

rieur à celui du service téléphonique classique nécessitaient d'encombrantes antennes paraboliques. De surcroît, ces liaisons étaient peu nombreuses et coûtaient environ 60 francs par minute. Aujourd'hui, la qualité et la quantité de données à haut débit en provenance de l'espace s'accroissent. Le progrès profite à de nombreux individus, aux entreprises du monde entier et, plus particulièrement, aux pays qui ne possèdent pas de réseaux denses en fibres optiques, tels la Chine ou le Brésil.

L'antenne, clé du progrès

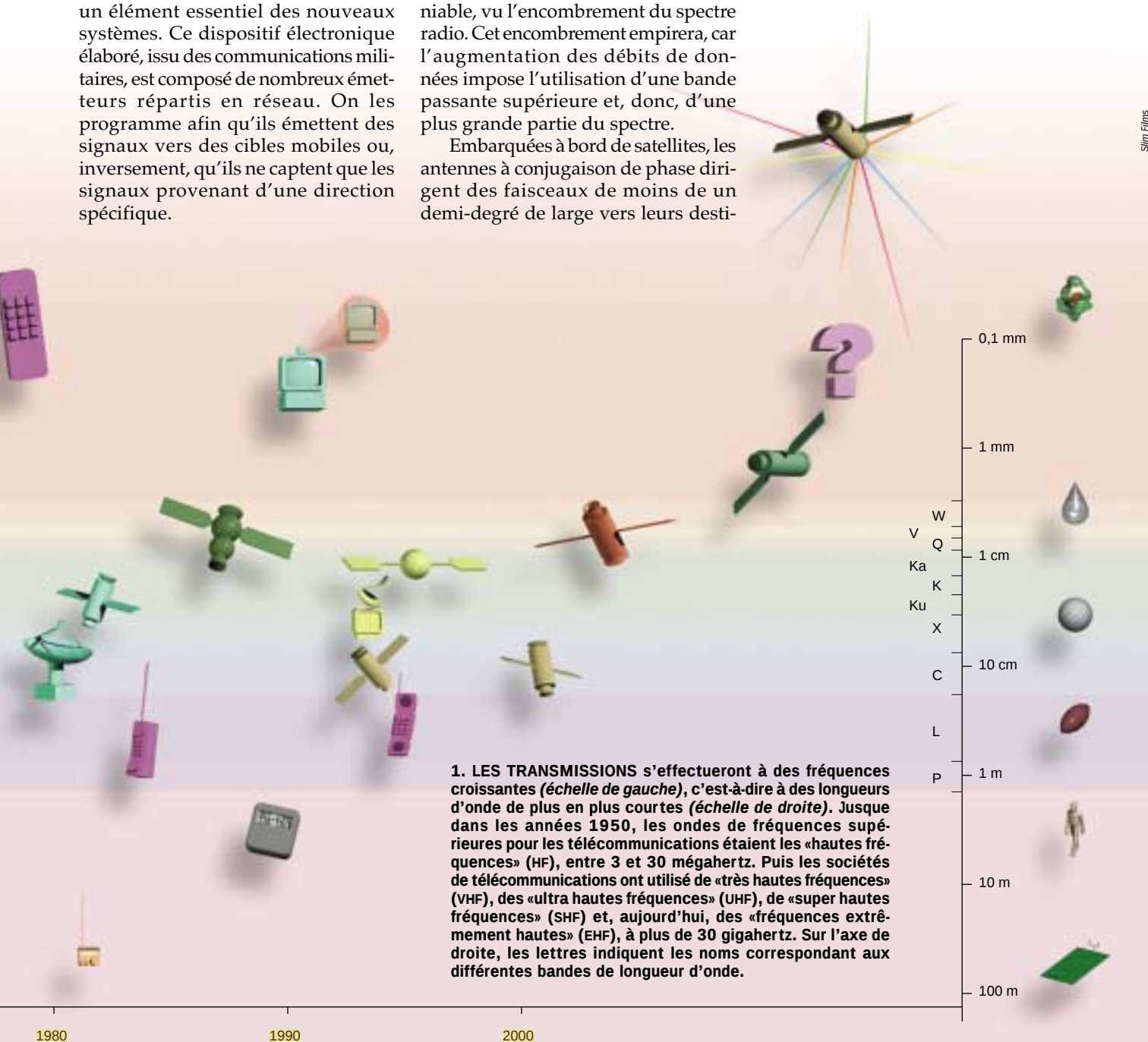
L'antenne à conjugaison de phase est un élément essentiel des nouveaux systèmes. Ce dispositif électronique élaboré, issu des communications militaires, est composé de nombreux émetteurs répartis en réseau. On les programme afin qu'ils émettent des signaux vers des cibles mobiles ou, inversement, qu'ils ne captent que les signaux provenant d'une direction spécifique.

