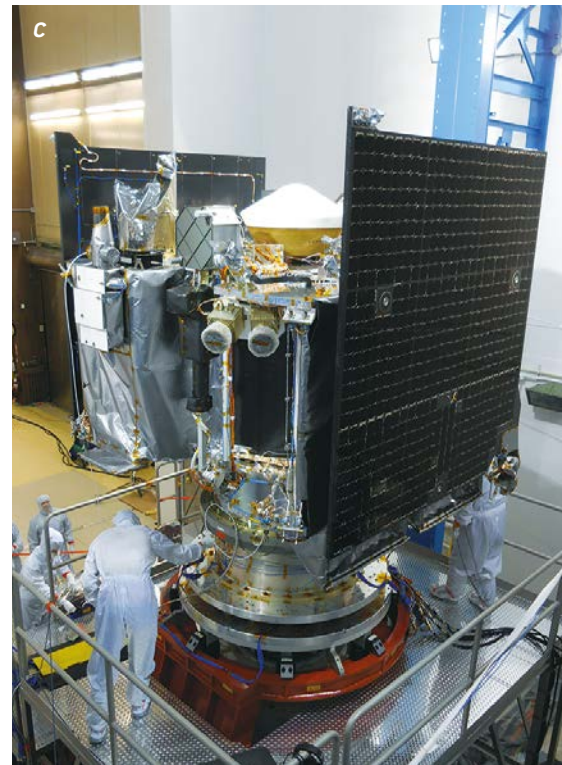




L'ÉPOPÉE D'OSIRIS-REx a débuté douze ans avant son lancement en septembre 2016. La sonde a tout d'abord été assemblée (a), puis testée dans une chambre à vide (b) et dans des laboratoires d'acoustique (c) au sein du complexe Space Systems de Littleton, dans le Colorado, aux États-Unis.

À l'instar des autres astéroïdes carbonés, Bennu est majoritairement constitué de molécules organiques et de minéraux argileux riches en eau. Une partie de cette eau a été liquide autrefois, chauffée au cœur de l'astéroïde par la désintégration d'éléments radioactifs à courte durée de vie tels que l'aluminium 26 et le fer 60.

Les composés organiques et l'eau constituent la matière première brute des éléments de base de la vie sur Terre que sont l'ADN, l'ARN et les protéines. Un nombre immense d'astéroïdes carbonés a dû tomber sur la Terre dans sa jeunesse, d'où la question : ces corps ont-ils semé des germes de vie sur notre planète ? Il est difficile de répondre, car il ne reste pas de roches non altérées suffisamment anciennes pour raconter cette histoire.

La mission OSIRIS-REx n'a pas pour seul objectif de découvrir les briques originelles de la vie. Elle recueillera aussi des informations importantes pour notre avenir. Plusieurs entreprises privées et de nombreux États étudient la possibilité

d'une exploitation minière des astéroïdes pour pallier la rareté ou l'épuisement des ressources terrestres. Ces acteurs évaluent les techniques à mettre en place pour extraire des métaux précieux afin de les utiliser ensuite sur notre planète, mais également des méthodes utilisant de la glace d'eau afin de produire, directement dans l'espace, du carburant destiné aux fusées. Grâce à sa capacité à cartographier précisément un astéroïde et à manœuvrer autour de celui-ci, OSIRIS-REx servira de précurseur pour de futures missions d'exploitation minière sur des astéroïdes carbonés.

La menace Bennu

Un autre volet de la mission d'OSIRIS-REx consiste à améliorer les techniques de prévision d'éventuelles collisions d'astéroïdes avec la Terre et les méthodes de prévention. En effet, pour déterminer si un astéroïde percutera la Terre, il faut mesurer son orbite avec une précision extrême. Pour apprécier la difficulté de cette tâche,

■ L'AUTEUR



Dante LAURETTA est professeur de planétologie à l'université d'Arizona.

