

Radio FM ou radio AM ?

Il existe deux méthodes pour transmettre du son à l'aide d'ondes radio. L'une est peu sensible aux parasites, l'autre autorise davantage de canaux.

Quand on se sert d'un poste de radio, on doit d'abord choisir la gamme de fréquences, en général étiquetée FM ou AM, puis la fréquence de la station souhaitée. En fait, il ne s'agit pas d'une fréquence unique, mais d'un « canal », un petit intervalle de fréquences. Sa largeur limite le nombre de canaux disponibles, donc le nombre de chaînes radiophoniques. De quoi dépend la largeur d'un canal ? Et que signifient les abréviations FM et AM ?

La voix ou la musique sont des ondes sonores, associées à des variations de la pression de l'air. Elles s'atténuent rapidement en se propageant. Pour les transmettre au loin, une première solution a été trouvée par l'orthophoniste américain Graham Bell en 1876. Grâce à un microphone, les variations de pression sont converties en un signal électrique transmis par des fils de cuivre et que l'on peut amplifier si nécessaire. C'est le principe du premier téléphone (voir la figure 1). Mais ce procédé a ses limites : il nécessite une liaison matérielle entre la source et l'auditeur, cette liaison ne peut transmettre qu'une seule conversation à la fois et la qualité de la transmission est rarement au rendez-vous, le signal étant très sensible aux parasites électriques. Et surtout, cette méthode est mal adaptée à la diffusion d'un même message à de nombreux destinataires. Comment faire mieux ?

Pour envoyer un signal à distance, une technique fort ancienne consiste à cacher et révéler alternativement la lumière d'une lanterne. Dans cette situation, un signal de « basse fréquence », les occultations de la lumière, est porté par une onde de « haute fréquence », celle de la lumière (de l'ordre de 10^{15} hertz dans le visible).

Gardons cette idée du transport du signal par une onde de haute fréquence, mais, plutôt que la lumière, utilisons des ondes radio. Ces ondes électromagnétiques, dont la gamme de fréquences va du kilohertz au gigahertz, traversent certains obstacles et en contournent d'autres grâce au phénomène de la diffraction. Celles de basses fréquences peuvent même faire le tour de la Terre en se réfléchissant sur l'ionosphère.

Comment coder du son avec une onde électromagnétique ? La méthode

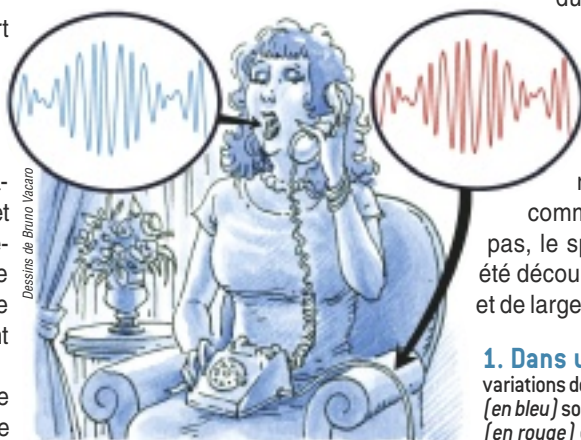
la plus simple consiste à moduler l'amplitude d'une onde monochromatique (de fréquence unique), dite porteuse, c'est-à-dire à multiplier l'amplitude de cette onde par l'amplitude du signal à transmettre. Cela signifie que la puissance du signal émis suit les mêmes variations temporelles que la pression de l'onde acoustique (voir la figure 2). L'onde électromagnétique résultante n'est alors plus monochromatique : on montre que c'est une superposition d'ondes, dont les fréquences sont voisines de celle de l'onde porteuse.

AM ou l'amplitude modulée

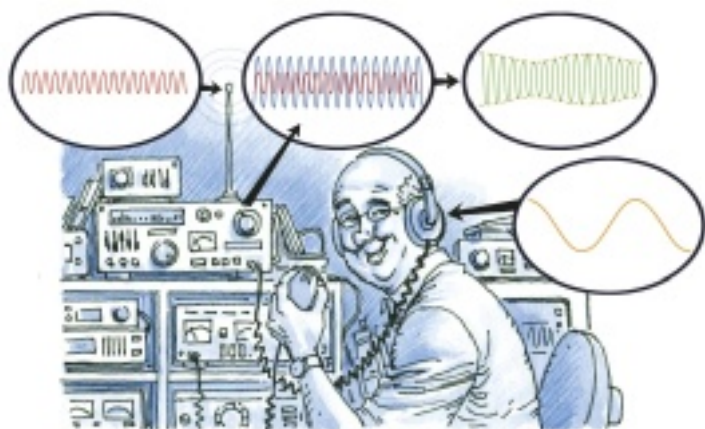
Considérons par exemple la transmission du *la* du diapason, une onde sonore de 440 hertz, au moyen d'une onde radio de 220 kilohertz. L'onde modulée en amplitude (ou AM pour l'anglais *amplitude modulation*) produite par l'émetteur radio est la superposition de trois ondes : la porteuse et deux autres ondes, nommées raies latérales, dont les fréquences sont à 440 hertz de distance de part et d'autre de la fréquence porteuse (soit 219,56 et 220,44 kilohertz).

