

CONSTELLATIONS POUR LE TRANSPORT DE DONNÉES							
	ASTROLINK	CELESTRI	CYBERSTAR	SPACEWAY	GE*STAR	MORNINGSTAR	TELEDESIC
SOCIÉTÉ	Lockheed Martin	Motorola	Loral	Hughes	G.E. Americom	Morning Star	Teledesic
NOMBRE DE SATELLITES	9	63 LEO/9 GEO	3	20 MEO/16 GEO	9	4	288
PLANS DES ORBITES	Équatoriale (0 degré)	7 inclinées (48 degrés) 1 équatoriale (0 degré)	Équatoriale (0 degré)	4 inclinées (55 degrés) 1 équatoriale (0 degré)	Équatoriale (0 degré)	Équatoriale (0 degré)	12 inclinées (98 degrés)
ALTITUDE DE L'ORBITE (EN KILOMÈTRES)	GEO	1 400 (LEO) et GEO	GEO	10 352 (MEO) et GEO	GEO	GEO	1 375 (LEO)
DÉBIT ESTIMÉ (EN GIGABITS PAR SECONDE)	6,0	1,5	9,0	4,4	4,7	0,5	10,0
CAPITAL NÉCESSAIRE (EN MILLIARDS DE FRANCS)	24	77	10	38	24	5	54

Les commutateurs locaux sont reliés par des câbles optiques à des commutateurs plus importants, des routeurs, qui gèrent les appels à longues distances. Les appels internationaux, notamment, sont dirigés vers des centres spéciaux qui les acheminent par des câbles sous-marins ou par des satellites.

Tous les pays du monde ne sont pas reliés par des fibres optiques, mais la plupart sont reliés aux satellites de l'Organisation internationale des télécommunications (*Intelsat*). Cette organisation gère les satellites internationaux qui fonctionnent dans la bande de radiofréquences réservée aux «satellites fixes». Les appels via satellites sont dirigés vers la station terrestre *Intelsat* la plus proche. La séquence de bits codant ces appels module une onde radio qui est amplifiée et transmise au satellite par une antenne parabolique dont le diamètre atteint 15 mètres.

Arrivée au satellite, cette onde est très faible, car l'énergie du signal décroît proportionnellement au carré de la distance parcourue. Ainsi, l'antenne de réception des satellites géostationnaires doit être relativement grande, environ deux à trois mètres de diamètre. Le signal recueilli est amplifié et retransmis à une station réceptrice, sur la Terre, où les signaux individuels de parole sont reconstitués.

Les satellites d'*Intelsat* transmettent simultanément plusieurs dizaines de milliers de conversations. À bord, l'énergie fournie par des panneaux solaires et par de petits réacteurs utilisant un carburant embarqué (comme l'hydrazine) maintient les antennes en direction de la Terre, en rectifiant la position du satellite.

Les satellites, stations de base

Les nouveaux satellites de télécommunications auront les avantages des réseaux mobiles et ceux des satellites classiques. Ce seront des stations de base en orbite, avec lesquelles les téléphones mobiles communiqueront directement. Comme les satellites classiques, ils couvriront de très grandes zones, même des régions qui ne possèdent pas encore de réseaux cellulaires terrestres.

Ces avantages ne seront accessibles qu'au prix d'avancées techniques. Un obstacle fondamental provient de l'impossibilité à équiper les téléphones mobiles d'autre chose que de petites antennes non directives. De surcroît, en utilisation normale, la puissance d'émission doit être inférieure à un watt : à des puissances aussi faibles, les utilisateurs ne devraient plus craindre les effets biologiques des

ondes radio, et les batteries devraient durer plus longtemps.

Le signal émis par les téléphones étant de faible puissance, sa réception par un satellite en orbite géostationnaire nécessiterait une antenne de dix à douze mètres de diamètre. Comme le déploiement en orbite de telles antennes reste difficile, les satellites de ces réseaux seront sur des orbites beaucoup plus proches de la Terre. En rapprochant ainsi les orbites de 36 000 kilomètres d'altitude à 10 000 kilomètres, on multiplie par 13 la puissance du signal reçu du téléphone mobile, de sorte que des antennes de deux à trois mètres, analogues à celles des satellites géostationnaires, suffisent.