Dans leur principe, ces antennes fonctionnent comme des fentes dans un écran éclairé par une lampe : derrière l'écran, dans des directions spécifiques, les interférences conduisent à des extinctions, ou à des éclaircissements. Pour changer la direction d'émission, les antennes à conjugaison de phase ajoutent électroniquement de courts retards aux signaux qui sont émis par les différents éléments de l'antenne (pour changer la direction de réception, elles ajoutent ces retards aux signaux reçus). Ainsi, en utilisant le phénomène d'interférence, on limite les interférences destructrices entre ondes émises par des sources différentes, ce qui est un avantage indéniable, vu l'encombrement du spectre radio. Cet encombrement empirera, car l'augmentation des débits de données impose l'utilisation d'une bande passante supérieure et, donc, d'une plus grande partie du spectre.

Embarquées à bord de satellites, les antennes à conjugaison de phase dirigent des faisceaux de moins d'un demi-degré de large vers leurs desti-

nataires. Mieux encore, elles s'adaptent aux circonstances : commandées par des superordinateurs embarqués gros comme une boîte à chaussures, elles pourront être continuellement reprogrammées. Cette flexibilité est apparue, il y a une dizaine d'années, avec des antennes paraboliques modifiées, et les ingénieurs l'utilisent chaque jour davantage. Dans les satellites du XXI^e siècle, de multiples faisceaux utiliseront simultanément la même bande spectrale. Déjà, cette «réutilisation» est d'un facteur 100 sur certains satellites et, à terme, elle pourrait atteindre un facteur 1 000.

Les antennes à conjugaison de phase s'imposeront également au



sol, car elles peuvent diriger leurs faisceaux vers un satellite qui se déplace sur une orbite connue. Comme elles peuvent avoir des formes diverses, on les adaptera facilement aux avions ou aux voitures. Dans les cinq prochaines années, même des téléphones portables seront équipés de telles antennes miniatures.

Les concurrents du sol

Dans les pays industrialisés, le principal concurrent des réseaux de satellites sera la fibre optique. En théorie, un satellite transmet les données à un débit inférieur à celui d'un câble de fibres optiques, mais, en pratique, les fibres optiques n'arrivent pas jusqu'au domicile de l'abonné : celui-ci en est séparé par une paire de fils de cuivre ou par un câble coaxial. Ainsi, sur la fin du parcours, les données transitent à des débits inférieurs.

Pour résoudre ce «problème du dernier kilomètre», les ingénieurs ont réussi, en modifiant les installations dans les centraux téléphoniques, à augmenter le débit véhiculé par les câbles coaxiaux et par les paires de fils de quelques dizaines de milliers de bits par seconde à plusieurs millions de bits par seconde. Cette technique, nommée xDSL, est prometteuse, mais elle reste onéreuse, de sorte qu'elle ne satisfera probablement pas tous les besoins pour la transmission des données à hauts débits (les services «large bande»).

Le potentiel des systèmes de transmission de données fondés sur les satellites n'a pas toujours été bien compris. En 1993, Nicholas Negroponte, l'une des personnalités du multimédia, à l'Institut de technologie du Massachusetts, a supposé que la prééminence du satellite ne durerait qu'un temps : après une phase d'engouement pour la transmission par radio, les coûts élevés de ces transmissions et l'encombrement du spectre radio forceraient les sociétés de télécommunications, les services téléphoniques à bande étroite et les services de radiomessagerie à réutiliser les fibres optiques et les câbles coaxiaux.

