

rural, sans connexion au réseau téléphonique, ou divers services publics (police, pompiers, etc.) qui ont besoin d'un réseau de communication qui résisterait à des catastrophes, tels les séismes ou les inondations.

Sur les différents réseaux proposés, cinq aboutiront probablement. Quatre ont été agréés par la Commission américaine des télécommunications (FCC) ; le cinquième est issu de l'organisation internationale *Inmarsat*, semblable à *Intelsat*, mais spécialisée dans la téléphonie cellulaire. Les quatre projets américains sont *Iridium*, construit par plusieurs sociétés, dont *Motorola* et *Lockheed Martin* ; le réseau *Globalstar*, construit par un fabricant de satellites (*Loral Space and Communications*) et un fabricant d'équipements cellulaires (*Qualcomm*), avec une participation européenne (*Alcatel Espace*, *Aérospatiale*, *Alenia Spazio*) ; ECCO, proposé par la Société *Constellation Communication* ; enfin, *Ellipso*, qui sera construit par la Société *Mobile Communication Holdings*.

D'un coût de près de 20 milliards de francs, *Iridium* est le

projet le plus ambitieux, mais aussi le plus près d'aboutir. Au total, la constellation *Iridium* sera constituée de 66 satellites, chacun capable de transmettre 1 100 communications simultanées et possédant suffisamment de carburant pour durer huit ans (le projet prévoyait initialement 77 satellites, d'où le nom *Iridium*, un élément chimique qui possède 77 électrons ; pour des raisons budgétaires, ce nombre a été ramené à 66). La Société *Motorola* a déjà lancé deux tiers des satellites et prévoit la mise en service du réseau au dernier trimestre 1998. Ces satellites sont sur des orbites polaires basses circulaires, à 780 kilomètres d'altitude. Six plans orbitaux comprendront chacun 11 satellites équidistants.

Ces satellites transmettront la parole, les données à 2,4 kilobits par seconde et incluront un service de radiomessagerie. Les connexions devraient être de meilleure qualité que dans les réseaux concurrents, car les concepteurs ont prévu que les téléphones seront utilisables à partir d'un véhicule (un taxi, par exemple). Cette qualité est imposée par la cible commerciale visée : les voyageurs d'affaires.

