

À LA CITÉ DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE

17 novembre

• Manipuler le climat, dernier rempart contre le réchauffement planétaire ?

Roland Sférian, climatologue à Météo-France, Centre national de recherches météorologiques, Toulouse.

24 novembre

• L'ingénierie écologique pour réparer ou améliorer les écosystèmes

Luc Abbadie, directeur du laboratoire Biogéochimie et écologie des milieux continentaux, École normale supérieure (ENS).

1^{er} décembre

• Des matériaux à l'architecture : s'inspirer du vivant

Kalina Raskin, ingénieure physico-chimiste et docteur en biologie, directrice générale du Centre européen d'excellence en biomimétisme (CEEBIOS).

8 décembre

• Le droit peut-il sauver la nature ?

Table ronde avec :

Julien Bétaille, maître de conférences en droit public à l'université Toulouse 1 Capitole ; Marine Calmet, juriste, présidente de Wild Legal ; Pierre Charbonnier, philosophe, chercheur au CNRS, (sous réserve) ; Marine Denis, doctorante en droit international à l'université Sorbonne Paris Cité et porte-parole de l'association Notre affaire à tous.

Modération : Catherine Portevin, rédactrice en chef adjointe de *Philosophie Magazine*.

AVEC LE SOUTIEN DE

POUR LA SCIENCE

philosophie

La nature : entre artificialisation et source d'inspiration conférences

accès gratuit sur réservation obligatoire

— les mardis à 19h



cité
sciences
et industrie

Science... ça tourne !

cité

sciences
et industrie

les chercheurs font leur cinéma festival

accès gratuit sur réservation obligatoire

28 novembre à 14h30

Edition

À LA CITÉ DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE

Cérémonie de clôture du 14^e Festival de très courts métrages de médiation scientifique d'Île-de-France. Entre deux expérimentations dans leur laboratoire, de jeunes scientifiques s'emparent d'une caméra pour expliquer leur sujet de recherche en réalisant un court métrage de cinq minutes. Venez partager cette expérience originale et débattre avec eux.

Projection des films et débat avec les réalisateurs, les membres du jury et le public.

Vote et remise des prix.

→ En présence du jury :

Loïc Barché, réalisateur et scénariste ; Élodie Bitsindou, doctorante en histoire de l'architecture contemporaine au centre André Chastel, Prix du jury 2019 ; Jean-Marc Hovasse, professeur de littérature française à Sorbonne Université, directeur de recherche CNRS à l'institut des textes et manuscrits modernes ; Claire Rougeulle, directrice de recherche CNRS en génétique au centre Épigenétique et destin cellulaire, professeure à l'École polytechnique ; Laélia Véron, maîtresse de conférence en stylistique à l'université d'Orléans.

EN PARTENARIAT AVEC



AVEC LE SOUTIEN DE



L'ESSENTIEL

> On pensait que la détection d'objets interstellaires traversant le Système solaire était peu probable. Pourtant, 'Oumuamua et Borissov ont été observés respectivement en 2017 et 2019.

> Alors que Borissov ressemble à une comète du Système solaire, 'Oumuamua présente

de nombreuses caractéristiques atypiques.

> Ces corps apporteront des informations sur les mondes d'où ils viennent et sur les processus de formation des planètes. Mais les étudier de près est un défi technique majeur.

LES AUTEURS



DAVID JEWITT
astronome à l'université
de Californie
à Los Angeles, aux États-Unis



AMAYA MORO-MARTÍN
astronome à l'Institut
des sciences du télescope
spatial, à Baltimore,
aux États-Unis

Les premiers visiteurs interstellaires



Les astronomes ont récemment découvert dans le voisinage du Soleil des objets n'appartenant pas au Système solaire. Certes, ils avaient anticipé la présence de tels visiteurs venus de très loin. Mais les caractéristiques de l'un d'eux, nommé 'Oumuamua, intriguent les chercheurs.

