

> 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 >