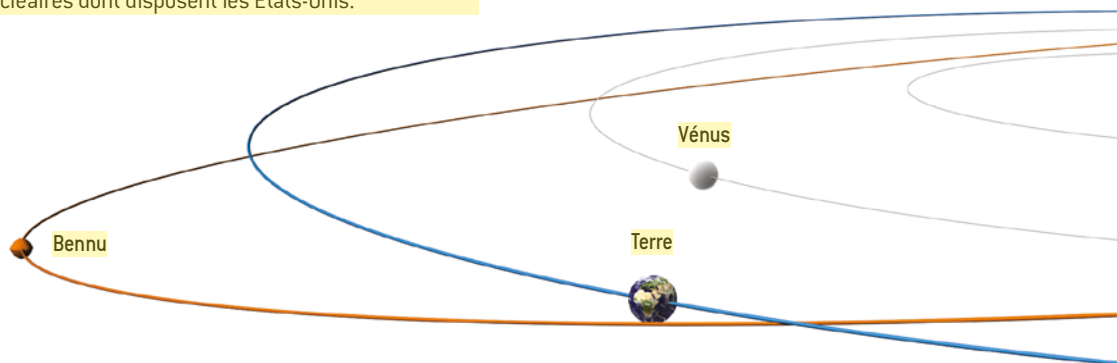
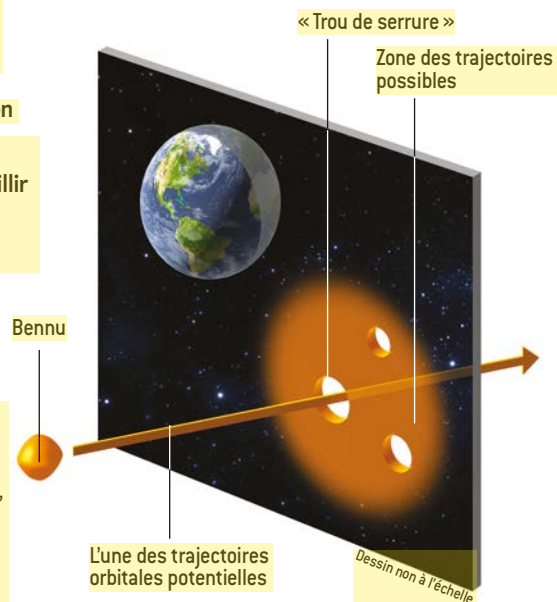
Ses principaux thèmes de recherche sont la formation de planètes habitables et l'apparition de la vie extraterrestre.

En septembre 2016, la sonde OSIRIS-REx de la Nasa a entrepris un voyage interplanétaire vers Benu, un astéroïde géocroiseur de 500 mètres de diamètre qui risque un jour de frapper la Terre ①.

En améliorant nos connaissances sur les phénomènes qui perturbent l'orbite de Benu, OSIRIS-REx révélera si l'astéroïde va effectivement entrer en collision avec la Terre, et nous fournira des informations cruciales pour éviter une telle catastrophe ②. L'objectif principal de la mission, cependant, consistera à recueillir un échantillon de la surface de Benu riche en molécules organiques, datant de l'époque de la formation du Système solaire ③.

① Une proximité alarmante

En 2135, Benu frôlera la Terre et s'en approchera à moins de 300 000 kilomètres, soit une distance inférieure à celle qui nous sépare de la Lune. Au cours de cette traversée infralunaire, la trajectoire de l'astéroïde sera modifiée par le champ gravitationnel de la Terre. Parmi toutes les déviations possibles, certaines amèneraient Benu sur une trajectoire qui donnerait lieu à une collision lors d'un des prochains passages de l'astéroïde. Il existe ainsi quelques régions de taille kilométrique, tels des « trous de serrure » autour de la Terre, où Benu ne doit pas passer, au risque de devenir dangereux. S'il frappe la Terre, Benu libérerait autant d'énergie que l'explosion de toutes les ogives nucléaires dont disposent les États-Unis.

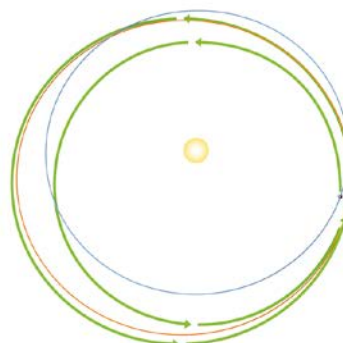


③ Le voyage d'OSIRIS-REx

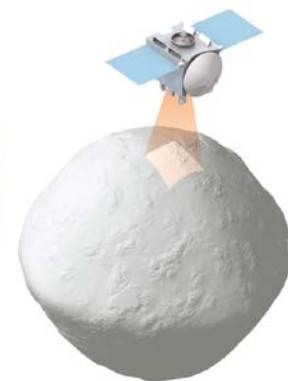
Après son lancement en septembre 2016, la sonde effectuera une croisière de deux ans jusqu'à Benu (avec un survol de la Terre pour acquérir un supplément de vitesse). En 2018, à son arrivée en orbite autour de Benu, OSIRIS-REx commencera à cartographier l'astéroïde afin d'identifier de possibles sites d'atterrissage. Selon les meilleures estimations, la sonde se posera brièvement sur l'un des sites vers la fin de 2020 et récupérera un échantillon grâce à son bras rétractable. Cinq secondes plus tard, la sonde décollera pour entamer son retour. Après deux années et demie de voyage vers la Terre, OSIRIS-REx éjectera la capsule d'échantillons qui rentrera dans l'atmosphère et s'échouera dans le désert de l'Utah, où elle sera récupérée.



