

L'ETNA, UN TERRAIN D'ESSAI

Une équipe de robots construits par le Centre allemand d'aéronautique et d'astronautique va déployer sur les flancs du volcan sicilien un radiotélescope constitué d'un réseau d'antennes radio localisées avec une grande précision.

Les flancs de l'Etna abondent de chaos rocheux et de champs d'éjectas vitreux. C'est sur ce terrain tourmenté par les impacts, comparable à celui de la face cachée de la Lune, que plusieurs équipes du DLR, le Centre allemand d'aéronautique et d'astronautique (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) – l'équivalent allemand du Cnes français (le Centre national d'études spatiales) – vont s'entraîner en juin 2021 à déployer à distance un radiotélescope.

Pour ce faire, les ingénieurs du projet, dirigés par Armin Wedler, de l'Institut de robotique et de mécatronique du DLR, préparent une campagne de télérobotique coopérative mettant en œuvre un atterrisseur, deux rovers intelligents et un rover de l'Agence spatiale européenne téléopéré par un astronaute. Au cours de l'expérience dénommée Arches Lofar (acronymes de Autonomous Robotic Networks to Help Modern Societies and Low Frequency Array), dont Bernard Foing est le conseiller scientifique, ils vont tester le déploiement sur le terrain et en grandeur réelle d'un réseau de petites antennes simulant un radiotélescope interférentiel installé sur la face cachée de la Lune. Pendant la campagne d'essai, une équipe de robots déploiera au moins sept modules, dont quatre antennes non câblées, dans le but de construire un réseau d'antennes connu avec une bonne précision géométrique.

L'expérience comprend plusieurs étapes. La première consiste à déterminer la taille souhaitée du réseau et son emplacement sur le terrain. La deuxième consiste à faire installer par un robot un premier boîtier à antenne ; cette opération s'effectuera après avoir déterminé sur la carte du terrain une zone optimale (et une zone suboptimale à utiliser éventuellement) en fonction d'une modélisation de la topographie, de la couverture des communications radio et de la précision souhaitée pour le radiotélescope interférentiel. Dans le cas de la Lune, le terrain n'aura pu être exploré en détail, car seules des images prises par l'orbiteur avec une précision de l'ordre du mètre seront disponibles. La zone de placement devra donc être recartographiée à la demande afin de déterminer la possibilité de la faire traverser par un rover. Un drone – sur la Lune, dépourvue d'atmosphère, il sera à réaction – pourrait accomplir cette tâche. Pour la faciliter, un imageur à petit champ, mais à haute résolution, aura cartographié le terrain.

Dans la troisième étape, une fois toutes les zones de déploiement explorées, un rover récupère successivement sur



Des robots différents peuvent réaliser ensemble une tâche complexe sur la face cachée de la Lune, par exemple déployer un radiotélescope. Dans le cadre du projet Arches Lofar, la DLR (le Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique) s'apprête à tester une telle équipe hétérogène de robots sur les flancs du mont Etna.

l'atterrisseur chacun des boîtiers à antenne (modulaires) et les place sur le terrain.

Ensuite, un second rover utilise son système de navigation visuelle pour localiser trois boîtiers supplémentaires par rapport à l'atterrisseur, qui serviront à déterminer la géométrie du réseau

à l'atterrisseur par le réseau d'antennes à des fins de calibration. Sur la Lune, des sources radio célestes et fixes pourront aussi servir à calibrer le réseau. Sur l'Etna, un émetteur à basse fréquence simulant une source radio de basse fréquence telle que le Soleil sera placé en outre en un endroit choisi afin d'établir que le réseau fonctionne bien.

Les modules comportant les antennes sont prévus d'après ce qui a déjà été développé pour l'atterrisseur franco-allemand *Mascot*, qui s'est posé en 2018 sur l'astéroïde Ryūgū à partir de la sonde japonaise *Hayabusa 2*. Quatre de ces modules sont équipés d'un système de communication disponible dans le commerce pour sauvegarder et transmettre les données, d'un récepteur GNSS (équivalent européen du GPS) pour déterminer leur position au sol, d'un système radio de positionnement et de synchronisation, d'une électronique radio commandée par ordinateur. Trois modules non équipés de ce système radio serviront à transformer le réseau en un système de coordonnées, qui sera utilisé en plus de la navigation visuelle des rovers – souvent imprécise – afin de bien maîtriser la géométrie du réseau. En principe, la précision atteinte dans le positionnement des antennes du radiotélescope devrait être de l'ordre du dixième de la longueur d'onde des ondes radio utilisées.

FRANÇOIS SAVATIER
Pour la Science

La zone de placement devra être recartographiée à la demande

d'antennes par rapport à l'atterrisseur et à construire un système de coordonnées.

Dans une cinquième étape, tous les robots quittent la zone du réseau et le système de synchronisation radio est activé afin de déterminer la géométrie du réseau au décimètre près, grâce à la mesure de temps de vol de paquets d'ondes radio.