Dans la nuit du 24 octobre 2017, un courriel porteur de nouvelles captivantes est arrivé dans la messagerie électronique de l'un de nous (David Jewitt). L'astronome Davide Farnocchia, du laboratoire JPL, à la Nasa, écrivait à propos d'un objet céleste à la trajectoire très étrange. Découvert à peine six jours plus tôt par Robert Weryk, de l'université de Hawaï, et initialement noté P10Ee5V, ce corps voyageait trop vite pour que le Soleil ne le maintienne sur une orbite fermée. Au lieu de décrire une ellipse comme les autres corps du Système solaire, son orbite était ouverte (hyperbolique), indiquant qu'il ne faisait que traverser le Système solaire et ne reviendrait jamais dans le voisinage du Soleil. De nombreux observatoires se sont alors mobilisés pour suivre ce bolide spatial.

Avec cette découverte, nous étions sur le point d'ouvrir une nouvelle fenêtre d'exploration dans le domaine de l'astronomie. Renommé C/2017 U1 («C» pour comète), puis A/2017 U1 («A» pour astéroïde) et, finalement, >

Il/'Oumuamua (ici une vue d'artiste) est le premier objet interstellaire jamais observé dans le Système solaire. Il est passé à proximité de la Terre en 2017.

> 11/'Oumuamua, cet objet était le premier corps que les astronomes observaient dans le Système solaire qui venait d'ailleurs. Le «11» dans sa désignation lui donne le statut officiel de premier objet interstellaire jamais détecté. Robert Weryk et ses collègues, qui l'ont découvert grâce aux télescopes du programme d'observation Pan-Starrs installés sur l'île de Maui, dans l'archipel de Hawaï, ont proposé de le nommer 'Oumuamua, ce qui signifie en hawaïen «un messager de loin arrivé en premier».

TROP RAPIDE POUR APPARTENIR AU SYSTÈME SOLAIRE

La vitesse du bolide n'avait pas échappé à l'attention des chercheurs. Même en sous-trayant la contribution due à la force attractive exercée par le Soleil, 'Oumuamua se déplaçait à une vitesse anormalement élevée: 26 kilomètres par seconde. Aucune interaction avec un corps du Système solaire n'a pu propulser cet objet à une telle vitesse; et le champ gravitationnel du Soleil est trop faible pour le capturer. Conclusion: 'Oumuamua provient d'au-delà des frontières du Système solaire.

À quoi a ressemblé le voyage de cet objet? Les observations suggèrent qu'il provient d'une direction pointant vers l'étoile brillante Véga, dans la constellation de la Lyre, mais Véga ne se trouvait pas à cet endroit quand 'Oumuamua y était il y a environ 300 000 ans. De ce que l'on peut en dire, il erre peut-être dans la Galaxie depuis des centaines de millions d'années.

Les astronomes suspectent depuis longtemps que des corps interstellaires traversent régulièrement le Système solaire, mais en détecter un a été une réelle surprise. En 2016, grâce à une analyse exhaustive de nos capacités d'observation, Toni Engelhardt, de l'université de Hawaï, et ses collègues avaient conclu que les chances d'identifier un objet interstellaire étaient très faibles. Ces objets étaient probablement trop petits et trop sombres pour qu'on puisse les découvrir. 'Oumuamua a défié les probabilités. Mais alors que nous accumulions des données sur ce bolide, nous n'étions qu'au début de nos surprises. Tout – sa taille, sa forme, son manque d'attributs cométaires... – contredisait notre intuition et l'image que nous nous faisons de ces objets interstellaires. Si ce corps était représentatif des visiteurs venus de loin, nous avions beaucoup à apprendre!