Septembre 2016



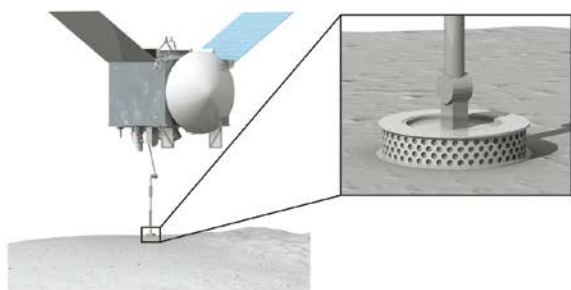
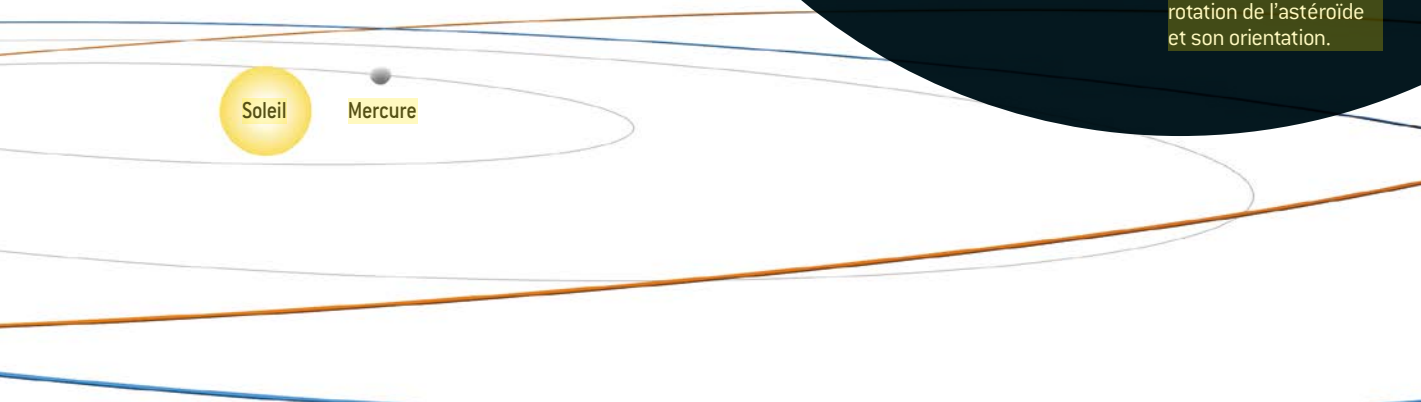
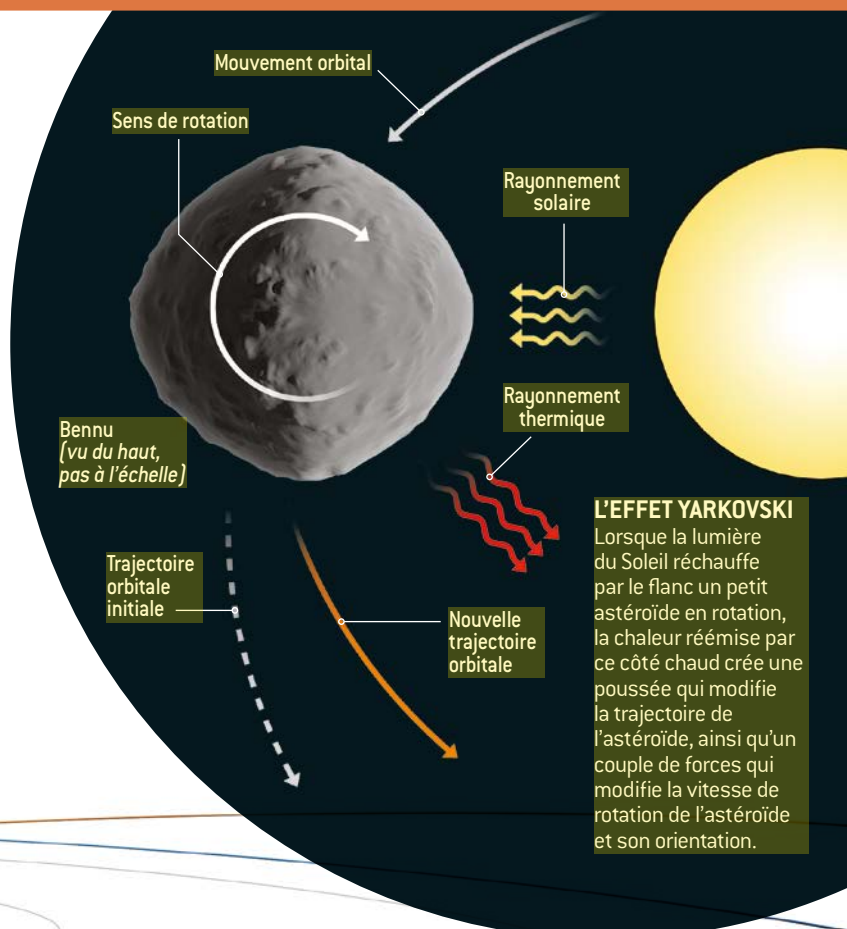
Voyage aller de 2 ans



