

La 5G pour les nuls : seconde partie

Cedric Favre

Après l'approche faite sur la 5G dans La Revue POLYTECHNIQUE du mois dernier, voici les fondamentaux d'une branche qui s'est fortement développée en à peine trente ans.

Dans le précédent numéro de La Revue POLYTECHNIQUE, nous avons abordé la progression de la téléphonie mobile, les différents protocoles utilisés, les antennes et les cellules, l'évolution dans les plages de fréquences, les réseaux 5G dans le monde et la compatibilité avec les téléphones actuels.

Les thèmes qui suivent reflètent davantage les théories de base en matière de télécommunication.

Rappels de télécommunication

En physique, la fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène périodique se répète par unité de temps. Dans le Système international d'unités (SI), elle se mesure en hertz (Hz).

Autrement dit, la longueur d'onde équivaut à la longueur d'un cycle d'une onde, ce qui correspond à la distance entre deux crêtes successives. Représentée habituellement par la lettre grecque lambda (λ), la longueur d'onde est mesurée en mètres ou en l'un de ses sous-multiples, tels que le nanomètre (nm, 10^{-9} m), le micron (μm , 10^{-6} m) ou le centimètre (cm, 10^{-2} m). La fréquence représente le nombre d'oscillations par unité de temps. On la mesure habituellement en hertz (Hz) – c'est-à-dire en oscillations par seconde – ou en multiples de hertz. En Suisse, les fréquences de la 5G sont les suivantes: 700 MHz, 1400 MHz et 3500 MHz.

Les ondes électromagnétiques

10^{12}	téra	T	Bolomètres, masers, détecteurs dans certains aéroports, radars, lumière visible
10^9	giga	G	WiFi : 2,4 et 5 GHz
10^6	méga	M	GSM, radio FM, DAB, TV, satellites
10^3	kilo	k	fréquences acoustiques perceptibles par l'homme

Préfixes du Système international d'unités

Quand le phénomène périodique est une onde, la fréquence temporelle et la longueur d'onde sont liées par la vitesse de propagation (célérité) de l'onde, selon la relation

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

où

- f est la fréquence (en Hz) ;
- c la célérité (en m/s) ;
- λ la longueur d'onde (en m).

Les ondes électromagnétiques transportent de l'énergie, mais elles sont aussi capables de transporter de l'information. C'est pourquoi on les utilise dans le domaine de la communication.

Concrètement, les ondes électromagnétiques servent à faire fonctionner les smartphones, les postes de radio, ou encore à effectuer des radiographies du corps humain. De même, la lumière visible est une onde électromagnétique ; elle nous permet de voir les couleurs.

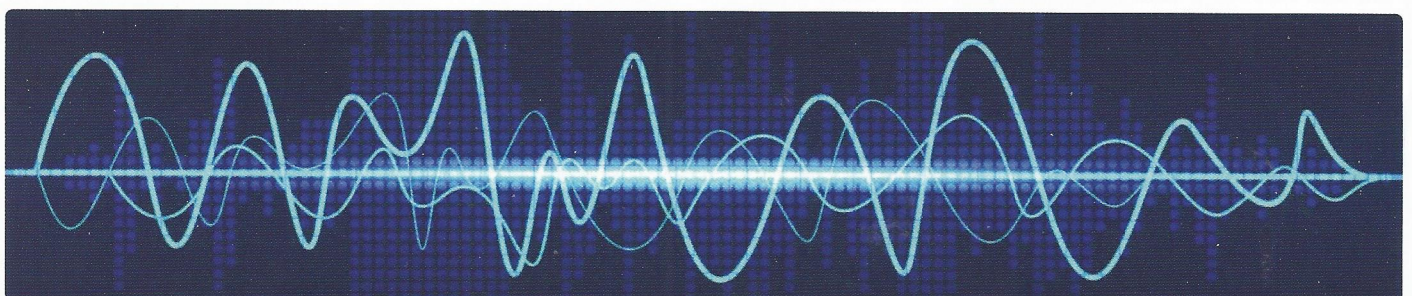
Les ondes électromagnétiques se différencient par leur fréquence, c'est-à-dire par le nombre d'oscillations par seconde. La fréquence est exprimée en hertz. La longueur d'onde, c'est-à-dire la distance qui sépare deux oscillations de l'onde, est une autre caractéristique des ondes électromagnétiques. Elle est inversement proportionnelle à la fréquence. Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leur fréquence dans ce que l'on appelle le « spectre électromagnétique ».

À partir d'une fréquence avoisinant les 30'000 Hz, les champs électromagnétiques donnent lieu à un phénomène spécial qui apparaît de façon prononcée : le champ est en mesure de se rendre indépendant. Il se détache de sa source et peut se « reproduire » librement dans l'espace sous la forme d'une onde électromagnétique. Toutes les applications de radiocommunication reposent sur ce principe.

