

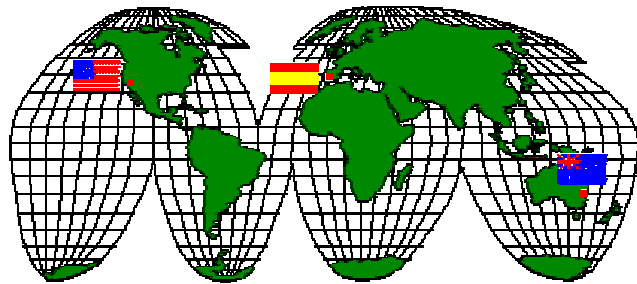
Allo, Mars ? ... Ici la Terre !

Ne vous êtes-vous jamais demandé comment on dialogue avec une sonde spatiale ? Je ne parle pas ici des petits satellites qui tournent autour de la Terre, mais des véritables sondes qui explorent les confins du Système solaire. Eh bien, les astronomes utilisent ... les micro-ondes. Oui, les mêmes micro-ondes que celles que vous utilisez peut-être pour réchauffer vos surgelés !

Trois bandes de fréquences de micro-ondes sont utilisées : la bande S (autour de 2 GHz), la bande X (autour de 8 GHz) et la bande Ka (autour de 32 GHz)¹. Actuellement, on tend à favoriser les fréquences les plus élevées, car les antennes sont alors plus directives, ce qui permet d'augmenter la puissance du signal reçu sur Terre.

Seulement voilà, il y a une différence de taille par rapport aux télécommunications classiques : comme les distances mises en jeu sont énormes, les signaux reçus sont extraordinairement faibles (10^{-16} W par exemple pour la sonde Cassini lorsqu'elle sera dans la banlieue de Saturne). Il faut savoir que, suite aux contraintes de poids – et surtout de coût – imposées aux missions, la puissance maximale d'émission des sondes est généralement limitée à 20 W.

Tout ceci nécessite obligatoirement un très bon récepteur sur Terre : le *Deep Space Network* (DSN). Au début de la conquête spatiale, les militaires déployaient au besoin des antennes portables ; ensuite, la responsabilité des communications échet à la Nasa, qui créa le DSN. Comme la Terre tourne, il faut disposer de plusieurs sites pour pouvoir garder un



Localisation des sites du Deep Space Network.

contact continu avec la sonde. Le DSN comporte ainsi trois sites principaux : Goldstone (Californie), Canberra (Australie) et Madrid (Espagne). Chaque site est équipé de plusieurs antennes paraboliques, dont le diamètre varie entre 9 et 70 m et la puissance d'émission entre 2 et 20 kW ; en cas de problème, cette puissance peut être portée à 400 kW.

L'antenne doit être pointée avec un soin particulier : pour une antenne de 34 m en bande X, la largeur du faisceau radio n'est que de $0,017^\circ$; il faut bien entendu que l'antenne soit suffisamment stable pour qu'un coup de vent ne la dépointe pas !

L'antenne peut servir en même temps à l'émission et à la réception des signaux : il faut donc d'abord séparer ces deux signaux de puissances extrêmement différentes. Le signal faible reçu de la sonde doit ensuite être traité par des amplificateurs à faible bruit, par exemple

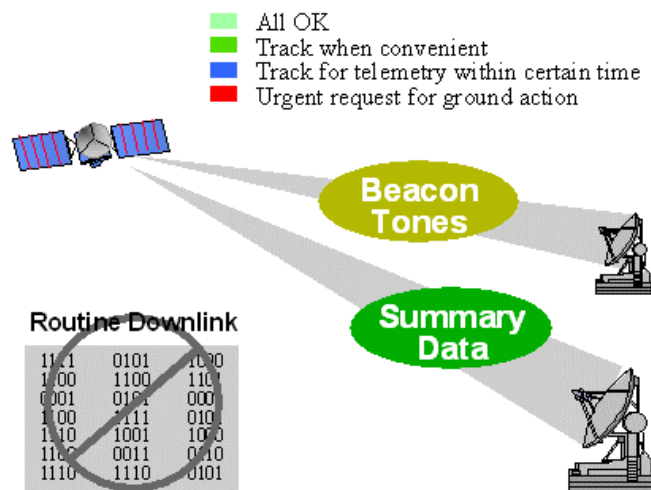
¹ Pour comparaison, les ondes reçues par votre récepteur radio FM ont une fréquence 300 fois moins élevée, d'environ 100 MHz.

