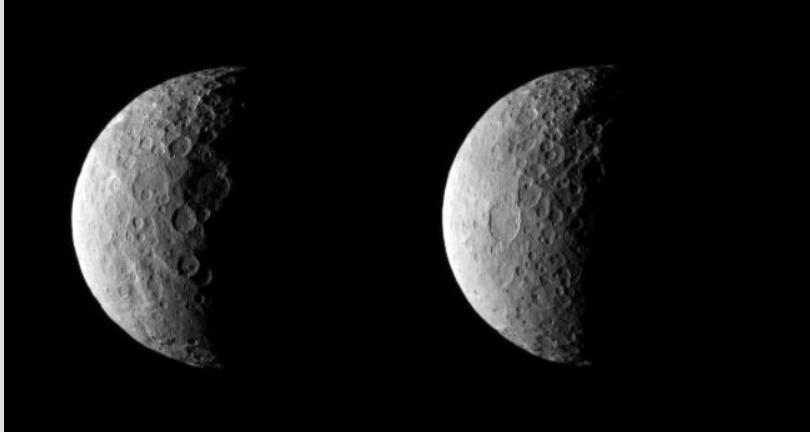


Photo prise avec une lunette 800mm focale

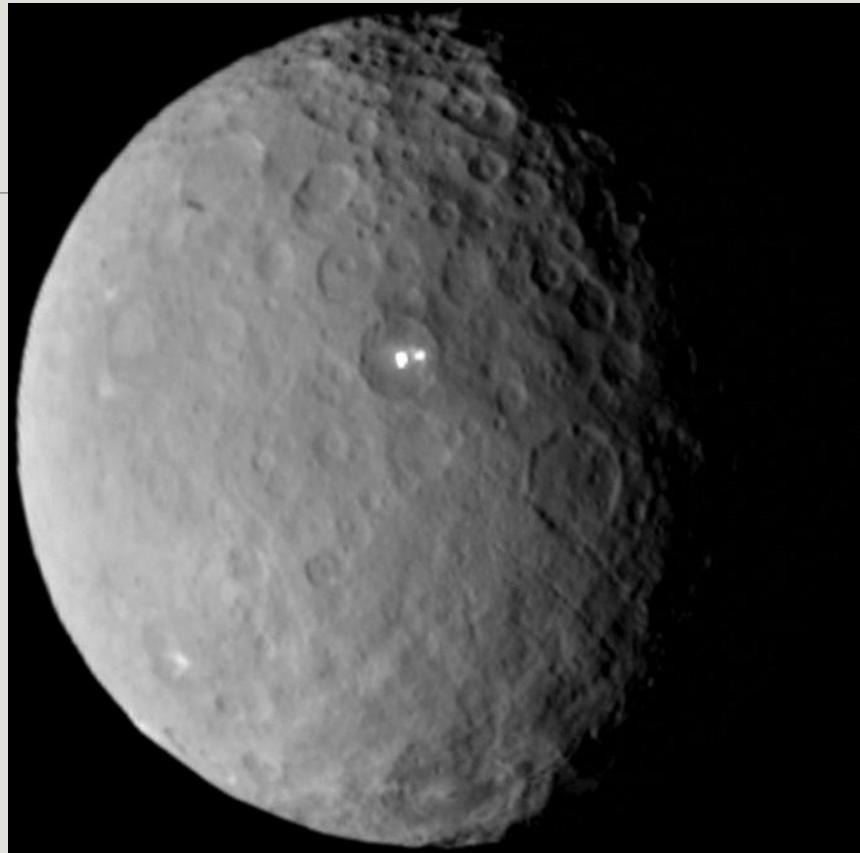
Orbite de (1) Cérès



Sonde DAWN / CERES : planète naine



Cérès tourne autour du Soleil en 4,6 ans



NASA : vidéo prise le 25 février 2015 par la sonde DAWN et diffusée le 11 mars 2015.

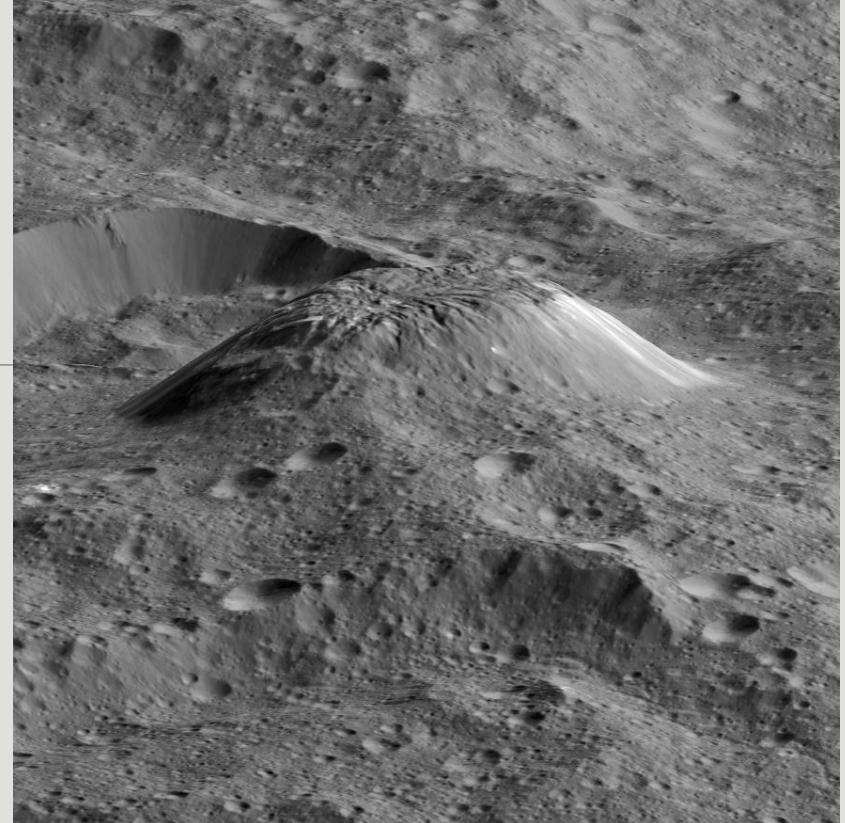
Distance prise de vue 40 000 km. Les taches blanches seraient des dépôts de sel au fond des cratères. A la fin de sa mission, la sonde Dawn a continué de rester en orbite à 200 km autour de Cérès devenant ainsi un satellite de celle-ci.

Sonde DAWN / CERES - planète naine

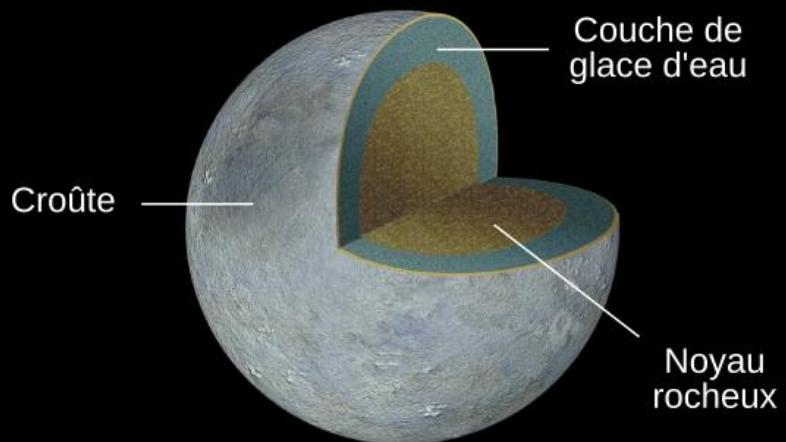
Photo de Ahuna Mons prise par Dawn à 385 km d'altitude en décembre 2015.

Hauteur de cette montagne : 5 km, diamètre 20 km.

Le processus de formation de cette montagne n'est pas clairement établie (cryovolcan ?)

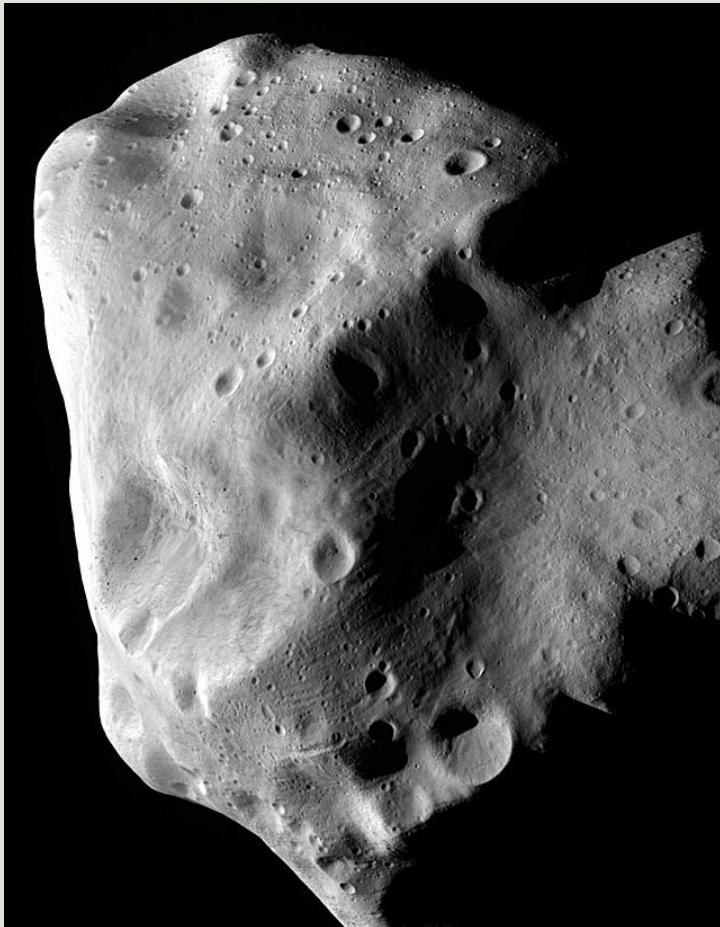


Structure géologique de Cérès



Sonde Rosetta / Astéroïde (21) Lutetia

photographié par Rosetta en route vers la comète Chury



Situé sur la zone intérieure de
la Ceinture Principale

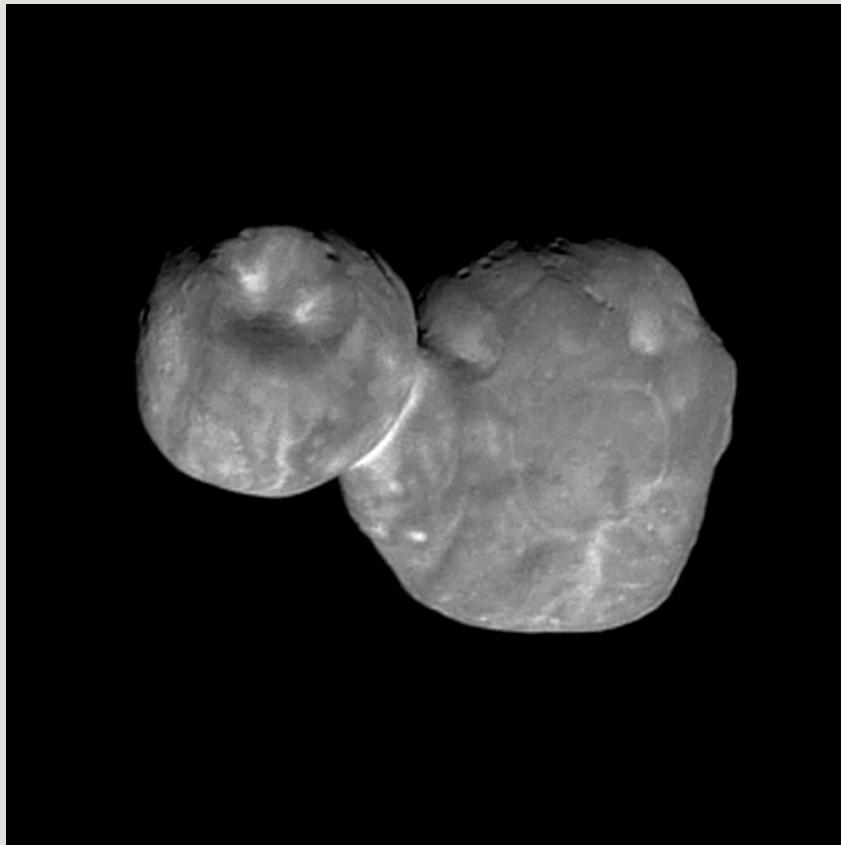
Dim. 121 x 101 x 75 km

Densité 3,4

Type M

De nombreux cratères de toute taille apparaissent à la surface de l'astéroïde sur cette image comptant parmi les vues les plus rapprochées. Rosetta se trouvait alors à seulement 3162 km de l'astéroïde, ce qui lui a permis de saisir des détails de 60m à la surface

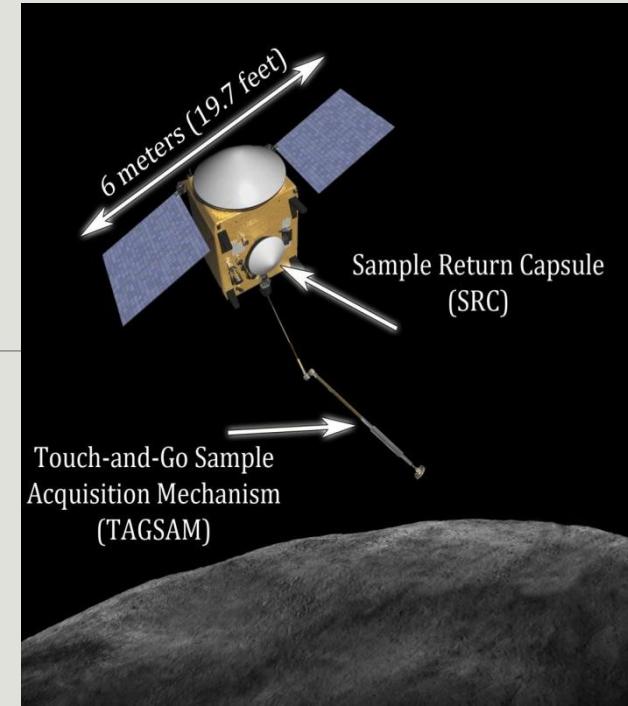
SONDE NEW HORIZONS : (486958) ARROKOTH - OBJET DE LA CEINTURE DE KUIPER



Dans la ceinture de Kuiper situé à 44 ua du soleil, **(486958) Arrokoth**, ‘petit corps binaire à contact’. Longueur maxi 35 km

Photo prise à 6700km le 1^{er} janvier 2019, soit 3 ans et demi après le survol de Pluton

Sonde OSIRIS-REX - NASA



Objectif : récupérer des échantillons de l'astéroïde **(101955) BENNU**

- Lancement de la sonde : 8 septembre 2016
- Arrivée sur site octobre 2018
- 26 octobre 2020, recueil des échantillons
- 24 septembre 2023, récupération de la capsule d'échantillons larguée par la sonde lors de son passage autour de la Terre

Nota : Bennu dénommé Bénou en français

Sonde OSIRIS-REX / Astéroïde Bennu

La surface de Bennu, couverte de rochers



Dimension de l'astéroïde : environ 570 m.
(101955) Bennu, classé complexe C-type B, est supposé riche en carbone
(un élément clé des molécules organiques nécessaire à la vie)

