

> je ne sais pas.» Youri Milner pense que son rôle dans le projet *Starshot* – outre son financement – est de s'assurer qu'il reste réaliste et qu'il s'appuie sur des bases solides. «Si cela devait prendre plus d'une génération, dit-il, nous ne devrions pas travailler sur ce projet.»

Jusqu'à la fin du mois d'août dernier, je pensais que Freeman Dyson avait raison; la technologie *Starshot* était intéressante, mais le choix d'Alpha du Centaure comme destination était idiot. L'étoile est en fait un système binaire, formé de deux étoiles de même type que le Soleil et tout à fait ordinaires. Les astronomes comprennent bien ces étoiles, et bien que comparer leurs éruptions et leur champ magnétique à ceux du Soleil puisse être utile, David Charbonneau considère que «ce que nous apprendrions en matière de physique stellaire en leur rendant visite ne vaut pas l'investissement».

Maintenant que les astronomes savent que la voisine d'Alpha du Centaure a une planète, l'intérêt scientifique est plus convaincant. L'étoile, Proxima du Centaure, est un peu plus proche de la Terre et c'est une naine rouge, le type d'étoiles le plus répandu dans la galaxie. La planète, Proxima Centauri b, est à une distance de son étoile qui la rend potentiellement habitable. Les membres de *Starshot* envisageraient-ils de changer la cible du projet? «Pourquoi pas», répond Youri Milner. «Nous avons encore largement le temps de changer d'avis.»

Mais même la présence de Proxima Centauri b ne suffira pas à garantir le succès scientifique de *Starshot*. Ses puces pourraient prendre des images, peut-être mesurer le champ magnétique de la planète, voire échantillonner l'atmosphère, mais elles devront faire tout cela en quelques minutes, du fait de leur extrême vitesse. Vu le temps de développement du projet et le coût final, souligne David Spergel, astronome à l'université de Princeton, «nous pourrions construire un télescope optique de 12 à 15 mètres dans l'espace, observer la planète pendant des mois et recueillir beaucoup plus d'informations qu'en un bref survol».

UN PROJET HUMANISTE

Mais les milliardaires sont libres d'investir leur argent comme ils le souhaitent, et d'autres sont libres de se joindre à leurs rêves. De plus, même parmi ceux qui mettent en doute l'intérêt scientifique de *Starshot*, beaucoup le soutiennent néanmoins, parce qu'en développant les techniques associées, les ingénieurs feront très certainement des innovations intéressantes. Qui plus est, même si *Starshot* échoue, des missions mettant à profit ses techniques pourraient atteindre d'autres destinations à l'intérieur et hors du Système solaire.

Si Youri Milner s'enthousiasme autant pour ce projet, c'est qu'il espère qu'un tel objectif

aura un effet fédérateur, qu'il sera capable d'unir les gens, de renforcer le sentiment d'appartenir à la même planète et à une unique espèce. «Ces six dernières années, j'ai passé 50 % de mon temps sur la route, en grande partie en Asie et en Europe», dit-il. «J'ai compris qu'un consensus global est difficile à atteindre,

La présence d'une exoplanète ne suffira pas à garantir le succès scientifique de *Starshot*

mais pas impossible.» Mais somme toute, même lui reconnaît que la volonté d'aller vers une autre étoile ne s'explique pas.

Presque tous ceux à qui j'ai posé la question ont donné la même réponse: ils ne savent pas l'expliquer à quelqu'un qui ne le comprend pas déjà; ils veulent juste y aller. Bien qu'il pense que les chances de succès de *Starshot* sont minces et ne prennent pas au sérieux ses motivations scientifiques, James Gunn, astrophysicien émérite de Princeton, affirme: «Je suis rationnel la plupart du temps, mais je ne suis pas particulièrement rationnel concernant les frontières de l'humanité dans le cosmos. Je rêve d'atteindre les étoiles depuis que je suis enfant.» Beaucoup de membres du comité consultatif disent la même chose.

