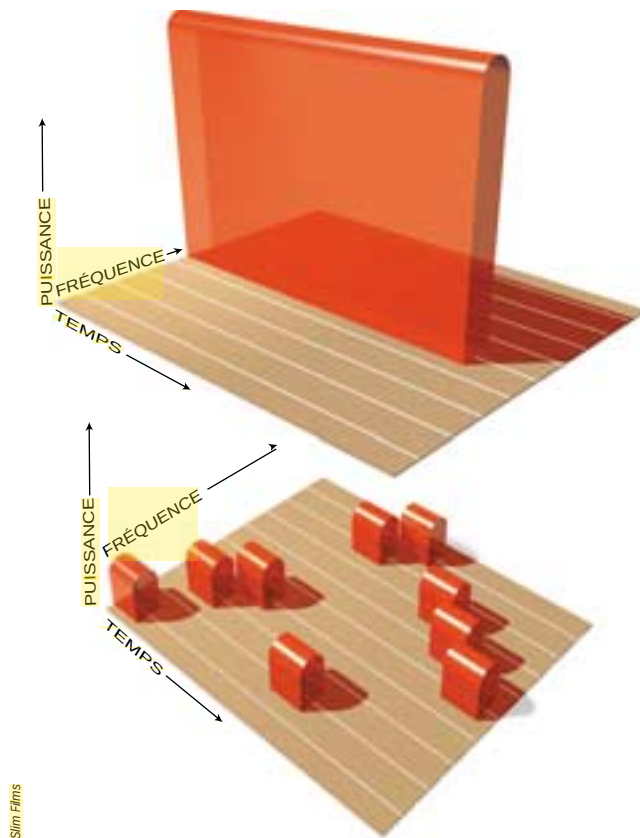


des besoins exclusivement commerciaux, les gouvernements ont donné des autorisations à des sociétés qui fournissaient de la téléphonie cellulaire et des services de communications personnelles. Ces sociétés font payer leurs services aux consommateurs, de la même manière que les compagnies téléphoniques facturent leurs abonnés. Avec le nouveau système, les particuliers n'ont plus besoin d'intermédiaires, et ils peuvent communiquer directement et gratuitement, même lorsqu'ils se trouvent à des kilomètres de distance et que des myriades d'utilisateurs utilisent les mêmes canaux radio. Les gouvernements revoient les réglementations et libèrent certaines bandes de fréquences que le public peut utiliser sans autorisation préalable.

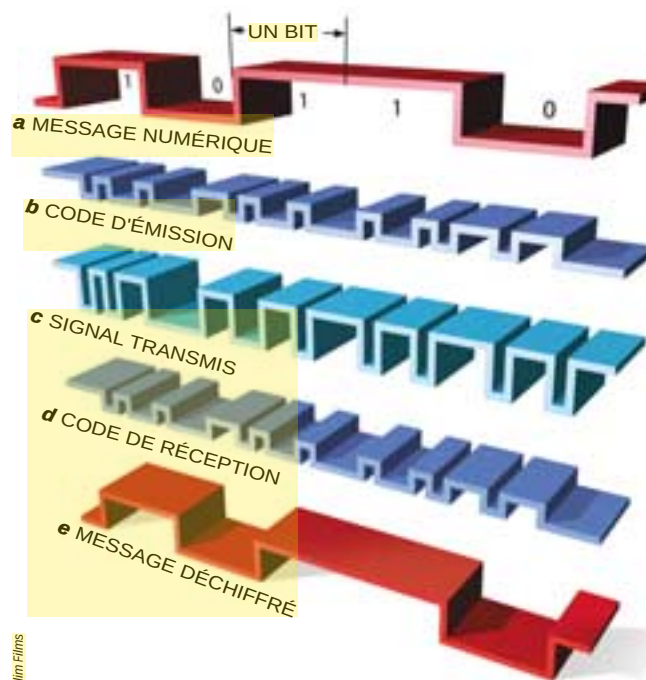
Assez de spectre pour tous

Quel est le fondement de cette révolution technique ? Les communications radio classiques sont fondées sur une diffusion de l'information à forte puissance, sur une seule bande étroite : en utilisant une bande aussi mince que possible, un émetteur laisse à d'autres émetteurs la possibilité d'émettre sans interférences, dans les bandes de fréquences voisines. Toutefois les ingénieurs savent qu'il est plus efficace de faire l'inverse, c'est-à-dire de transmettre les données à faible puissance et en étalant l'information sur une bonne partie du spectre.

Le concept n'est pas intuitif : on ne cherche plus à découper un gâteau en un nombre fini de parts, mais à partager le gâteau en un nombre quasi illimité de petits morceaux à peine perceptibles. Si les radios à bande étalée utilisent plus de bande passante que nécessaire, ces procédés évitent les



1. LES SIGNAUX RADIO (en rouge) ont, pendant longtemps, été transmis de façon continue, à forte puissance, dans une bande de fréquence étroite (*en haut*). Les ingénieurs savent aujourd'hui qu'on utilise plus efficacement le spectre radio si l'on répartit le signal entre différents canaux, à faible puissance. Une des nouvelles techniques utilisées est le saut de fréquence (*en bas*).



2. LA SÉQUENCE DIRECTE est une autre technique de répartition d'un signal de basse puissance sur le spectre radio. Ici on mélange le message binaire 10110 (a) avec une séquence codée (b). On transmet ensuite le signal résultant (c). Cette redondance augmente la possibilité de réception sans erreur même dans les zones urbaines où l'espace radio est encombré. Les récepteurs utilisent une séquence codée identique à celle de l'émission (d) pour déchiffrer la transmission et récupérer le message original (e).

interférences, parce que les puissances de transmission sont faibles : chaque fréquence ne transmet que des bouffées de données. Mieux encore, le signal émis est si faible qu'il est à peine perceptible au-dessus du bruit ambiant. Cette caractéristique est un atout supplémentaire, parce qu'il évite les écoutes indiscrettes : en pratique, seul le récepteur habilité peut savoir qu'il y a une transmission.