Sonde OSIRIS-REX / Astéroïde Bennu

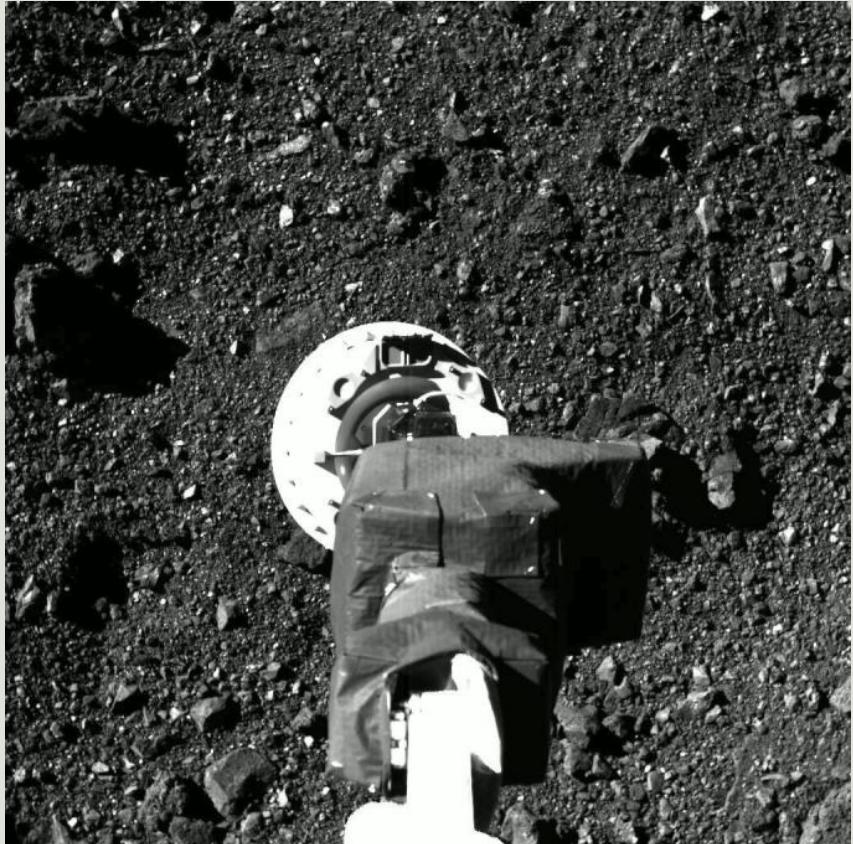


- Ejection épisodique de particules : 11 événements de ce type photographiés entre le 11 janvier et le 8 février 2019, ce qui ajoute Bennu à la douzaine d'astéroïdes actifs connus à ce jour

Sonde Osiris -Rex

La collecte des échantillons du sol de Bennu du 20 octobre : la vidéo est prise à partir du moment où la sonde spatiale n'est plus qu'à 25 mètres du sol jusqu'à son retour à une altitude de 13 mètres (montage des photos prises à un intervalle de 1,25 secondes par la caméra SamCam)

La masse totale de l'échantillon est finalement de 121,6 grammes



La capsule contenant les échantillons de sol de l'astéroïde peu après son atterrissage dans le désert du Polygone de l'Utah 24 septembre 2023. Les vis de la capsule étant grippées, il faut 5 mois pour recueillir les échantillons !.

**Programme d'analyse des échantillons prévus sur 2 ans (en cours actuellement.) : premiers résultats analogues à Ryugu et correspondant aux ‘astéroïdes primitifs’ .
Détails article mag L'Astronomie – Avril 2025 – p.20**

Sonde Osiris - Rex

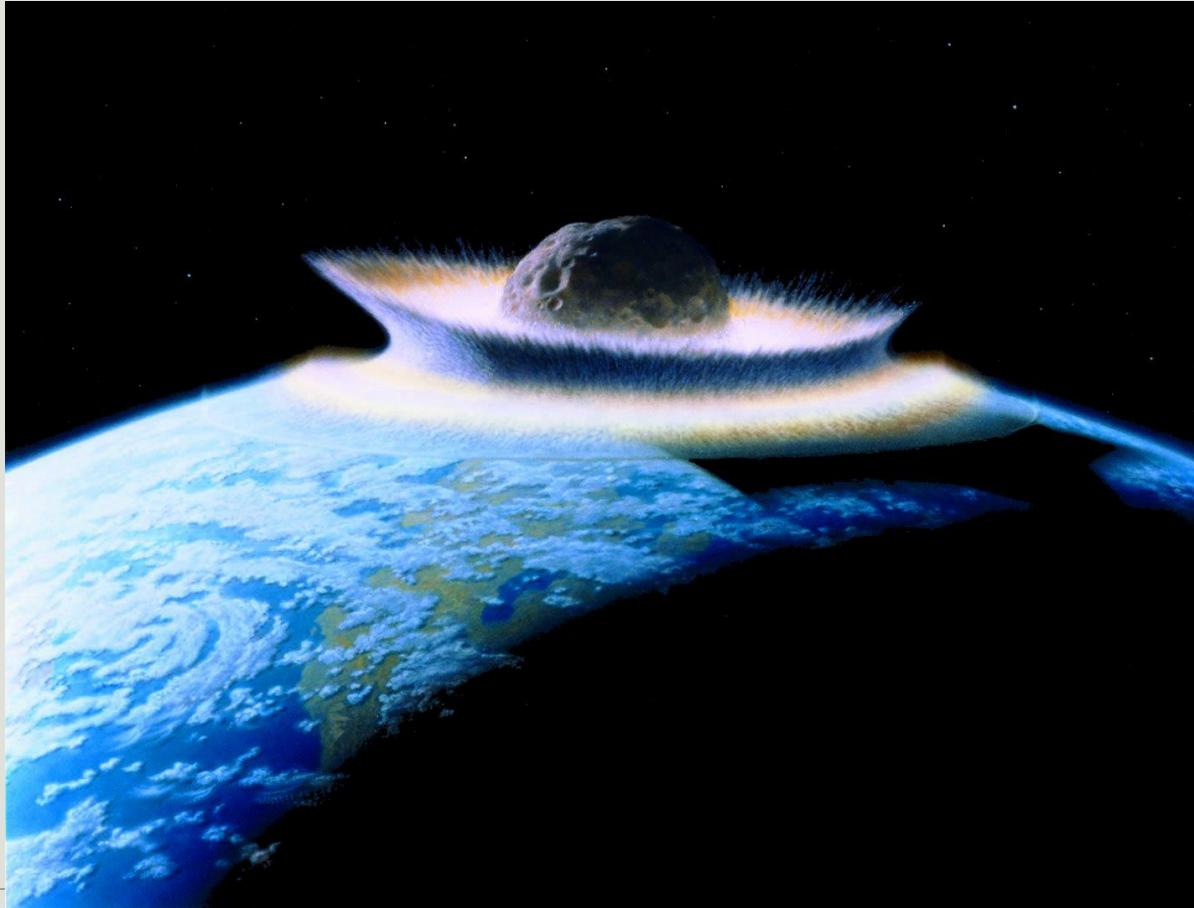
Suite de la mission de la sonde spatiale : l'étude d'Apophis.

La sonde portera le nouveau nom OSIRIS - APEX



(99942) Apophis est un astéroïde géocroiseur qui passera près de la Terre en 2029, à environ 32 000 km de distance (environ un dixième de la distance qui nous sépare de la Lune).

Fin de la 1^{ère} partie



2^{ième} partie

Dangers des astéroïdes

et des comètes ...

Quelques effets visibles

Arizona, Meteor Crater :

Diamètre 1,2 à 1,4 km. Profondeur 190 m. Age env. 50 000 ans (l'un des plus jeunes dans le monde). Impact d'une météorite de 50 m. et de 30 000 tonnes principalement composée de fer et de nickel.

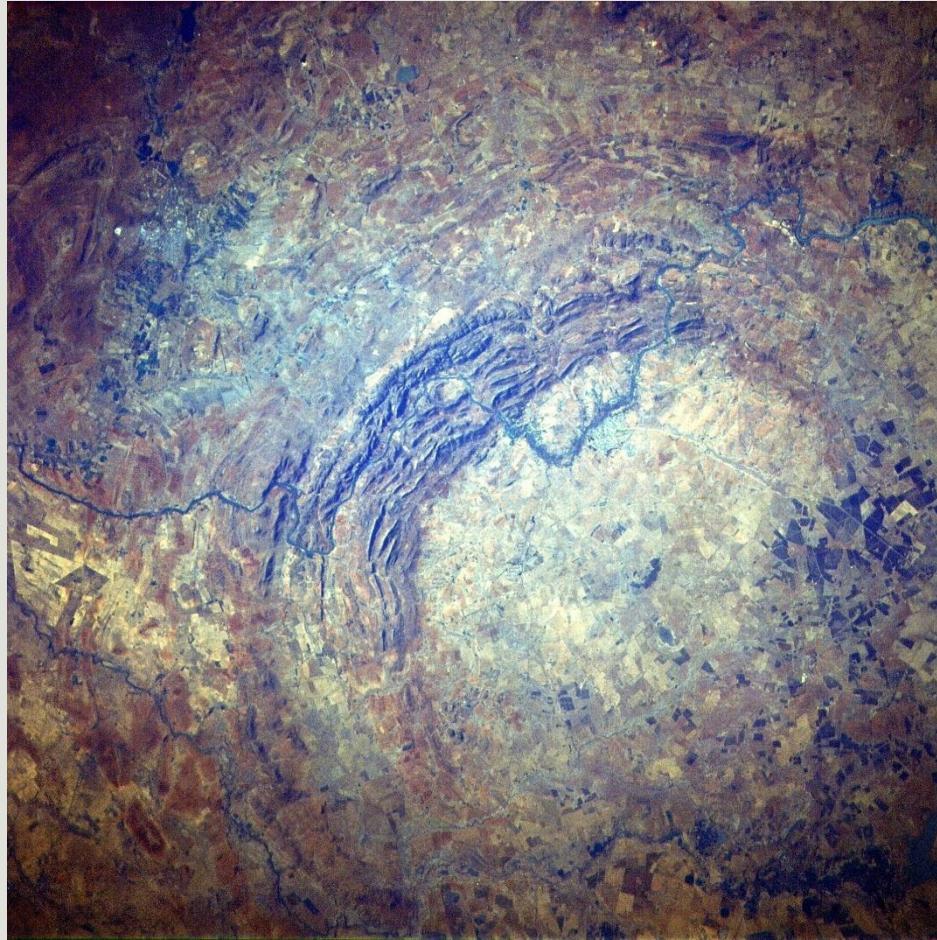


Quelques effets visibles



Cratère des Pingualuit : nord du Québec. Diamètre 3,4 km. Bord de 163m, profondeur du lac 252 m. Age estimé 1.4 millions d'années

Quelques effets visibles



Afrique du Sud, cratère de Vredefort.

Diamètre 300 km, âge estimé 2 milliards d'années . Impact d'un astéroïde de 10 à 15 km.

Quelques effets visibles



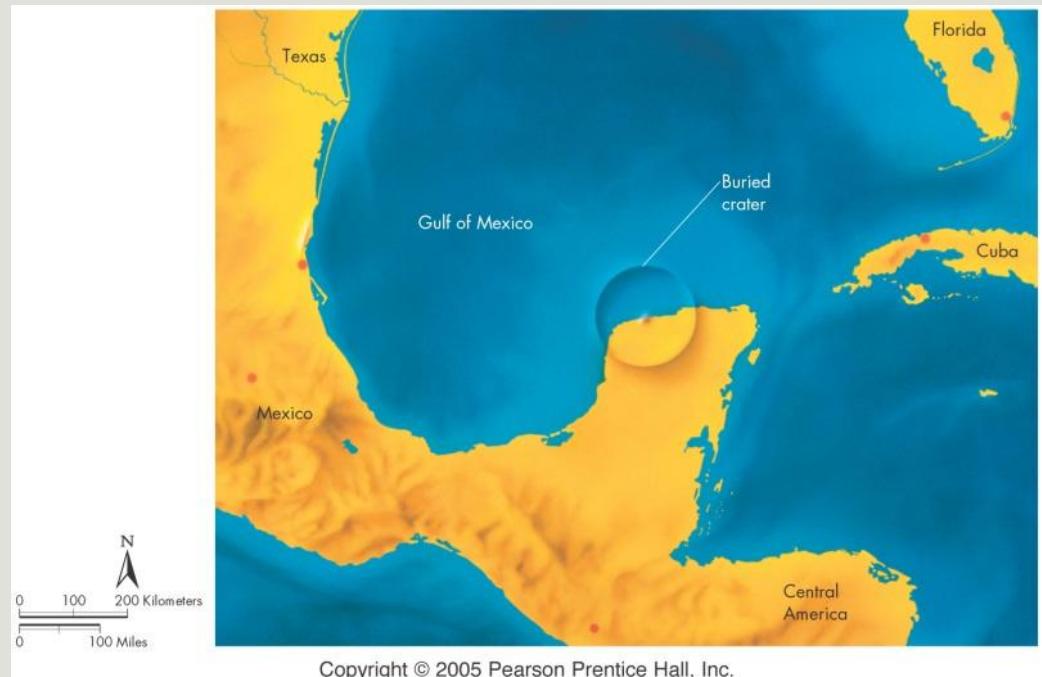
Australie , cratère de Wolfe creek : diamètre 875m, profondeur 60 m.

