

Les astéroïdes

Jean-Pierre Martin, physicien, président de la commission cosmologie de la SAF.

De nombreux objets passent dans le ciel au-dessus de nos têtes, les journaux s'en font l'écho. Certains charment nos yeux comme les comètes, d'autres semblent plus inquiétants comme les astéroïdes ou les météorites. Mais que sait-on des astéroïdes ?

Parmi tous les corps créés dans le Système solaire il y a plus de 4 milliards d'années, tous ne sont pas des planètes. Il y a des petits corps (minor planets disent les Américains) comme comètes, astéroïdes, météoroïdes. Quelles sont les différences ?

Les astéroïdes sont des petits corps rocheux orbitant autour du Soleil et provenant principalement de la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter¹.

Les comètes sont des « boules de neige sale » qui brillent en s'approchant du Soleil et forment une queue très lumineuse.

Les météoroïdes sont des restes de comètes ou des fragments d'astéroïdes qui peuvent brûler partiellement en traversant l'atmosphère terrestre (la partie arrivant au sol s'appelle météorite).

Intéressons-nous ici aux astéroïdes.

Premières découvertes

Il y a quelques siècles, les lois de Kepler et Newton expliquaient les orbites des planètes mais on ne savait pas pourquoi telle planète était sur telle orbite.

Deux astronomes allemands (Bode et Titius) au milieu du XVIII^e siècle trouvèrent une explication empirique à la position des planètes, qui semblait marcher approximativement, c'est la fameuse « loi » de Titius-Bode (voir encadré). Il y avait juste un trou entre Mars et Jupiter où aucune planète n'existait. Ce ne fut qu'une curiosité mathématique jusqu'à la découverte d'Uranus, qui collait assez bien avec cette « loi ».

On s'intéressa alors à ce fameux « trou » entre Mars et Jupiter, il devait bien y avoir quelque chose à cet endroit-là. Toutes les lunettes astronomiques furent dirigées vers le ciel et un jour, l'abbé Piazzi en 1801 par hasard alors que tout le monde était à la recherche de la planète manquante entre Mars et Jupiter a découvert depuis Palerme, ce qu'il prit

¹ On réserve habituellement le nom d'astéroïde aux petits corps plus proches du Soleil que Neptune. Les autres petits corps plus éloignés, situés dans la ceinture de Kuiper, sont appelés objets transneptuniens (OTN).

pour cette planète et qu'il nomma Cérés (nom de la déesse romaine de l'agriculture), il crut que c'était la planète manquante.

La loi de Titius Bode

Elle s'écrit $d = 0,4 + 0,3 \times 2^{n-1}$ où d est la distance de la planète au Soleil en unité astronomique (distance Terre-Soleil) ; n vaut $-\infty$ pour Mercure, 1 pour Vénus, 2 pour la Terre, 3 pour Mars, 5 pour Jupiter, 6 pour Saturne et 7 pour Uranus. On n'avait aucun corps pour $n = 4$. La correspondance est assez bonne jusqu'à Uranus, mais elle est plus mauvaise pour Neptune (pour $n = 8$, $d = 39$ au lieu de 30).

C'est le génial mathématicien Gauss qui calcula l'orbite de Cérés (il venait de mettre au point à cette occasion la méthode des moindres carrés). D'autres suivirent : Pallas, Junon, Vesta... Et beaucoup d'autres découvertes encore. C'était une mine de petites planètes. Herschel baptisa ces corps « astéroïdes » (semblables à une étoile), ils s'appelaient avant « planètes télescopiques ». Ils étaient tous situés dans ce qu'on appela la ceinture d'astéroïdes (située à environ 2,7 unités astronomiques du Soleil).

À partir de 1890, les plaques photographiques ont fait faire des progrès à la détection : Wolf, directeur de l'observatoire d'Heidelberg en découvrit plus de 230 grâce à cette méthode. À partir des années 1990, l'électronique et les CCD augmentèrent encore plus le taux de découverte.

