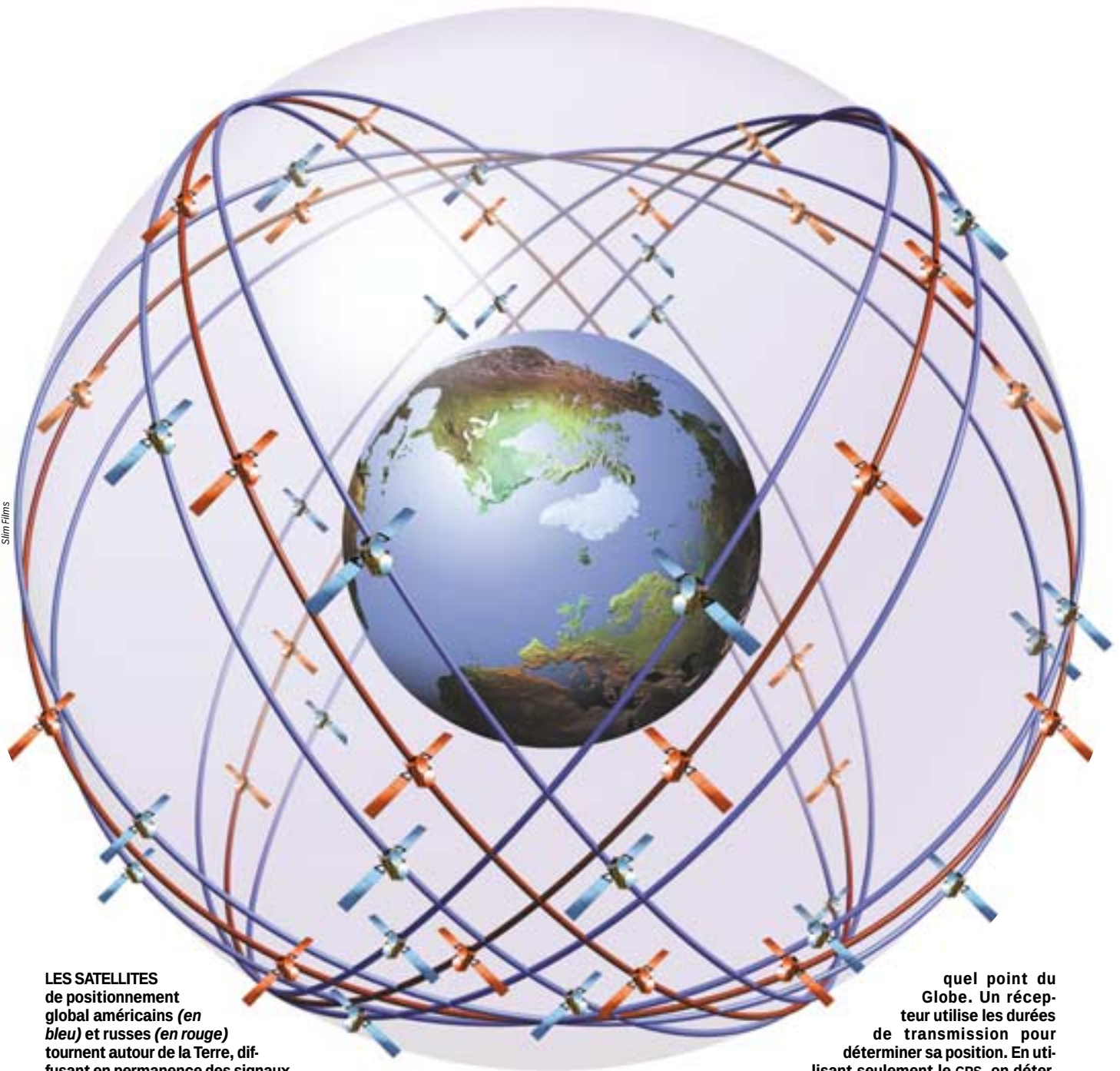




LES SATELLITES
de positionnement
global américains (en
bleu) et russes (en rouge)
tourment autour de la Terre, dif-
fusant en permanence des signaux
qui peuvent être reçus en n'importe

quel point du
Globe. Un récep-
teur utilise les durées
de transmission pour
déterminer sa position. En uti-
lisant seulement le GPS, on déter-
mine la position à 18 mètres près.