Hypothèse : impact d'une météorite d'environ 50 000 tonnes tombée il y a env. 300 000 ans



Cratère de Chicxulub :

Cause probable de l'extinction des dinosaures du Crétacé, il y a 66 millions d'années



Le cratère situé dans le nord de la province du Yucatan au Mexique a un diamètre d'environ 180 km. Il est masqué par l'érosion et par une importante couche de sédiment

La plus grosse explosion connue de l'histoire humaine : Russie / Toungouska en 1908



Le 30 juin 1908 à 7 heure , une énorme boule de feu visible de l'ouest de la Chine à la Russie centrale a traversé le ciel nocturne en faisant un bruit assourdissant. 2000 km² de forêt sont détruits

Cause probable : explosion atmosphérique d'un astéroïde de 50 à 60m à une altitude estimée de 5 à 10 km

2013 : Tcheliabinsk en Russie / Chute d'un bolide



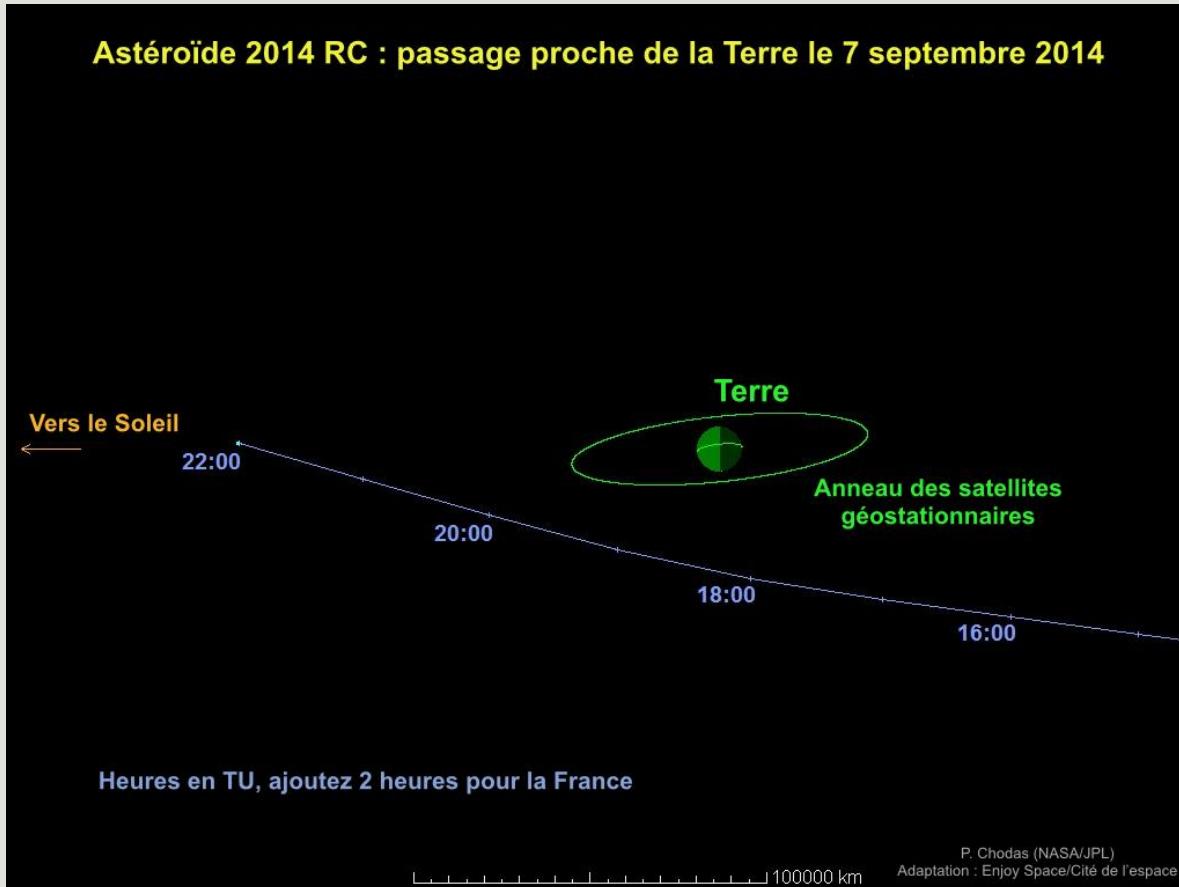
Le 15 février 2013, vers 9h20, un bolide (météore de grande taille) d'un diamètre de 15 à 17m , et d'une masse 12 000 tonnes est entré dans l'atmosphère au dessus de la Sibérie à une vitesse estimée de 19km/s.

Il s'est fragmenté au dessus de la ville de **Tcheliabinsk**. Des milliers de personnes ont été blessés par l'onde de choc, notamment par les innombrables éclats de vitres



Actualités 2014 : Un astéroïde passe près de la Terre

Dimanche 7 septembre 2014 à 18h18 TU (20h18 en France), le petit astéroïde « **2014 RC** », de 20 m de large environ passe à 40 000 km de notre planète. (= 10% distance Terre Lune)
DéTECTé le 31 août par un télescope de surveillance automatique.,

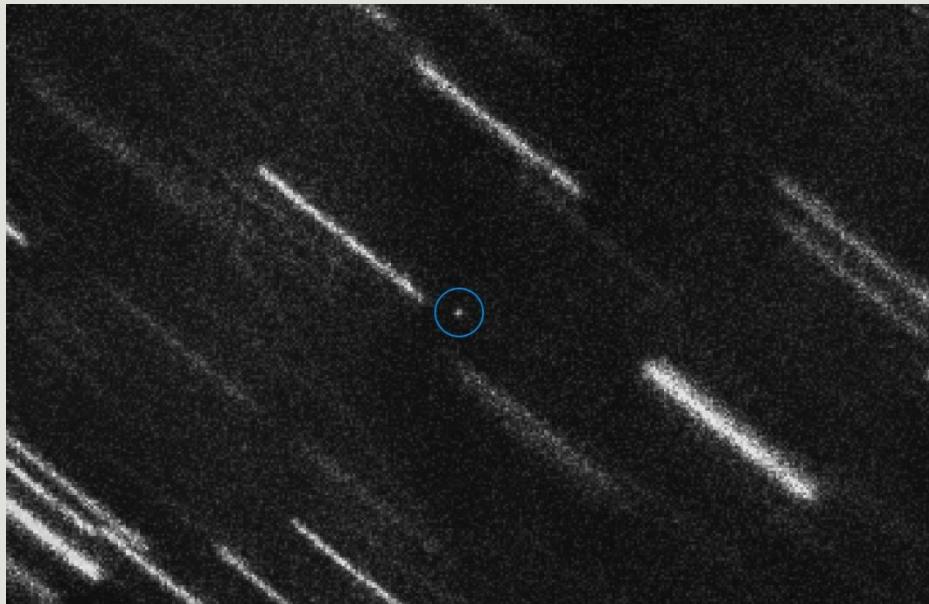


Astéroïde Apollo type S
découvert par Pan-Starrs

Actualités 2017 : Un astéroïde passe près de la Terre

Le 12 octobre 2017, l'astéroïde géocroiseur de type Apollo **2012 TC4** est passé près de la Terre à une distance de 50 150 km. Il a été découvert en 2012 par l'observatoire Pan-STARRS à Hawaï.

Dimension estimé 10 à 12 m. période de révolution 609 jours



C'est le point sur l'image .
Observatoire ESO – 10/08/2017

Actualités 2024 : ‘2024 YR24’, un nouveau géocroiseur est détecté

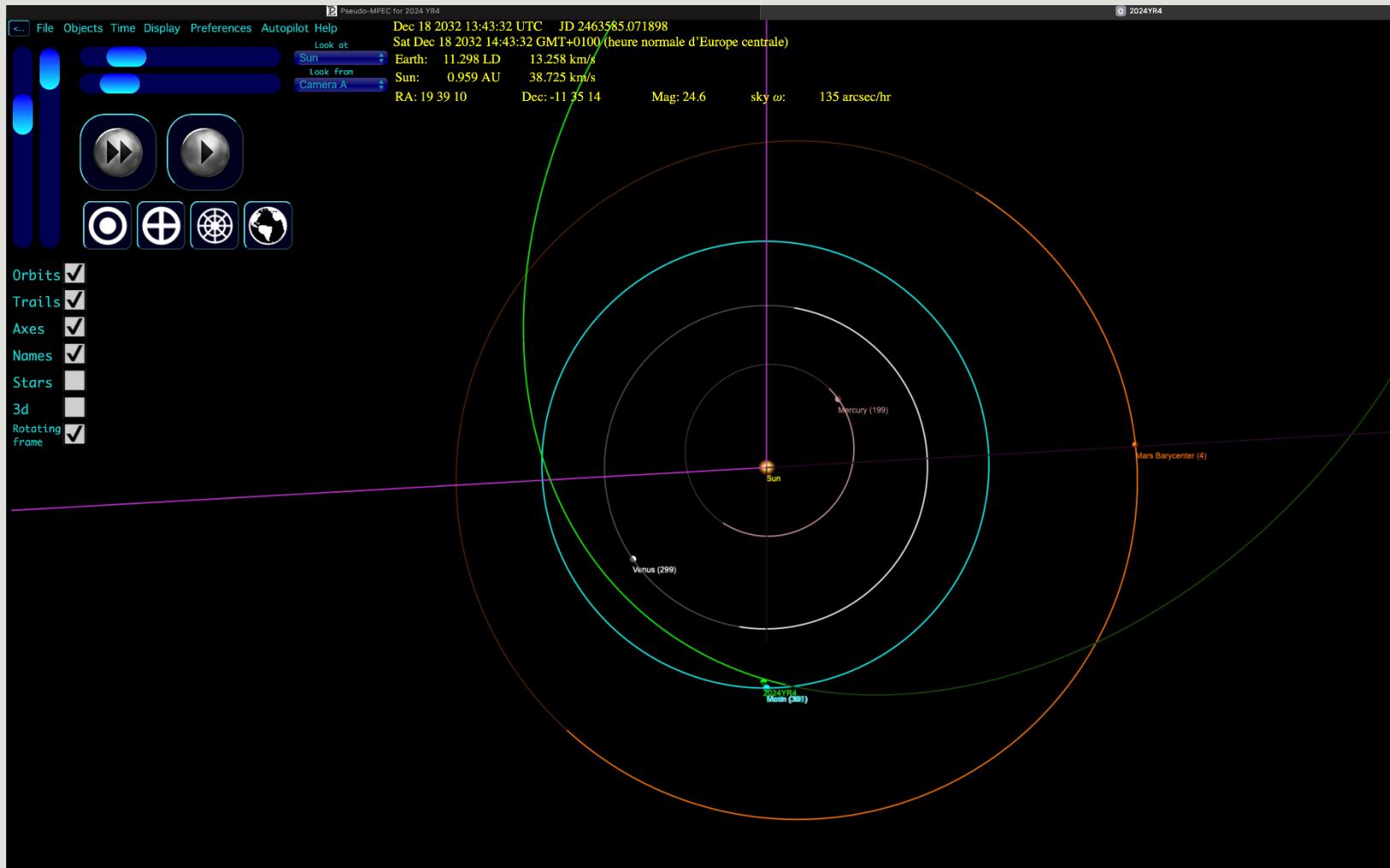
Article paru en février 2025 :

« *Le géocroiseur 2024 YR24 a été découvert le 27 décembre 2024 par l’observatoire ATLAS financé par la NASA au Chili. Cet astéroïde de 40 à 100 m de diamètre présentait initialement une probabilité de 2% de percuter la Terre le 22 décembre 2032.*

Après de nombreuses observations et correction d’orbite , la Nasa réduit le risque () à 0,005% et même à 0,001% pour l’ESA.... »*

() nota : Le journaliste a confondu ici risque et probabilité . Il s’agit ici de probabilité . La notion de niveau de risque sera évoquée par la suite .*

Position calculée de '2024 YR24' en décembre 2032



Ses paramètres orbitaux seront reprécisés lors de son passage près de la Terre en 2028



Actualités : Un astéroïde passe près de la Terre etc.etc... !!!



2024 YR24 : article de presse récent !
Ciel & Espace octobre – novembre 2025

2032 : ET SI UN ASTÉROÏDE FRAPPAIT LA LUNE ?

Il a d'abord attiré l'attention pour son risque, certes faible, de heurter la Terre fin 2032. Sa trajectoire a été affinée, les barres d'erreurs revues, et c'est désormais la Lune qui a une petite chance de recevoir la visite de l'astéroïde 2024 YR4.

Mathis De Géa

Et pour sensibiliser le public ...

Journée mondiale des astéroïdes démarrée en 2015:

Fixée le **30 juin** de chaque année pour marquer le plus grand impact enregistré d'un astéroïde dans l'histoire récente à savoir l'événement de Toungounsko en Sibérie

(évoqué précédemment dans cet exposé)



Et une application pour smartphone : ' NEO ASTEROID TRACKER '

En anglais, alimenté par la NASA

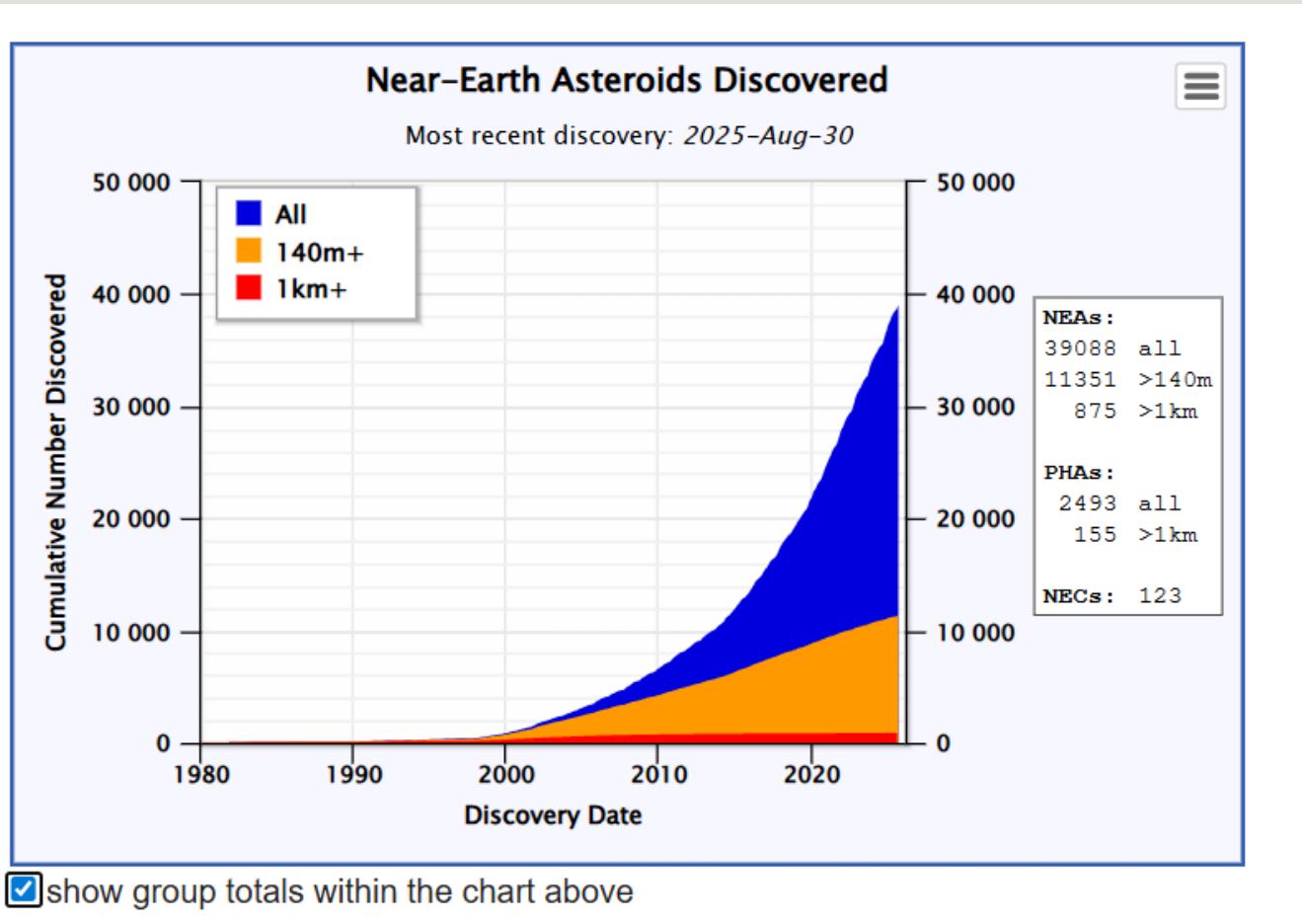


NEO - Asteroid Tracker: Real-Time Asteroid Tracking

Explore space from your phone with NEO - Asteroid Tracker, the app that lets you track asteroids approaching Earth in real-time. Powered by NASA data, stay informed about near-Earth objects (NEOs) and get the latest updates from CNEOS (Center for Near-Earth Object Studies).

...

Recensement des astéroïdes proches (NEA) : un travail relativement récent essentiellement assuré par la NASA !



