

> étudier la chimie des atmosphères planétaires et un magnétomètre pour mesurer le champ magnétique de l'étoile.

Pour que ces données soient exploitables, les puces doivent pouvoir les renvoyer vers la Terre sur des distances interstellaires. Les satellites utilisent actuellement des diodes laser de un watt pour envoyer de l'information, mais sur des distances plus courtes. Jusqu'à présent, la plus longue distance ainsi couverte a été celle qui nous sépare de la Lune, 100 millions de fois plus proche qu'Alpha du Centaure. Afin de cibler la Terre depuis notre voisine stellaire, le pointage des signaux laser émis devra être extraordinairement précis. Et même ainsi, pendant les quatre années du voyage, le signal s'étalera et se diluera à tel point que quand il nous parviendra, il sera réduit à quelques centaines de photons. En arrivant sur Terre, le signal sera-t-il alors trop faible pour être détecté? Une solution serait d'utiliser des relais, d'envoyer le signal d'une *StarChip* à toute une série d'autres dispersées à intervalles réguliers tout le long du parcours.

LE DÉFI DE LA BATTERIE

L'alimentation des puces est aussi un défi. Des batteries devront alimenter les caméras et les processeurs informatiques qui transmettront les données tout au long du voyage. À ce jour, aucune source d'énergie assez puissante ne fonctionne à la fois dans l'obscurité et dans le froid tout en pesant moins d'un gramme. Une solution serait d'adapter les minuscules piles nucléaires utilisées dans certains implants médicaux. Une autre consisterait à exploiter la chaleur produite par le frottement de la voile contre le gaz et la poussière du milieu interstellaire.

Ce même milieu interstellaire présente aussi des risques pour les puces de *Starshot*. Le milieu est comme une fumée de cigarette très diluée, explique Bruce Draine, astronome à l'université de Princeton et membre du comité. Mais personne ne connaît exactement la densité du milieu ni la taille des grains de poussière. Et avec des collisions à une vitesse proche de celle de la lumière entre les puces et ces grains, le potentiel de destruction est difficile à estimer. Les dégâts pourraient aller de cratères mineurs à la destruction totale.

Un revêtement de quelques millimètres de cuprobéryllium (qui alourdirait la puce) offrirait une protection contre les particules les plus petites, mais des grains de poussière plus gros pourraient entraîner des dégâts catastrophiques. Quelles seront les chances de survie des puces dans ces conditions? D'après les membres de l'équipe, en envoyant des centaines voire des milliers de puces vers notre voisine stellaire, quelques-unes devraient arriver à bon port.

Par ordre de difficulté croissante, la conception de la voile vient après celle de la

puce. Les *StarChips* seraient propulsées par le recul imprimé à la voile lorsque les photons, les particules de lumière, se réfléchissent à sa surface, de la même manière que le rebond d'une balle de tennis sur les cordes pousse une raquette. C'est le principe des voiles solaires propulsées par la lumière du Soleil, mais le flux de photons de ce dernier est trop faible pour amener les *StarChips* aux vitesses voulues.

Plus la quantité de lumière réfléchie est importante, plus la poussée sera importante et plus la voile avancera vite; pour atteindre 20 % de la vitesse de la lumière, les voiles de *Starshot* devront être réfléchissantes à 99,999 %. D'où l'idée d'utiliser un laser puissant, mais «toute lumière qui n'est pas réfléchie chauffe la voile», explique Geoffrey Landis, scientifique au centre de recherche Glenn de la Nasa et membre du comité consultatif; «même si une petite fraction de la puissance du laser venait à chauffer la voile, ce serait désastreux».

Comparée aux voiles solaires déjà testées, qui utilisent le rayonnement du Soleil pour propulser des vaisseaux expérimentaux dans le Système solaire, la voile de *Starshot* devra aussi être beaucoup plus légère, avec à peu près «l'épaisseur d'une bulle de savon», dit Geoffrey Landis. En 2000, dans l'expérience qui s'approche le plus des spécifications requises pour *Starshot*, James Benford a utilisé un faisceau micro-onde pour accélérer une voile constituée d'un feuillet de carbone. Son essai est parvenu à produire une accélération de 13 g (13 fois l'accélération de la pesanteur sur Terre), alors que la voile de *Starshot* devra supporter une accélération de 60 000 g.

La voile, comme la puce, devra aussi résister à la poussière du milieu interstellaire qui risque de la cribler de trous. Jusqu'à présent, il n'existe aucun matériau qui soit à la fois léger, solide, réfléchissant et qui ne coûte pas des millions de dollars. «Un des nombreux miracles que nous devons inventer, c'est le matériau de la voile», conclut Pete Klupar.

D'autres décisions liées à la voile restent à prendre. La voile, de quatre mètres carrés, pourrait être fixée à la puce par des câbles, ou bien la puce pourrait être montée directement sur la voile. Celle-ci pourrait tourner, ce qui lui permettrait de rester centrée sur le faisceau laser de propulsion. Après l'accélération initiale, la voile pourrait se replier comme un parapluie, ce qui la rendrait moins vulnérable au voyage. Et une fois parvenue au niveau d'Alpha du Centaure, elle pourrait se redéployer et ajuster sa courbure afin de servir de miroir de télescope ou d'antenne pour renvoyer les messages de la puce vers la Terre. «Cela paraît bien compliqué, admet Geoffrey Landis, mais nous avons déjà résolu des problèmes plus difficiles.»