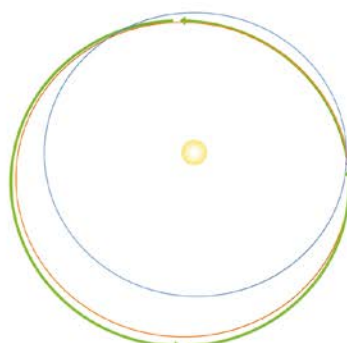
Août 2018

② Un astéroïde à la dérive

OSIRIS-REx mesurera les facteurs en jeu dans l'effet Yarkovski (*voir ci-contre*) avec une précision sans précédent. Prendre en compte ce phénomène dans le déplacement de l'astéroïde est crucial pour déterminer si Bennu passera à travers l'un des « trous de serrure » en 2135 et, si c'est bien le cas, où sa trajectoire le mènera ensuite. L'effet Yarkovski entraîne, selon les cas, une dérive de l'astéroïde vers le Soleil ou vers l'extérieur du Système solaire. Il est ainsi à l'origine d'une dérive en direction du Soleil de 160 kilomètres de la trajectoire initiale mise au jour en 1999. L'effet Yarkovski sera évalué par OSIRIS-REx au fil de sa mission, lorsque la sonde mesurera la forme, la densité et la composition de la surface de Bennu à la recherche d'un site d'atterrissage pour le prélèvement d'un échantillon.



Juillet 2020



À partir de mars 2021, voyage retour de 2,5 ans



Fin 2023

considérons les distances et les forces en jeu. Bennu fait le tour du Soleil en 438 jours à une vitesse orbitale de plus de 28 kilomètres par seconde. En une seule orbite, cet astéroïde parcourt plus de un milliard de kilomètres. Au plus loin, l'astéroïde se trouve à quelque 340 millions de kilomètres de la Terre, et il s'en approche au plus près tous les six ans.

Une orbite bien mesurée, mais qui peut varier

Cette périodique proximité a permis aux astronomes d'étudier l'orbite de Bennu pour en faire l'astéroïde le plus précisément mesuré. L'incertitude sur le demi-grand axe de sa trajectoire elliptique est de seulement 6 mètres, sur une longueur totale de 168 505 699 049 kilomètres. Cela équivaldrait à mesurer la distance entre New York et Los Angeles avec une précision d'environ un tiers de millimètre. Mais la seule précision orbitale ne suffit pas pour anticiper les déplacements de Bennu, car de nombreuses forces externes sont susceptibles de modifier l'orbite de l'astéroïde.

Afin de déterminer la trajectoire de Bennu, l'équipe d'OSIRIS-REx utilise des modèles numériques de haute précision qui prennent en compte l'influence des forces externes agissant sur l'astéroïde, en particulier les effets gravitationnels du Soleil, de la Lune et des huit planètes, ainsi que d'autres gros astéroïdes et de la planète naine Pluton. Joue aussi le caractère légèrement aplati de la Terre, qui induit des variations notables de la trajectoire de l'astéroïde lorsque celui-ci passe à proximité.