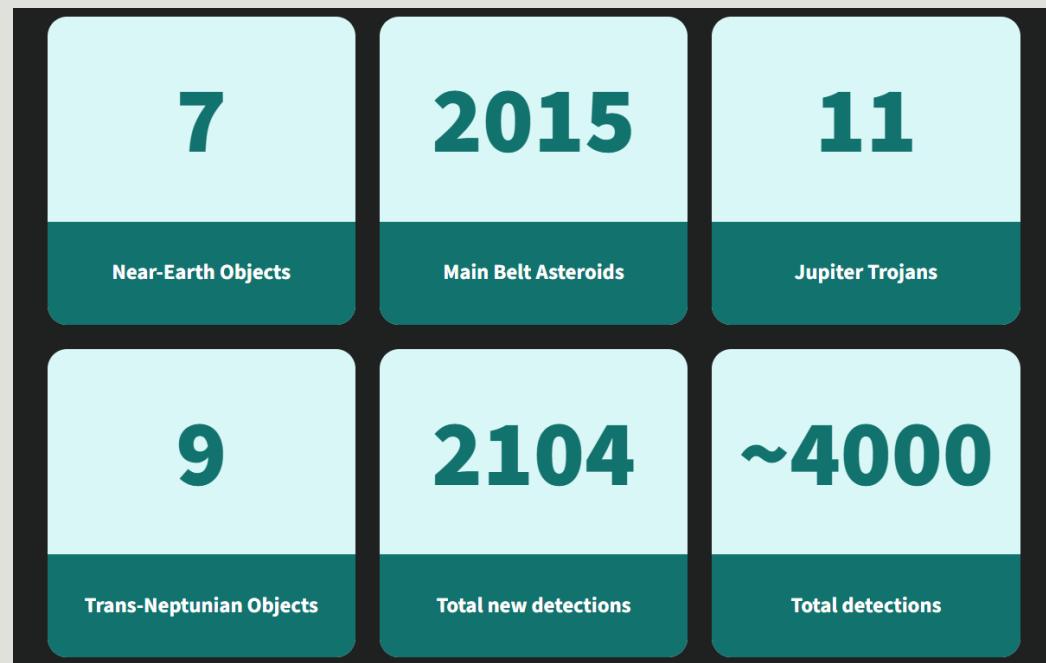
Et notamment actuellement par les télescopes : Pan-Starrs à Hawaii, Catalina en Arizona, le réseau ATLAS (Hawaii, Chili, Afrique du sud). (*Le satellite Neowise a fini sa mission en juillet 2024*)

Réf.: <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>

Recensement des Astéroïdes proches (NEA) : Vera Rubin observatory

Vidéo : <https://rubinobservatory.org/news/rubin-first-look/swarm-asteroids>

Juin 2025 : Les premières lumières du nouvel Observatoire **NSF-DOE Vera Rubin** ont montré sa grande capacité à détecter des petits objets orbitant autour du soleil et notamment des astéroïdes. En quelques nuits, il a détecté :



Ce télescope comporte une caméra de 3 200 mégapixels ! et couvre un champ de 3,5°

Recensement des Astéroïdes : le projet MAP une équipe française autour de Alain MAURY !

On 2022's list of the [top five asteroid hunters in the world](#), it's no surprise the top four spots are filled by multimillion-dollar NASA-funded projects. But coming in at number five is a trio of amateurs, Alain Maury, Georges Attard and Daniel Parrott. Maury is a retired engineer and astronomer who moved to Chile from France to better pursue his passion for stargazing. He runs 'star tours' to the Atacama Desert, allowing visitors access to his high-powered telescopes and their window onto the dazzling southern skies.

Extrait magazine américain 360info.org - june 30 2022

Après les grands organismes américains associé à la NASA, des équipes d'astronomes indépendants traquent les astéroïdes dont l'équipe française du MAPS

Découvrir des astéroïdes avec Tycho Tracker Le projet MAPS

Réf. conférence 2022
SAF de A. Maury

Alain Maury, Jean Marc Mari, Georges Attard, Daniel Parrott, Florian Signoret

Recensement des astéroïdes : projet MAPS

Les télescopes et caméras

- ▶ Pour les découvertes : 2 RASA 11 et 2 Celestron C14 hyperstar équipés de caméras zwo 6200MM (60 mégapixels)



Tycho Tracker - Société Astronomique de France - 3 Décembre 2023



Matériel en 2022,
amélioré depuis

<= Alain MAURY

Moyens :

équipe de 5 personnes : astronomes et informaticiens
4 télescopes basés au Chili
Ordinateurs et GPU NVIDIA "puissants"
Et surtout le logiciel 'Tycho Tracker'

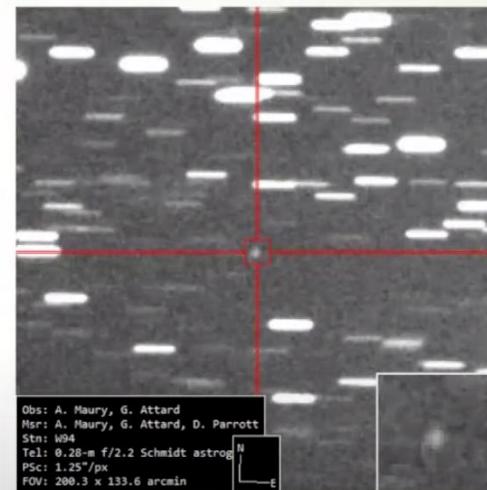
Recensement des astéroïdes : projet MAPS

Conférence "Découvrir des astéroïdes avec Tycho Tracker, le projet MAPS"



Comment ça marche...

- ▶ On réalise plusieurs dizaines d'images en succession du même champ avec des temps de pose courts.
- ▶ Après prétraitement et recentrage, on fait une série d'addition en déplaçant les images avec une vitesse et avec un angle donné.
- ▶ Comme lorsque l'on recherche de nouveaux astéroïdes, on ne connaît ni la vitesse ni l'angle de déplacement, on fait... 30000 additions avec toutes les options possibles
- ▶ Quand le logiciel trouve une source ponctuelle, il a détecté un astéroïde...



Recensement des astéroïdes par le projet MAPS

Les résultats

Conférence "Découvrir des astéroïdes avec Tycho-Tracker, le projet MAPS"

- ▶ 200 géocroiseurs, 5 comètes et plusieurs dizaines d'astéroïdes normaux.

Astéroïdes géocroiseurs et comètes découvertes par MAPS au 23 Novembre 2023

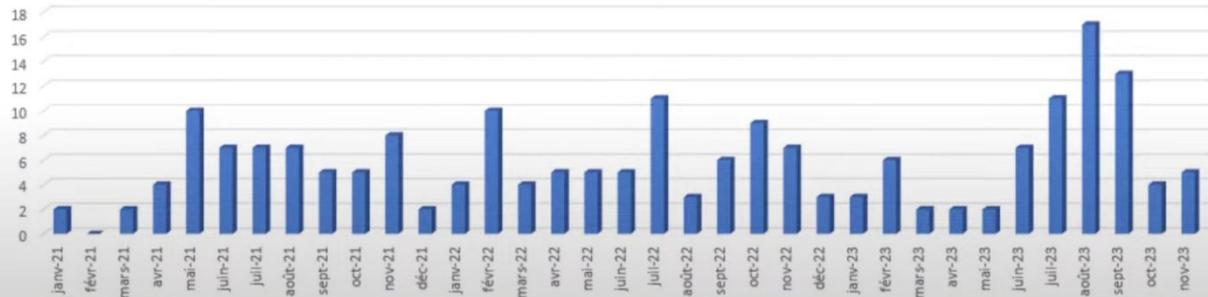


Tableau actualisé des découvertes par découvreurs du Minor Planet Center : voir
<https://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/YearlyBreakdown.html>

Le projet MAPS est référencé W94

Recensement global des astéroïdes proches (NEA) : bilan

Near-Earth Asteroids

<u>Near-Earth Asteroids</u>	39206
<u>1+ KM Near-Earth Asteroids</u>	866
<u>Potentially Hazardous Asteroids</u>	2508

*Bilan au 10/09/2025
Définition PHA ci-après*

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

Identification du risque



Parmi les géocroiseurs (Near Earth Asteroids – NEA en anglais) , on examine plus particulièrement les Astéroïdes Potentiellement Dangereux , en anglais Potentially Hazardous Asteroids (PHA)

Nota : le terme français astéroïdes géocroiseurs est assez mal défini, il correspond parfois aux NHA, et parfois exclusivement à l'ensemble des familles Apollon et Aton => on privilégiera les termes anglais dans la suite de l'exposé car ils sont utilisés par la communauté des astronomes professionnels

Identification du risque



(3200) Phaeton : 5,8 km

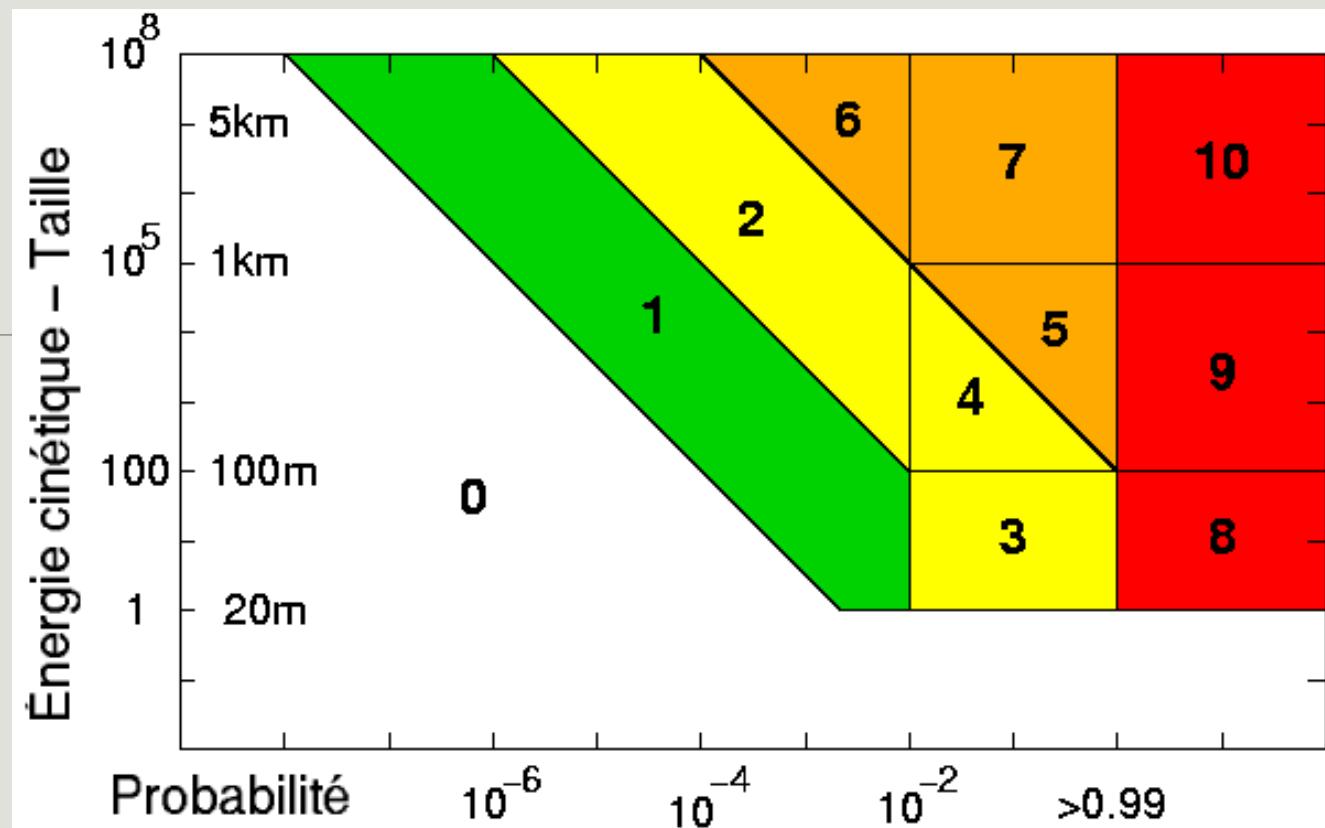
Définition des Astéroïdes Potentiellement Dangereux (PHA):

- La distance minimale à l'orbite terrestre est $\leq 0,05$ UA
(soit 7 480 000 km ou ~ 20 distances lunaires)
- Le diamètre est ≥ 150 m

On en dénombre 2 508 en septembre 2025 (1 786 en mars 2017 !)

Risque impact d'un objet géocroiseur : l'échelle de Turin notée de 0 à 10

Risque =
Probabilité ⊗ Gravité



Evénement sans conséquences réelles	0	L'objet est trop petit pour atteindre la surface de la Terre ou bien la probabilité de collision est près de zéro.
Evénement à surveiller	1	La probabilité de collision est très faible, du même ordre que celle d'un objet non détecté.
	2	La probabilité de collision est très faible mais pas nulle avec des dégâts très limités en cas de collision.
Evénement nécessitant des précautions	3	La probabilité de collision est de l'ordre de 1% avec des dégâts qui restent très localisés.
	4	La probabilité de collision est de l'ordre de 1% avec dégâts importants mais localisés.
Impact très probable et dangereux	5	Probabilité importante de destructions restant localisées.
	6	La probabilité de catastrophe générale est grande.
	7	La probabilité de catastrophe générale est très grande.
Catastrophe sûre et très importante	8	Collision avec destructions localisées. Probabilité: tous les 50 à 1000 ans.
	9	Collision capable de détruire une partie de la surface terrestre. Probabilité: tous les 1000 à 100 000 ans.
	10	Collision capable de provoquer une catastrophe climatique pour toute la Terre. Probabilité: tous les 100 000 ans.