des masers qui permettent d'atteindre des gains de 700 000, et reposent sur le même principe que le laser. Si ces amplis n'ajoutent pratiquement aucun bruit au signal, c'est parce qu'ils sont plongés dans un bain d'hélium liquide à 4 K (– 269°C), ce qui entraîne une maintenance assez lourde. On utilise aussi d'autres types d'amplis, faisant appel à des transistors particuliers travaillant à « seulement » 15 K.

Il faut être absolument certain de bien décoder le signal envoyé par la sonde. Afin d'éviter que des erreurs ne se glissent dans les messages, on utilise un système de double codage : la sonde introduit de la redondance dans le signal. D'autre part, on aimerait aussi transmettre le plus possible d'informations. Après codage, on comprime le signal, ce qui peut d'ailleurs paraître antinomique car la compression vise à supprimer la redondance...

Néanmoins, le signal peut encore être trop faible, et difficile à extraire après toutes ces opérations. On recourt alors à une technique interférométrique, en mettant les antennes en réseau : les signaux provenant d'une même source sont combinés, ce qui permet d'atteindre la précision d'une antenne fictive bien plus grande que les antennes réceptrices réelles. Pour ce faire, on utilise les radiotélescopes de sites habituellement consacrés à la radioastronomie, comme le *Very Large Array* (Nouveau-Mexique), *Usuda* (Japon) ou *Parkes* (Australie), qui bénéficient en retour de la technologie de pointe du DSN.

L'analyse du signal permet aussi, en exploitant l'effet Doppler, de déterminer la vitesse relative de la sonde par rapport à l'antenne, et d'en déduire sa position au cours du temps. Il est ainsi possible d'atteindre une précision sur la position de l'ordre de 100 m, ou



Système de balise de Deep Space 1.

même dans les cas favorables de quelques mètres. Des erreurs, dues aux irrégularités de la rotation de la Terre, pourraient a priori entacher ces mesures. Toutefois, ces effets sont aujourd'hui bien compris et ne posent plus problème : en les « soustrayant » du signal reçu en provenance d'une sonde posée sur la planète Mars, il est possible d'obtenir des informations très précises sur la rotation de cette dernière. De même, si une sonde passe à côté d'un astre, on peut accéder à des informations sur son atmosphère, sa taille, ou encore sa masse,...

L'atmosphère, par exemple, provoque un délai dans la transmission du signal radio, diminue son niveau ou le réfléchit.

uniquement des données scientifiques : elle envoie aussi des informations sur son état de santé (moteurs,...). Mais toute cette « télémétrie », comme on l'appelle, consomme du temps d'antenne pendant lequel la sonde aurait pu envoyer des informations scientifiques supplémentaires. *Deep Space 1* est sur ce point plus évoluée : elle évalue elle-même son état et envoie un diagnostic sous la forme d'un signal très simple, un peu à la manière d'une balise. Ce signal peut posséder quatre « tons » différents, allant de « tout va bien, il est inutile de pointer l'antenne principale sur moi » à « alerte rouge, prenez-moi en charge immédiatement ». Cela permet de gagner du temps d'antenne, car une antenne plus petite, moins performante, peut être affectée à l'écoute de la balise, permettant ainsi à la grande antenne de 70 m de se consacrer totalement – sauf en cas de problème – à la réception des données scientifiques.

Mais qu'inventeront-ils encore pour nous faire entendre les « bip-bip » du successeur de *Rocky* ?

Yaël Nazé (FPMs)

