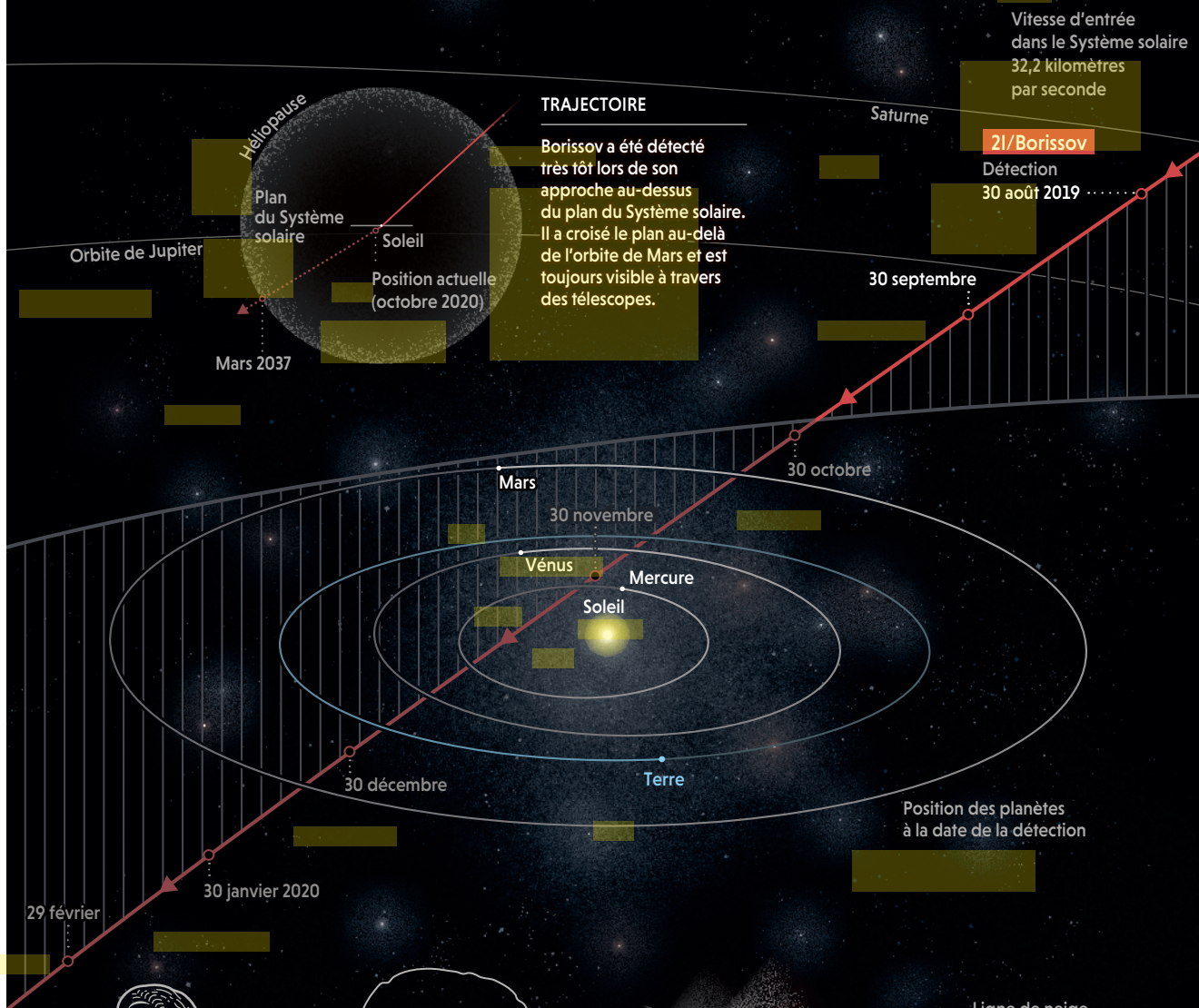


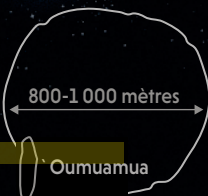
2I/BORISSOV

Le deuxième visiteur interstellaire est très différent du premier. Il ressemble à une comète normale, avec une forme assez sphérique et sans dynamique inattendue. Borissov présente les caractéristiques qu'anticipaient les chercheurs pour un objet qui viendrait d'au-delà du Système solaire et qui serait un reliquat éjecté des régions externes et glacées d'un système planétaire en formation.



DÉTECTION

L'astronome amateur Guennadi Borissov l'a repéré grâce à son télescope fait maison, de 65 centimètres, en Ukraine.



ASPECT

Sa forme précise est inconnue, mais Borissov ressemblerait à une comète classique avec un rayon de 400 à 500 mètres. L'objet présente une queue cométaire.

DÉGAZAGE

Comme la plupart des comètes, Borissov libère du gaz à cause de la sublimation de la glace de sa surface, un effet qui lui donne une poussée supplémentaire.

ORIGINE

Son contenu en glace suggère que Borissov a été éjecté depuis les régions froides à la périphérie d'un système planétaire lointain.