Niveau de risque : exemple astéroïde ‘2024 YR4’

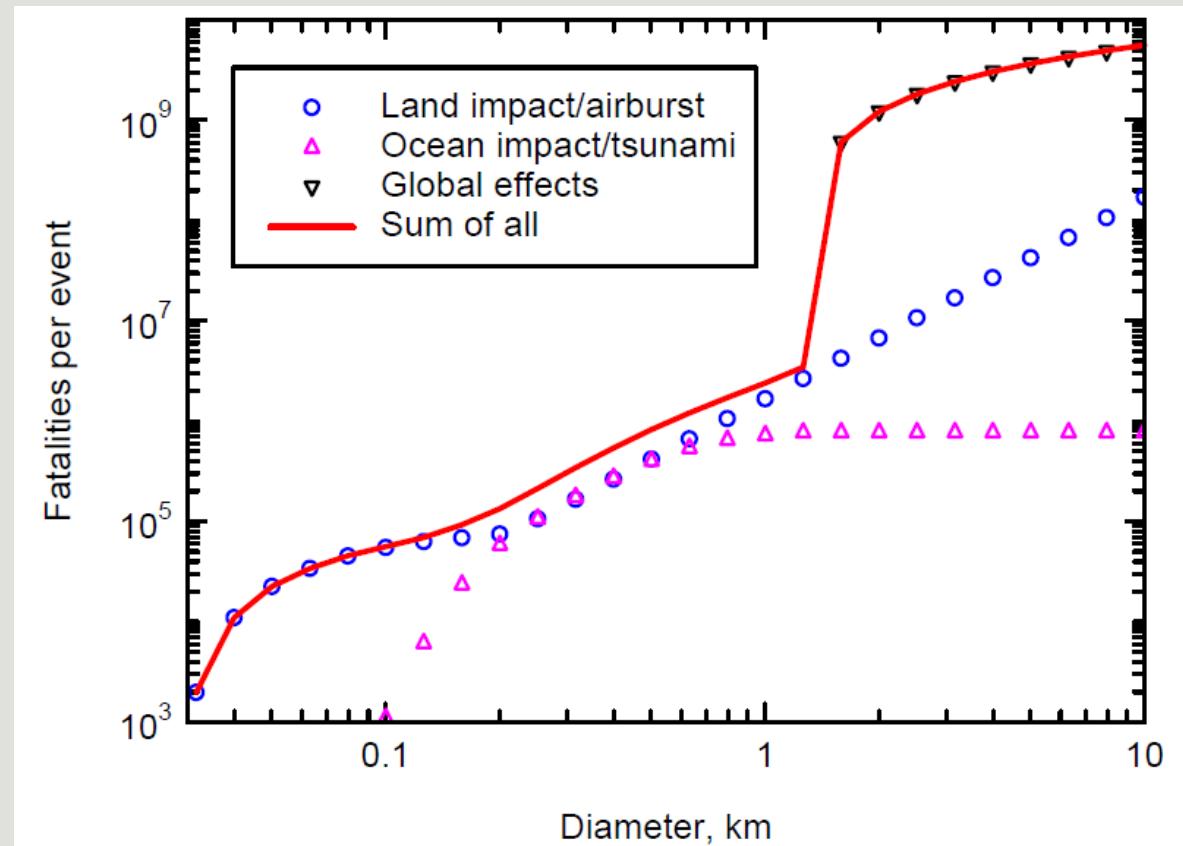
Dimension : 40 à 90 m

En février 2025, seulement un objet possède un niveau non nul :

- Niveau 3 : 2024 YR₄

Le 5 février 2025, l'astéroïde 2024 YR4 a été haussé au niveau de 3 de l'échelle de Turin avec une probabilité de collision avec la Terre de 2,8%. Ce taux est réévalué quelques jours plus tard à 0,001% et l'astéroïde est donc rétrogradé au Niveau 0⁴.

Estimation effet impact d'un astéroïde en fonction de son diamètre



Model of fatalities per event for impacts of various size NEOs.

Etude protections contre la collision d'un astéroïde

Protection contre la collision (1) : tracteur gravitationnel

JP Luminet : « La méthode qui me semble la plus sérieuse, notamment parce qu'elle est indépendante de la composition et de la solidité d'un astéroïde, est celle du **tracteur gravitationnel**. (Gravity tractor en anglais)

Dans le cas d'un astéroïde comme Apophis, par exemple, un vaisseau spatial d'une tonne proche de sa surface exercerait sur celui-ci une attraction gravitationnelle suffisante pour qu'un changement de la trajectoire du vaisseau change aussi celle de l'astéroïde, grâce à de simples moteurs ioniques fonctionnant à l'énergie solaire.

Cette méthode est l'une des trois envisagées par le programme européen d'étude baptisé **NEOSHIELD** avec une coopération internationale

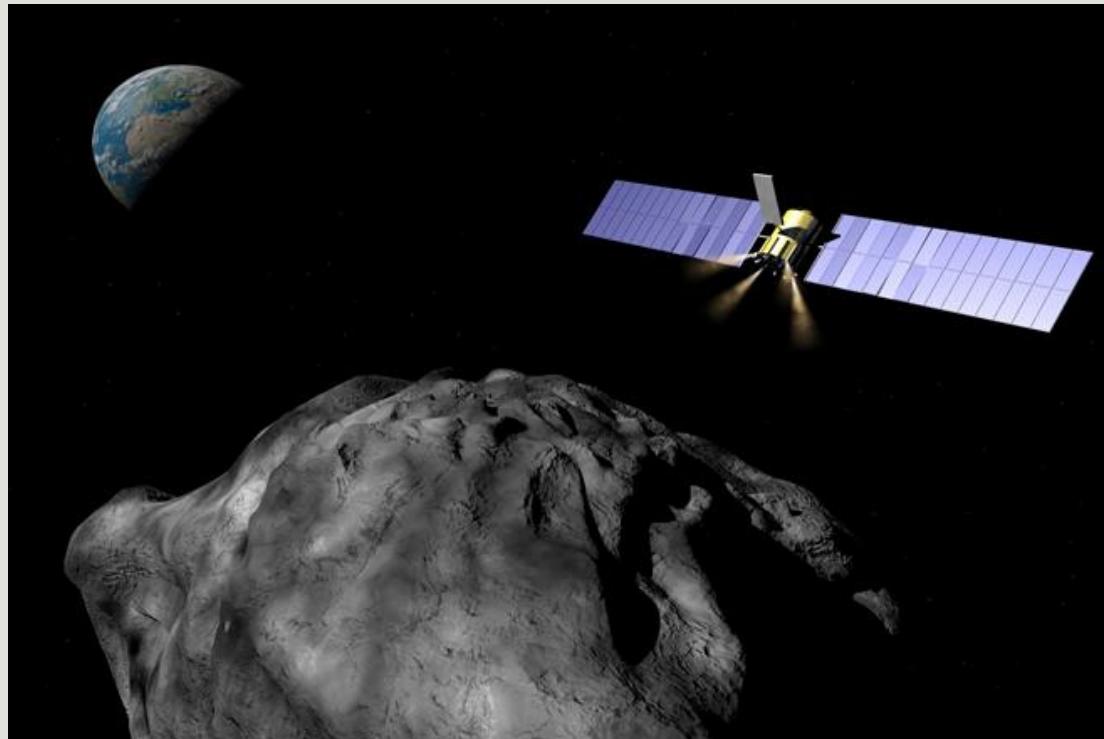
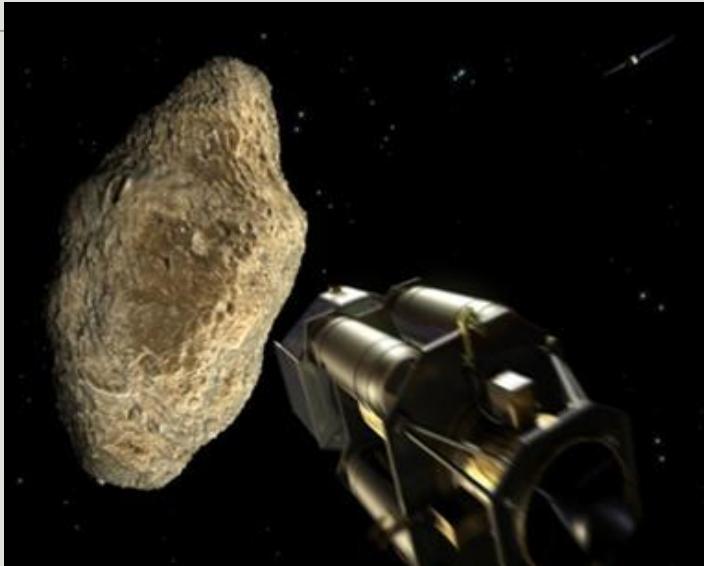
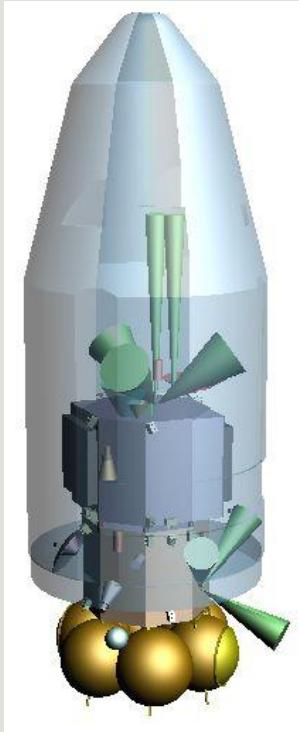


Image Airbus Defence and Space / gravity tractor

Protection (2): l'impacteur cinétique



Images Astrium



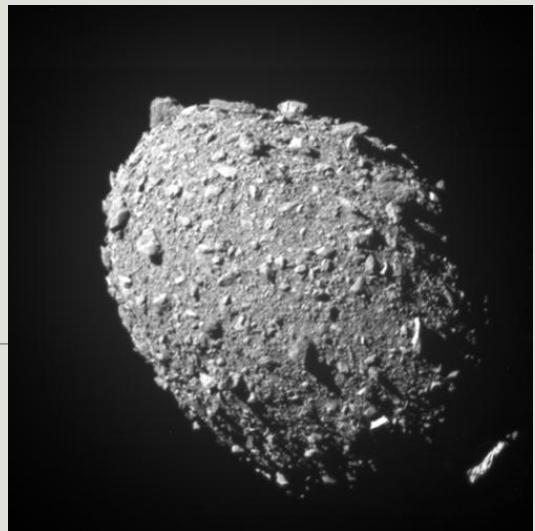
Principe : un véhicule est envoyé à grande vitesse contre l'astéroïde en approche, pour provoquer une impulsion, certes infime, mais suffisante pour le dévier de sa trajectoire initiale et éviter la collision avec la Terre.

Exemple : mission de la sonde DART de la NASA réalisée en 2022 sur Dimorphos

Exemple impacteur : la mission sonde DART

Et son complément la mission HERA

Photo de Dimorphos / NASA



Date lancement	Noms	Nations	Cibles	Date arrivée	Fin mission	Remarques/ objectif principal
2021	Dart	USA	Impact astéroïde Dimorphos	2022	2022	tester méthode pour dévier un astéroïde. Impact réussi le 26 septembre 2022 :sonde de 550kg lancée à 6,58km/s. Dimorphos, diam. 160 m, est un satellite de Didymos (géocroiseur type Apollon diam. 800m)
07/10/2024	Hera	Europe	Astéroïde Dimorphos	fin 2026	/	Hera est chargé de mesurer l'impact créé par la sonde Dart sur Dimorphos (forme, morphologie, qu de mouvement acquise)

Exemple impacteur : la mission sonde DART

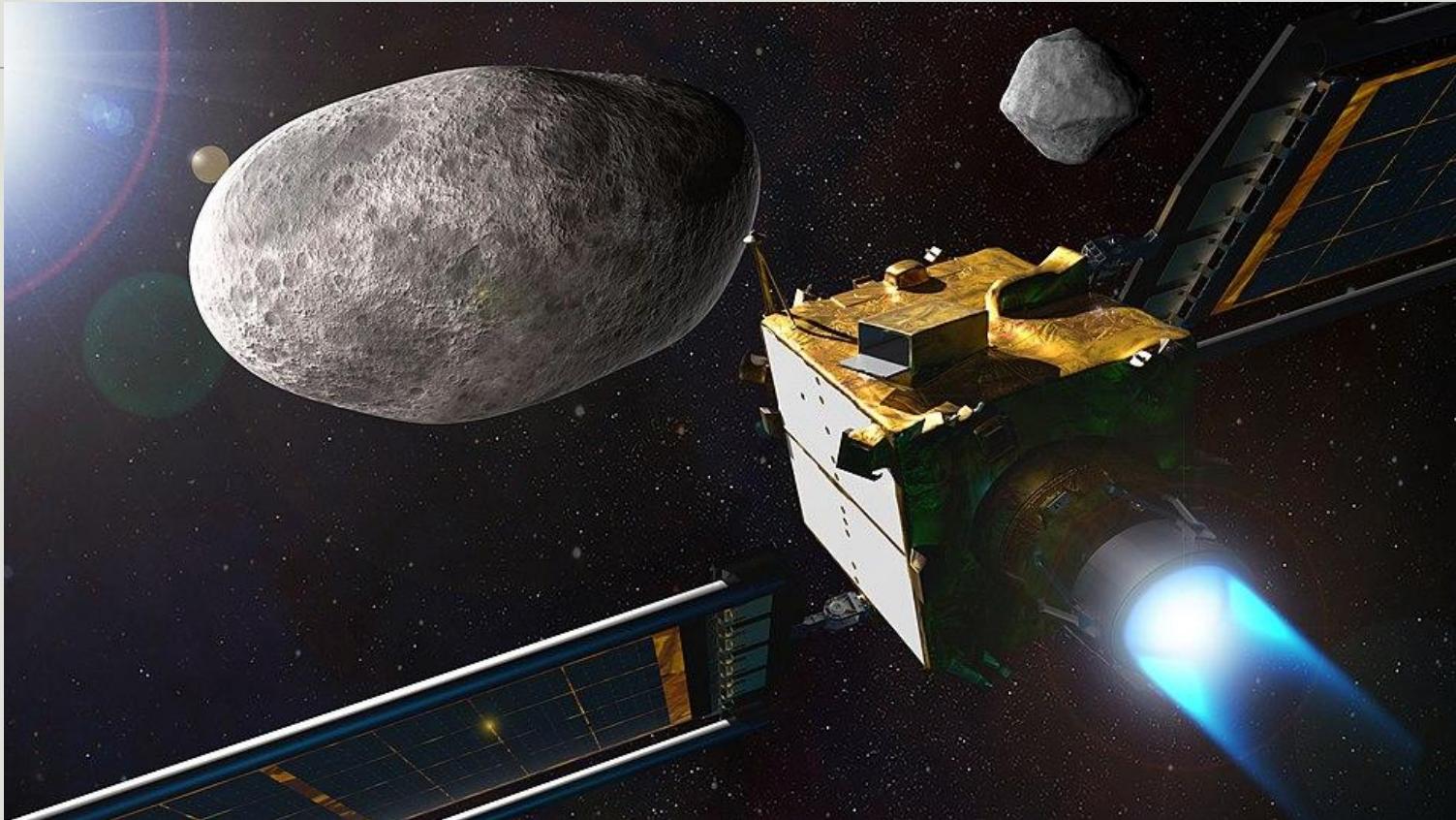


Image d'artiste / NASA : la sonde avant son impact sur Dimorphos

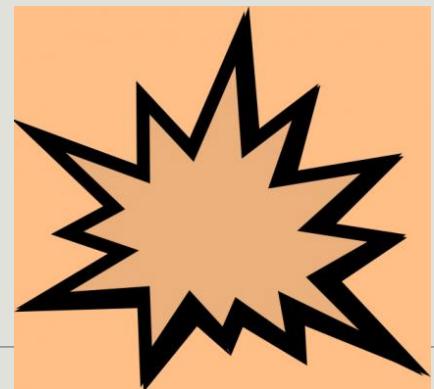
Exemple impacteur : la mission sonde DART

https://youtu.be/N-OvnVdZP_8



Vidéo NASA : mouvement de la sonde avant son impact

Protection (3) : ‘ Blast deflection ’



Solution considérée mais plus controversée

(et conception moins étudiée pour l'instant sauf à Hollywood ! Cf Film Armageddon)



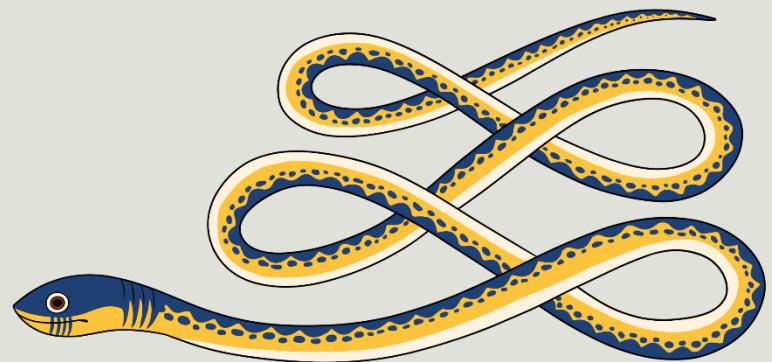
Un géocroiseur notable (99942) Apophis

-
- DÉFINITION REPÈRE DE RÉFÉRENCE ET PARAMÈTRES ORBITAUX D'UN ASTÉROÏDE
 - ORBITE D'APOPHIS ET APPROCHE EN 2029

(99942) APOPHIS



Vue d'artiste d'Apophis.