La contrepartie de l'utilisation d'orbites basses est une diminution de la couverture. Sur une orbite géostationnaire, un satellite «voit» environ un quart de la surface terrestre, et trois ou quatre satellites suffisent à couvrir le Globe. À 10 000 kilomètres d'altitude, un satellite voit moins de surface, et sa période de rotation est d'environ six heures : pour couvrir le Globe, on devra utiliser une flottille d'une dizaine de satellites, à égale distance les uns des autres, d'où le nom de constellation de satellites.

Le signal émis par un téléphone portable étant faible, la tâche de gestion de la connexion est réalisée par

le satellite. L'installation ne fonctionnera que si le satellite utilise des faisceaux extrêmement étroits, d'environ un degré d'angle, couvrant chacun une cellule au sol d'environ 150 kilomètres de diamètre. De nombreux faisceaux couvriront la surface voulue.

On place généralement les satellites au-dessus ou au-dessous de la ceinture de Van Allen, où les particules de haute énergie endommageraient les panneaux solaires et l'électronique embarquée. C'est pourquoi les satellites évolueront à des altitudes supérieures à 10 000 kilomètres ou inférieures à 1 500 kilomètres. Pour cette dernière orbite, la période est de 100 minutes environ, et la couverture du Globe nécessite alors plus d'une centaine de satellites. Ces deux types d'orbites sont respectivement nommés «orbite circulaire intermédiaire» et «orbite terrestre basse».

Choix de satellites

L'un des avantages des constellations de satellites est l'existence d'un chemin dégagé entre le satellite et tous les abonnés, ce qui autorise l'utilisation de faibles puissances (les systèmes terrestres cellulaires pâtissent du manque de visibilité des tours émettrices, d'où la nécessité d'utiliser une puissance d'émission élevée). Toutefois, les communications entre un satellite et un abonné mobile pourront être perturbées par des bâtiments, des arbres ou d'autres obstacles. Les satellites situés sur des orbites circulaires intermédiaires, qui sont plus haut dans le ciel et qui le traversent plus lentement que les satellites sur des orbites basses, devraient assurer de meilleures transmissions.

Sur des orbites élevées, le Globe est couvert avec moins de satellites, mais les antennes doivent être plus grandes. De plus, comme les faisceaux possèdent la même ouverture, chaque antenne doit former un nombre de faisceaux supérieur pour conserver la même couverture au sol. Les satellites destinés aux orbites basses sont généralement plus petits, plus légers et plus économiques que ceux desti-

nés aux orbites intermédiaires, eux-mêmes moins chers que les satellites géostationnaires.

Les opérateurs de ces constellations de satellites devront également apprendre à gérer les changements de zone de couverture. La situation est inverse de celle du réseau cellulaire terrestre : l'abonné est stationnaire, mais la cellule se déplace. Le changement de faisceau d'un même satellite est relativement aisé. En revanche, la situation est plus complexe lorsqu'il faut transférer la communication entre satellites, ce qui arrivera vraisemblablement avec une constellation sur orbite basse. La difficulté dépendra de la configuration précise de l'ensemble des satellites ; dans le meilleur des cas, le transfert ne devra se produire que lorsque le signal de l'abonné sera reçu par l'autre satellite.