> une partie des planétésimaux, le processus de croissance a été interrompu car ils ont été dispersés (par l'influence gravitationnelle de Jupiter notamment) dans les régions les plus reculées du Système solaire. Là, dans le froid extrême, ils sont restés sans presque évoluer depuis cette époque lointaine.

Mais, parfois, certains de ces objets peuvent être renvoyés vers la partie interne du Système solaire, où la chaleur du Soleil sublime leur glace. Ils forment alors des queues cométaires. D'autres objets sont au contraire totalement éjectés du système et se retrouvent alors à dériver dans le milieu interstellaire. Perdus dans l'immensité de la Voie lactée, ces derniers traversent parfois d'autres systèmes stellaires. Étant donné l'aspect chaotique de cette dynamique et les déviations de la trajectoire de ces corps errants sous l'influence du champ gravitationnel des étoiles rencontrées, il est impossible de dire depuis combien de temps ces objets dérivent et d'où ils viennent exactement.

Chaque jour, trois visiteurs interstellaires entreraient dans le Système solaire

Néanmoins, nous pouvons affirmer avec confiance que Borissov est un planétésimal riche en glace issu des régions périphériques d'un disque protoplanétaire d'une étoile inconnue. Tout ce que nous avons appris sur Borissov – et la preuve que certains objets interstellaires sont exactement ce que nous avons imaginé – ne fait qu'exacerber l'étrangeté de 'Oumuamua. Ces deux objets sont tellement différents qu'ils ont sans doute des origines différentes.

La découverte de Borissov a donc relancé les questions sur la nature de 'Oumuamua et de nouvelles idées ont été avancées. En mai 2020, Darryl Seligman, de l'université de Chicago, et Gregory Laughlin, de l'université Yale, ont suggéré que 'Oumuamua était un nouveau type d'objet constitué de glace d'hydrogène moléculaire, une sorte d'iceberg cosmique formé dans les régions les plus froides des nuages moléculaires. Mais, en juin, Avi Loeb et Thiem Hoang, de l'institut d'astronomie et des sciences spatiales de Corée, ont rétorqué que l'hydrogène moléculaire est si volatil qu'un tel

corps n'aurait pu ni se former dans un nuage ni survivre au voyage interstellaire. Autre piste: Yun Zhang, des observatoires astronomiques de l'Académie chinoise des sciences, et Douglas Lin, de l'université de Californie à Santa Cruz, ont suggéré que 'Oumuamua pourrait être un débris produit par la dislocation gravitationnelle d'une planète ou d'un autre corps passé trop près de son étoile hôte.

'Oumuamua est un vrai casse-tête qui nous oblige à revoir notre compréhension de la formation des systèmes planétaires. En effet, à partir de nos modèles de cette formation, nous pouvons aussi estimer le nombre de visiteurs interstellaires dans notre voisinage. Et dans les scénarios les plus généreux, on atteint tout juste le dixième, voire le centième, du chiffre évoqué plus haut de l'ordre de 10 000 objets de ces visiteurs dans notre voisinage. En d'autres termes, nous ne savons pas expliquer pourquoi il y a autant de débris interstellaires. Il n'est pas impossible qu'en détectant plus de visiteurs, en améliorant notre compréhension de ces bolides, les deux valeurs incompatibles de leur densité dans l'espace convergeront. Mais il se pourrait aussi qu'un élément nous échappe, comme un mécanisme encore inconnu qui produit en grande quantité des débris interstellaires.

REVISITER LA PANSPERMIE

La découverte de visiteurs interstellaires peut être une source de nouvelles informations sur la formation des systèmes planétaires, mais elle apporte aussi des éléments de réflexion sur une autre question fondamentale en science: comment la vie a-t-elle commencé sur Terre? Le scénario de la panspermie suggère que des astéroïdes portant des germes d'anciens organismes les auraient transportés depuis un autre système planétaire vers le nôtre. Que peut-on désormais dire de ce scénario?

Si des visiteurs interstellaires pénètrent régulièrement dans le Système solaire, il n'est pas improbable que l'un d'eux percute occasionnellement la Terre. À partir du nombre estimé de visiteurs interstellaires, on peut avancer qu'un tel bolide frapperait notre planète tous les 100 à 200 millions d'années (soit des milliers de fois moins souvent que des astéroïdes du Système solaire de même taille). La plupart de ces corps se disloqueraient et se vaporiseraient dans l'atmosphère, mais certains pourraient atteindre le sol. Au cours du temps, plusieurs milliards de tonnes de matériau interstellaire auraient été déposées sur Terre.

Ces impacts ont-ils pu apporter la vie sur notre planète? De façon surprenante, les astéroïdes et les comètes offriraient des conditions peut-être suffisantes pour transporter des cellules du vivant pourtant si fragiles. Les rayons cosmiques, si nocifs pour l'ADN, ne pénètrent >

'Oumuamua est peut-être un agrégat glacé de poussières de structure fractale

> que de quelques mètres dans un matériau solide. Ainsi, des cellules vivantes profondément enfouies dans la roche pourraient survivre à un voyage interstellaire ayant duré des millions ou des centaines de millions d'années. À des températures proches du zéro absolu, n'importe quelle cellule serait dans un « état d'hibernation profonde ». Encore faut-il qu'elles résistent au choc de l'entrée dans l'atmosphère et de l'impact au sol. Or des expériences ont montré que des bactéries terrestres étaient capables de survivre à des collisions à des vitesses cosmiques. Si la panspermie reste un scénario très spéculatif, elle est néanmoins une piste intéressante.

