

Notions de base sur les radiofréquences et les communications sans fil

1. Que sont les ondes électromagnétiques ?

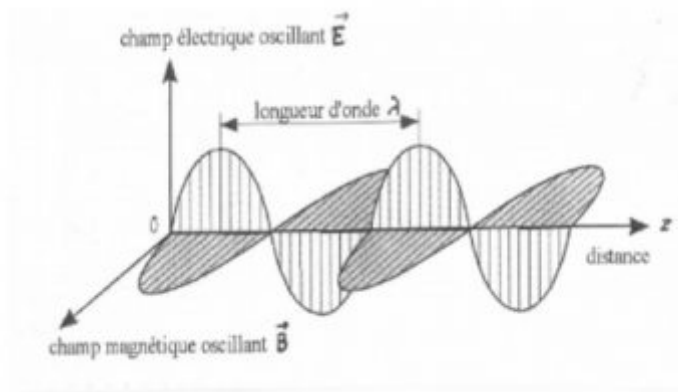


Figure 1. Représentation schématique d'une onde électromagnétique (modèle ondulatoire).
[Source : <https://www.encyclopedie-environnement.org/air/couleurs-ciel/>]

Les ondes électromagnétiques résultent de la combinaison d'une onde électrique et d'une onde magnétique qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière (Lire [Les couleurs du ciel](#)). On parle aussi de **rayonnement**. La **fréquence** (en Hertz, Hz) correspond au nombre d'oscillations par seconde, elle est inversement proportionnelle à la **longueur d'onde λ** (en mètre) qui représente la distance séparant deux points d'oscillation (Figure 1).

Chaque onde est associée à une particule (photon) dont l'énergie propre dépend de la fréquence. La gamme des rayonnements s'étend de la fréquence nulle correspondant aux champs électriques et magnétiques statiques, jusqu'à l'infini (rayonnements cosmiques).

2. Radiofréquences et communications sans fil

Les radiofréquences sont des **ondes électromagnétiques, dites aussi ondes ou fréquences radioélectriques ou hertziennes**, dont les fréquences sont par convention inférieures à **3000 GHz** selon l'Union internationale des télécoms [1]. Cette plage englobe les fréquences retrouvées également sous l'appellation ondes radio, hautes fréquences, micro ondes ou encore hyperfréquences. Les bandes de fréquences sont attribuées de façon officielle pour les différentes applications [2]. Les ondes dites millimétriques (en raison de leur longueur d'onde qui est de l'ordre du millimètre) se trouvent dans la partie haute de la plage de radiofréquences. Les rayonnements infra-rouges et visibles se situent au-delà de 300 GHz.

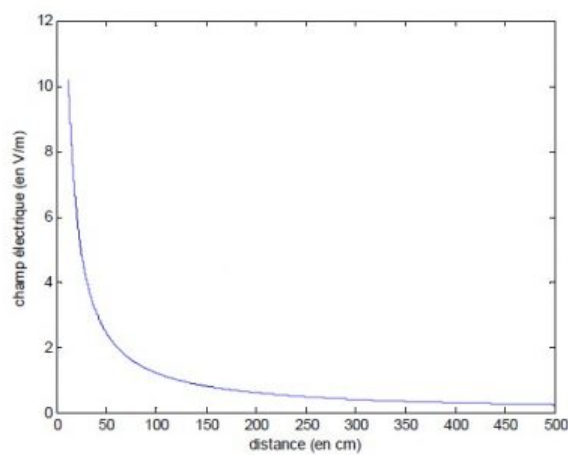


Figure 2. Valeur du champ électrique (V/m) en fonction de la distance depuis un émetteur de 50 mW. [Source : rapport ANSES 2013]

3. Propagation des ondes dans l'espace

En l'absence d'obstacle, les ondes électromagnétiques se propagent dans l'espace à partir de la source de rayonnement, en investissant un espace de plus en plus grand. La puissance d'un émetteur s'exprime en **watt**. L'intensité du champ électrique en un endroit donné décroît rapidement avec l'éloignement de la source (Figure 2). Nous pouvons le visualiser facilement dans le cas des rayonnements visibles puisque notre œil est capable de capter la lumière, d'une lampe torche par exemple. Ce phénomène est similaire à partir d'une antenne relais de téléphonie. L'exposition est la plus faible sous l'émetteur, c'est ce qu'on appelle l'**effet parapluie** (Figure 3).