Le taux de transfert

En informatique et en télécommunication, le taux de transfert désigne la vitesse à laquelle les informations sont transmises d'un émetteur à un récepteur. Ces informations sont des valeurs 0 et 1 (octet ou bit). Selon la quantité d'information à transmettre, ce taux peut être exprimé en octets par seconde (o/s), en mégaoctets par seconde (Mo/s ou Mbps), voire un unités encore supérieures.

Pour que nos fichiers ou SMS puissent parvenir jusqu'à leur destinataire, l'information à envoyer est d'abord codée en langage binaire (combinaisons de zéro et un) puis présentée en entrée de la carte





L'environnement électromagnétique.
(Source : www.bdwellfaresociety.org)

électronique de l'émetteur du système de communication sans fil, un téléphone, par exemple.

Le signal numérique correspondant au message binaire de l'utilisateur est ensuite transformé en signal analogique à haute fréquence (fréquences radio). Il est envoyé à l'antenne du portable, qui se met alors à rayonner une onde électromagnétique qui se propage dans l'air pour atteindre l'antenne relais la plus proche. L'onde est ensuite transformée en signal électrique, pour transmise via des câbles ou des fibres optiques sur de très grandes distances, jusqu'à enfin atteindre l'antenne relais la plus proche du destinataire.

Le processus de réception est le même que celui d'émission, en inverse. La carte électronique du système de communication du récepteur décode le langage binaire pour afficher le SMS, l'image ou la vidéo. Le débit théorique de la 5G oscille entre 1 et 3 Gbit/s. Il est donc dix fois plus important que celui de la 4G.

La puissance d'émission

Les puissances définies (PIRE ou EIRP en anglais) correspondent à la puissance réelle calculée directement en sortie de l'antenne et ramenée à une antenne omnidirectionnelle parfaite (isotrope) :

$$PIRE [dBm] = Puissance de transmission [dBm] - Pertes dans les câbles et connecteurs [dB] + Gain de l'antenne [dBi]$$

où

$$dBm = 10 * \log_{10} \left(\frac{Puissance en mW}{1 mW} \right)$$

La formule suivante permet de trouver la valeur approximative en $\mu W/m^2$ à partir du champ électrique exprimée en V/m :

$$Champs magnétique en \mu W/m^2 = \frac{(Champs électrique en volt par mètre)^2}{0.000377}$$

Pour une antenne isotrope, la correspondance entre la puissance en émission (en watts) et la valeur du champ électrique (en volts par mètre) en fonction de la distance par rapport à l'émetteur se calcule selon la formule :

$$Champs électrique en volt par mètre = \frac{\sqrt{Puissance en watt * 30}}{Distance en mètre}$$

Certes, la puissance d'émission d'un téléphone mobile est nettement inférieure à celle d'une station de base. Cependant, l'exposition de l'organisme lors d'une conversation par portables interposés est beaucoup plus forte que celle de la station de base, même la plus puissante. Car si l'antenne de la station de base est généralement éloignée de plusieurs mètres de la personne qui téléphone, le portable n'est, quant à lui, situé qu'à quelques millimètres de son oreille.

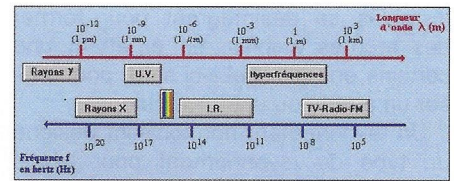
L'intensité des ondes provenant d'une station de base dépend des facteurs suivants :

- la puissance de rayonnement ;
- la distance par rapport à l'antenne émettrice ; l'intensité des ondes est réduite de moitié lorsque la distance est multipliée par deux ;
- l'orientation par rapport à l'antenne ; les antennes des stations de base ne rayonnent pas avec la même intensité dans toutes les directions. Elles sont comparables à une lampe de poche, qui éclaire horizontalement et dans un rayon de 120° et 180° ; au-delà de ce faisceau lumineux, la lumière ne disparaît pas totalement, mais elle est nettement estompée ;
- les murs et la toiture ; ils réduisent l'intensité des rayonnements qui pénètrent à l'intérieur du bâtiment.

La puissance apparente rayonnée (ERP) est la puissance transmise à une antenne, multipliée par le gain de l'antenne dans la direction principale de propagation, rapportée au dipôle de demi-onde. La puissance d'émission pour la 5G est de l'ordre de 1,5 W/m.

Le rayonnement

Un rayonnement se caractérise par une onde électromagnétique qui se propage dans un milieu et interagit avec celui-ci. Le spectre du rayonnement électromagnétique comprend différents domaines d'ondes caractérisées par leur longueur d'onde et leur fréquence.



Les ondes électromagnétiques

Une onde est caractérisée par plusieurs grandeurs physiques :

- **La longueur d'onde (λ)** : elle exprime le caractère oscillatoire périodique de l'onde dans l'espace. C'est la longueur d'un cycle d'une onde, la distance séparant deux crêtes successives. Elle est mesurée en mètre ou en l'un de ses sous-multiples, les ondes électromagnétiques utilisées en télédétection spatiale ayant des longueurs d'onde relativement courtes :
 - le nanomètre : 1 nm = 10^{-9} m
 - le micromètre ou micron : 1 μ m = 10^{-6} m
 - le centimètre : 1 cm = 10^{-2} m
- **La période (T)** : elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. L'unité est la seconde [s].
- **La fréquence (ν)** : inverse de la période, elle traduit le nombre de cycles par unité de temps. Elle s'exprime en hertz (Hz) – un hertz équivaut à une oscillation par seconde – ou en multiples du hertz, les ondes électromagnétiques utilisées en télédétection spatiale ayant des fréquences très élevées, telles que le kilohertz (kHz), le mégahertz (MHz) et le gigahertz (GHz).

La longueur d'onde et la fréquence sont inversement proportionnelles. Elles sont reliées par la relation :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

où :

- λ : longueur d'onde
- c : vitesse de la lumière (299'792'458 m/s)
- ν : fréquence

Par conséquent, plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et réciproquement.

Rayonnements ionisants et non ionisants

Un rayonnement ionisant est de l'énergie transportée par des particules ou des ondes, comme un rayonnement électromagnétique (rayons X, rayons gamma) ou neutronique, par exemple. Il se produit notamment lorsque des atomes

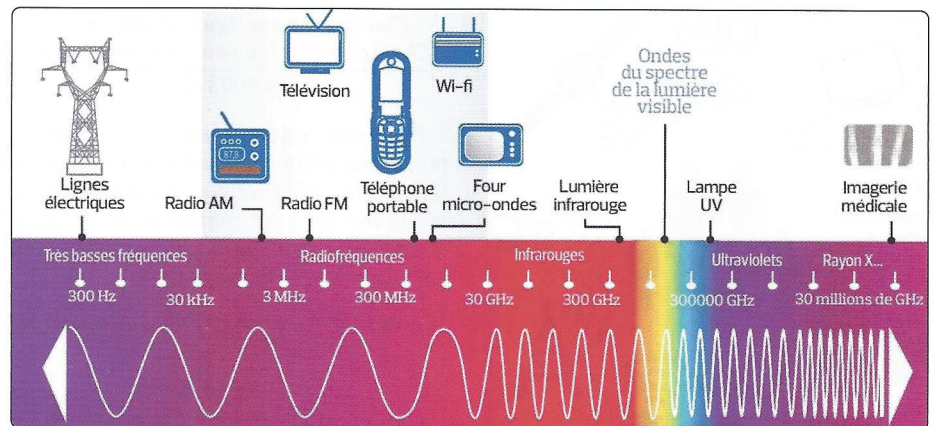
Télécommunications

instables se désintègrent pour former des atomes stables, en émettant une certaine énergie. Celle-ci suffit pour ioniser un atome ou une molécule.

Un rayonnement non ionisant désigne un type de rayonnement pour lequel l'énergie électromagnétique transportée par chaque quantum est insuffisante pour provoquer l'ionisation d'atomes ou de molécules. La cinquième génération de la téléphonie mobile est clairement située dans la gamme des ondes non ionisantes.

L'électrosmog

L'homme est exposé quotidiennement au rayonnement non ionisant provenant de sources des plus diverses. Les lignes de contact des chemins de fer, les installations d'approvisionnement en courant ou les appareils électriques domestiques génèrent des champs électriques et magnétiques de basse fréquence. Les émetteurs de radio et de télévision, les antennes de téléphonie mobile, les téléphones mobiles, les radars et les fours à micro-ondes produisent un rayonnement de haute fréquence.



Le spectre des fréquences électromagnétiques. (Source : metaphysik.fr)

Lieux à utilisation sensible (LUS)

La protection offerte grâce aux valeurs limites de l'installation – pour répondre au principe de précaution – ne concerne que les endroits dans lesquels des personnes séjournent régulièrement pendant une période prolongée.

Exemples :

- les habitations (au même titre, les appartements de vacances), y

compris les cuisines, les salles de bains et les couloirs à l'intérieur de l'habitation ;

- les postes de travail permanents ;
- les écoles et les jardins d'enfants ;
- les places de jeux et les cours d'école ou de jardins d'enfants ;
- les chambres de patients dans les hôpitaux, les homes pour personnes âgées et les homes médicalisés
- les chambres d'hôtel ●

Test fenêtre