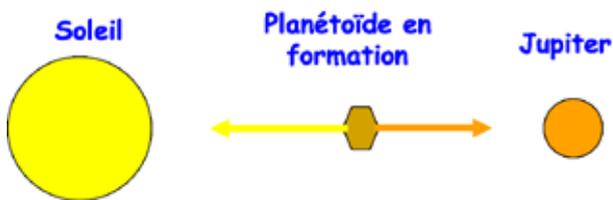
Il y avait effectivement une multitude de petits corps à cet endroit du ciel, mais pas de vraie planète.

Pourquoi n'a-t-on pas trouvé de vraie planète ?

Toute formation de planète est prise entre deux feux :

- l'attraction du Soleil ;
- l'attraction de Jupiter, planète géante.

Toute velléité de formation est vouée à l'échec : il ne peut subsister que des petits morceaux de planétoïdes, les astéroïdes.



La plupart de ces petits corps se trouvent donc situés entre Mars et Jupiter dans une zone que l'on appelle la ceinture principale d'astéroïdes (il existe une autre zone de petits corps plus éloignée dans le Système solaire, la ceinture de Kuiper).

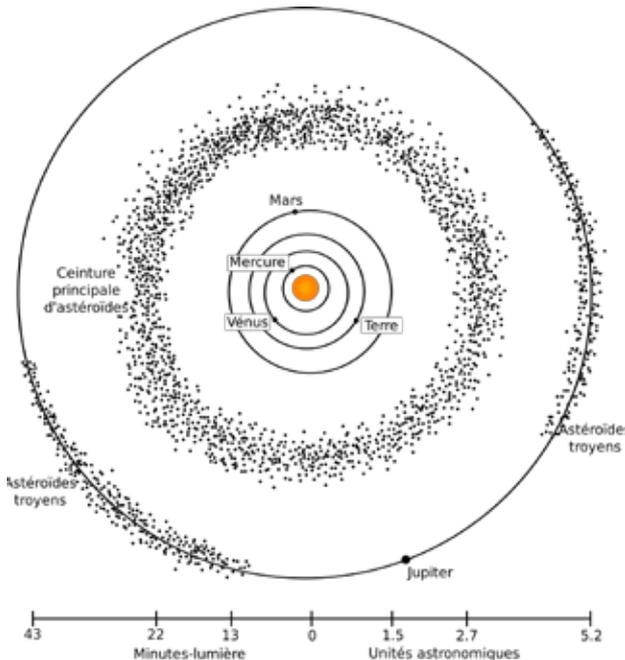


Fig.1. La ceinture principale d'astéroïdes, entre Mars et Jupiter (Wikipedia d'après image NASA).

De quoi sont composés ces petits corps ?

Ce sont les restes de matière qui n'ont jamais pu former une vraie planète, ils sont intéressants à étudier car ce sont de vrais fossiles de la formation de la Terre.

De façon un peu simplifiée, on peut dire que l'étude

Type d'astéroïde	Caractéristiques	Sous catégories	Abondance
Type C pour carboné	Très sombres (albédo 0,03) comme les chondrites carbonées (CC). Très primitifs, ils peuvent contenir de l'eau. Peuplent surtout les régions externes de la ceinture principale.	B ; F ; G	Très abondant 75 % des astéroïdes. Ex : Mathilde, Cérès, Bénou.
Type S pour silice ou pierreux	Albédo plus élevé (0,1 à 0,2) riches en métaux : Fe, Ni, Mg. Similaires aux pallasites. Peuplent la région interne de la ceinture.	A ; K ; L ; Q ; R	Rare 17 %. Ex : Itokawa, Gaspra, Éros.
Type M pour métallique	Très brillants, constitués principalement d'alliage Fe-Ni.		Le reste. Ex : Lutèce.

Les différents types d'astéroïdes (classement simplifié).

spectrographique a permis de déterminer trois grandes familles en fonction de leur composition :

- les astéroïdes de type S (en anglais stony, rocheux) ou silicatés, constitués de pyroxène et d'olivine avec petit noyau de Fe-Ni ;
- les astéroïdes du type M (métalliques), constitués principalement de fer et de nickel, qui proviennent de noyaux d'astéroïdes différenciés ;
- les astéroïdes de type C (pour carbonés) qui sont les plus primitifs.