Grâce à la précision de ces modèles, les astronomes prédisent que Bennu passera à moins de 300 000 kilomètres de la Terre en 2135. Ce qu'il adviendra ensuite est plus difficile à prévoir. Mais une chose est sûre : si Bennu traverse certaines régions particulières de l'espace infralunaire, les effets gravitationnels cumulés seront tels que l'astéroïde déviara et sa trajectoire présentera un risque de collision avec la Terre vers la fin du XXII^e siècle.

Nous n'en savons pas assez sur Bennu pour prédire s'il traversera effectivement l'une des zones de l'espace qui le déviaraient dangereusement. À ce jour, nous estimons

la probabilité d'un impact en 2196 à environ 1/10 000. Si l'on considère toutes les trajectoires d'impacts potentiels de l'astéroïde entre 2175 et 2196, la probabilité de collision augmente pour atteindre 1/2700. Heureusement, Bennu semble avoir tout autant de chances d'être complètement éjecté du Système solaire interne que de frapper la Terre. S'il évite l'une ou l'autre de ces issues, l'astéroïde a une probabilité équivalente de finir par tomber dans le Soleil et une probabilité un peu plus faible d'entrer en collision avec Vénus. Dans une moindre mesure, un accrochage avec Mercure, Mars ou Jupiter reste également possible.

La mission OSIRIS-REx nous fournira des informations sur la surface de Bennu et sa structure interne, ainsi que sur l'ensemble des perturbations que l'astéroïde subit. Ces données amélioreront la précision de nos prévisions.

Au cours
de ses trois ans en orbite,
OSIRIS-REx ne se posera que
5 secondes
sur Bennu

Cependant, la plus grande contribution d'OSIRIS-REx portera sur l'étude d'un phénomène non gravitationnel récemment découvert, l'effet Yarkovski (voir page 43). Celui-ci décrit la force exercée sur un petit astéroïde de forme irrégulière lorsqu'il absorbe la lumière solaire et renvoie l'énergie vers l'espace sous forme de chaleur. S'il n'est pas distribué de façon homogène sur l'ensemble de l'astéroïde, le rayonnement thermique réémis agit comme un minuscule propulseur et entraîne une

lente dérive de l'orbite. Les astéroïdes dont la rotation est de sens direct (qui tournent d'ouest en est, comme la Terre) s'éloignent du Soleil sous l'effet de cette poussée. À l'inverse, les astéroïdes à la rotation rétrograde, tel Bennu, dérivent vers l'intérieur du Système solaire.

Nous avons déjà utilisé des télescopes terrestres et spatiaux pour mesurer l'effet Yarkovski sur Bennu et démontré que son orbite s'est décalée de plus de 160 kilomètres depuis sa découverte en 1999. Cela signifie que Bennu a probablement des origines plus lointaines dans la ceinture d'astéroïdes, entre Mars et Jupiter, et qu'il aurait par la suite migré vers l'intérieur de la ceinture et atteint sa position actuelle.

L'effet Yarkovski agit aussi sur la rotation de Bennu : la lumière frappe de façon asymétrique la surface de l'astéroïde et le rayonnement réémis crée un couple de forces qui augmente sa vitesse de rotation. L'une des conséquences de ce phénomène est la déformation du corps : du matériau de surface des pôles se déplace vers l'équateur sous l'effet de la force centrifuge qui se renforce (ce qui explique la forme en toupie de Bennu). Le remaniement à grande échelle de la surface qui en résulte a peut-être exposé du matériau frais, non érodé, à la surface de Bennu, ce qui serait idéal pour prélever un échantillon.

En mesurant la rotation de Bennu, sa superficie et son émission thermique, OSIRIS-REx effectuera une étude détaillée de l'effet Yarkovski et de son impact sur l'astéroïde. L'amélioration de nos connaissances sur l'effet Yarkovski permettra de mieux évaluer les risques liés aux astéroïdes géocroiseurs. En outre, une meilleure compréhension de ce phénomène sera cruciale pour les éventuelles futures missions de déflexion des astéroïdes, un moyen envisagé pour repousser ces bolides spatiaux vers une trajectoire moins menaçante.

Depuis son élaboration au milieu des années 2000 jusqu'à sa conclusion dans les années 2020, le programme OSIRIS-REx représente un investissement de centaines de millions de dollars et de nombreuses heures de travail pour une équipe de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens. Tous