Apophis – Dieu
égyptien du chaos

Le vendredi 13 avril 2029, Apophis, dans son orbite elliptique autour du soleil, passera à environ 31 600 km de la Terre ! Cette approche va dévier sa trajectoire.
Nota : les satellites géostationnaires sont à une altitude de 36 000km

Évolution du niveau de risque de **(99942) Apophis** (dim. ~325 m)

- Peu après sa découverte en 2014 , la NASA classe le risque de cet astéroïde pour l'année 2029 au niveau 4 sur l'échelle de Turin.
- Les observations ultérieures ont permis de calculer plus précisément son orbite et son risque a été ramené à 0 pour l'année 2029 (estimation erreur sur la distance ± 3 km)
- En avril 2029, en passant près de la Terre, l'astéroïde va prendre une impulsion d'accélération, l'orbite elliptique de l'astéroïde sera modifiée. Son demi-grand axe sera agrandi, de la classe Aten, il passera à la classe Apollo.
- A cette date, son passage sera suivi par de très nombreux observatoires

Prochain passage d'Apophis - application tableau MPC

<https://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/CloseApp.html>

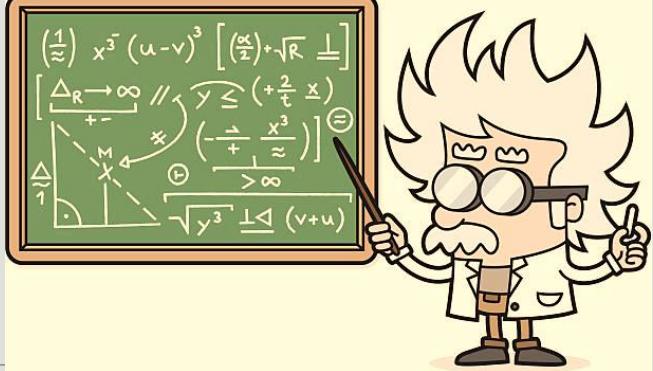
Extrait 2025

Object (and name)	Date of encounter (TT) JD	Date of encounter (TT) Calendar	Distance (AU)	Orbit arc	Reference	Object (and name)
2015 XF261	2462237.42	2029 Apr. 10.92	0.044628	2 oppositions, 2015-2016	E2017-B01	2015 XF261
2008 ES	2462239.98	2029 Apr. 13.48	0.171740	3 oppositions, 2001-2015	E2015-FD9	2008 ES
(99942) Apophis	2462240.40	2029 Apr. 13.90	0.0002644	8 oppositions, 2004-2013	E2013-Q16	(99942) Apophis
2014 GQ17	2462240.92	2029 Apr. 14.42	0.036841	1-opposition, arc = 25 days	E2015-A19	2014 GQ17



Lors de l'approche , l'astéroïde aura une magnitude de 3 , sera visible en Europe avec des jumelles sur une courte période

Apophis : trajectoires au-delà de 2029 ?



- Les résultats des campagnes d'observation de son orbite en 2020-2021 l'on fait sortir du 'Sentry Risk Table'. c'est-à-dire le tableau qui recense les astéroïdes (connus) pouvant percuter la Terre dans les 100 prochaines années .
 - => Consultation du 'Sentry Risk Table ' : <https://cneos.jpl.nasa.gov/sentry/>
 - Résultat du calcul effectué en mars 2021 par le 'CNEOS/Jet Propulsion Laboratory/NASA' notamment avec les données de l'observatoire radar Goldstone de la même année .
-
- Apophis restera pendant des milliers d'années une menace potentielle pour la Terre, à moins d'être capté par Mars ou Vénus...
 - A titre indicatif, en percutant le sol, Apophis pourrait créer un cratère de 5 km

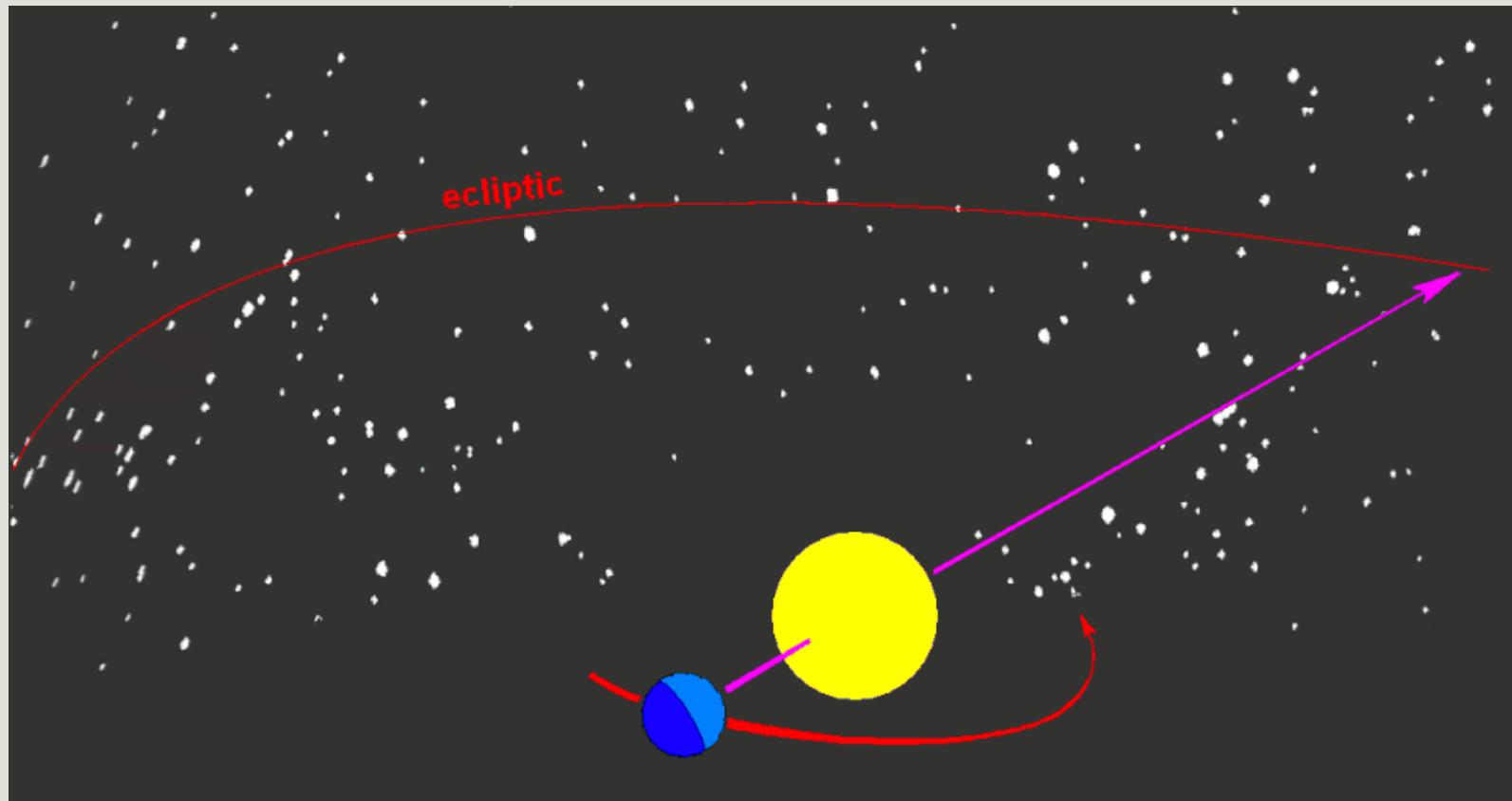
Orbites des astéroïdes

Repère de Référence : Le lieu d'observation est la Terre, cependant les astéroïdes comme les planètes tournent autour du soleil. => On prend donc un ***repère héliocentrique dans le plan de l'écliptique*** pour positionner l'orbite des astéroïdes .

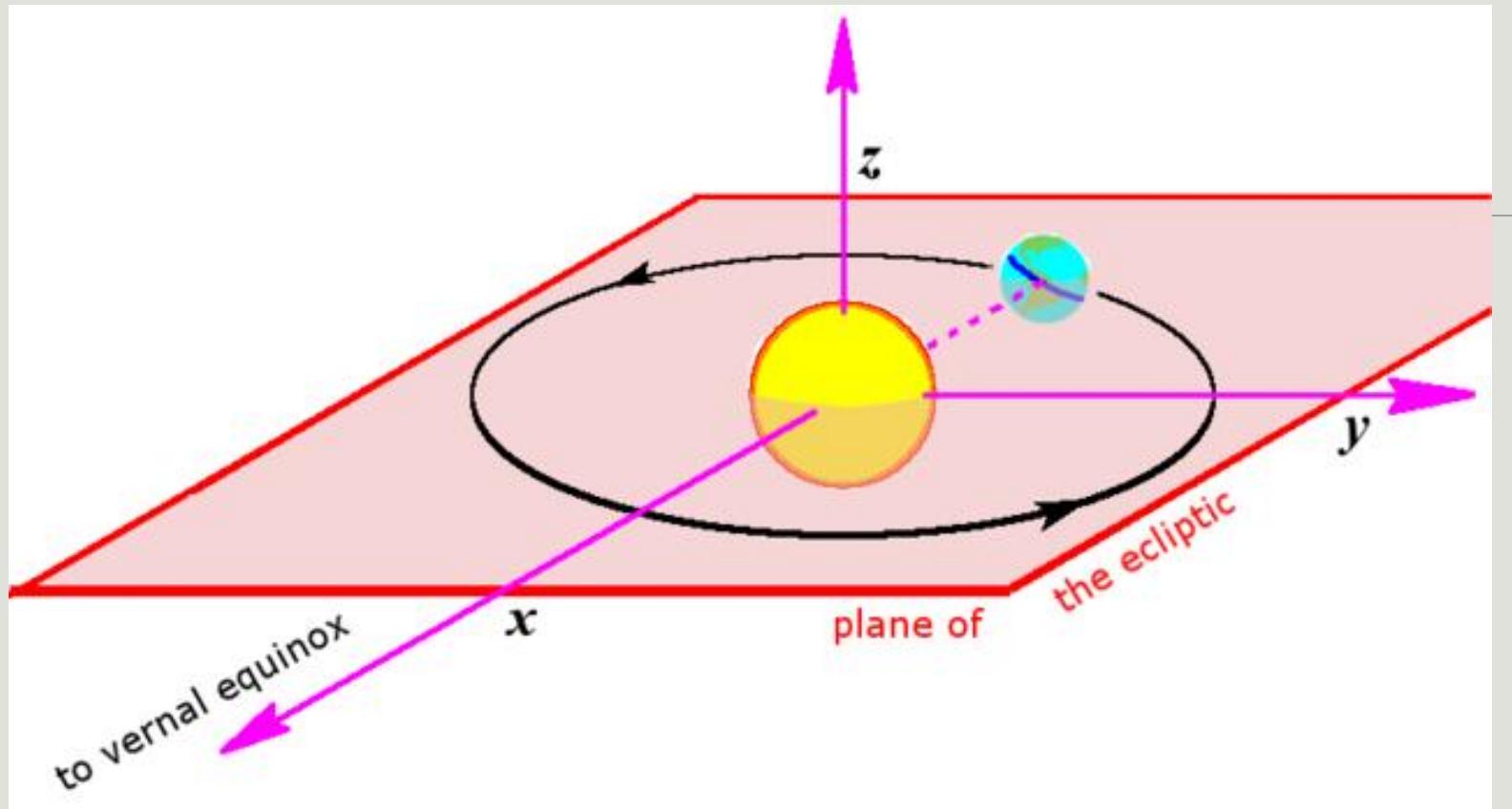
Détermination des orbites : le Soleil est évidemment le corps céleste dominant dans le système solaire. L' orbite d'un astéroïde est principalement déterminée par les lois de gravitation de Newton et les équations képlériennes entre 2 corps : Soleil et astéroïde. L'orbite en question est modifiée si elle croise ***la sphère d'influence*** d'une planète

Explications

Plan de l'écliptique : plan dans lequel s'effectue l'orbite de la Terre autour du Soleil

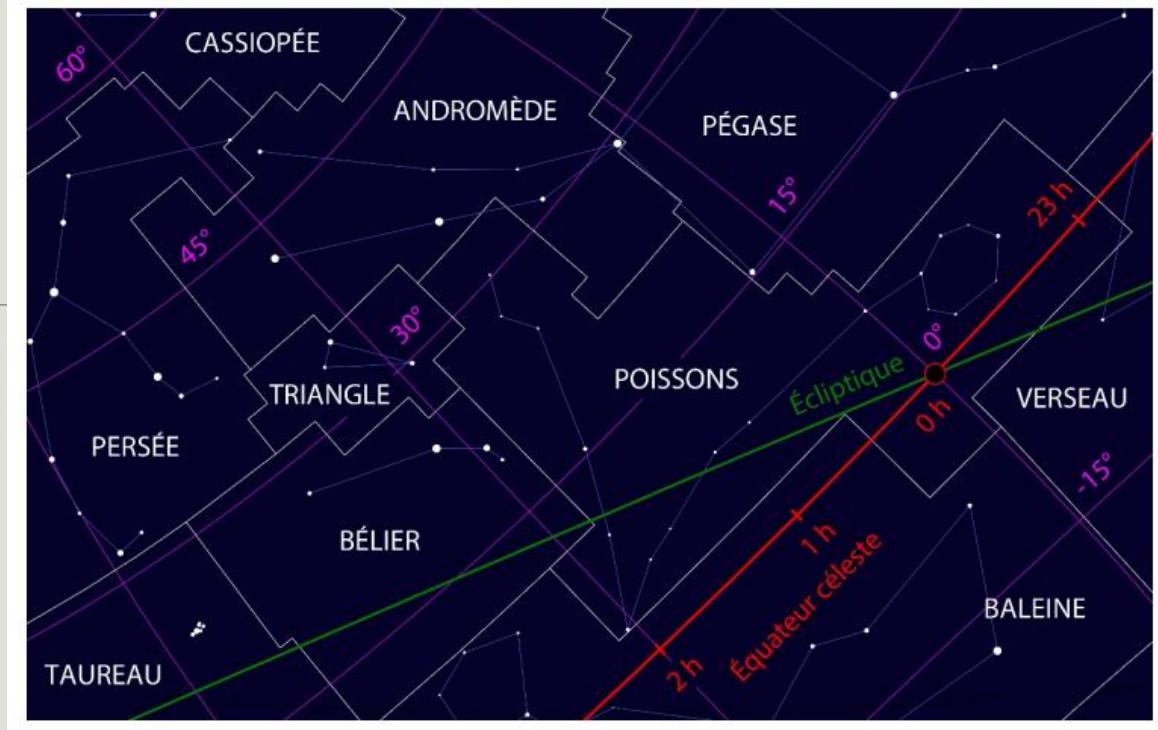


Repère écliptique héliocentrique



Dans ce repère où le Soleil est le centre , on définit un **axe X** : la direction du Soleil vue de la Terre lors de l'équinoxe de printemps (*et plus précisément le point vernal défini par l'intersection de l'équateur céleste et de l'écliptique de l'année 2000*). On déduit ensuite les axes **Y** et **Z**