Quelle taille, quelle forme ?

Le plus grand des astéroïdes est Cérès avec 950 km de diamètre suivi par Vesta (530 km)... Les plus petits sont des grains de poussière.

La masse totale des astéroïdes est évaluée à 4 % de la masse de la Lune ou 0,05 % de la masse de notre Terre.

Ils sont approximativement 1 million d'un diamètre supérieur à 1 km (plus de 700 000 sont nommés) mais l'espace est quasiment vide puisqu'on estime la distance moyenne entre deux astéroïdes à 10 millions de km (25 fois la distance Terre-Lune) !

Ils ont subi de multiples collisions au cours de leur vie et sont criblés de cratères d'impact, ils ont pour la plupart une forme « patateïde » (voir figure 2 page suivante).

Les astéroïdes sont-ils dangereux ?

Parmi cette myriade d'astéroïdes, certains s'approchent de la Terre, ce sont les géocroiseurs (en anglais NEA : Near Earth Asteroids), parmi ceux-ci, certains peuvent être dangereux, ce sont les astéroïdes potentiellement dangereux (PHA), il y en a quelques centaines et on les suit de près !

Parmi tous ces astéroïdes, la catégorie des géocroiseurs représentent une population proche des 100 millions d'objets pour une taille supérieure à 10 m, et près d'un millier de taille kilométrique !

Les plus dangereux, les PHA, mesurent plus d'une centaine de mètres et croisent l'orbite de la Terre.

Mais il faut relativiser, ils sont répartis de façon très espacée, en fait si vous traversez la ceinture des astéroïdes, vous avez peu de chances d'en rencontrer un. Mais au cours du temps, évidemment cette probabilité augmente, dès que l'on dépasse l'échelle d'une vie humaine.

Un corps de 1 km a une probabilité de nous frapper en moyenne tous les 500 000 ans, un corps de 10 km tous les 10 millions d'années etc. Le dernier impact connu est le Meteor Crater en Arizona par un projectile d'environ 50 m de diamètre il y a 50 000 ans.

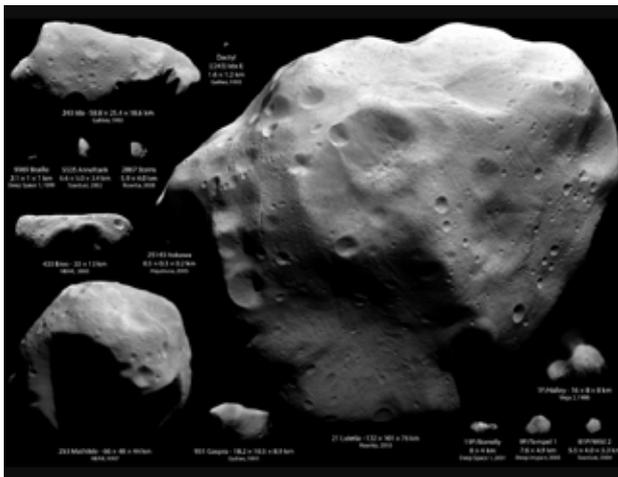


Fig.2. Quelques astéroïdes visités ; dans le coin inférieur droit, ce sont des comètes.
NASA/JPL Montage E. Lakdawalla Planetary Society.

Reste-t-il des traces sur Terre ?

Au cours des millénaires, des astéroïdes ont frappé la Terre, surtout au début de la création du Système solaire il y a 4 milliards d'années mais beaucoup moins maintenant. Il en reste très peu de trace, à cause de l'érosion (air eau) et de la tectonique des plaques qui ont joué un grand rôle sur notre planète et ont effacé presque toutes les traces d'impact avec des astéroïdes, contrairement à la Lune qui les a conservés.