Les observations effectuées avec le Télescope optique nordique et d'autres observatoires ont rapidement montré que 'Oumuamua est dénué des deux attributs principaux d'une comète: la queue et la chevelure (ou coma, qui correspond au halo de poussière et de glace sublimée, glace entourant le noyau de la comète et qui passe directement de l'état solide à gazeux). Il ressemble plutôt à un astéroïde rocheux. Mais sachant

que cet objet a traversé le vide interstellaire, où la température moyenne avoisine quelques degrés à peine au-dessus du zéro absolu, et que l'eau, après le dihydrogène, est la molécule la plus abondante, il est surprenant que 'Oumuamua ne transporte pas de glace, même en petite quantité.

La forme de cet objet soulève aussi son lot de questions. Les astronomes se fondent sur la brillance d'un corps pour en estimer la taille, car plus un objet est imposant, plus il reflète de lumière du Soleil vers la Terre. La brillance moyenne de 'Oumuamua suggère que son diamètre est d'environ 100 mètres, ce qui est assez petit si on le compare à la plupart des astéroïdes connus.

Avec un tel gabarit, si 'Oumuamua avait traversé le Système solaire au niveau de la ceinture d'astéroïdes, entre Mars et Jupiter, où résident la plupart des astéroïdes de ce système, nous ne l'aurions jamais vu. Mais nous avons eu de la chance: cet objet est passé très près de la Terre, à seulement 60 millions de kilomètres (ce qui représente 40% de la distance Soleil-Terre).

VAISSEAU EXTRATERRESTRE OU MOUTON DE POUSSIÈRE?

La brillance de la plupart des astéroïdes, qui ont des formes sphéroïdes grumeleuses, varie de façon cyclique car, en rotation sur eux-mêmes, ces objets nous présentent alternativement des faces plus ou moins grandes. Les variations de la brillance permettent de tracer une «courbe de lumière» de l'objet et d'en déduire les proportions de celui-ci. En décembre 2017, les chercheurs avaient collecté assez de données pour tracer la courbe de lumière de 'Oumuamua. Sa période de huit heures n'était pas particulièrement atypique comparée aux autres astéroïdes. En revanche, là où ces derniers ont une variation de brillance de 10 à 20% au cours de leur rotation, 'Oumuamua voit sa lumière varier d'un facteur 10. Cela suggère que ce corps a une forme très effilée et qu'il présente vers la Terre tantôt une face large, tantôt un côté très étroit.

La taille et les proportions de 'Oumuamua rappellent celles des grosses fusées (par exemple, *Saturn V* mesure 110 mètres de hauteur pour 10 mètres de largeur). Il faut noter >