Une fois le réseau d'antennes positionné et précisément localisé, une antenne dipolaire est déployée pour émettre des signaux radio à la fréquence porteuse de 20 mégahertz. Ces signaux sont reçus, échantillonnés et communiqués

Xuele Chen, des Observatoires astronomiques nationaux de l'Académie chinoise des sciences, pense qu'à court terme, l'orbite lunaire constitue le meilleur site pour y installer des réseaux lunaires de cartographie des âges sombres. Les antennes d'un certain nombre de satellites pourraient être configurées en un réseau qui effectuerait ses observations aux moments où les satellites se trouvent tous devant la face cachée.

METTRE EN ORBITE LUNAIRE DES ANTENNES RADIO...

«Le coût d'une telle expérience serait modéré, et nous pouvons la réaliser avec la technologie actuelle», argumente Xuele Chen. Le projet esquissé à ce stade prévoit un réseau formé à l'aide de cinq à huit satellites. L'un des satellites serait le vaisseau principal, qui hébergerait la plupart des composants électroniques servant à recevoir et à combiner les signaux des autres satellites, puis à relayer les résultats vers la Terre. «Nous prévoyons de lancer les satellites tous ensemble, puis de les libérer un à un», explique Xuele Chen.

L'installation d'un tel réseau à la surface de la face cachée de la Lune sera beaucoup plus difficile pour de nombreuses raisons. En particulier parce que le terrain y est accidenté et parce que le froid qui règne pendant les quatorze jours de la nuit lunaire est une menace pour les engins spatiaux.

Pour commencer à se préparer à ce type de mission, l'équipe de Bernard Foing prévoit de tester le déploiement d'antennes radio à l'aide de rovers robotisés conçus par le Centre aérospatial allemand. Un premier essai aura lieu en juin 2021 sur l'Etna, en Sicile, dont le sol couvert d'éjectas volcaniques simulera la surface lunaire (voir l'encadré page ci-contre). Les ingénieurs contrôleront à distance les rovers, qui transporteront chacun quatre boîtes d'antennes. «Nous les positionnerons dans différentes configurations pour valider la détection de sources radio, et préparer ce que nous pourrions faire à l'avenir sur la Lune», explique Bernard Foing.

... OU LES LAISSER TOMBER SUR LE SOL LUNAIRE!

Une autre stratégie pour installer un réseau de détecteurs radio sur la face cachée de la Lune consisterait à laisser des antennes tomber d'un orbiteur afin qu'elles se posent où bon leur semble, puis se déploient. Kristian Zarb Adami et ses collègues travaillent à Oxford sur l'une de ces idées: un interféromètre à basse fréquence, conçu pour mesurer précisément les caractéristiques d'une émission radio, fait de 128 «ministations» à 8 bras, chacun combinant 16 antennes spirales. «Mon idée est que ces antennes soient lâchées depuis le satellite afin

qu'elles atterrissent toutes en divers endroits sur la surface lunaire», résume-t-il.

Pour minimiser le nombre de pièces mobiles, l'équipe a trouvé le moyen d'imprimer ces antennes sous forme de feuilles plates qui prendront leur forme définitive une fois déroulées sur le sol lunaire. «Nous avons testé cette technologie ces cinq dernières années: il s'avère que l'on peut imprimer des antennes aussi vite que l'on imprime des journaux. Nous sommes en train de réaliser un prototype de ces antennes spirales. La prochaine étape, ajoute Kristian Zarb Adami, consistera à concevoir une ministration et à la larguer depuis un drone dans une région reculée afin de voir si elle se déploie. Nous pourrions par exemple le faire dans une zone aride de l'ouest de l'Australie.»

Les rovers déploieraient les antennes en les répartissant en quatre pétales dans une région faisant 10 kilomètres de diamètre

Parallèlement, Jack Burns dirige aussi une étude de principe financée par la Nasa visant la construction d'un radiotélescope lunaire nommé Farside. Cet acronyme de Farside array for radio science investigations of the dark Ages and exoplanets, «Réseau radiométrique de la face cachée de la Lune pour l'étude des âges sombres et des exoplanètes», signifie aussi «face cachée». Pour concevoir Farside, Jack Burns et Gregg Hallinan, chercheurs principaux à l'Institut de technologie de Californie, ont fait équipe avec le Jet Propulsion Laboratory de la Nasa. Ces scientifiques cherchent à faire atterrir, à l'aide d'alunisseurs financés par la Nasa, une charge utile de 1,5 tonne constituée de quatre rovers et de 256 antennes. Les rovers déploieraient les antennes en les répartissant en quatre pétales dans une région de 10 kilomètres de diamètre. «Nous pouvons le faire avec les techniques actuelles, avance Jack Burns, et mener à bien ce projet vers la fin de la décennie semble très plausible.» ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Wedler et al., **German Aerospace Center's advanced robotic technology for future lunar scientific missions**, *Phil. Trans. R. Soc. A*, vol. 379, article 20190574, 2021.

M. Lemonick, **La fin de l'âge sombre**, *Pour la Science*, n° 441, pp. 38-45, juillet 2014.

A. Loeb, **L'Univers à l'âge des ténèbres**, *Pour la Science*, n° 351, pp. 38-44, janvier 2007.