Les réseaux hertziens terrestres permettent également des télécom- mandes : des sociétés proposent des systèmes qui utilisent les réseaux cel- lulaires pour commander des équi- pements et récupérer des signaux de mesure, par exemple. Ce type de sys- tèmes facilite notamment le travail des sociétés qui gèrent des distributeurs automatiques, parce qu'un poste cen- tral peut détecter les pannes et prévoir les remplissages. Bien d'autres appli- cations sont envisageables. Des com- pagnies pétrolières testent aujourd'hui des systèmes cellulaires pour contrô- ler les conduites de gaz et de pétrole

situées dans des contrées éloignées. L'administration du parc Monument Valley, dans la Vallée de la mort, aux États-Unis, utilise un réseau de com- munications par satellites pour con- naître le niveau d'eau dans le Trou du Diable, qui reste le seul endroit où vit le poisson du désert, en voie de dis- parition. Enfin les systèmes d'alarme permettent de lutter contre le vol et de secourir les particuliers : certains ser- vices d'urgence répondent aux appels téléphoniques et envoient les secours où ils sont nécessaires, même quand les personnes en détresse sont inca- pables de préciser où elles se trouvent.

Warren STUTZMAN et Carl DIETRICH travaillent au Centre de télécommu- nications de l'Institut Polytechnique de Virginie.

Walter F. BLANCHARD, *Introduction to Satellite Navigation*, in *International Journal of Satellite Communications*, vol. 12, n° 5, pp. 421-426, septembre- octobre 1994.

J.H. REED, K.J. KRIZMAN, B.D. WOER- NER et T.S. RAPPAPORT, *An Overview of the Challenges and Progress in Meeting the E-911 Requirement for Location Service*, in *IEEE Communications*, à paraître.

L'occupation du spectre radio

DAVID HUGHES • DEWAYNE HENDRICKS

Le regroupement d'informations en paquets numériques et leur transmission à plusieurs fréquences permet à des millions de personnes d'émettre et de recevoir en même temps.

Le bon sens tient pour acquis que l'espace radio est une ressource précieuse et limitée, qui doit être rationnée comme l'eau dans le désert : l'idée date des premières études de la transmission et de la réception, où l'on utilisait des bandes étroites du spectre électromagnétique afin de minimiser les interférences. Les gouvernements ont partagé et réglementé les canaux radio comme s'ils étaient des biens immobiliers. Certains pays ont été jusqu'à vendre aux enchères

des bandes de fréquences aux chaînes de télévision ou de radio, aux compagnies de taxis, aux compagnies aériennes, maritimes ou téléphoniques.

Toutefois les récents progrès des télécommunications numériques ont ouvert la porte d'un monde nouveau : les transmissions peuvent aujourd'hui utiliser des techniques d'étalement de spectre pour partager des canaux sans difficulté. L'information est codée par de petits paquets électroniques de 0 et de 1, et transmise par ondes

radio de façon que chaque paquet de faible puissance soit à une fréquence particulière. Des études récentes montrent que des millions d'utilisateurs peuvent théoriquement émettre à l'intérieur d'une même zone urbaine, en utilisant la même bande de fréquence, tout en envoyant des centaines de mégabits de données par seconde.

Les télécommunications devront s'habituer à ce nouveau partage du spectre. Naguère, tout en allouant des bandes de fréquences étroites pour

Les inventeurs inattendus du saut de fréquence

En 1941, l'actrice Hedy Lamarr et le musicien George Antheil déposent le brevet d'un « système de communications secrètes » destiné à aider l'armée américaine à guider les torpilles par radio : les signaux doivent être divisés en paquets émis à des fréquences différentes, choisies au hasard, afin que l'ennemi ne puisse les intercepter et les brouiller.

Née à Vienne, Hedwig Maria Eva Kiesler épousa d'abord Fritz Mandl, un fabricant d'armes qui travaillait pour Hitler ; le mariage avait été arrangé par les parents. Fier de sa femme,

Mandl l'emmenait à ses dîners d'affaires et à ses réunions, de sorte qu'elle fut bientôt au courant des techniques militaires allemandes. Après quatre années de mariage, elle quitta son mari pour se rendre à Londres, où le producteur de cinéma Louis Mayer, l'un des partenaires de la Société *Metro Goldwin Mayer*, détecta son talent et la persuada d'aller aux États-Unis.

Antheil, qu'elle rencontra à Hollywood, chercha avec elle un moyen de synchroniser les sauts de fréquence entre l'émetteur radio et le récepteur. Dans leur invention, qu'ils donnèrent au gouvernement américain, ils utilisaient deux rouleaux de papier analogues à ceux des pianos mécaniques, mais percés de trous conformément à une même séquence aléatoire. Un des rouleaux contrôlait l'émetteur placé dans le sous-marin, l'autre était embarqué avec le récepteur, dans la torpille.