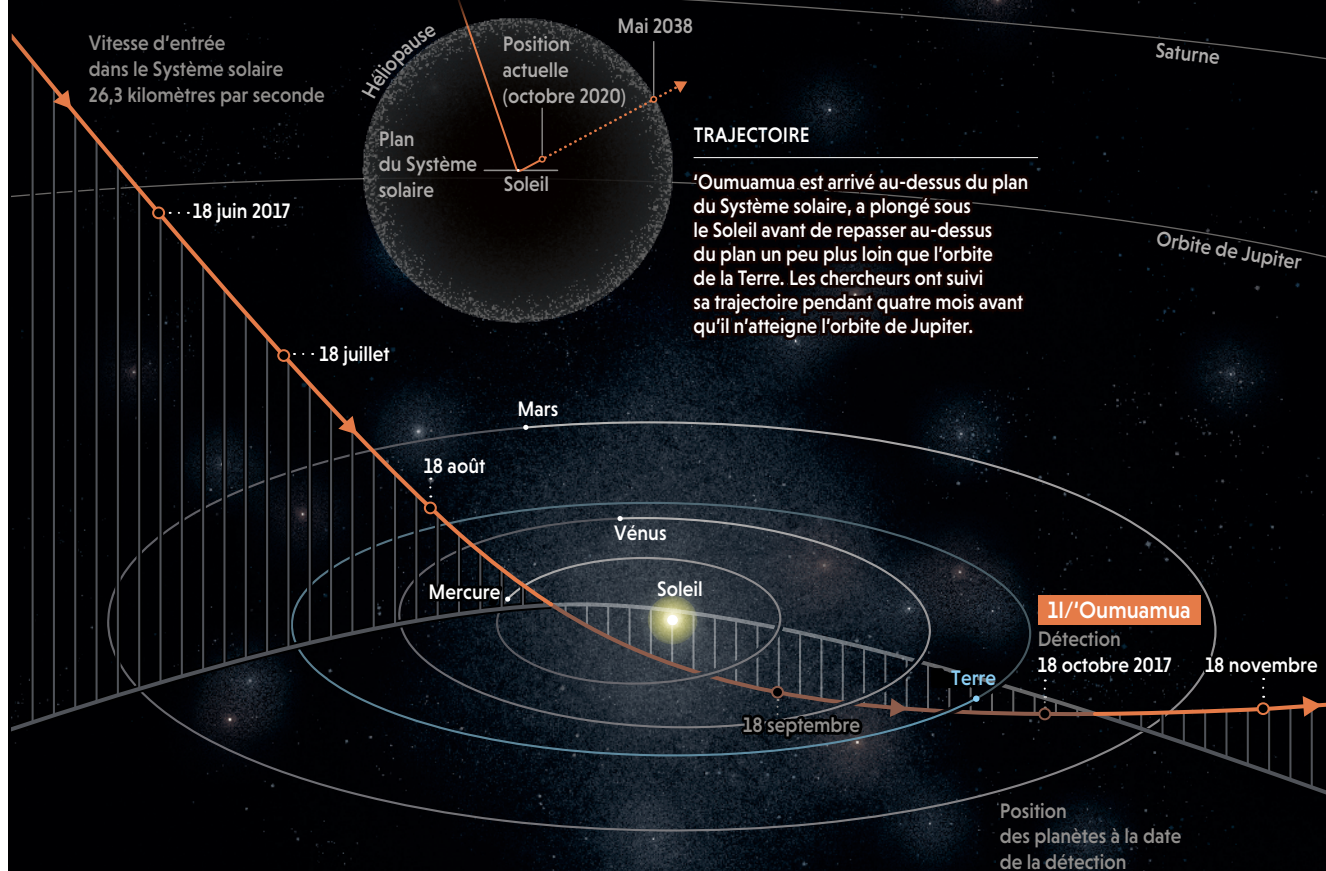


Les chances d'identifier un objet interstellaire étaient très faibles



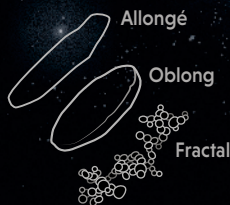
1I/'OUMUAMUA

Les astronomes sont perplexes face à nombre de caractéristiques de ce premier visiteur interstellaire jamais observé. Ils ne savent expliquer ni sa forme oblongue ni sa dynamique, qui semble influencée par une force autre que l'attraction gravitationnelle du Soleil et de ses planètes. Or l'objet ne semble pas dégazer à la manière des comètes.



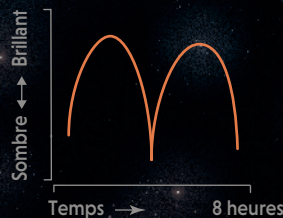
DÉTECTION

Observé pour la première fois par Robert Weryk en utilisant le télescope de 1,6 mètre du programme Pan-Starrs, sur l'île Maui, à Hawaii.



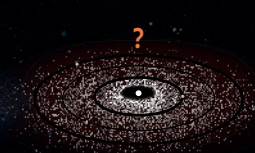
ASPECT

Ses dimensions précises sont inconnues. Sa forme est très allongée, ce qui le distingue nettement des milliers d'objets du Système solaire qui ont été étudiés.