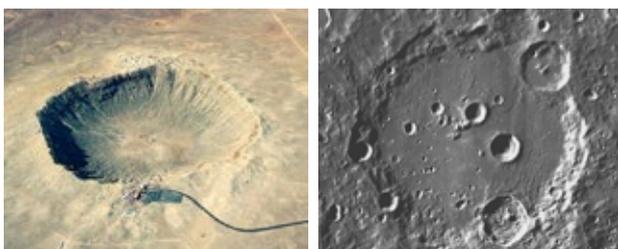


Fig.3. À gauche, le meteor Crater, sur Terre, formé il y a environ 50 000 ans. À droite, le cratère Clavius sur la Lune.
(crédits Wikipedia-LarryBloom / Nasa)

Ces cratères s'appellent des astroblèmes (du grec astron = astre et blema = blessure), pour ne pas être confondus avec les cratères volcaniques.

Un astéroïde a particulièrement marqué la vie terrestre, celui, d'une quinzaine de km de dimension, qui, il y a 65 millions d'années a frappé la zone du Yucatan (à Chicxulub) et a provoqué la disparition de la plus grande partie des espèces vivantes. Comment cela a-t-il été possible ?

Cet énorme astéroïde a provoqué des catastrophes en chaîne :

- nuage de poussières entourant la Terre pendant des dizaines d'années ;
- arrêt de la photosynthèse ;
- hiver nucléaire ;
- disparition de la plupart des espèces vivantes dont les dinosaures.

Des compétiteurs plus sérieux prennent le dessus, dont ce qui va devenir l'homme. La preuve de cet impact a été faite en découvrant une faible couche d'iridium, un métal rare sur Terre, sur toute la surface terrestre au niveau de ce que l'on appelle la couche K/T (crétacé / tertiaire). L'iridium est présent dans les... météorites !

Les missions vers les astéroïdes

Il y a eu de nombreuses missions vers les astéroïdes dont certaines sont toujours en cours. Quelques-unes n'ont fait que passer comme Galileo qui a vu Ida et Gaspra ou Rosetta pour Steins et Lutèce.

Une mission originale et préceuseure a été la sonde NEAR en orbite autour d'Éros pendant un an avant de se « poser » sur celui-ci en 2001.

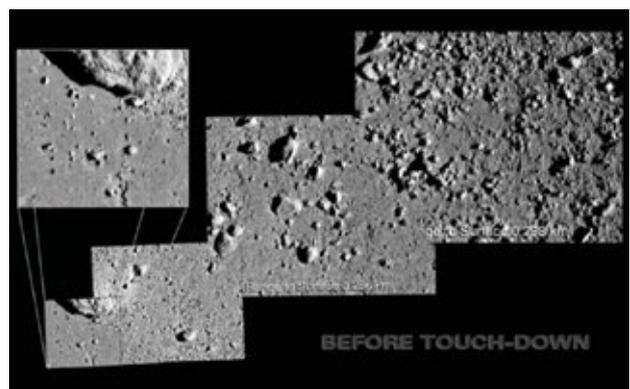


Fig.4. Les premières vraies images du sol d'un astéroïde (Éros photographiée par NEAR en 2001). Image NASA/JHUAPL.

Mais une des missions les plus emblématiques et dont on a peu parlé à l'époque est la mission japonaise Hayabusa de mise en orbite autour de Itokawa, petit astéroïde de 300 m situé à 300 millions de km.



Fig.5. L'astéroïde Itokawa photographié en 2005 par Hayabusa (image JAXA).

Une des caractéristiques de cette mission était la présence à bord de moteurs ioniques. Après approche de l'astéroïde, il était prévu une méthode originale de retour d'échantillons suite à une série de « Touch and Go » comme on dit en aviation.

L'atterrissage s'est passé en larguant un marqueur à basse altitude (100 m), qui servait de signal radar pour un atterrissage en chute libre (faible gravité), ceci afin d'éviter une contamination avec les carburants chimiques. Malgré quelques péripéties, la capsule a pu revenir sur Terre quelques années après. Pour la première fois au monde, elle ramenait des échantillons de cet astéroïde.