Je crois que N. Negroponte se trompe. Les sociétés de télécommunications utiliseront à la fois les fibres optiques, les câbles coaxiaux, les réseaux radio terrestres et les satellites pour transmettre la voix, des données multimédias à large bande, des images et des sons. Les fibres optiques, les satel-

lites, ainsi que les réseaux sans fil terrestres auront chacun leur importance dans le système global. Le point technique crucial sera la mise au point de protocoles d'interconnexion entre ces systèmes.

Dans cette hypothèse, les ingénieurs devront élaborer des interfaces entre les réseaux à large bande par des satellites interconnectés et des réseaux de fibres optiques et de câbles coaxiaux. De ce fait, la prochaine génération de satellites de télécommunications devra être 1 000 fois plus rapide que celle des années 1990. La communauté des télécommunications aura alors besoin de protocoles de conversions de données et de standards pour les «systèmes ouverts», des spécifications que les constructeurs utiliseront pour construire de nouveaux équipements compatibles.

Les avancées en matière de satellites crédibilisent mon analyse. Ces cinq dernières années, le nombre de services radio a fortement cru. Aujourd'hui, ils fournissent une communication téléphonique pour moins de 50 centimes par minute. De surcroît, le service de télécommunications dont la croissance est la plus rapide est la télévision par satellite, qui utilise des satellites géostationnaires pour envoyer les signaux à plus de 20 millions d'abonnés dispersés dans le monde entier. Selon les dernières études, ce nombre triplera d'ici à 2005.

L'exploitation d'une ressource limitée

Comment optimiser l'utilisation du spectre radio? Par la compression et le multiplexage. Lors de la numérisation des données, on peut les compresser. Par exemple, les satellites qui diffusent de la télévision numérique utilisent un standard de compression nommé MPEG2. Grâce à cette compression, de la vidéo de haute qualité est transmise sur un canal à seulement six mégabits par seconde. Ainsi le satellite *DirecTV*, dont la bande passante est égale à un gigabit par seconde, transmet 150 canaux de télévision, plus de nombreux canaux de radio numérique. Dans certains réseaux mobiles, on comprime la voix pour les mêmes raisons.

Aux fréquences supérieures, les possibilités de coder le signal augmentent, et on augmente ainsi la bande passante. C'est pourquoi les

fréquences des liaisons radio sont passées de quelques dizaines de mégahertz, au début du siècle, à quelques centaines de gigahertz pour les projets les plus ambitieux. Cependant, le traitement et la transmission d'un grand nombre de données consomment beaucoup d'énergie, ressource rare à bord d'un satellite. Le problème se pose surtout pour les satellites géostationnaires, qui gèrent de nombreux faisceaux et les transmettent sur 36 000 kilomètres.

La gestion de l'énergie est aussi un problème sur les satellites en orbite intermédiaire et en orbite basse, parce que les petites antennes des équipements mobiles ne captent qu'une infime partie du signal émis par le satellite. Afin d'accroître la puissance disponible à bord des satellites, les ingénieurs ont modifié les panneaux solaires, qui délivrent aujourd'hui plus de dix kilowatts (contre deux kilowatts il y a cinq ans). Ces progrès sont dus à une augmentation de la surface des panneaux solaires et à l'emploi de cellules solaires au rendement amélioré : dans les nouvelles cellules, le matériau actif n'est plus le silicium amorphe, mais des combinaisons d'arséniure de gallium et de germanium. Le rendement est de 23 pour cent, soit deux fois celui des cellules au silicium.

D'ici cinq ans, des concentrateurs solaires et des composants multi-jonctions, qui captent l'infrarouge et l'ultraviolet en plus de la lumière visible, amélioreront encore le rendement jusqu'à 30 pour cent. Les panneaux solaires produiront alors plus de 60 kilowatts ; ils seront épaulés par de meilleurs propulseurs à carburant et par des piles à combustible performantes.

Les hauts débits nécessitent de grandes antennes, particulièrement avec les satellites géostationnaires (la puissance nécessaire est proportionnelle au débit). Aujourd'hui, on construit des antennes pour satellite de dix mètres de diamètre, et l'on prévoit des diamètres de 20 à 30 mètres. L'antenne à conjugaison de phase la plus élaborée est destinée au satellite japonais *Gigabits* : pour recevoir les signaux, ce satellite utilisera une antenne d'environ trois mètres de diamètre, constituée de 2 700 antennes indépendantes. Les progrès techniques, en conception comme en fabrication, font envisager des antennes encore plus