

grandes, composées de plusieurs dizaines de milliers d'éléments.

Afin d'être accessibles à un public plus large, les récepteurs devront être moins coûteux qu'aujourd'hui. Une meilleure conception, ainsi que l'adoption de techniques de production en série réduiraient les coûts de fabrication. Certains récepteurs de télévision numérique ont une antenne de seulement 30 centimètres de diamètre, et coûtent moins de 1 500 francs. Dans le futur, des antennes à conjugaison de phase en arséniure de gallium seront moins onéreuses.

Orbite haute ou basse?

La plupart des satellites de télécommunications sont aujourd'hui géostationnaires. Depuis la création d'*Intelsat* (pour *International Telecommunications Satellites organization*, «Organisation internationale pour les satellites de télécommunications»), en 1965, la majorité d'entre eux communique avec des stations fixes au sol. L'organisme *Inmarsat* (pour *International Maritime Satellites organization*, «Organisation internationale pour les satellites maritimes») a lancé, il y a dix ans, la téléphonie avec les mobiles, ainsi que des liaisons numériques pour les navires. En 1997, des sociétés (*American Mobile Satellite Corporation* et *Telesat Mobile*) ont introduit des services similaires pour les mobiles terrestres

d'Amérique du Nord. Ces sociétés ont réduit les coûts de leurs équipements et de leurs services en proposant des antennes plus grandes, mais leurs services ne fonctionnent pas très bien en raison d'une panne et d'une faible pénétration du marché.

Devant la difficulté de mise en œuvre de la téléphonie personnelle en utilisant uniquement des satellites géostationnaires, les constructeurs ont étudié les réseaux de satellites placés en orbite basse (altitude inférieure à 2 000 kilomètres) ou intermédiaire (entre 10 000 et 16 000 kilomètres d'altitude).

D'ici un an ou deux, trois réseaux mondiaux de communication seront reliés aux mobiles terrestres : *Iridium*, *ICO* et *Globalstar*. Ils proposeront des services de téléphonie et de radiomessagerie globaux ; *Iridium* sera le premier en service.

Les services à large bande, tels ceux qui offriront des applications multimédias interactives, ne seront accessibles par des systèmes de bureau que si les réseaux de satellites émettent à des fréquences supérieures à 20 gigahertz. Les antennes à conjugaison de phase autoriseront un important facteur de réutilisation des fréquences, mais même ainsi, ces systèmes utiliseront une grande partie du spectre. Une dizaine de réseaux pour la transmission des données sont projetés, dont *Teledesic* ou *Celestri* (voir *Les réseaux de satellites*, page 48).

3. LES SATELLITES placés en orbite géostationnaire, à 36 000 kilomètres au-dessus du sol, relieront des usagers mobiles séparés de plusieurs milliers de kilomètres, mais les délais dus à la durée du trajet aller et retour seront de l'ordre du quart de seconde.

Techniques de demain

Le coût très élevé des constellations de satellites explique l'intérêt croissant pour les plates-formes de haute altitude, avions ou ballons. Le coût de lancement de ces engins est modeste, et ils peuvent redescendre pour leur entretien. Ces plates-formes peuvent embarquer des antennes à conjugaison de phase de 3 500 faisceaux, qui assurent non seulement les communications montantes et descendantes avec les mobiles, mais émettent aussi des signaux de télévision sur 2 500 kilomètres carrés. Ces systèmes réutiliseront 100 fois les fréquences et seront reliés aux satellites pour effectuer des connexions mondiales.

Quatre types de plates-formes sont envisageables : les ballons gonflés à l'hé-

4. DES SATELLITES EN ORBITE BASSE, à quelques centaines de kilomètres d'altitude, établiront des liaisons rapides entre des usagers séparés par des distances analogues. Pour couvrir toute la Terre, un grand nombre de tels satellites est nécessaire.

5. DANS LES ANNÉES À VENIR, des plates-formes évoluant à plus de 20 000 mètres d'altitude relieront des usagers distants de 500 kilomètres. Certaines seront des dirigeables, d'autres seront munies d'ailes et voleront comme des avions.

lium, dirigés par des robots et stabilisés par des moteurs à propulsion ionique ; les plates-formes alimentées par l'énergie solaire ou par des piles à combustible ; les plates-formes à hélice et les plates-formes à moteurs à réaction. Toutes ces approches ont des limitations différentes : les plates-formes solaires ou à pile à combustible ne seront possibles que si les rendements de la conversion d'énergie augmentent ; celles qui utilisent un carburant ne resteront en l'air que quelques jours, avant de descendre se réapprovisionner.

Pourrait-on envisager l'utilisation de fréquences si élevées que la quantité de données transportées satisfasse les services à large bande, même sans réutilisation ? Malheureusement, aux fréquences élevées, les ondes électromagnétiques sont atténuées, car les longueurs d'onde sont comparables à la taille des gouttelettes d'eau dans l'atmosphère. Le phénomène est identique à celui qui fait paraître opaques les nuages quand la lumière visible interagit avec les microgouttes qui composent ceux-ci. Des techniques de corrections d'erreur ou une augmentation de la puissance éviteront les effets

de cette atténuation ; de même, on éviterait l'atténuation en utilisant plusieurs stations au sol, de sorte que les données suivent plusieurs chemins, mais toutes ces mesures ont un coût.

Avec des longueurs d'onde inférieures au millimètre, les difficultés empirent : les faisceaux infrarouges et visibles sont trop facilement absorbés par l'atmosphère, si bien que, dans le futur, ils seront surtout utilisés à l'intérieur des immeubles. Toutefois, des expériences réalisées avec un satellite japonais, au milieu des années 1990, ont montré la possibilité de communications par faisceaux laser avec des satellites : on transmettrait ainsi à débit élevé, en utilisant plusieurs stations au sol pour minimiser les pertes dues au mauvais temps.