La mission DAWN de la NASA, quant à elle, s'est intéressée aux gros astéroïdes de la ceinture principale, à savoir Cérès et Vesta. La sonde propulsée par un moteur ionique, se met d'abord en orbite autour de Vesta avant de changer d'orbite et d'aller en orbite autour de Cérès.

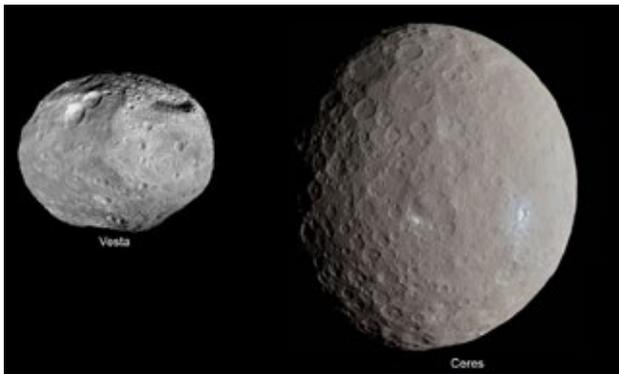


Fig.6. Vesta à gauche, Cérès à droite. NASA/JPL.

Vesta, objet de 525 km de diamètre est différenciée, mais pas tout à fait « rond ». Par contre, Cérès est suffisamment grand (950 km) pour obtenir le titre de planète naine suivant les dernières dénominations de 2006.

Très intrigant sur Cérès, de nombreux points brillants au fond de certains cratères seraient des taches de sels, signes, peut-être de la présence d'un océan salé sous la croûte. Cérès serait géologiquement actif.

Il existe des missions toujours en cours à destination d'astéroïdes.

Hayabusa 2

La JAXA (agence spatiale japonaise) voulait donner une suite à la mission Hayabusa qui s'était déroulée avec succès malgré quelques périodes de suspense intense au retour. Ils ont lancé la continuation de leur précédente mission vers les astéroïdes : Hayabusa deuxième du nom.

La sonde est similaire à sa première version. La cible est toujours un astéroïde de petite taille, cette fois il s'appelle 1999 JU3, ou Ryugu, sa taille est de l'ordre du kilomètre. Son intérêt, c'est un astéroïde primitif, datant de la formation du Système solaire. Il devrait contenir des molécules organiques.

Il est plus petit que le noyau de la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko, exploré par Philae mais plus dense. Néanmoins la gravité y est très faible. Il est atteint en 2018, la sonde s'y met en orbite à 20 km d'altitude. L'exploration commence. Sa forme de dé bizarroïde surprend ainsi que l'absence de cratères. Après l'envoi réussi de robots au sol, deux prélèvements ont été obtenus et la sonde retourne maintenant vers notre planète pour récupération de la précieuse capsule en décembre 2020.



Fig.7. Ryugu (à gauche) 1 km et Bennou (à droite), 500 m. Images : NASA et JAXA.

OSIRIS-REx

La NASA lance une mission ambitieuse en septembre 2016, OSIRIS-REx (acronyme de Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security-Regolith Explorer) en direction d'un petit astéroïde (500 m) avec pour mission d'en ramener un échantillon sur Terre. La cible : 101955 Bennu ou 1999 RQ36. C'est un géocroiseur de type carboné.

La sonde se met en orbite en 2018 et commence à le cartographier. Il a fallu de nombreuses phases

d'approche pour évaluer le terrain de prélèvement, il faut en effet avoir un terrain en partie libre de gros cailloux, or ce n'est pas évident, le sol est très irrégulier. Néanmoins un site est trouvé pour un prélèvement qui était prévu en août 2020 (voir encadré ci-dessous), avant un retour en 2023.

Signalons que, comme pour Rosetta et Hayabusa, la « mise en orbite » autour de si petits corps qui n'ont pour ainsi dire pas de gravité est un exploit de mécanique astronautique afin de « voler » autour !

D'où vient l'eau terrestre ?

