

## 40 **Projet Breakthrough Starshot**

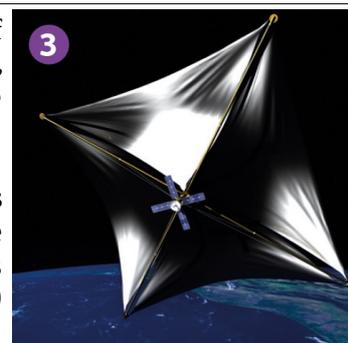
### Ce dossier comprend:

- un document présentant le projet *Breakthrough Starshot* ;
- un document sur les principes physiques de la propulsion photonique d'une voile solaire.

**L’objectif de cet exercice est de rédiger une synthèse de documents (de 25 à 30 lignes) afin d’évaluer la cohérence des données tirées du projet *Breakthrough Starshot* avec les principes physiques de la propulsion photonique. La rédaction sera illustrée de calculs s’appuyant sur les données du projet *Breakthrough Starshot*.**

### DOCUMENT 1. *Projet Breakthrough Starshot*

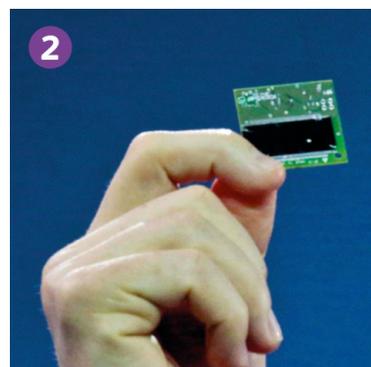
Le projet Breakthrough Starshot lancé début 2016 a pour objectif d'envoyer des milliers de sondes spatiales d'environ 1 gramme (photo 2), équipées de voiles solaires (photo 3), vers Alpha du Centaure, le système stellaire le plus proche du système solaire. La faible masse de ces sondes, de l'ordre du gramme, allié à la puissance du laser terrestre utilisé pour les propulser jusqu'à 100 GW (photo 1), permettrait à ces dernières d'atteindre 20 % de la vitesse de la lumière soit 60000 km.s<sup>-1</sup> dans le vide et ainsi de pouvoir nous retourner des images des exoplanètes potentielles d'Alpha du Centaure, et notamment de Proxima Centauri b, en 40 à 50 ans.



Ce projet essaie ainsi de contourner la contrainte de temps imposée par les méthodes de propulsion conventionnelles (propulsion chimique, fission ou fusion nucléaire, ...) qui limite l'exploration des étoiles voisines car la durée du voyage serait au minimum de plusieurs centaines d'années. Le projet comprend deux sous-ensembles : l'émetteur laser et les sondes spatiales miniaturisées.

#### Les sondes spatiales miniaturisées

Les sondes spatiales ont une masse de l'ordre du gramme et sont équipées d'une voile solaire d'environ 4 m<sup>2</sup> (2 m x 2 m) pesant également environ 1 gramme. Ces sondes spatiales seront très nombreuses (de l'ordre du millier, voire beaucoup plus). Toutes ces sondes spatiales seront dotées d'une part d'équipements identiques (communication via un laser intégré, stockage d'énergie, éventuellement le contrôle de la voile, etc.) et d'autre part d'équipements spécifiques (selon les sondes : appareil photographique, détecteur radio, analyseur de molécules, etc.) leur permettant de remplir une mission. Chaque sonde ne sera pas unique, ce qui rend la perte de quelques exemplaires défectueux non problématique.



Ces sondes seraient lâchées par milliers sur une orbite haute par un vaisseau mère. Elles seraient alors accélérées en une fois par le rayon laser.

#### L'émetteur laser

L'émetteur laser a pour but d'éclairer la voile solaire et d'accélérer la sonde spatiale grâce à la pression de radiation. La puissance du laser sera de l'ordre de 100 GW. Le rayon laser sera en fait généré par combinaison de plusieurs lasers de puissance inférieure. L'impulsion laser, de longueur d'onde micrométrique, durera 10 minutes environ, délivrant 1 TJ (10<sup>12</sup> J) à la voile et permettant à la sonde spatiale d'atteindre sa vitesse de croisière (0,2 c). Les études préliminaires menées actuellement visent à trouver des solutions pour résoudre les nombreuses difficultés techniques soulevé par le projet.



## 40 **Projet Breakthrough Starshot**

### DOCUMENT 2. Principes physiques de la propulsion photonique d'une voile solaire

Une **voile solaire** ou **photovoile** est un dispositif de propulsion utilisant la pression de radiation émise par les étoiles pour se déplacer dans l'espace à la manière d'un voilier. Compte tenu de la faible propulsion générée, le procédé ne permet pas de quitter la surface d'une planète (même dénuée d'atmosphère, et donc de friction). Il est en revanche utilisable sur un appareil ayant déjà atteint la vitesse de satellisation minimale, voire la vitesse de libération. Plusieurs prototypes de petite taille, destinés à mettre au point les systèmes de déploiement et de contrôle d'orientation particulièrement délicats, ont été placés en orbite ou sont en cours de développement : IKAROS (173 m<sup>2</sup>) de l'agence spatiale japonaise, la JAXA, lancée en 2010 ou Sunjammer voile solaire de 1200 m<sup>2</sup> dont le développement a été arrêté par la NASA en 2014.

#### Principe général

La voile solaire est propulsée par la force produite par les photons qui viennent percuter sa surface. Plus la voile est grande et réfléchissante, plus grande est la force de propulsion. On peut alors, en inclinant la voile ou en agissant sur sa voilure, modifier la surface offerte à la lumière et ainsi doser l'équilibre des forces pour ainsi « piloter » la voile. À la manière d'un bateau à voile, utilisant la force de l'eau et du vent, un engin spatial à voile solaire peut utiliser la force gravitationnelle et la force de poussée photonique pour naviguer dans l'espace.

Le principal intérêt réside dans l'absence de carburant pour un véhicule muni d'un tel dispositif. Cela permet d'envisager une très grande autonomie de déplacement dans le système solaire.

#### Action de la pression de radiation sur la voile solaire. Impulsion d'un photon « moyen »

Un corps de masse  $m$  animé d'une vitesse  $v$  possède dans celui-ci une quantité de mouvement qui est égale au produit  $mv$  de sa masse par sa vitesse. Une particule sans masse (comme un photon) possède une caractéristique s'exprimant dans la même unité et qui se nomme l'« impulsion » : le rapport de son énergie sur sa célérité.

Sous certaines conditions, l'« impulsion » du photon est donc analogue à une quantité de mouvement et l'absorption de la particule par une cible se traduit par un transfert de la quantité de mouvement en raison de la conservation de celle-ci. La quantité de mouvement du photon s'exprime par :

avec  $p$  : la norme du vecteur quantité de mouvement :  $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$h$  : constante de Planck :  $6,63\times 10^{-34}$  J·s

$\nu$  : fréquence (en hertz)

$c$  : la vitesse de la lumière :  $3\times 10^8$  m·s<sup>-1</sup>

$\lambda$  : la longueur d'onde (en mètre)

**Si la particule est réfléchiée et non absorbée, elle transmettra le double de son impulsion.**