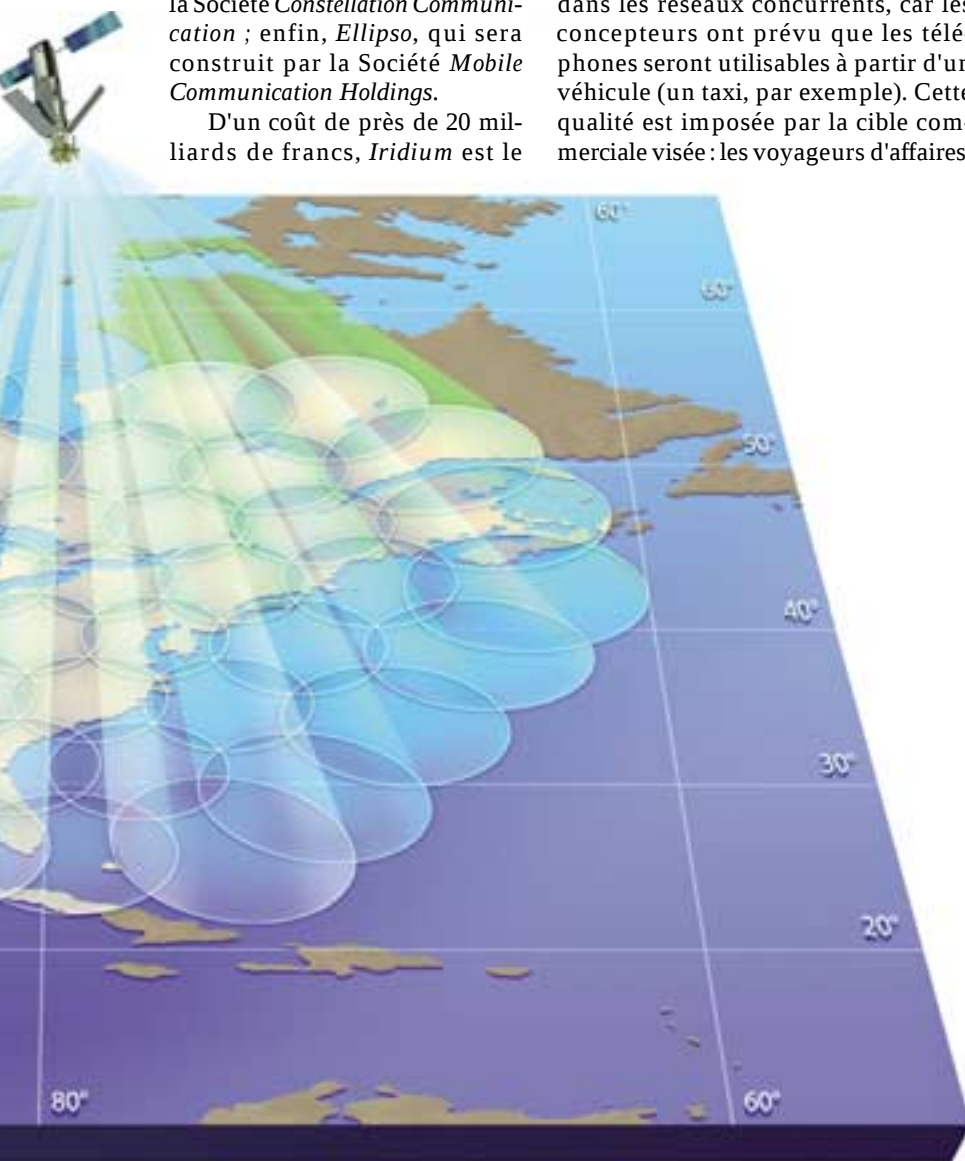
La complexité du système *Iridium* provient principalement de ce que les satellites communiqueront non seulement avec les stations terrestres, mais aussi les uns avec les autres. Pour acheminer le trafic, chaque satellite emporte un ensemble de tables de routage, grâce auxquelles de nouvelles instructions d'acheminement sont décidées toutes les minutes environ. Les signaux provenant du sol seront transmis par paquets (de courtes séquences de bits), dont chacun contient l'adresse du destinataire (comme dans le réseau Internet). Le satellite décode cette adresse et transmet les paquets à la destination indiquée.

Des liaisons entre satellites

Cette destination peut être un autre téléphone portable d'un abonné à *Iridium* ou bien une passerelle terrestre. Si ni l'un ni l'autre n'est accessible, le satellite s'adresse à l'un des quatre satellites voisins, celui placé avant ou après dans le même plan orbital, ou le plus proche à l'Est ou à l'Ouest dans les plans adjacents. Ces liens transversaux compliquent l'ensemble du système, mais réduisent le nombre de passerelles terrestres à une douzaine, tout en fournissant une couverture mondiale.

Le fonctionnement est essentiellement assuré par les satellites. Afin de prévenir les saturations, les ingénieurs ont conçu les liens de manière que chacun ait la capacité de transmettre tous les messages émis par un satellite. Des instructions complémentaires de routage stipulent le fonctionnement à adopter si l'un des liens transversaux tombait en panne.

La constellation *Globalstar* se fonde également sur des satellites en orbite basse, mais les satellites ne communiqueront pas directement. Ce choix simplifie considérablement la conception du système, mais les abonnés n'obtiendront de communication que s'ils sont en vue d'un satellite de la constellation et si ce satellite est aussi en vue d'une passerelle terrestre. De ce fait, les zones couvertes se trouvent toutes à moins de 1 600 kilomètres d'une passerelle terrestre. Pour que le service soit vraiment global, il faudrait plus de 200 stations terrestres, ce qui semble irréaliste. Pour cette raison, *Globalstar* sera destiné aux voyageurs d'affaires qui restent dans un pays plutôt qu'à ceux qui voyagent à l'étranger.