Initialement l'étalement de spectre a intéressé pour sa discrétion : pendant la Seconde Guerre mondiale, les militaires ont cherché à utiliser le curieux dispositif coproduit par Hedy Lamarr, qui devait devenir une des vedettes du cinéma américain après la guerre (voir l'encadré de la page 72). L'idée était simple : plutôt que de diffuser l'information sur un canal unique que l'ennemi pouvait découvrir, le système breveté proposait de changer de canal en permanence, selon un code secret, connu seulement de l'émetteur et du destinataire. En raison de ces sauts continuels de fréquences, un ennemi aurait très difficilement extrait le signal du bruit ambiant. Bien qu'intéressant le système était toutefois impraticable, à l'époque.

Les progrès de l'électronique ont finalement permis de reprendre l'idée. Les puces à semi-conducteurs modernes peuvent diffuser des paquets de données numériques sur de nombreux canaux d'une manière qui peut sembler aléatoire. Le récepteur, conçu pour écouter ces signaux dans le même ordre, peut rassembler l'information transmise dans les diverses bandes de fréquences et reconstruire le signal. Lorsque des paquets manquent ou sont bruités, le récepteur peut demander à l'émetteur de réémettre ces paquets, tandis que des techniques de correction

d'erreur augmentent les chances que chaque paquet soit correctement décodé la première fois qu'il est reçu.

La technique de la séquence directe est une autre façon de répartir un message sur le spectre radio : l'information à transmettre est mélangée à un signal codé qui ressemble à un bruit pour tout récepteur qui ne dispose pas du code, et chaque bit de donnée est envoyé simultanément sur plusieurs fréquences. Le récepteur est synchronisé par le même code que l'émetteur.

De nouveaux progrès de la microélectronique ont récemment permis la réalisation de processeurs numériques qui traitent des données à haut débit tout en consommant peu d'énergie. Avec ces nouveaux équipements, on peut étaler les données par les deux techniques simultanément, de sauts de fréquence et de séquence directe. Ces nouvelles méthodes évitent mieux les encombrements du spectre, et les transmissions sont moins perturbées par les bruits ou par les échos (contre les immeubles, le sol et différentes couches atmosphériques).

En 1985, la Commission américaine des communications a décidé de libérer l'usage par le public de bandes de fréquences radio pour des communications à étalement de spectre. La décision restait toutefois assortie de contraintes sévères : les émissions devaient être déclarées à la Commission, s'effectuer dans des bandes réservées aux matériels industriels scientifiques et médicaux, leur puissance devait être inférieure à un watt, et l'étalement devait être limité à quelques canaux.

Malgré ces contraintes, les fabricants ont produit et vendu un nombre considérable d'équipements ; l'effet de masse n'a pas encore pleinement joué, de sorte que les matériels réalisés par environ 60 fabricants ne sont abordables qu'aux entreprises : une ligne radio qui transmet dix mégabits par seconde jusqu'à 40 kilomètres de distance, pour des applications informatiques haut débit, coûte environ 60 000 francs. Des matériels moins performants, qui transmettent 1,5 mégabit par seconde sur 25 kilomètres, coûtent 7 500 francs. À plus courte portée (par exemple, dans un bâtiment), des cartes de réseau local radio pour micro-ordinateurs sont vendues 1 200 francs seulement.

Les prix baisseront beaucoup quand les volumes de production

augmenteront grâce à la demande croissante de connexions large bande et sécurisées des ordinateurs vers le réseau Internet. Bientôt, les usagers utiliseront en permanence les transmissions radio pour communiquer avec un système central qui, lui, sera connecté par câble au réseau classique. Nous prévoyons que les systèmes de communication numériques sans fil, fiables et sécurisés, débitant 1,5 mégabit par seconde ou plus sur des distances atteignant plus de 30 kilomètres, coûteront moins de 2 500 francs.

Quels seront les futurs progrès ? Les émetteurs et les récepteurs devenant totalement numériques, le développement de la transmission radio cellulaire permettra des services variés : nous préparons la mise au point de réseaux composés d'émetteurs-récepteurs «intelligents» qui, par exemple, sauront quelle technique d'étalement de spectre utiliser dans une situation donnée pour que l'information soit transmise sans erreur. Progressivement on mélangera les réseaux radio et les réseaux câblés, pour une transmission optimale des informations.

L'analyse du fonctionnement du réseau Internet montre bien comment pourrait se faire la régulation du nouvel environnement radio. Pour faire fonctionner une structure décentralisée similaire, qui partagerait le spectre radio de façon optimale, les experts en communication, les entreprises et les organismes de réglementation du monde entier devraient s'unir. Le réseau devra sans doute être animé par des systèmes électroniques «intelligents», qui exécuteront des protocoles autorégulés. Lors de la création du réseau, on devra incorporer à l'infrastructure des règles qui conduiront à un partage efficace de la ressource commune qu'est le spectre radio.

David HUGHES et Dewayne HENDRICKS ont mis au point le système radio d'Ulaanbaatar.

M.K. SIMON, J.K. OMURA, R.A. SCHOLTZ et B.K. LEVITT, *Spread Spectrum Communications Handbook*, McGraw-Hill, 1994.

Tim J. SHEPARD, *A Channel Access Scheme for Large Dense Packet Radio Networks*, in *Proceedings of ACM SIGCOMM '96*, ACM, 1996.