COURBE DE LUMIÈRE

Les astronomes ont déterminé la forme de 'Oumuamua grâce à sa courbe de lumière, les variations au cours du temps de la lumière qu'il réfléchit. Les changements rapides suggèrent que l'objet est très allongé et présente vers nous tantôt un petit côté tantôt une grande surface.



ORIGINE

Cet objet provient selon toute probabilité d'un lointain système planétaire dont il a été éjecté il y a très longtemps.

> que des astronomes qui surveillent le ciel à la recherche de comètes et d'astéroïdes redécouvrent parfois des fusées abandonnées flottant dans l'espace, en orbite autour du Soleil. Ainsi, l'objet 2000 SG344, repéré en 2000, est peut-être un débris du programme *Apollo*. Mais 'Oumuamua a une orbite trop extrême pour être une fusée des années 1960. Pourrait-il s'agir d'une fusée d'une civilisation extraterrestre? Aussi incroyable que cette idée puisse paraître, les astronomes n'ont pas assez d'éléments pour exclure cette possibilité.

De façon surprenante, une autre observation a alimenté cette hypothèse. En juin 2018, l'astronome italien Marco Micheli, de l'Agence spatiale européenne, et ses collègues ont analysé la trajectoire de 'Oumuamua. Ce dernier semblait subir l'action d'une force, comparable à une poussée de fusée, en plus des forces gravitationnelles exercées par le Soleil et ses planètes.

De telles forces non gravitationnelles sont bien connues dans le cas des comètes. Elles naissent du fait d'une poussée asymétrique liée à la sublimation de la glace sur la seule face du noyau cométaire éclairée par le Soleil. Mais 'Oumuamua n'est pas une comète et il ne montre aucun signe de perte de masse. L'objet émettrait-il du gaz, plus difficile à détecter que de la poussière cométaire? Le cas serait unique: les astronomes ne connaissent aucun exemple de corps qui émet uniquement du gaz, sans glace ou poussière.

En novembre 2018, Shmuel Bialy et Avi Loeb, du centre d'astrophysique Harvard et Smithsonian, ont proposé que cette force non gravitationnelle résulterait de la pression de radiation exercée par la lumière du Soleil. Mais pour que l'effet soit assez important pour être mesurable, il faudrait que 'Oumuamua soit très fin, comme du mylar (le film plastique aluminisé utilisé pour les ballons à hélium), ou de très faible densité. Les deux chercheurs ont ainsi suggéré que l'objet était peut-être une voile solaire, un vaisseau spatial construit par une autre civilisation et conçu pour être propulsé à travers l'espace par la lumière des étoiles.

Cette idée est considérée comme trop farfelue par la plupart des astronomes, lesquels privilégient une origine naturelle. En février 2019, l'une de nous, Amaya Moro-Martín, a calculé que 'Oumuamua devrait être cent fois moins dense que l'air pour être propulsé par la lumière du Soleil. Ce «mouton de poussière» cosmique serait un agrégat glacé formé dans les régions reculées d'un disque protoplanétaire. Celui-ci aurait une structure poreuse avec une géométrie fractale (la masse volumique ne suivrait pas une relation en r^3 mais en r^D , où D est un nombre – la dimension fractale – compris entre 2 et 3, r étant le rayon d'un élément de volume sphérique de l'agrégat).

Jane Luu, Eirik Flekkøy, de l'université d'Oslo, en Norvège, et Renaud Toussaint, de l'université de Strasbourg, ont proposé que 'Oumuamua serait né de l'agglomération de particules de poussière dans la chevelure d'une comète active, et se serait ensuite échappé de son hôte. De telles structures, de tailles inférieures au centimètre, ont effectivement été observées dans la chevelure de la comète Tchouri par exemple. Les trois chercheurs ont montré que de tels agrégats pouvaient atteindre la taille de 'Oumuamua, survivre dans le vide du milieu interstellaire et résister aux contraintes mécaniques de leur rotation et aux forces de marée lors de leur passage dans le Système solaire. En revanche, sur Terre, ces structures fractales ne supporteraient pas la pesanteur et s'effondreraient. Ces structures pourraient aussi piéger un peu de glace d'eau lors de la formation (ou en traversant des zones extérieures et froides de systèmes stellaires), mais la glace se sublimerait rapidement à l'approche d'une étoile. Cela expliquerait pourquoi 'Oumuamua n'avait pas d'attributs cométaires au moment de sa détection.