On a longtemps pensé que la plupart de l'eau de nos océans provenait des impacts de comètes avec notre planète, cela semblait logique car elles contenaient principalement de l'eau sous forme de glace. Comment peut-on le savoir ? L'eau possède un marqueur, le deutérium (ou hydrogène lourd, composant de l'eau lourde) dont la très faible présence dans les eaux terrestres est connue ; il se trouve que l'eau des comètes est légèrement différente pour la proportion de deutérium. L'eau

contenue dans les astéroïdes serait plus proche de la composition de l'eau terrestre, il semblerait donc que notre eau provienne principalement des astéroïdes. Ce résultat est quand même toujours en débat dans la communauté scientifique.

Conclusion

Les astéroïdes font partie des objets les plus primitifs de notre Système solaire, c'est la raison pour laquelle il faut les étudier. Certains peuvent nous menacer et de nouvelles techniques doivent être mises au point pour les dévier d'une possible rencontre avec notre planète. Il a été décidé au niveau mondial que le 30 juin serait la journée des astéroïdes. Cette date vient du 30 juin 1908, jour de l'évènement de la Tunguska en Sibérie, où un astéroïde énorme (de l'ordre de 50 m) a explosé au-dessus de ce coin désert de Sibérie, situé à 1 000 km au nord de la ville d'Irkoutsk. Cette lueur avait été vue jusqu'en Europe occidentale et détectée par les sismographes.

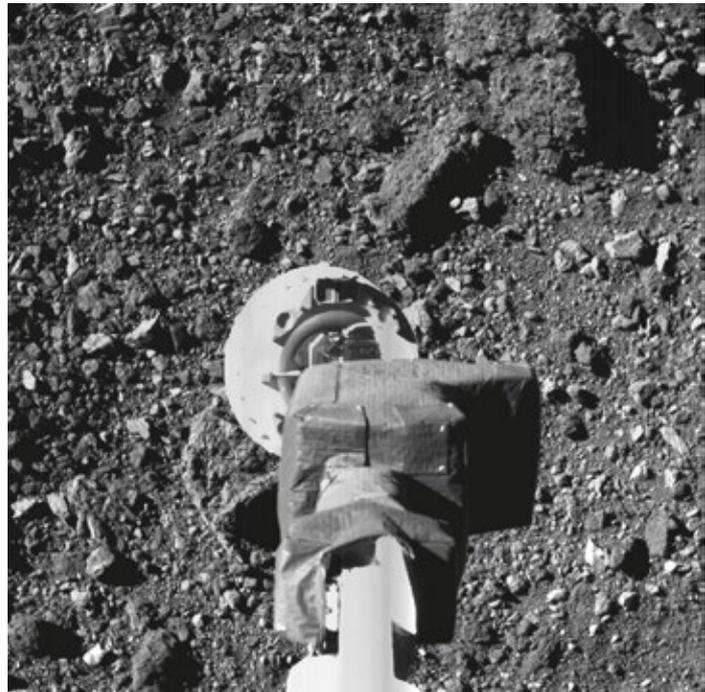
■

Les dernières nouvelles d'OSIRIS-REx

Le 20 octobre 2020, la sonde OSIRIS-REx s'est approchée lentement de l'astéroïde Bénou pour effectuer un prélèvement. La fin de la descente s'est effectuée à 10 cm/s. Le bras robotisé a touché la surface de l'astéroïde pendant quelques secondes ; un jet d'azote a alors permis de soulever des particules du sol, récupérées par le bras collecteur.

Mais on s'est aperçu que des fragments s'échappaient du compartiment de collecte et il a fallu transférer l'échantillon dans la capsule au centre de la sonde. L'opération fut délicate, guidée depuis la Terre située à plus de 300 millions de km (les messages mettaient plus de 18 minutes à parvenir à la sonde).

Apparemment, tout s'est bien passé. La sonde OSIRIS-REx quittera les abords de Bénou en mars 2021 avec sa précieuse cargaison de peut-être plus d'un kilogramme de poussières d'astéroïde. Le retour est prévu sur Terre en septembre 2023.



*Une des images de l'arrivée d'OSIRIS-REx sur Bénou, extraite d'un GIF animé disponible sur Wikipedia (article OSIRIS-REx).
Crédit NASA/Goddard/University of Arizona.*