Point vernal



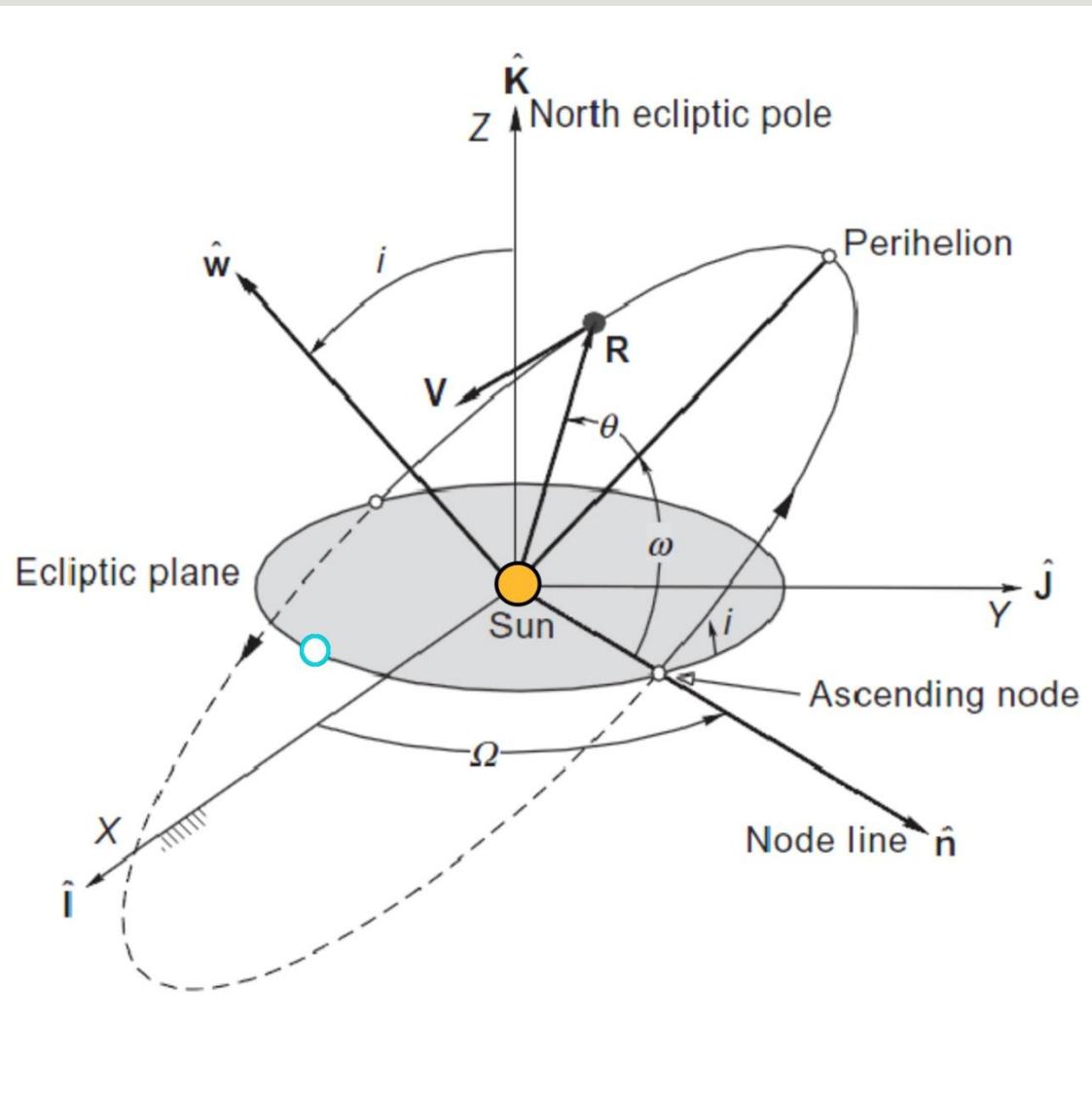
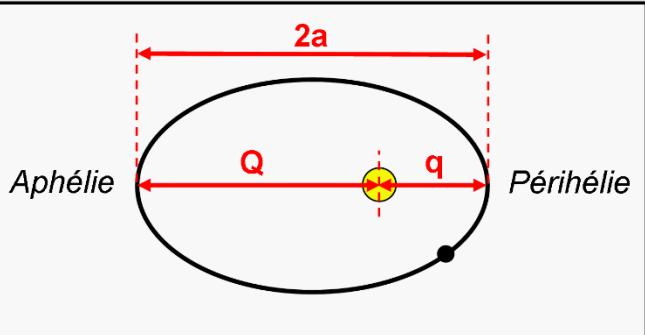
Référence du temps

Par suite du lent mouvement de l'axe rotation de la Terre (précession et nutation), le point vernal n'est pas fixe , il convient de préciser l'instant précis où les coordonnées d'un astre sont relevés. C'est pourquoi, les astronomes utilisent un temps appelé "époque standard J2000.0" démarrant le 1^{er} janvier 2000 à midi TU

Définition orbite dans le repère HSE

Définir une orbite (ellipse),
c'est définir les paramètres :

- Demi-grand axe a
- Excentricité e (*cercle* $e=0$)
- Inclinaison i
- Ascension droite du noeux
ascendant Ω
- Longitude du périhélie ω



Paramètres orbitaux d' Apophis

Actuel et après l'approche (chiffres arrondis)

PRE-FLYBY:

Orbit type	Aten
semimajor axis	0.922 au
eccentricity	0.191
inclination	3.3 deg
Orbital period	0.89 y (324 days)
perihelion distance	0.746 au
aphelion distance	1.099 au
MOID	0.00032 au

The orbital parameters of Apophis will change due to the close flyby on April 13, 2029.

POST-FLYBY:

Apollo
1.103 au
0.189
2.2 deg
1.16 y (423 days)
0.895 au
1.311 au



Passage d'Apophis : on constate l'influence de la Planète Terre sur la modification de l'orbite d'Apophis

Explications

Orbite : sphère d'influence d'une planète

A proximité d'une planète , l'influence de sa gravité excède celle du Soleil.
Par ex. , à la surface de la Terre, la force de gravitation est 1600 x plus grande que le Soleil.

Toutefois , cette force diminue rapidement avec la distance du centre d'attraction. A 10 x le rayon d'une planète, la force d'attraction est 1% de celle à sa surface

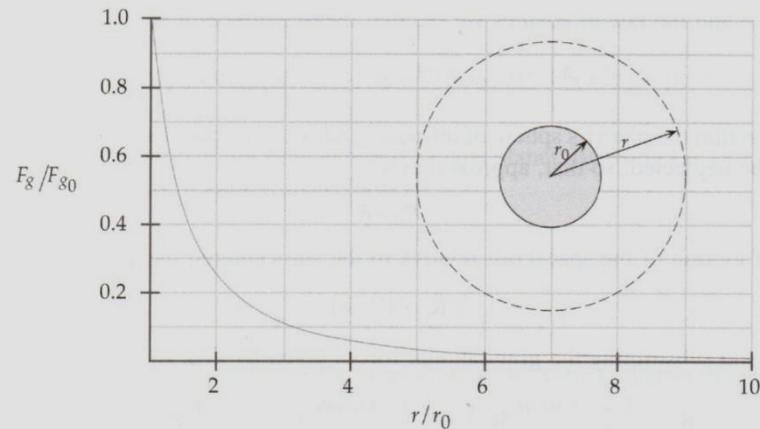
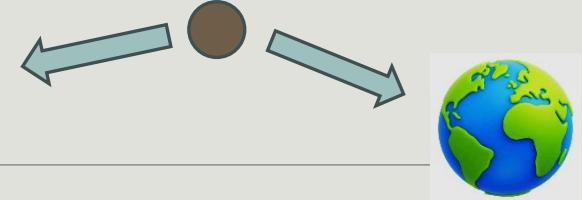
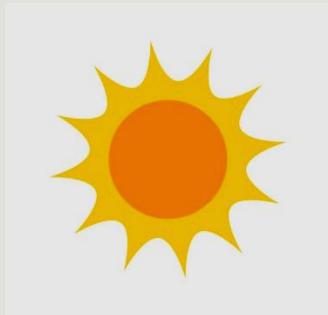


FIG. 8.5

Decrease of gravitational force with distance from a planet's surface.

Question : A quelle distance du centre de la planète , la force d'attraction du Soleil supplante celle de la planète ?

Sphère d'influence de la Terre



En considérant le système à 3 corps : Soleil – Terre – Objet , on compare les 2 effets :

- a) La perturbation du Soleil sur l'orbite de l'objet autour de la planète
- b) La perturbation de la planète sur l'orbite de l'objet autour du Soleil

Si $b > a$: on dit que l'objet est dans **la sphère d'influence** de la planète

En utilisant les lois de Newton, on déduit que le rayon de la sphère d'influence de la Terre est 925 000 km

Détails voir . “Orbital mechanics for engineering students /Howard D. Curtis/ Elsevier-Chap. 8”

Sphère d'influence de la Terre

Soleil



< distance 149 600 000 km >

Sphère
influence
Terre



Rappel :

- Rayon de la Terre : 6 378 km
- Rayon sphère d'influence de la Terre **925 000 km** soit 145 rayons terrestres
- Distance Soleil-Terre : 23 460 rayons terrestres

Relativement à la Terre, sa sphère d'influence est très grande .

Cependant, relativement au Soleil, c'est minuscule.

Illustration ~ à l'échelle ci-dessus

Mar 03 2029 14:52:38 UTC JD 2462199.119884
Sat Mar 03 2029 15:52:38 GMT+0100 (heure normale d'Europe centrale)
Earth: 0.150 AU 6.919 km/s
Sun: 1.086 AU 25.935 km/s
RA: 13 53 58 Dec: -26 38 18 Mag: 16.8 sky ω : 45 arcsec/hr

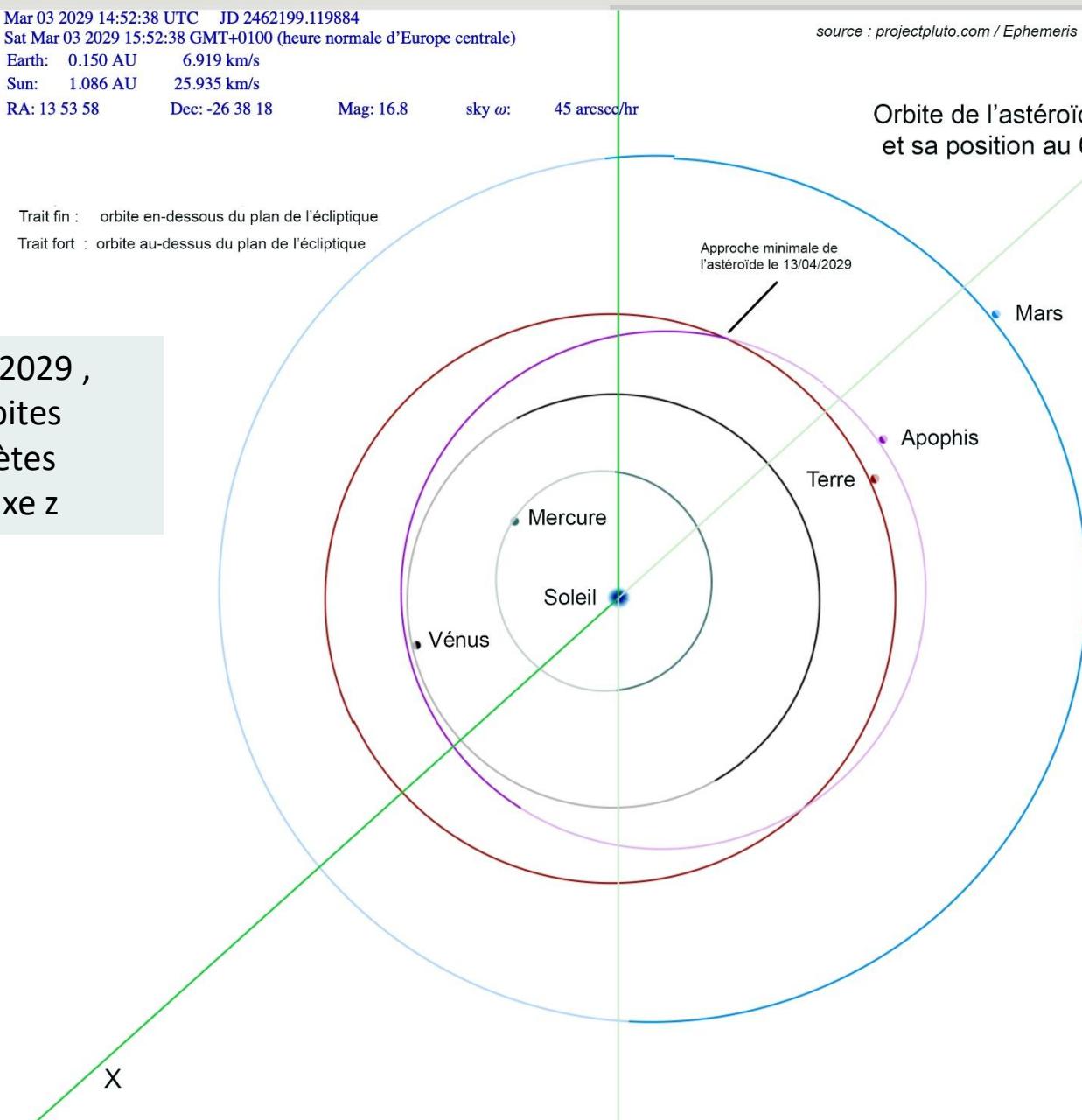
source : projectpluto.com / Ephemeris generator