Pour mieux comprendre les objets interstellaires, notre priorité est d'en trouver d'autres. Avec seulement deux objets pour l'instant, notre collection reste limitée. Grâce aux progrès constants de l'astronomie, il est certain que nous identifierons bientôt des dizaines de ces objets. Avec ces découvertes, nos calculs statistiques sur leur nombre seront moins grossiers et nous aurons une meilleure vue d'ensemble sur leurs propriétés physiques. La plupart des télescopes professionnels ont un champ de vision très étroit, typiquement quelques millièmes de la surface apparente de la Lune. Ils ne sont donc pas les plus efficaces pour traquer les visiteurs interstellaires. Mais certains détecteurs à champ large sont capables d'observer la Lune en une seule fois et le ciel complet en une nuit ou deux. Grâce à de puissants ordinateurs, nous pouvons analyser ces panoramas complets pour y trouver des objets en mouvement.

Avec l'observatoire Vera-Rubin, en cours de construction au Chili, nous aurons un outil vraiment performant pour cette recherche. Ce télescope sera doté d'un miroir collecteur de 8,4 mètres de diamètre et un détecteur de 3 milliards de pixels... des caractéristiques inimaginables il y a à peine dix ans. Chaque image de cette gigantesque caméra couvrira une aire 40 fois plus grande que la Lune. Cet observatoire devrait repérer un grand nombre de

visiteurs interstellaires, mais aussi une foule d'astéroïdes, de comètes et d'objets de la ceinture de Kuiper de notre propre système.

Si nous réussissons à observer beaucoup de visiteurs interstellaires, nous répondrons à de nombreuses questions les concernant. Combien parmi ceux-ci présentent-ils un corps oblong et sans glace comme 'Oumuamua et combien ressemblent plus à une comète comme 2I/Borissov? Certains sont-ils vraiment poreux au point de pouvoir être déviés par la pression de la lumière?

Mais pour vraiment comprendre la nature d'un tel visiteur, l'idéal serait de pouvoir y envoyer une sonde spatiale pour l'observer de près ou même de s'y poser pour en récupérer un échantillon. L'obstacle majeur est qu'il faudrait être capable de préparer une telle mission en très peu de temps, tant ces bolides traversent rapidement le Système solaire. Petit et peu lumineux, 'Oumuamua a disparu et s'est retrouvé hors de portée des télescopes les plus puissants quelques mois après sa découverte. 2I/Borissov ne brillera plus assez d'ici à un an ou deux. Or il faut au moins une décennie pour concevoir, faire valider, construire et lancer une mission spatiale. Dans ces conditions, il semble impossible de prévoir un rendez-vous avec un objet interstellaire de passage.

Une solution serait de lancer et placer la sonde sur une orbite d'attente avant même de savoir où elle sera ensuite envoyée. C'est l'idée suivie par l'Agence spatiale européenne avec *Comet Interceptor*, qui devrait décoller en 2028. La sonde sera placée au point de Lagrange L2 de la Terre (un point gravitationnellement stable) distant de 1,5 million de kilomètres. Elle pourra y maintenir une orbite stable en attendant le passage d'un objet intéressant. Cependant, l'*Interceptor* n'aura pas la puissance suffisante pour rattraper un visiteur interstellaire, à moins que l'un d'eux ne passe par chance à proximité du point L2.

Pour atteindre de tels objectifs, il faudra utiliser des fusées puissantes. Mais celles-ci, plus lourdes, sont aussi les plus chères à faire décoller. Et même si l'on peut espérer survoler un jour un visiteur interstellaire, accélérer une sonde pour rivaliser de vitesse avec un tel bolide afin d'y récupérer un échantillon est un défi énorme. Il faudra probablement se tourner vers de nouvelles techniques de propulsion, comme les voiles solaires poussées par la pression de radiation solaire ou par un puissant laser depuis la Terre. Mais ces approches ont leurs propres difficultés... Malgré tout, examiner de près un objet qui vient d'au-delà des frontières du Système solaire serait une perspective extraordinaire et les chercheurs ne manquent pas d'idées pour y parvenir. D'une façon ou d'une autre, nous réussirons à percer les secrets de ces visiteurs interstellaires. ■

BIBLIOGRAPHIE

J. X. Luu et al., **'Oumuamua as a cometary fractal aggregate : the "Dust Bunny" model**, *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 900, L22, 2020.

D. Jewitt et J. Luu, **Initial characterization of interstellar comet 2I/2019 Q4 (Borisov)**, *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 886, L29, 2019.

D. Jewitt et al., **Interstellar interloper 1I/2017 U1 : Observations from the NOT and WIYN telescopes**, *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 850, L36, 2017.