DES MILLIERS D'OBJETS SIMILAIRES?

Malgré toutes les bizarreries de 'Oumuamua, le plus étonnant est que de tels objets pourraient être assez nombreux dans le Système solaire. On sait que cet objet de petite taille a été détecté parce qu'il est passé assez près de la Terre et parce que nous disposons depuis quelques années d'instruments assez puissants pour l'observer. Le programme *Pan-Starrs* a démarré ses observations en 2010, mais n'a atteint sa pleine capacité que récemment. Avec un raisonnement probabiliste à partir de ces deux faits, les chercheurs ont estimé que le nombre de visiteurs interstellaires s'élevait peut-être à un corps pour un volume de 10 unités astronomiques au cube (une unité astronomique correspond à la distance Terre-Soleil). Ainsi, si l'on considère un volume sphérique centré sur le Soleil et s'étendant jusqu'à l'orbite de Neptune, il y aurait environ 10 000 objets similaires à 'Oumuamua. Et si l'on considère que ces voyageurs venus de loin mettent dix ans à traverser cette région, il devrait en arriver environ trois par jour!

Si l'on se fie à cette analyse statistique, que peut-on conclure quant à l'origine de 'Oumuamua? Si l'on reprend l'idée d'extraterrestres envoyant des restes de fusées ou de voiles solaires et que l'on extrapole à toute la Voie lactée, on arrive à un nombre vertigineux de 10^{24} à 10^{25} objets similaires dans la Galaxie. Difficile d'imaginer qu'une civilisation ait les capacités de produire autant de débris dans l'espace. Ces arguments plaident plutôt pour une origine naturelle. Dès lors, la grande majorité des astronomes pensent que 'Oumuamua



L'objet 2I/Borissov (ici une vue d'artiste), le deuxième visiteur interstellaire détecté (en 2019), présente les mêmes caractéristiques que les comètes du Système solaire.

est juste un objet de forme étrange, venu d'ailleurs dans la Voie lactée.

Le caractère atypique de 'Oumuamua a plongé les astronomes dans une profonde perplexité. Nous avons donc hâte de découvrir un second visiteur interstellaire. Sera-t-il aussi bizarre que 'Oumuamua? Ou ressemblera-t-il à une comète ou un astéroïde du Système solaire?

UNE DEUXIÈME DÉCOUVERTE

À partir du nombre estimé de ces visiteurs dans le Système solaire, nous avons avancé que le second objet devrait être observé probablement en moins d'un ou deux ans. Pour notre plus grand plaisir, deux ans après 'Oumuamua, un astronome amateur ukrainien, Guennadi Borissov, a découvert C/2019 Q4 avec son télescope fait maison. L'objet a rapidement été renommé 2I/Borissov, le second objet interstellaire.

Sa trajectoire est encore plus extrême que celle de 'Oumuamua; en revanche, son aspect est comparable à celui d'une comète ordinaire. Les données du télescope spatial *Hubble* ont montré que son noyau est plus large que 'Oumuamua, avec un rayon compris entre 200 et 500 mètres. La courbe de lumière de 2I/Borissov est bien plus régulière que celle du premier visiteur