Lorsque le son à transmettre n'est pas purement sinusoïdal, le résultat est similaire, mais toutes les fréquences composant le son interviennent. C'est pourquoi, pour transmettre le signal dans de bonnes conditions, on doit attribuer une bande de fréquences à chaque porteuse. Si l'on veut transmettre la voix humaine, la gamme acoustique allant de 0,3 à 3,4 kilohertz suffit, ce qui nécessite une bande électromagnétique large de 7 kilohertz. La transmission de la musique nécessitera plutôt une largeur de bande de 40 kilohertz.

Les ondes radio émises occupent ainsi une portion du spectre centrée sur la fréquence porteuse. Toutes les fréquences de cette région sont utilisées et ne sont pas disponibles pour d'autres transmissions. Pour cette raison, et afin que les multiples communications ne se brouillent pas, le spectre électromagnétique a été découpé en canaux de fréquences et de largeurs bien déterminées, répar-



1. Dans un téléphone classique, les variations de pression associées à l'onde sonore [en bleu] sont converties en un signal électrique [en rouge] qui varie de la même façon.



2. En modulation d'amplitude (AM), c'est l'amplitude de l'onde radio qui code l'information à transmettre. Dans le mode BLU (pour *bande latérale unique*) qui en est une variante, l'onde reçue (*en rouge*) est superposée à une onde porteuse (*en bleu*) produite par le récepteur lui-même. Le résultat de cette superposition est une onde modulée (*en vert*) dont l'enveloppe (*en pointillés*) correspond au signal qu'il fallait transmettre (*onde entendue dans le casque, en orange*).

tis entre les utilisateurs potentiels par des conventions nationales ou internationales.

Le spectre étant limité, n'est-il pas possible de réduire la largeur des canaux pour en augmenter le nombre ? La réponse est oui. En modulation d'amplitude, on a vu qu'un son sinusoïdal est en fait codé par deux ondes radio : les deux raies latérales. Il y a donc redondance d'information. En outre, la porteuse elle-même ne contient aucune information, et pourtant, elle représente près des deux tiers de l'énergie émise. Qu'à cela ne tienne : émettons seulement l'une des deux raies latérales et passons-nous de la porteuse et de l'autre raie latérale. C'est le principe de la modulation BLU (pour *bande latérale unique*), bien connue des radioamateurs, des plaisanciers ou des cibistes (avec leur canal unique autour de 27 mégahertz).

Cette méthode minimise à la fois la puissance d'émission et l'encombrement spectral (pour la BLU maritime, par exemple, la largeur du canal est de 2,7 kilohertz). En revanche, le récepteur doit produire localement la porteuse pour restituer le signal. Cela nécessite un oscillateur très stable, à 100 hertz près, donc un récepteur plus perfectionné que les simples postes de radio.

Moduler la fréquence

La modulation d'amplitude, BLU ou pas, n'évite pas les affreux grésillements de certaines retransmissions. Comment éviter de telles perturbations et transmettre un signal de bonne qualité ? En utilisant la modulation de fréquence (FM), proposée par l'Américain Edwin Armstrong en 1935. Le principe revient à émettre un signal de fréquence variable, dont la valeur est la somme d'une fréquence de référence (la porteuse) et d'un terme proportionnel à l'amplitude instantanée du signal à transmettre. La valeur maximale du changement



3. En modulation de fréquence (FM), l'amplitude du signal à transmettre (*en rouge*) est traduite en variations de la fréquence de l'onde radio émise (*en vert*). Cette onde modulée équivaut à la superposition d'un grand nombre d'ondes sinusoïdales de fréquences différentes. Une perturbation affectant l'une de ces composantes n'a donc que peu d'effet sur le signal global : la modulation de fréquence est moins sensible aux parasites que la modulation d'amplitude.

de fréquence de l'onde est l'« excursion en fréquence » : c'est l'écart en fréquence qui correspond à l'amplitude maximale que l'on veut transmettre.

Comme pour la modulation d'amplitude, le signal émis n'est pas une onde monochromatique, mais équivaut à une superposition d'ondes de fréquences différentes. Dans le cas de la transmission en FM du *la* du diapason, l'onde modulée est ainsi composée de toute une famille d'ondes sinusoïdales aux fréquences espacées deux à deux de 440 hertz.

Pour la modulation de fréquence de haute fidélité, la fréquence porteuse est comprise entre 88 et 108 mégahertz, et l'excursion en fréquence est de 75 kilohertz. Ainsi, un *la* du diapason d'amplitude maximale fait intervenir dans sa transmission plus de 100 raies différentes. Par conséquent, si l'une de ces raies est perturbée, le signal global est peu affecté. C'est aussi cela qui permet de se verrouiller sur une station de radio donnée lorsque sa fréquence est proche d'une autre. Autre avantage, la puissance émise en FM est indépendante du signal à transmettre.

Inconvénient de la FM : leurs fréquences étant élevées, les ondes FM diffractent peu, ce qui limite la portée des émetteurs de radiodiffusion. Cette diffraction n'est pas pour autant négligeable, et elle peut provoquer des brouillages. Tout est donc affaire de choix : une même bande de 75 kilohertz pourra servir à une émission radio FM de haute fidélité ou à 20 conversations en mode BLU.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris.

P. LECOY, *Principes et technologies des télécoms*, Hermès-Lavoisier, 2005.