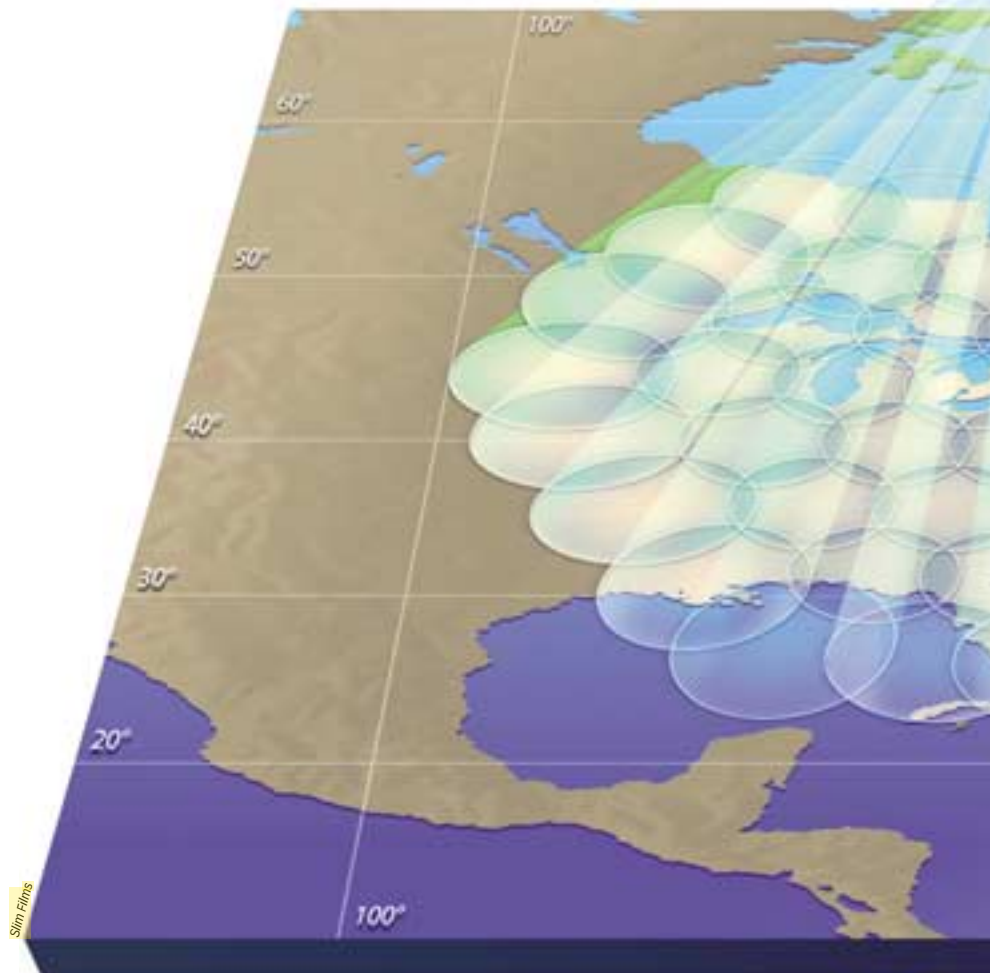
Tous les systèmes décrits ici requièrent une certaine supervision. L'établissement d'une connexion nécessite généralement une demande, effectuée par le téléphone portable, qui utilise alors un canal de signalisation. Tous les réseaux, même terrestres, nécessi-

tent que l'appel soit transmis dans un canal différent du canal de signalisation : le canal de signalisation est alors libéré, de sorte que d'autres communications peuvent ensuite s'établir. Les signaux reçus par un satellite doivent être retransmis à une «passerelle terrestre», qui suit en permanence le satellite dans sa traversée du ciel. Là, le signal est retransformé en signal téléphonique ordinaire, puis introduit dans le réseau public.

Téléphone et voyage d'affaires

Les divers réseaux cellulaires par satellites différeront selon leurs clients. Les utilisateurs potentiels les plus nombreux sont des hommes d'affaires de deux types : ceux des pays industrialisés, qui commercent souvent avec des pays en développement où le réseau téléphonique est insuffisant, et ceux qui utilisent leur téléphone portable dans des zones où les réseaux cellulaires terrestres ne fonctionnent pas. D'autres marchés existent : les compagnies téléphoniques visent les personnes qui vivent en milieu

2. CHACUN DES 40 FAISCEAUX D'UN SATELLITE IRIDIUM couvre, sur la Terre, une surface de 600 kilomètres de diamètre. Cette division en faisceaux étroits est imposée par la faible puissance émise par les téléphones mobiles. Les commutations et les routages nécessaires à la connexion sont gérés par le satellite.



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.