Tous ces défis ne sont rien comparés à celui que présente le laser qui poussera la voile. Le



L'entrepreneur et milliardaire russe Yuri Milner a dévoilé la mission *Breakthrough Starshot* lors d'une conférence de presse à New York le 12 avril 2016. Il tient un prototype de la puce *StarChip* qui devrait faire le voyage jusqu'à Alpha du Centaure. Les physiciens Stephen Hawking (au centre) et Freeman Dyson (à droite) participent au projet en tant que conseillers, parmi un groupe rassemblant de nombreux experts de divers horizons.

seul moyen pour *Starshot* d'atteindre une fraction non négligeable de la vitesse de la lumière est l'utilisation d'un laser exceptionnellement puissant d'une centaine de gigawatts. Le Département américain de la défense a produit des lasers plus puissants, dit Robert Peterkin, chef de projet au Laboratoire de recherche de l'Armée de l'air, mais ils n'émettent que pen-



Youri Milner espère que *Starshot* aura un effet fédérateur, capable d'unir les gens



dant quelques milliardièmes ou billionièmes de seconde. Or le laser de *Starshot* devra éclairer chaque voile pendant plusieurs minutes.

Pour atteindre une telle puissance sur des durées aussi longues, une solution est de grouper en réseau de petits lasers à fibre optique, de telle sorte que leurs rayonnements se combinent en un faisceau cohérent. Le Département de la défense a aussi construit des réseaux de lasers en phase, mais les siens comportaient seulement 21 lasers, pour une puissance totale de quelques dizaines de kilowatts. Le laser de *Starshot* devra inclure 100 millions de ces lasers d'environ un kilowatt chacun. Le réseau occupera au sol une surface d'un kilomètre carré.

Et les difficultés ne s'arrêtent pas là. Il faut pouvoir focaliser de façon cohérente ces 100 millions de lasers sur une petite cible, située à 60 000 kilomètres d'altitude. Tout en prenant en compte les turbulences atmosphériques, qui dévieront les faisceaux laser. La lumière pourrait passer complètement à côté de la voile, ou plus probablement l'atteindre de manière inégale, si bien que certaines parties de la voile seraient davantage poussées que d'autres. Cela déséquilibrerait la voile, la ferait tourner ou la déplacerait hors du faisceau.

Là encore, l'équipe de *Starshot* a une solution, mais celle-ci s'accompagne de son propre lot de difficultés: l'optique adaptative, déjà utilisée par les grands télescopes, qui consiste à éliminer les distorsions dues aux turbulences atmosphériques grâce à un miroir déformable. Mais il faudrait apporter à cette technique des avancées majeures pour qu'elle fonctionne avec *Starshot*. Dans le cas du laser, au lieu d'un

miroir déformable, les scientifiques devront ajuster minutieusement chaque fibre laser pour corriger les effets optiques de l'atmosphère. L'optique adaptative actuellement en service sur les télescopes atteint une précision de 30 millisecondes d'angle (unité de mesure de la taille angulaire d'un objet sur le ciel). *Starshot* devrait focaliser le laser avec une précision de 0,3 milliseconde d'angle, un exploit qui n'a jamais été réalisé.

Et même si nous parvenions à développer toutes ces techniques aussi disparates qu'audacieuses, il faudra encore les réunir en un système unique, ce qui, pour les cadres de *Starshot*, revient à créer un puzzle dont les pièces sont en pleine évolution ou n'existent pas encore. Pour les cinq prochaines années, l'objectif est de rassembler les techniques en suivant les conseils des spécialistes du comité. Les membres de l'équipe testeront la faisabilité à l'aide d'expériences à petite échelle et de modèles mathématiques.

Ils ont commencé ce processus à l'hiver 2015-2016 et émettent des appels à projets pour des technologies qui ne sont pas encore développées. Les premiers contrats sont en passe d'être signés, sur des petits projets de quelques centaines de milliers à 1,5 million de dollars chacun. Viendront ensuite les prototypes. Et, à supposer que les tests soient passés avec succès, la construction du laser et des voiles pourrait démarrer au début des années 2030, pour un lancement au milieu des années 2040.

À ce stade, *Starshot* aura déjà vraisemblablement coûté des milliards de dollars, mais il aura peut-être noué de nouveaux partenariats avec des gouvernements, des laboratoires et les agences spatiales d'Amérique, d'Europe et d'Asie. «Je vais défendre la cause du projet, et j'espère que davantage de personnes nous rejoindront», commente Youri Milner.

CAP SUR LES ÉTOILES!

Avec tous ces obstacles, quelles sont les chances de succès? Les chercheurs et les ingénieurs qui ne sont pas liés à *Starshot* tendent à penser qu'elles sont faibles; plusieurs personnes m'ont déclaré catégoriquement: «Ils n'iront pas sur Alpha du Centaure.» David Charbonneau, du centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique, pense que le projet sera à terme tellement coûteux que «cela reviendrait à convaincre la population des États-Unis d'y consacrer 5 % du budget fédéral – autant que le programme *Apollo*».

Les scientifiques liés à *Starshot* sont plus optimistes, mais restent pragmatiques. «Nous pouvons certainement utiliser des lasers pour envoyer des vaisseaux vers Alpha du Centaure», dit Greg Matloff du College of Technology de New York, et membre du comité. «Est-ce que nous pourrions les y emmener d'ici à vingt ans, >