

dizaines de centimètres, voisine de la taille des antennes. Les nouveaux réseaux pour les communications personnelles utiliseront une fréquence deux fois supérieure, mais leur fonctionnement restera identique.

Dans les réseaux radiomobiles classiques, la zone couverte est divisée en «cellules», chacune équipée d'une station de base associée à une tour hertzienne terrestre. Pour éviter les brouillages, les téléphones mobiles émettent à une fréquence vers la station et reçoivent à une fréquence différente. La station de base transforme généralement ces signaux radio en micro-ondes (des ondes de fréquence supérieure à celle des ondes radio), qui sont transmises à un commutateur cellulaire, où une seconde transformation restitue des signaux de parole. Cette transformation se fait parfois dans la station de base elle-même, et la parole est alors véhiculée par des lignes téléphoniques classiques avant d'être transmise au commutateur cellulaire.

Ce dernier a deux fonctions : il établit les communications et les transfère à un autre commutateur lorsque l'abonné change de cellule durant la communication. Chaque commutateur cellulaire est aussi relié à un commu-

tateur central du réseau téléphonique public, afin de permettre aux abonnés du téléphone cellulaire de communiquer avec les utilisateurs de téléphones fixes.

Les abonnés aux services cellulaires sont devenus si nombreux que les systèmes numériques se sont imposés. Dans les réseaux classiques, analogiques, la voix est codée par des variations de la fréquence, une technique nommée modulation de fréquence. Ce procédé est coûteux en bande passante : le signal transmis utilise entièrement une bande, ou canal, de 30 kilohertz de large. Afin de réduire l'encombrement de l'espace radio, de nombreuses compagnies utilisent des matériels qui communiquent des messages codés en binaire (les signaux sont composés de séries de 0 et de 1). Les données ainsi numérisées sont alors comprimées

avant la transmission, ce qui réduit la durée d'occupation du canal par chacune des communications, au prix d'une légère baisse de la qualité.

Dans les réseaux téléphoniques classiques, les réseaux commutés, la parole est également transmise sous forme numérique, mais à des débits environ huit fois supérieurs à ceux des réseaux cellulaires (64 kilobits par seconde pour les réseaux commutés). Avec des codages numériques à des débits aussi élevés, la qualité est meilleure, mais la transmission nécessite encore plus de bande passante que si l'on transmettait le signal non numérisé. Pourquoi, alors, utiliser un codage numérique ? D'une part, parce qu'il permet le mélange de plusieurs communications dans une seule fibre optique ou dans une seule ligne micro-onde : les flots de données individuels peuvent être combinés en un seul flot de débit supérieur (multiplexage) qui, à son tour, peut être mélangé avec d'autres dans un flot de débit encore supérieur. D'autre part, la technique numérique est moins sensible aux altérations des signaux dans le réseau : tous les bits ayant la même amplitude, on peut facilement restaurer l'amplitude d'un bit qui aurait été affaibli au cours de la transmission.

LEO ORBITE BASSE (ALTITUDE INFÉRIEURE À 2 000 KILOMÈTRES)
MEO ORBITE INTERMÉDIAIRE (ALTITUDE D'ENVIRON 10 000 KILOMÈTRES)
GEO ORBITE GÉOSTATIONNAIRE (36 000 KILOMÈTRES D'ALTITUDE)

CONSTELLATIONS POUR LE TRANSPORT DE LA PAROLE					
	IRIDIUM	GLOBALSTAR	ICO	ELLIPSO	ECCO
SOCIÉTÉ	Motorola	Loral/Qualcomm	ICO Global Communications	Mobile Communications Holdings	Constellation Communications
NOMBRE DE SATELLITES	66	48	10	14	46
PLANS DES ORBITES	6 circulaires polaires (86,5 degrés)	8 circulaires inclinées (52 degrés)	2 circulaires inclinées (45 degrés)	2 elliptiques inclinées (116,6 degrés) 1 elliptique équatoriale (0 degré)	7 circulaires inclinées (62 degrés) 1 circulaire équatoriale (0 degré)
ALTITUDE DE L'ORBITE (EN KILOMÈTRES)	780 (LEO)	1 414 (LEO)	10 355 (MEO)	520 - 7 846 (MEO) 4 223 - 7 846 (MEO)	2 000 (LEO)
NOMBRE DE SATELLITES PAR PLAN ORBITAL	11	6	5	4 par elliptique 6 par équatoriale	5 par inclinée 11 par équatoriale
NOMBRE DE FAISCEAUX PAR SATELLITE	48	16	163	61	32 par inclinée 24 par équatoriale
COÛT ESTIMÉ (EN MILLIARDS DE FRANCS)	20	15	27	5,5	17

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