Depuis février 1998, huit satellites de *Globalstar* ont été lancés, et les responsables du réseau espèrent une ouverture au public au début de 1999. Ils ont déjà attribué 100 concessions à des partenaires qui géreront le réseau dans les différents pays. En plus de la voix, *Globalstar* transmet des télécopies et des données.

La constellation *Globalstar* comportera 48 satellites répartis sur huit orbites. Les orbites seront circulaires, à 1 414 kilomètres d'altitude, et inclinées de 52 degrés par rapport à l'équateur. L'utilisation d'orbites inclinées concentre les satellites aux basses latitudes, où vit la majorité de la population, mais les latitudes supérieures à 70 degrés seront mal desservies.

Le système *ECCO* aura également ses satellites en orbites basses. Il est prévu pour fonctionner avec 46 satellites, 11 sur des orbites circulaires équatoriales situées à 2 000 kilomètres d'altitude, et cinq sur chacune des sept autres orbites inclinées. Ce système assurera des liaisons téléphoniques et des télécopies à 2,4 kilobits par seconde, dans les zones rurales. Les satel-

lites de cette constellation seraient construits par la Société franco-britannique *Matra Marconi Space*.

Orbites intermédiaires

Les deux réseaux de communications personnelles fondés sur des satellites situés sur des orbites intermédiaires sont *ICO*, proposé par la Société *ICO Global Communication*, et *Ellipso*. Le système *Ellipso* est particulier, parce que les orbites seront elliptiques, de sorte que les satellites desserviront mieux l'hémisphère Nord, où vit la majeure partie de la population mondiale : les orbites sont en effet choisies de manière que leurs points le plus éloignés de la Terre (apogée) soient au-dessus de l'hémisphère Nord. Ainsi, les satellites resteront plus longtemps au Nord de l'équateur.

Le réseau *Ellipso* devrait être le moins onéreux de tous : sa construction coûtera six milliards de francs seulement. Les satellites seront analogues à ceux du réseau *Globalstar*, chacun possédant 61 faisceaux, ainsi que de simples répéteurs transpondeurs qui ne font que transmettre le signal reçu, mais sur une autre fréquence. Chaque satellite aura une masse de 700 kilogrammes et une durée de vie comprise entre cinq et sept ans.

Le réseau *ICO* devrait être opérationnel en l'an 2000. C'est la seule constellation sur des orbites circulaires intermédiaires. Les ingénieurs du projet *ICO* ont choisi d'utiliser 163 faisceaux par satellite, afin de fiabiliser la liaison avec les téléphones portables. Un si grand nombre de faisceaux sera assuré par des antennes à conjugaison de phase, où l'on module la phase de l'onde pour créer des interférences constructives qui formeront les faisceaux. Les signaux alimentant les éléments seront calculés par ordinateur, de manière que leur combinaison engendre l'un des 163 faisceaux. L'or-



3. LE SYSTÈME ASTROLINK se composera de neuf satellites géostationnaires placés en cinq positions. C'est l'un des sept projets de réseaux pour la transmission des données, essentiellement pour l'Internet. Six de ces projets prévoient l'utilisation de satellites

géostationnaires que l'on peut joindre facilement avec des équipements ne nécessitant pas de suivre le satellite dans sa traversée du ciel. Moins coûteux, ces équipements pourraient avoir la faveur des utilisateurs.

dinateur de bord calculera également vers quel faisceau les signaux provenant de la passerelle terrestre doivent être dirigés. Cet ordinateur de bord sera le plus complexe jamais embarqué dans un véhicule spatial et consommera près de deux kilowatts, soit une bonne partie de la puissance disponible du satellite.

Toutes ces constellations fonctionneront-elles ? En confiant aux satellites une quantité de calculs importante, les concepteurs des réseaux *Iridium* et *ICO* prennent un risque technique notable. Aujourd'hui, seuls trois satellites ont été équipés d'ordinateurs de puissance respectable. L'un est réalisé par la NASA et les deux autres par des Italiens pour leurs véhicules spatiaux expérimentaux. De surcroît, le projet *Iridium* n'est viable que s'il attire environ un million d'hommes d'affaires... dont les besoins futurs pourraient être satisfaits autrement, par exemple par des téléphones cellulaires qui s'adapteraient aux différents standards nationaux.