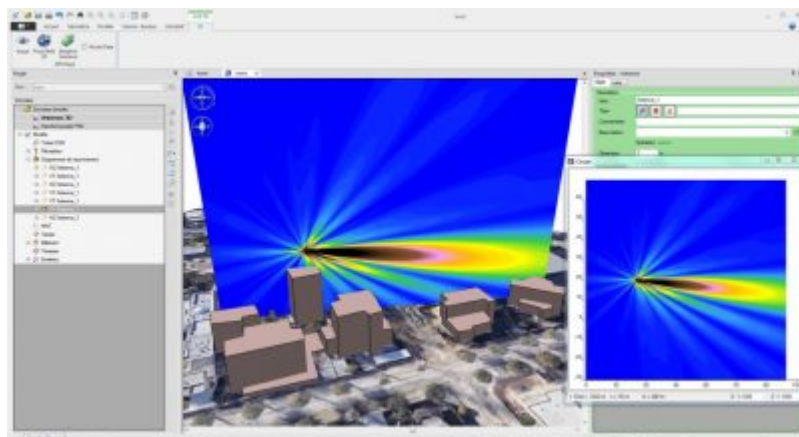


Figure 3. Expérience de simulation numérique permettant de produire une image de la répartition du faisceau à partir d'une antenne relais, échelle de couleur pour indiquer les niveaux de champ électromagnétique. [Source : image obtenue avec le logiciel MithraREM, fournie par le CSTB]

4. Communications sans fil et téléphonie mobile

Il y a plus d'un siècle, les radiofréquences ont été employées pour la **radio**, suivie par la **télévision** dans les années 60. Par ailleurs, de nombreux systèmes de communications sans fil se sont développés (Wi-Fi, Bluetooth, objets connectés, etc.), le téléphone fixe sans fil de la maison en fait partie (DECT). Ces technologies, notamment la **téléphonie mobile**, ont connu un essor fulgurant au cours des 30 dernières années. Comme la plupart des technologies, elles sont en constante évolution depuis leur invention. Le téléphone filaire disparaît peu à peu et la téléphonie mobile fait maintenant partie des services publics ; la couverture du territoire est une obligation pour les opérateurs [3].

4.1. Téléphonie mobile : comment ça marche ?

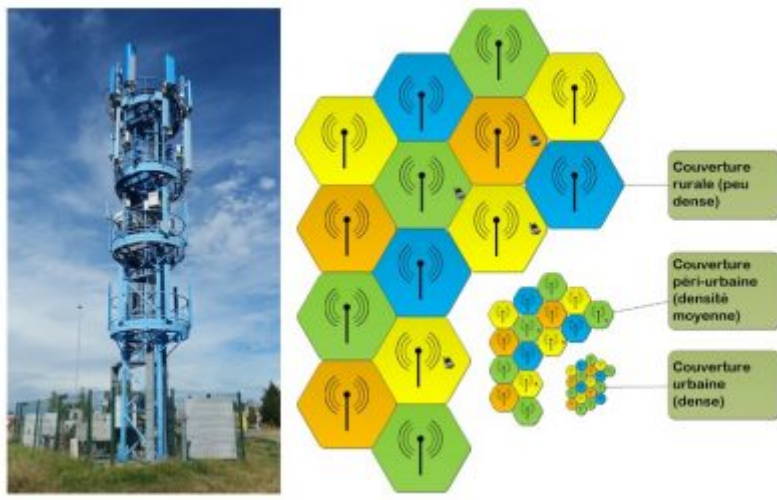


Figure 4. Station de base et principe d'un réseau de téléphonie mobile. [Source : photo et schéma A. Perrin]

Le téléphone mobile est un **récepteur**, comme un poste de radio, mais aussi un **émetteur** d'ondes pour renvoyer l'information. Le principe de fonctionnement de la téléphonie mobile est fondé sur le découpage du territoire en cellules « nid-d'abeilles ». Dans chaque cellule, une station de base fixe (site comprenant une ou plusieurs antennes et les équipements annexes) émet vers les téléphones mobiles des utilisateurs et reçoit les signaux des téléphones actifs dans sa cellule (Figure 4). Le mas peut aussi porter d'autres émetteurs ou capteurs pour la radio, les relevés de compteurs, la gestion de l'éclairage...

En France, plusieurs dizaines de milliers de stations de base, communément appelées antennes-relais, sont exploitées par quatre réseaux distincts. Il y a maintenant environ **sept milliards d'abonnements** dans le monde [4]. Certains pays n'ont jamais connu la téléphonie filaire auparavant en raison des infrastructures lourdes que cela demandait.

4.2. Évolution de la téléphonie mobile au cours du temps : 1, 2, 3, 4 et 5G

Les téléphones sans fil de 1^{ère} génération (1G) datent des années 80, mais la téléphonie mobile s'est popularisée dans les années 90 avec les appareils de deuxième génération (2G, système GSM) beaucoup plus maniables, permettant aussi l'envoi de messages écrits. Dans les années 2000, les réseaux et l'encodage des signaux ont été optimisés pour transférer plus de données (internet, images, vidéos) et les smartphones sont apparus (3G, 4G, systèmes UMTS, LTE) [5]. **Maintenant la 5G se développe dans le monde** et remplacera sans doute progressivement les réseaux précédents [6]. Cette nouvelle technologie est similaire à la 4G, mais permet d'atteindre des débits plus élevés avec des temps de latence plus courts, c'est-à-dire plus de capacité et de réactivité, notamment grâce à des nouvelles antennes actives (dites aussi massive-MiMo ou intelligentes). Elles n'émettront plus en permanence dans toutes les directions du faisceau mais en direction des appareils qui se connectent. Mais la 5G peut aussi fonctionner avec les antennes des générations antérieures [7]. Les applications envisagées dépassent le cadre de la téléphonie mobile et la 5G est annoncée comme porteuse d'innovations dans une multitude de secteurs publics et surtout industriels [8]. Les fréquences déjà allouées à la téléphonie pourront être utilisées, ainsi que deux nouvelles bandes de fréquences : 3,5 GHz (3,4–3,8 GHz) et 26 GHz (24,2–27,5 GHz, dites ondes millimétriques). Des fréquences plus hautes, sont aussi à envisageables (Figure 5). Pour l'heure, le déploiement de la bande 3,5 GHz est lancé.