C'est peut-être Freeman Dyson qui exprime le mieux les contradictions inhérentes à de tels rêves. L'idée de puces équipées d'une voile à laser se tient, dit-il, et les personnes qui portent le projet *Starshot* sont intelligentes et «tout à fait sensées». Mais il pense qu'elles devraient revoir à la baisse les objectifs, arrêter d'essayer d'aller voir Alpha ou Proxima du Centaure et se concentrer sur l'exploration du Système solaire, où les *StarChips* seraient propulsées par des lasers moins puissants et plus faciles à réaliser. «L'exploration est dans la nature humaine», conclut-il. Cependant, pour lui, ces expéditions devraient être menées avec des «machines automatiques» qui font ça très bien, surtout quand il n'y a pas de justification scientifique à envoyer des cosmonautes. Mais Freeman Dyson ne serait pas Freeman Dyson s'il n'ajoutait pas, imprévisible comme toujours: «D'un autre côté, j'adorerais y aller.» ■

BIBLIOGRAPHIE

P. Lubin, **A roadmap to interstellar flight**, *Journal of the British Interplanetary Society*, vol. 69, pp. 40-72, 2016.

M. Alpert, **Alpha Centauri or bust**, *Blog Scientific American*, <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/alpha-centauri-or-bust>

Site web du projet **Starshot**: <https://breakthroughinitiatives.org/Initiative/3>

DÉCOUVREZ LES ARCHIVES DE **POUR LA SCIENCE**



RETROUVEZ TOUS
LES NUMÉROS
DEPUIS 1996

COMPLÉTEZ
VOTRE COLLECTION
SUR www.pourlascience.fr



L'ESSENTIEL

> Plusieurs espèces de poissons de la famille des Poeciliidés colonisent des cours d'eau mexicains malgré une forte concentration en sulfure d'hydrogène.

> Divers traits, dont une tête et une progéniture de plus grande taille, facilitent leur survie dans ces eaux toxiques.

> Leur ADN montre qu'elles ont développé ces

adaptations par des voies moléculaires diverses.

> Les conditions extrêmes régnant dans les eaux sulfureuses conduisent à une spéciation rapide.

LES AUTEURS



RÜDIGER REISCH
enseignant de biologie évolutive à l'université de Londres



MARTIN PLATH
professeur de zoologie à l'université Nord-Ouest A&F à Yangling, en Chine

Sulfureuse évolution chez les poissons mexicains

LES EAUX DE CERTAINES SOURCES MEXICAINES, RICHES EN SULFURE D'HYDROGÈNE, SONT EXTRÊMEMENT TOXIQUES. POURTANT, DES ESPÈCES DE POISSONS S'Y SONT ADAPTÉES. PAR QUELS MÉCANISMES ?



LE MOLLY TAUPE

Petit poisson américain à cycle reproductif court, qui s'est révélé capable de s'adapter à des eaux sulfureuses toxiques.

Le Tabasco est un État du sud du Mexique connu pour ses piments. Récemment, nous sommes allés y étudier de petits poissons caractéristiques de certains cours d'eau de sa forêt tropicale humide. C'est ainsi qu'un après-midi de septembre, nous recherchions dans la forêt un ruisseau, dont nous avions prévu d'étudier les poissons. Guidés par un bruit d'écoulement, nous progressions vers ses eaux sous les arbres tandis que des papillons d'un bleu iridescent voletaient autour de nous et que des singes hurleurs vociféraient depuis la cime des arbres. Ce spectacle aurait pu nous détourner de notre projet, mais un martin-pêcheur nous y ramena: après avoir plongé dans les eaux que nous apercevions, l'oiseau vert se percha pour gober un poisson.

Or il s'agissait d'un molly taupé, le poisson que nous étions venus étudier! De son

nom d'espèce *Poecilia mexicana*, il fait partie des Poeciliidés, une famille de poissons vivipares, c'est-à-dire dont les femelles ne pondent pas d'œufs mais donnent naissance à des petits vivants; les mâles, aux couleurs chatoyantes, sont par ailleurs très appréciés des aquariophiles.

Les jours précédents, nous avions observé des molly taupes dans un site enchanteur, que nous avons nommé l'Arroyo Cristal – c'est-à-dire le « ruisseau de cristal » – en raison de ses eaux particulièrement claires. Assis sur de grandes pierres, nous pouvions tremper nos jambes dans l'eau pour nous rafraîchir, tandis que notre sujet d'étude nageait tranquillement entre nos pieds...

Ce paradis était ce jour-là remplacé par un enfer malodorant: celui de la petite rivière aux eaux chargées de sulfure d'hydrogène (ou H_2S) que nous recherchions. Parvenus sur les rives du cours d'eau que nous venions >

> d'apercevoir, nous avons constaté que les rochers le parsemant étaient tous couverts de films visqueux produits par les bactéries sulfureuses. Y nageaient de nombreux poissons qui, curieusement, maintenaient leurs têtes à la surface, comme s'ils haletaient la bouche grande ouverte pour trouver de l'air.

Un novice ne l'aurait pas cru, mais il s'agissait de poissons de la même espèce qu'à Arroyo Cristal. Comment était-ce possible, étant donné l'énorme différence entre cet habitat frais aux eaux pures et les eaux laiteuses à force d'être chargées en H_2S du gros ruisseau coulant à nos pieds? Ici, les mollusques taupes avaient des têtes bien plus grandes et semblaient ne pouvoir respirer qu'en surface. Pas de doute, nous avons bien trouvé le cours d'eau dont nous étions venus étudier les poissons: une petite rivière du nom d'El Azufre, ce qui en espagnol signifie «le soufre». Les mollusques taupes que nous voyions nager à nos pieds semblaient à l'aise dans ces eaux sulfureuses. Par quels mécanismes évolutifs s'étaient-ils ainsi adaptés?

Le phénomène est d'autant plus intrigant que les milieux riches en H_2S tuent en quelques minutes ou quelques secondes tout organisme non adapté, humains compris. C'est pourquoi la façon dont certains animaux parviennent à vivre dans ces milieux fascine les chercheurs.

On étudie depuis les années 1960 les Poeciliidés adaptés au H_2S , mais le flot de résultats a grossi au cours des quinze dernières années, avec les avancées du séquençage génétique. Les chercheurs sont en effet désormais capables de lire à l'échelle moléculaire comment un organisme s'adapte à telle ou telle contrainte environnementale.

C'est ce que nous avons fait: en combinant nos observations de terrain des Poeciliidés avec l'analyse de leurs gènes, nous avons obtenu de nouveaux aperçus sur le fonctionnement interne de la sélection naturelle, ce mécanisme clé de l'évolution. Cela nous a permis d'explorer les limites de l'adaptation chez les poissons. Ce genre d'information pourrait nous aider à évaluer le devenir d'espèces qui subissent des pollutions ou d'autres altérations de l'environnement dues aux activités humaines.

DES TRÈS NOMBREUX HABITATS EXTRÊMES SUR LA PLANÈTE

Les Poeciliidés sont très loin d'être les seuls organismes capables de s'adapter à un milieu difficile. Notre planète possède en effet toute une variété de tels milieux, qui vont des sources ultrachaudes que l'on rencontre fond de l'océan aux grottes sans lumière, en passant par les déserts salés. Or tous ces habitats abritent des formes de vie.

Parmi eux, les eaux sulfureuses sont particulièrement hostiles. Répandu dans la nature, le H_2S est une substance toxique qui se rencontre dans les eaux de certaines sources, dans les sources hydrothermales océaniques ou encore dans les vasières côtières et autres marais salants. Il est notamment produit par décomposition de grandes quantités de matière organique – les algues vertes de Bretagne par exemple. Surtout, certains phénomènes géologiques le libèrent des profondeurs de la Terre. C'est par cette voie que sont apparues les eaux sulfureuses que nous sommes allés étudier au Mexique. Bien entendu, il arrive aussi que des activités humaines – la production de papier, le tannage, l'exploitation du gaz naturel ou de l'énergie géothermique – introduisent du H_2S dans les habitats aquatiques.

Ces poissons passent beaucoup de temps près de la surface, là où l'eau est plus riche en oxygène

Même en très faibles quantités, le H_2S est extrêmement toxique. Deux raisons l'expliquent: d'une part, il se lie spontanément à l'oxygène disponible, ce qui empêche les animaux de respirer; d'autre part, il bloque l'activité de l'hémoglobine, la protéine qui transporte l'oxygène dans le sang. Son activité provoque donc la mort par suffocation. Le H_2S bloque aussi le processus par lequel les cellules extraient de l'énergie de la nourriture.

Ces inconvénients sont aggravés par le fait que ce composé traverse librement les membranes cellulaires des délicates branchies des poissons, de sorte que ces animaux n'ont pas besoin de l'ingérer pour en pâtir. Les humains aussi courent des risques en inhalant du H_2S ; aussi, lorsque nous travaillons près de sources sulfureuses durant de longues périodes, nous nous protégeons en portant des combinaisons adaptées.