Bien qu'ingénieux, ce dispositif était trop compliqué pour être utilisé durant la Seconde Guerre mondiale.

Néanmoins l'idée du saut de fréquence survécut et, vers la fin des années 1950, les fournisseurs de la Marine américaine utilisèrent les premiers ordinateurs pour commander et synchroniser les sauts de fréquence. Depuis, les militaires ont utilisé des ordinateurs plus rapides pour mettre en œuvre un principe fondé sur le saut de fréquence, dans les systèmes de communication par satellite. La technique est également mise en œuvre dans les téléphones cellulaires ou dans les services de communications personnelles.

L'ACTRICE HEDY LAMARR est un des deux auteurs d'un brevet pour une technique largement utilisée dans les téléphones cellulaires et dans les services de communications personnelles.

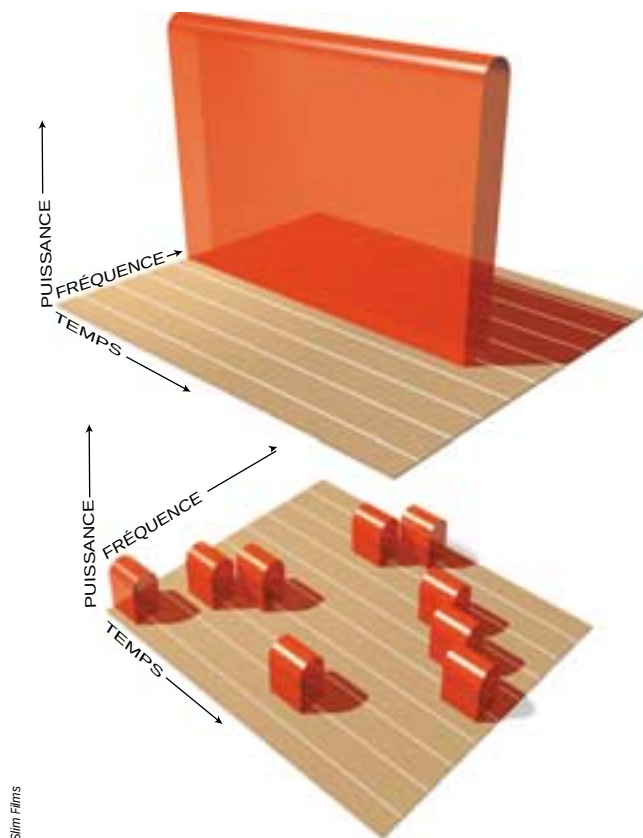


des besoins exclusivement commerciaux, les gouvernements ont donné des autorisations à des sociétés qui fournissaient de la téléphonie cellulaire et des services de communications personnelles. Ces sociétés font payer leurs services aux consommateurs, de la même manière que les compagnies téléphoniques 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.

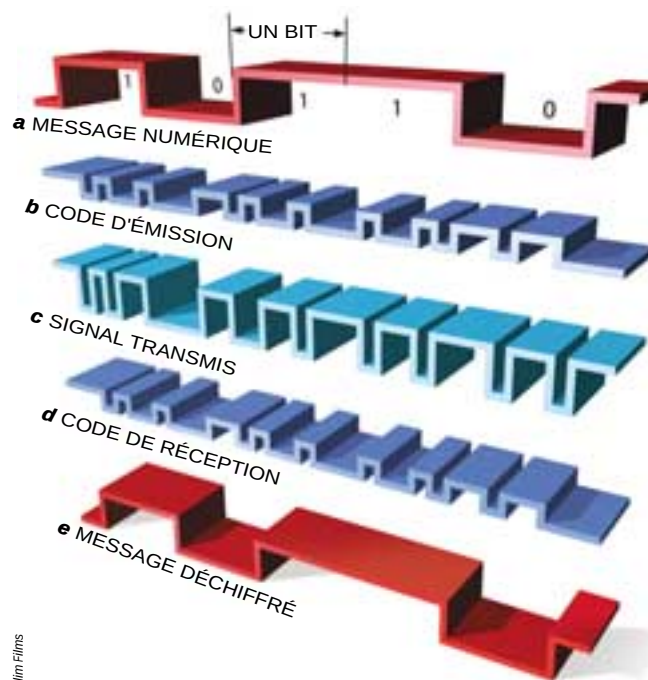
Assez de spectre pour tous

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 continus 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