Le réseau *Globalstar* semble celui qui a le plus de chances de succès, car sa construction ne coûtera pas trop cher et les stations terrestres seront payées par les opérateurs concessionnaires dans chaque pays. Ces opérateurs aideront l'implantation sur leur marché local. La croissance des autres systèmes pourrait être freinée par la concurrence : ils n'arriveront sur le marché que plusieurs années après. Il sera également difficile à *Ellipso*, ainsi qu'à *ECCO* de trouver les financements nécessaires, ce qui laissera en tête *Iridium*, *Globalstar* et *ICO*.

L'attitude des clients sera naturellement déterminante. Habitué à la qualité des réseaux cellulaires terrestres et à leur importante diffusion, certains pourraient boudier les téléphones par satellites et leurs communications fragiles. D'autres pourraient acheter un téléphone par satellites pour des raisons de sécurité (pour des déplacements dans des endroits reculés, par exemple) et ne les utiliser que rarement.

La transmission de données

Dans de nombreux pays industrialisés, la dérégulation des télécommunications a suscité une activité industrielle considérable. La principale raison de cette croissance d'activité est le succès du réseau Internet : dans le monde, on estime que le nombre de foyers

raccordés au réseau Internet passera de 50 millions aujourd'hui à plus de 150 millions en l'an 2000. À cette époque, le marché de la fourniture d'accès à l'Internet pourrait ainsi s'élever à plus de 50 milliards de francs. L'usage professionnel de l'Internet devrait croître de manière encore plus spectaculaire, car les entreprises se dotent de leurs propres réseaux semi-privés, nommés «intranets». Le marché de la fourniture de bande passante pour les entreprises, qui était de cinq milliards de francs en 1996, pourrait s'élever à 150 milliards en l'an 2000.

Plusieurs réseaux par satellites ont été conçus en vue de répondre à cette demande. En raison de l'encombrement des fréquences, ces réseaux utiliseront des fréquences différentes de celles utilisées dans les mobiles terrestres. Ils opéreront dans une bande de fréquence plus élevée, la bande Ka (cette appellation est issue des désignations codées de la Seconde Guerre mondiale). Le choix de cette bande s'est imposé : quelles que soient les orbites des satellites, l'utilisation de toute autre bande provoque des interférences entre satellites. Plus de 50 projets utilisant près de 170 satellites sur des positions géostationnaires et utilisant la bande Ka ont été proposés. La plupart de ces projets auront une couverture nationale ou régionale.

Dans la bande Ka, les longueurs d'onde sont comprises entre 1 et 1,5 centimètre (fréquence comprise entre 20 et 30 gigahertz). Son principal défaut est l'atténuation du signal par la pluie, et c'est pourquoi cette bande a été jusqu'ici réservée à quelques satellites expérimentaux. Ce problème de l'atténuation devrait être contourné, notamment par des algorithmes de correction d'erreurs, et les ingénieurs prédisent une disponibilité comprise entre 99,5 et 99,9 pour cent.

Sept systèmes américains encore au stade de projet pourraient transmettre des données dans le monde entier. Trois sont fondés entièrement ou partiellement sur des satellites en orbite basse ou moyenne, les quatre autres sur des satellites géostationnaires.

En raison du nombre élevé de satellites à envoyer, les deux projets avec des orbites basses seront les plus coûteux. Ainsi, avec ses 288 satellites tournant à 1 400 kilomètres d'altitude, *Teledesic* sera la constellation la plus nombreuse et la plus onéreuse. Le besoin d'un tel nombre de satellites

résulte de la position de l'orbite, mais également de la nécessité de minimiser l'atténuation provoquée par la pluie. La zone couverte par chaque satellite sera limitée à un cône étroit.