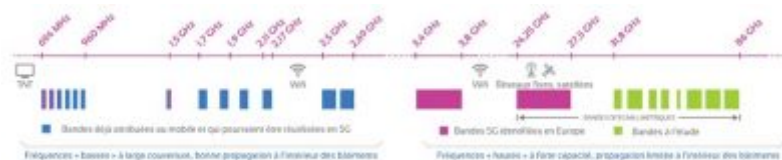


Figure 5. Vue d'ensemble des bandes de fréquences identifiées pour la 5G. [Source : © ANFR]

En France, les plages de fréquences utilisées (ou à venir) selon la génération de téléphonie mobile sont les suivantes :

- 2G : 900 MHz et 1,8 GHz
- 3G : 900 MHz et 2,1 GHz
- 4G : 700 et 800 MHz, 1,8 ; 2,1 et 2,6 GHz
- 5G : 700 MHz à 2,6 GHz, autour de 3,5 GHz, et dans le futur, autour de 26 GHz.

5. Quelques ordres de grandeur

La puissance des systèmes des communications sans fil va du milliwatt à quelques watts pour les appareils de proximité. Les émetteurs les plus puissants sont éloignés du corps. Les antennes relais de téléphonie ont une puissance de 1 à 50 watts environ selon la superficie couverte. Les émetteurs de télévision ou radio peuvent atteindre plusieurs milliers de watts et sont situés en hauteur, générant un champ électrique de l'ordre du V/m au sol. La puissance des appareils radioélectriques destinés à un usage grand public excède rarement 1 ou 2 watts. Par exemple les routeurs Wifi 2,4 GHz émettent 100 mW au maximum, l'ordre de grandeur est similaire pour les téléphones DECT (sans fil fixes).

6. Comment mesurer le niveau d'exposition ?

Dans la gamme des radiofréquences, le **niveau d'exposition** en un endroit donné, peut être obtenu en mesurant le champ électrique ou le champ magnétique car les deux varient dans les mêmes proportions. Le niveau d'exposition est généralement exprimé en termes de **champ électrique (volt par mètre, V/m)** ou en **densité de puissance (watt par mètre carré, W/m²)**. Ces deux grandeurs sont reliées entre elles et peuvent être obtenues à l'aide de mesureurs de champs adaptés à la gamme de fréquences considérée, en suivant un protocole rigoureux [10]. Pour des raisons techniques, ces appareils sont capables de mesurer correctement le champ électrique uniquement à une certaine distance de la source. Ils ne sont donc pas utilisables tout près d'un téléphone mobile ou d'un autre appareil émetteur situé à proximité du corps bien qu'ils affichent quand même une valeur, fautive ! Il faut alors utiliser des outils plus sophistiqués pour mesurer le **débit d'absorption spécifique (DAS)** qui quantifie la quantité d'énergie absorbée par kilogramme et s'exprime en W/kg. Ces mesures sont réalisées dans des laboratoires spécialisés. Elles fournissent le niveau d'exposition maximal des personnes pouvant être atteint lorsque l'appareil fonctionne à pleine puissance.

Notes et références

Image de couverture. [Source : image obtenue avec le logiciel MithraREM, fournie par le CSTB]

[1] Union internationale de communications, Règlement des radiocommunications, 2012. Sur itu.int

[2] ANFR, [Tableau national de répartition des bandes de fréquences](#)

[3] [Les obligations de opérateurs de téléphonie mobile à l'égard de l'État et des utilisateurs de leurs services](#)

[4] Union internationale des télécommunications, [Rapport et Base de données sur le développement des télécommunications/TIC dans le monde](#).

[5] GSM : Global System for Mobile Communications ; UMTS, Universal Mobile Telecommunications System ; LTE, Long Term Evolution (normes de téléphonie mobile).

[6] [Le déploiement de la 5G](#), sur anfr.fr.

[7] ARCEP, Dossier 5G, Aspects techniques de la 5G : imbrication entre 4G et 5G, ressource en ligne du 10/11/2020. Sur arcep.fr

[8] [Informations sur le déploiement de la 5G en France](#) sur le site de l'ARCEP (arcep.fr)

[9] ANFR, « [Une nouvelle bande pour le Wifi à 6 GHz ?](#) », Anfr actualités, 2 juin 2020. Sur anfr.fr.

[10] ANFR, [Protocole de mesure](#). Version 4.1, octobre 2019.

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes.

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons