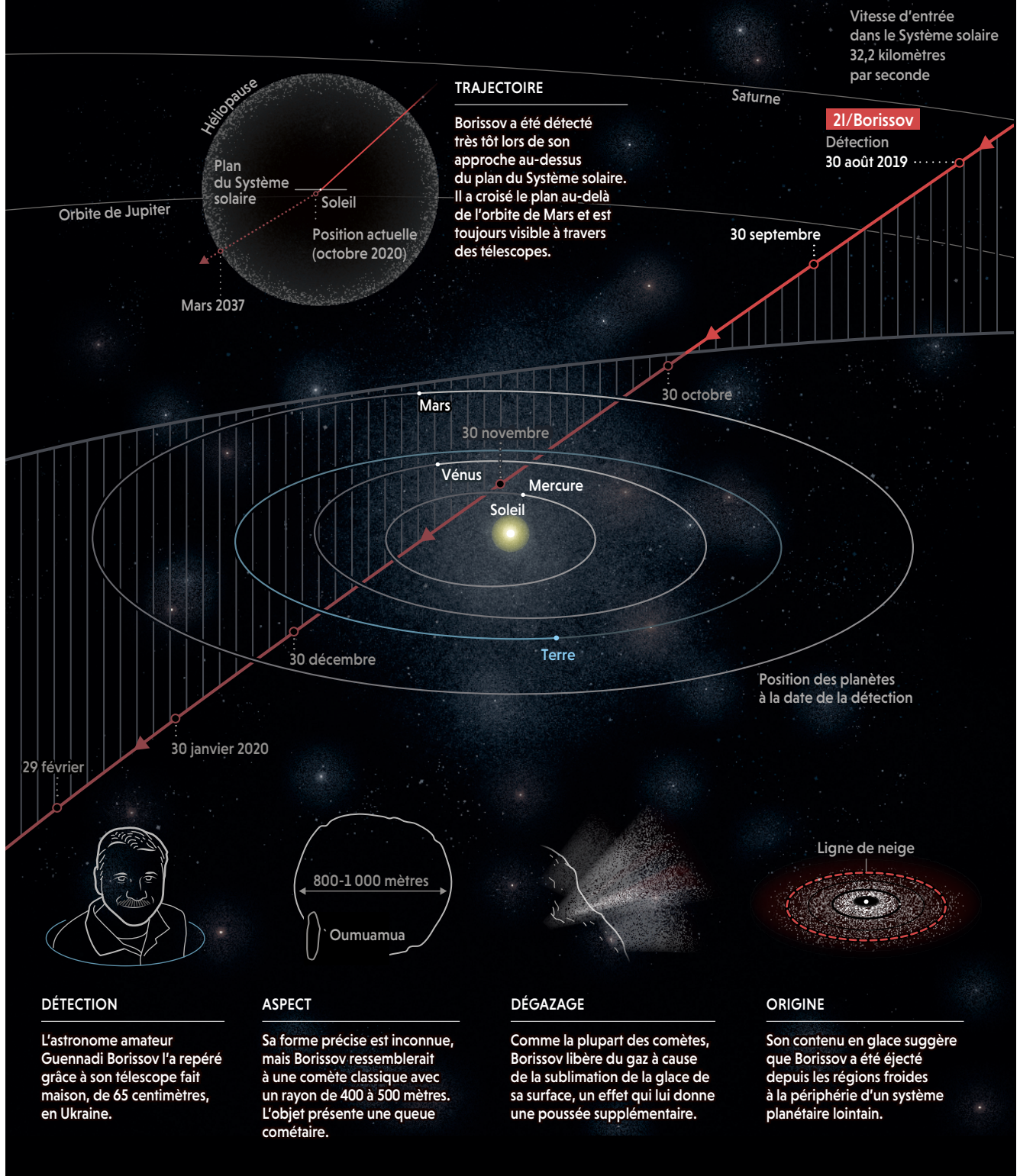
interstellaire et ses mouvements d'origine non gravitationnelle s'expliquent très bien à partir du dégazage asymétrique, comme pour les comètes du Système solaire. En mars 2020, sa brillance a subitement augmenté et son apparence semblait s'être dédoublée alors qu'un petit bloc du noyau s'est décroché, un phénomène que l'on observe souvent avec les autres comètes. En d'autres termes, ce corps correspondait bien mieux à l'image que nous nous faisons des visiteurs interstellaires.