Le projet *Celestri* de la Société *Motorola* est comparable à *Teledesic*, en terme de complexité et de coût. Le système utilisera une constellation de 63 satellites placés à 1 400 kilomètres d'altitude, ainsi que neuf satellites géostationnaires. La partie géostationnaire sera employée par des clients dont le trafic n'est pas pénalisé par les temps de transmission. Le réseau offrira des accès à très haut débit, entre 64 kilobits par seconde et 155 mégabits par seconde ; ce sera un concurrent sérieux du réseau *Teledesic*.

Les autres systèmes fondés sur des satellites géostationnaires sont plus modestes, avec des coûts estimés entre 5 milliards et 40 milliards de francs. Les projets les moins complexes, celui de la Société *Loral* et celui de la Société *Morning Star Satellite*, ne prévoient que la couverture d'une partie du Globe avec trois et quatre satellites seulement. À l'autre extrémité de l'échelle des prix, celui de la Société *Hughes* s'articule autour de 16 satellites géostationnaires, complétés par 20 satellites sur des orbites intermédiaires.

Des sept projets américains proposés, deux ou trois aboutiront. Non pas que les autres soient moins bons, mais ils ne pourront vraisemblablement pas financer leur projet. Comparés aux projets de transport de la parole que nous avons évoqués précédemment, ces projets sont beaucoup plus risqués, car la demande est moins nette : ceux qui ont besoin de trouver des capitaux sont handicapés par rapport aux entreprises capables de démarrer les projets avec leurs propres ressources. Aujourd'hui, les projets les plus avancés sont ceux des sociétés *Loral*, *Lockheed Martin*, *Motorola* et *Teledesic*.

Au-delà de la bande Ka

Alors que la conception des systèmes utilisant la bande Ka commence, les entreprises ont déjà demandé à la FCC des autorisations pour exploiter des systèmes fonctionnant à des longueurs d'onde encore plus courtes, entre six et huit millimètres (entre 37 et 50 gigahertz, aussi nommée la bande Q/V). Plus de 14 demandes ont été faites.

Cette bande de longueurs d'onde inférieures intéresse les opérateurs, même si l'atténuation y est encore plus importante : dans une atmosphère aride, les molécules d'air absorbent ces ondes. Ainsi, les signaux dont la longueur d'onde est de six millimètres sont atténués d'un facteur trois ou quatre pour des trajets dont l'angle au-dessus de l'horizon est inférieur à 20 degrés. Pour ajouter aux difficultés, les circuits électroniques fonctionnant à ces courtes longueurs sont onéreux. La bande Ka sera vraisemblablement utilisée complètement avant qu'un système fonctionnant à ces courtes longueurs d'onde ne soit construit.

Ce développement des constellations de satellites bouleversera notre mode de vie. D'ici l'an 2000, nous pourrions appeler n'importe qui sur la planète à l'aide d'appareils analogues aux téléphones portables actuels. Pour le meilleur ou pour le pire, nous ne pourrions plus être isolés.

Ces services profiteront naturellement au commerce, au tourisme et à ceux qui ont les moyens de les payer, dans les pays où ils n'existent pas encore. On pourra alors vivre loin de tout, mais participer à la vie culturelle du monde, par l'Internet ou d'autres services multimédias fournis à des débits suffisamment élevés pour obtenir de la vidéo à la demande. Le monde sera-t-il aussi plus grand, plus petit ou plus intéressant ? À chacun de répondre.

John EVANS est vice-président de la Société *Comsat*.

Personal and Mobile Radio Systems, sous la direction de R.C.V. Macario, Peter Peregrinus on behalf of IEEE, 1991.

G. MARAL et M. BOUSQUET, *Satellite Communications Systems*, John Wiley & Sons, 1993.

John V. EVANS, *Satellite Systems for Personal Communications*, in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 39, pp. 7-10, juin 1997.

John V. EVANS, *Telecommunication Satellite Systems of the Future*, in *Encyclopedia of Telecommunications*, vol. 16, 1998, à paraître.

Des informations complémentaires sur les projets cités sont accessibles sur notre site Web :

<http://www.pourlascience.com/numeros/pls-248/sommaire.htm>