Dans les 20 prochaines années, les systèmes de communications par ondes radio s'imposeront. Les laboratoires privés et publics ont beaucoup à faire pour mettre ces systèmes au point. Les universités, notamment, devront former des ingénieurs capables de résoudre les problèmes nouveaux que poseront les systèmes de télécommunications.

Avec quelques collègues, nous étudions la création d'un institut spécialisé dans le domaine des nouvelles techniques de télécommunications spatiales. Cependant, même si cet institut voit le jour, la rareté de scientifiques et d'ingénieurs compétents handicaperait l'enseignement. Recherchons ensemble des solutions, car les avantages d'une meilleure communication et d'une meilleure éducation sont incalculables pour toutes les nations.

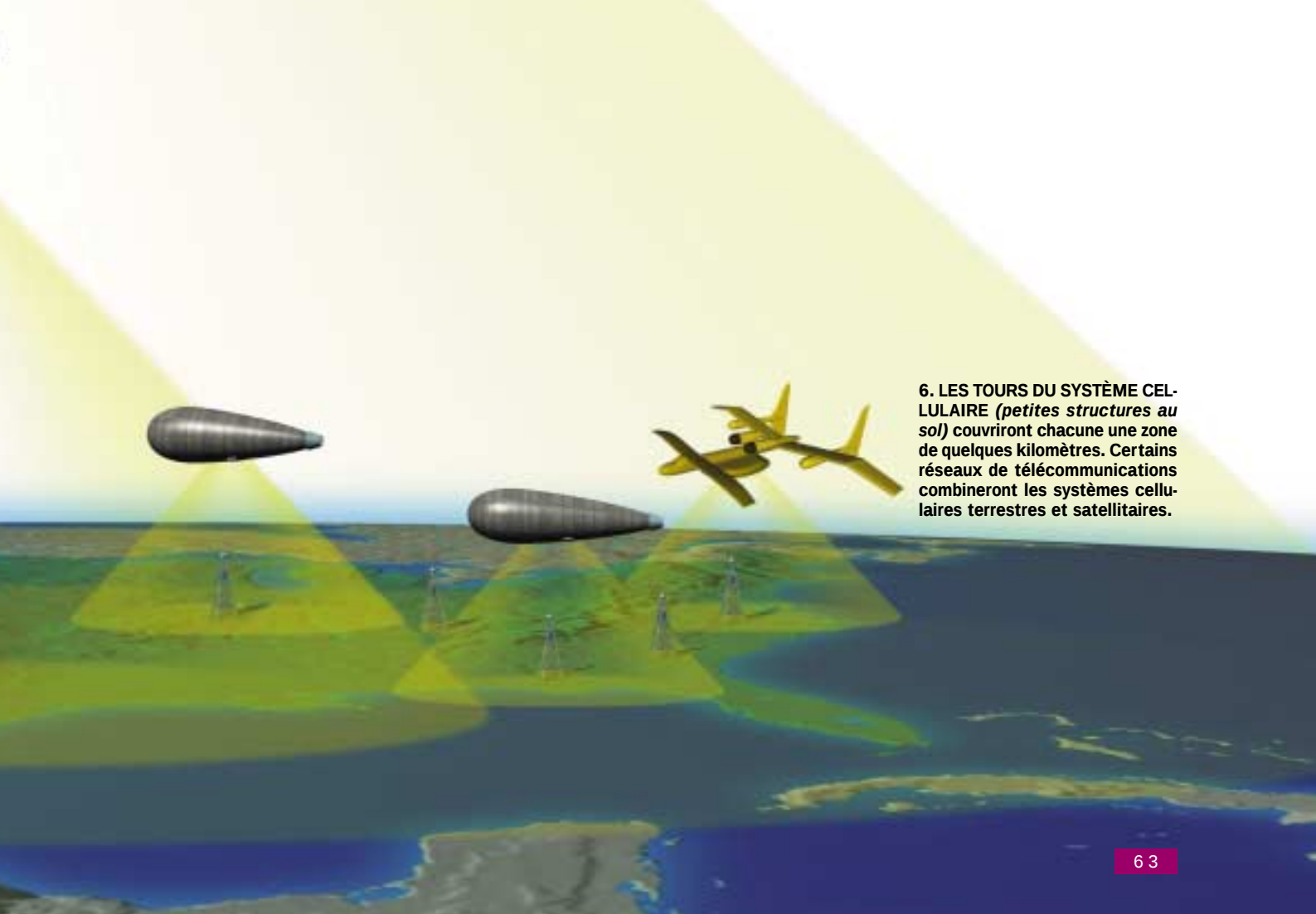
Joseph PELTON enseigne les techniques de télécommunications à l'Université de Boulder (Colorado).

G.D. GORDON et W.L. MORGAN, *Principles of Communications Satellites*, Wiley-Interscience, 1993.

E.W. ASHFORD, *A European Strategy for Future Satellite Communications Systems*, in *Space Communications*, vol. 14, n° 3, pp. 151-154, 1996.

J.N. PELTON, *Overview of Satellite Communications*, in *Encyclopedia of Telecommunications*, vol. 14, Marcel Dekker, 1997.

Joseph N. PELTON et al., *Global Satellite Communications Technology and Systems*, WTEC, Baltimore, à paraître.



6. LES TOURS DU SYSTÈME CELLULAIRE (*petites structures au sol*) couvriront chacune une zone de quelques kilomètres. Certains réseaux de télécommunications combineront les systèmes cellulaires terrestres et satellitaires.