Orbite de l'astéroïde Apophis et sa position au 03/03/2029

Trait fin : orbite en-dessous du plan de l'écliptique

Trait fort : orbite au-dessus du plan de l'écliptique

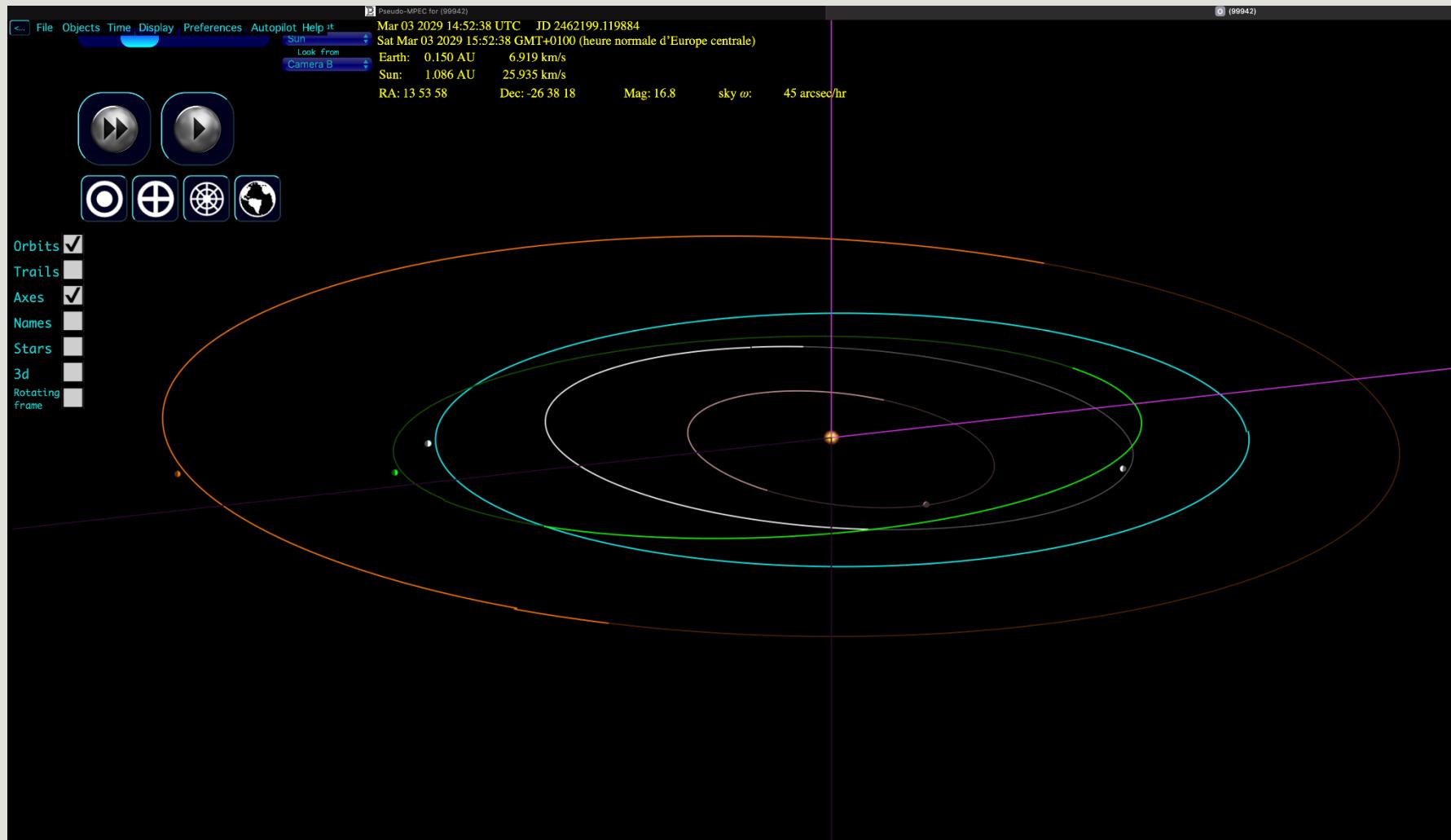
Illustration au 3 mars 2029 ,
avant l'approche : orbites
d'Apophis et des planètes
voisines vus suivant axe z



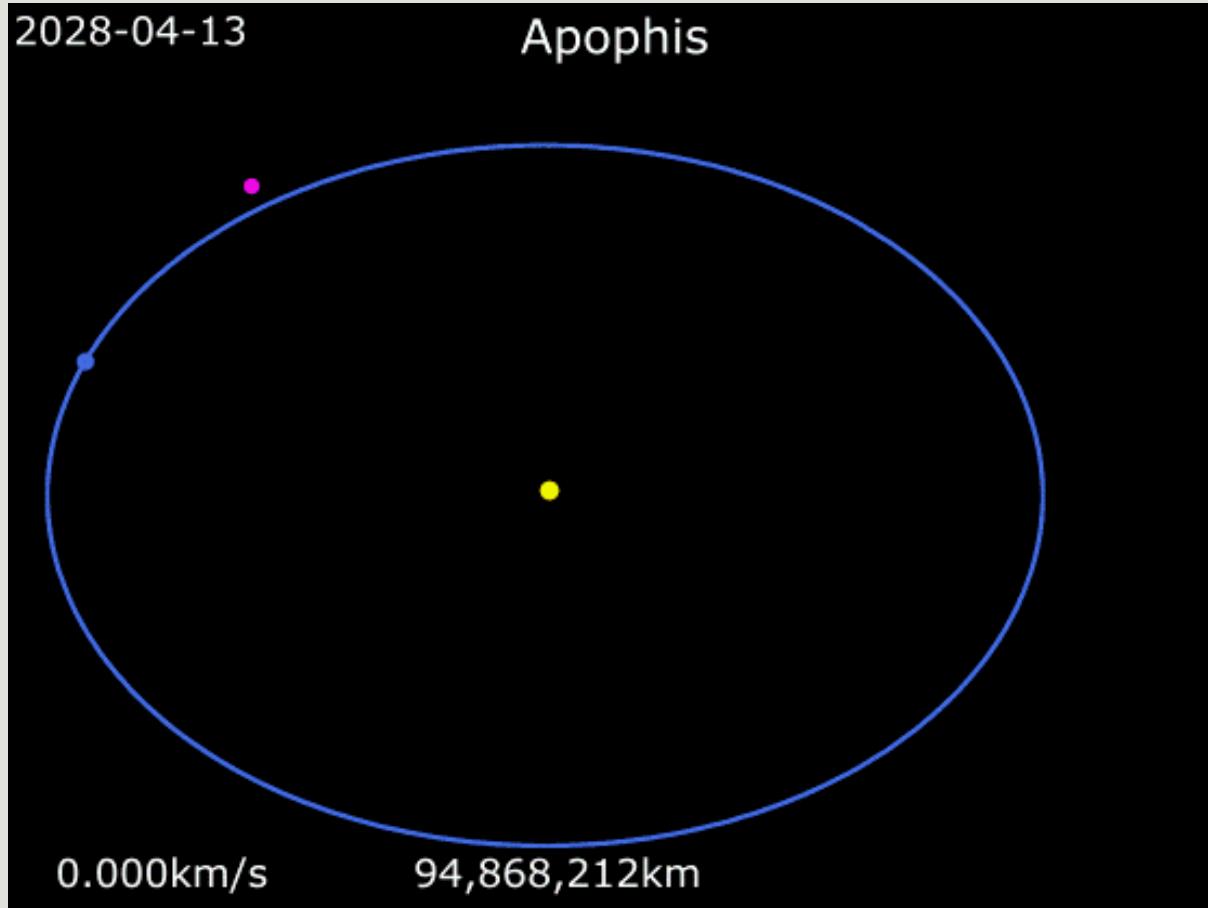
X

AL

3 mars 2029 , avant l'approche, orbites des planètes voisines d'Apophis

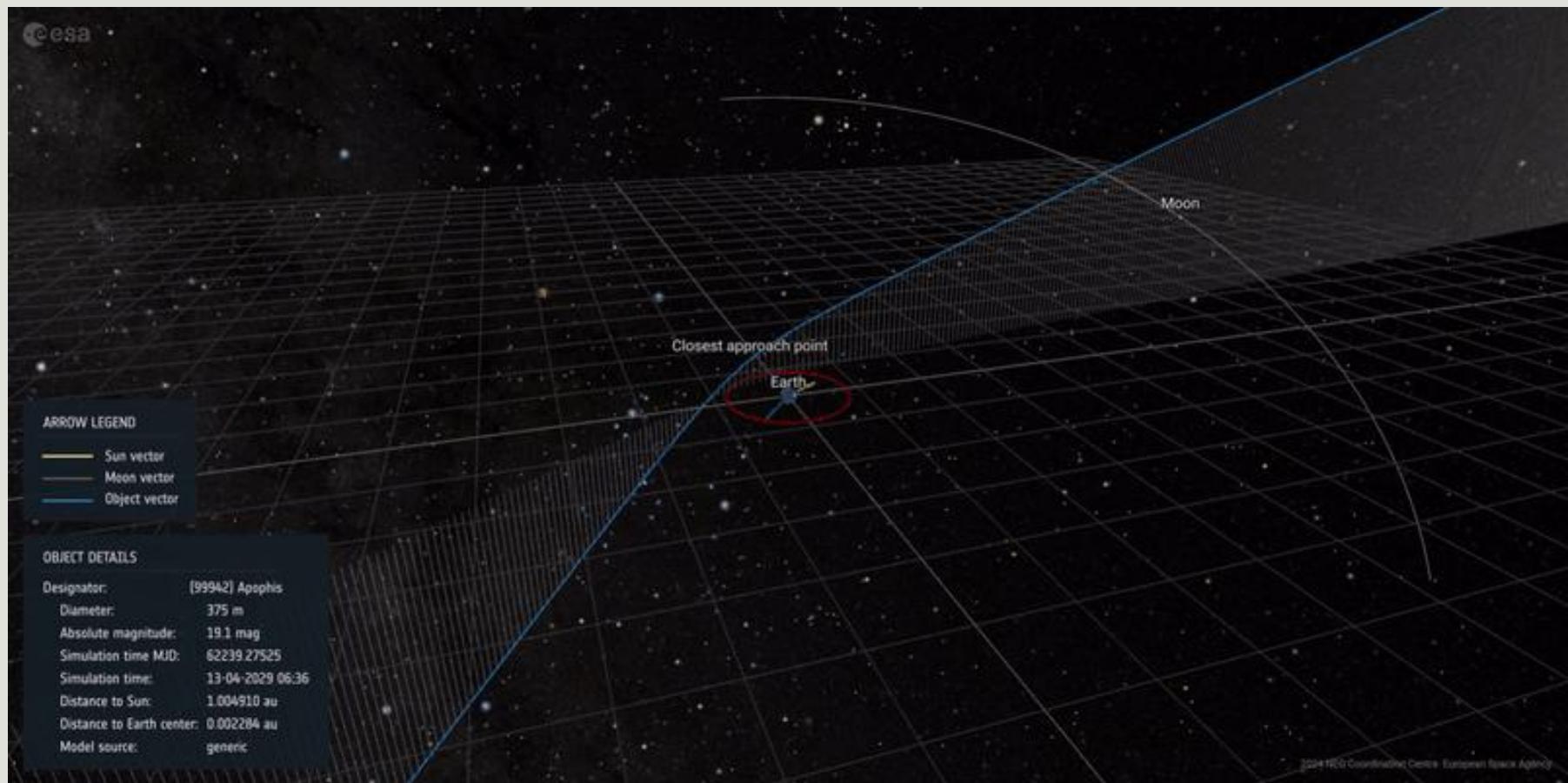


Apophis – animation orbite entre 2028 et 2033



Animation orbite Apophis (**rouge**) entre 2028 et 2033 en comparaison orbite de la Terre (**bleue**) / NASA
=> On visualise la modification de son orbite elliptique après son passage près de la Terre

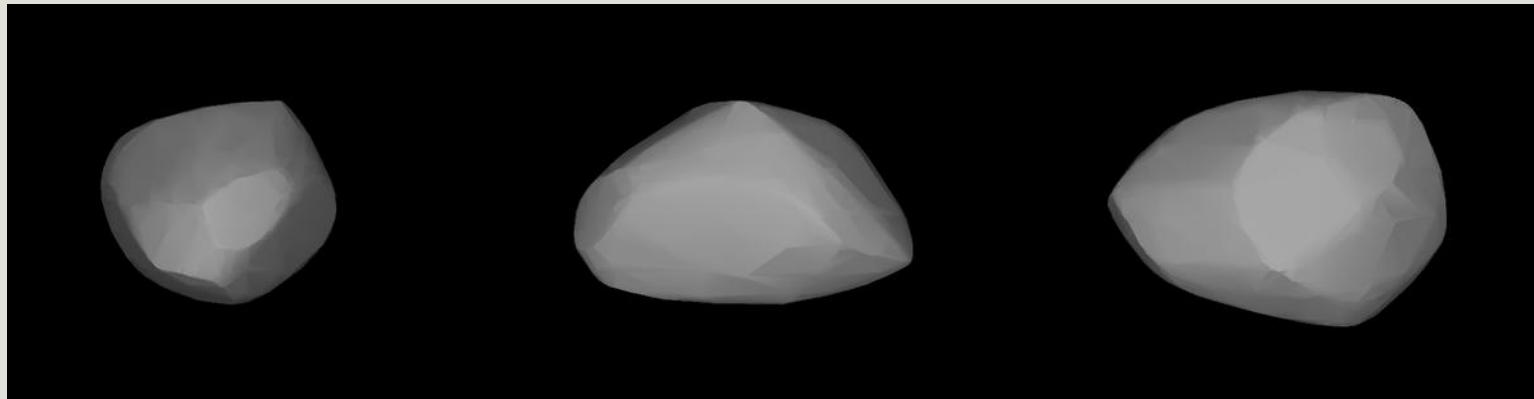
Apophis : trajectoire le 13 avril 2029



Astéroïde ‘PHA’ 99942 Apophis

Dimension

-
- C'est un corps de dimension 450m par 170m
 - Estimation : Masse 60 millions de tonnes, densité 2,7.



Forme supposée de l'astéroïde construite à partir de sa mesure d'albedo

Apophis - missions spatiales : OSIRIS REX

NASA : la sonde OSIRIS REX a visité et prélevé des échantillons de l'astéroïde géocroiseur Bénou en 2020, puis largué sur Terre ces échantillons en 2023.

La quantité d'ergol fut suffisante pour accomplir une nouvelle mission => se placer en orbite autour d'Apophis quelques jours après son approche de la Terre en 2029. La sonde est renommée **OSIRIS APEX** (pour **APophis Explorer**)



Apophis - missions spatiales : OSIRIS APEX

Objectifs d'observation

La mission OSIRIS-APEX consistera principalement à :

- Survoler de très près la surface de l'astéroïde (environ 5m)
- Etudier les changements subis par la surface, l'orbite et la rotation de l'astéroïde en raison de la force gravitationnelle de la Terre
- Cartographier la surface d'Apophis et analyser sa composition chimique

Apophis - missions spatiales : OSIRIS APEX

Animation NASA : simulation approche sonde avec allumage des moteurs pour soulever la surface et étudier le milieu sous-jacent



APOPHIS : MISSIONS SPATIALES – ESA PROJET RAMSES

Projet RAMSES (Rapid Apophis Mission for Space Safety) en attente d'approbation finale en **novembre 2025** (Conseil ministériel de l'ESA)

- Lancement d'une sonde début 2028 pour étudier l'astéroïde lors de son passage au plus près de la Terre .
 - Les chercheurs prévoient que les forces de marée terrestres vont modifier l'état de rotation et peut-être déclencher des secousses sur l'astéroïde. La sonde RAMSES pourra examiner ces changements
-

27/08/2025 l'agence japonaise JAXA souhaite rejoindre cette mission



APOPHIS : MISSIONS SPATIALES – ESA PROJET RAMSES

Conseil ministériel de l'ESA :
ce jour la date et le lieu de la réunion sont fixées :

European Space Agency on X. 🚀 It's almost time to shape the next chapter of Europe's journey in space. The European Space Agency's Council Meeting at Ministerial Level, known as #CM25, will take place in Bremen, Germany, on **26 and 27 November 2025**. 9 Oct 2025

Suspense ...!

FIN

*L'astéroïde B 612 du livre « Le Petit Prince »
d'Antoine de St Exupéry est « à peine plus
grande qu'une maison ».*