Cette intuition que nous avons sur les propriétés de ces corps repose sur nos connaissances en matière de formation planétaire. Certains des mécanismes en jeu tendent à éjecter des objets en dehors de leur système natal et à les éparpiller à travers la Galaxie. Puis quelques-uns de ces corps finissent par traverser notre petit coin du cosmos.

Pour illustrer ce phénomène, prenons le cas du Soleil formé il y a 4,6 milliards d'années dans un disque aplati de gaz, de glace et de poussière, résultat de l'effondrement d'un nuage moléculaire géant sous son propre poids. Ce disque était assez dense pour que des grains minuscules se percutent et restent collés les uns aux autres. D'abord, des cailloux se sont formés, puis des corps plus gros nommés «planétésimaux» et finalement des planètes. Pour ➤

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.



> 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.

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

OFFRE NOËL

1 AN

3 FORMULES
AU CHOIX

	FORMULE PAPIER	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier 12 numéros par an	✓	✓	✓
Le magazine en version numérique 12 numéros par an			✓
Le hors-série papier 4 numéros par an		✓	✓
Le hors-série en version numérique 4 numéros par an			✓
Accès à pouirlascience.fr actus, dossiers, archives depuis 1996			✓
Votre cadeau : le livre <i>Pourquoi le Soleil brille</i> de Roland Lehoucq (37931069)	✓	✓	✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	59€ Au lieu de 98,80€	79€ Au lieu de 130,40€	99€ Au lieu de 190,40€

40 %
de réduction *

39 %
de réduction *

48 %
de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Next2C – Service abonnements Pour La Science – 26 Bd Président Wilson - CS40032 – 67085 Strasbourg Cedex – email: pouirlascience@abopress.fr

PAG20NOE



**OUI, je m'abonne
pour 1 an à
POUR LA
SCIENCE**

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher)

☐ **FORMULE PAPIER**
• 12 n° du magazine papier
+ UN CADEAU

59€
Au lieu de 98,80€

DIA59EK9

☐ **FORMULE PAPIER
+ HORS SÉRIE**
• 12 n° du magazine papier
• 4 Hors-série papier
+ UN CADEAU

79€
Au lieu de 130,40€

PIA79EK9

☐ **FORMULE INTÉGRALE**
• 12 n° du magazine
(papier et numérique)
• 4 Hors-série
(papier et numérique)
• Accès illimité aux contenus en ligne
+ UN CADEAU

99€
Au lieu de 190,40€

IIA99EK1

2 / J'indique mes coordonnées

☐ M. ☐ Mme

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal [] [] [] [] [] [] Ville :

Téléphone [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

Email : (indispensable pour la formule intégrale)

.....@.....

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science

☐ OUI ☐ NON

3 / Je choisis mon mode de règlement

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

Date d'expiration [] [] [] [] Clé (Les 3 chiffres au dos de votre CB) [] [] []

Signature obligatoire :

* Réduction par rapport au prix de vente en kiosque et l'accès aux archives numériques. Durée d'abonnement : 1 an. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/03/2021 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site <https://boutique.pouirlascience.fr>. Photos non contractuelles. Vous pouvez acheter séparément chaque élément de cette offre : les numéros de *Pour la Science* pour 6,90 €, les numéros de *Pour la Science Hors-série* pour 7,90 € et le livre *Pourquoi le Soleil brille* pour 16,00 €.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit «RGPD») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pouirlascience.fr.

Groupe Pour la Science - Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris CEDEX 14 - Sarl au capital de 32 000€ - RCS Paris B 311 797 393 - Siret : 311 797 393 000 23 - APE 58.14 Z