

Un monde  
sans fils

Les ondes  
en questions



Les technologies émettrices d'ondes (antennes-relais, téléphone mobile, dispositifs Wi-Fi...) suscitent interrogations et inquiétudes dans le public. Quelles ondes sont utilisées par ces technologies ? Quelles sont leurs propriétés ? Comment les mesure-t-on ? Que sait-on de leurs effets sur notre santé ? Quelles précautions prendre pour s'en protéger ?

L'exposition itinérante « les ondes en questions » y répond à l'aide d'éléments scientifiques et techniques. Elle a été réalisée grâce à un partenariat entre la Fondation Santé et Radiofréquences et l'ABRET, Association Bretonne pour la Recherche Et le Technologie.

Sa conception s'est faite sous la responsabilité d'un conseil scientifique rassemblant des spécialistes du domaine des radiofréquences et de la santé : médecins, biologistes, physiciens...

Notre objectif par cette exposition itinérante est d'informer, sans parti pris, le grand public et notamment les scolaires sur les ondes électromagnétiques radiofréquences et leurs effets éventuels sur la santé.

### **Concepteurs de l'exposition :**

- Association Bretonne pour la Recherche et la Technologie
- Fondation Santé et Radiofréquences

### **Partenaires :**

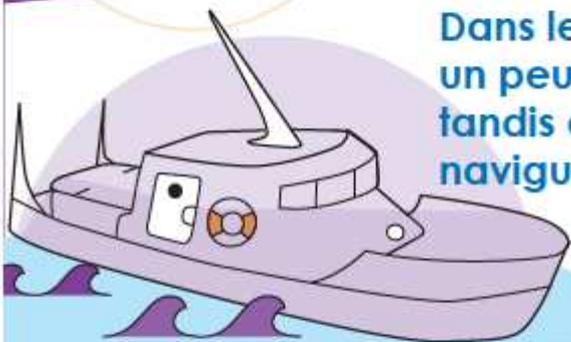
- Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
- Conseil Régional de Bretagne

### **Remerciements :**

- Société SATIMO, Brest
- RFS, Lannion

# Les ONDES RADIO dans notre QUOTIDIEN

Dans le salon, Julien regarde la télévision, un peu gêné par le bruit de la radio dans la cuisine, tandis que sa sœur, sur la terrasse, navigue sur Internet avec son ordinateur.



Petite musique : le **portable** de Julien sonne. C'est son père qui appelle; Il rentrera un peu tard mais tout va bien, ses **appareils de radionavigation** fonctionnent parfaitement.



Ah, c'est l'heure de la météo : d'après les images renvoyées par les **satellites**, demain, ciré !



Un peu de «zapping» avec la **télécommande** et une star de la chanson se déplace au milieu du public grâce aux **micros sans fil**.

Oh, mais l'heure passe ! Julien doit aller à un match de foot. Avec son **récepteur GPS**, son ami n'aura pas de souci pour le conduire au stade.



Mais qu'ont donc en commun tous ces services ?

**Les ondes radio qui permettent de transporter des informations à distance.**

C'est fin 1901 qu'un jeune physicien italien, Guglielmo Marconi, réussit la première transmission à longue distance d'un message par ondes radio : d'Angleterre au Canada, le message, en morse, avait pu voyager sur plus de 3000 km au-dessus de l'Atlantique ! Cinq ans plus tard le Canadien Reginald Aubrey Fessenden réussit la première transmission vocale.



# Les ONDES RADIO, des ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les ondes radio sont à la base des communications sans fil, en général.

Mais que sont-elles ?

Elles font partie d'une grande famille : le **rayonnement électromagnétique**.

La lumière appartient à la même famille.

Elle y est la seule à être ... visible !

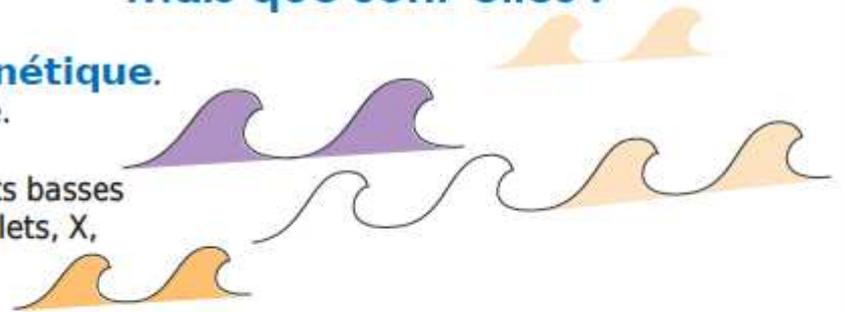
Tous les autres membres : rayonnements basses fréquences et radio, infrarouges, ultraviolets, X, gamma, nous sont invisibles.



A la manière des vagues sur la mer, les champs électromagnétiques se propagent sous forme d'ondes. Et comme toutes les ondes, celles-ci sont caractérisées par leur amplitude, leur longueur d'onde et leur fréquence.

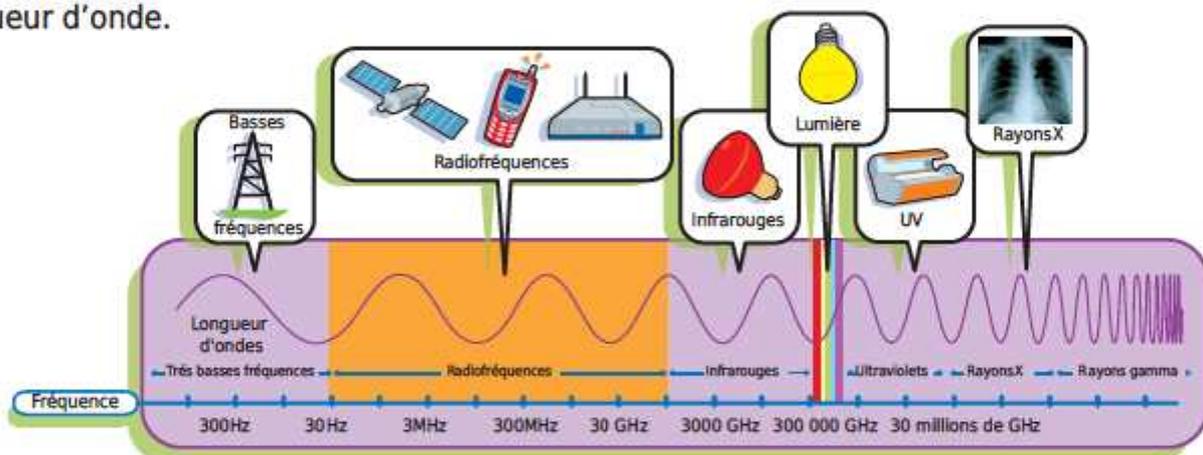
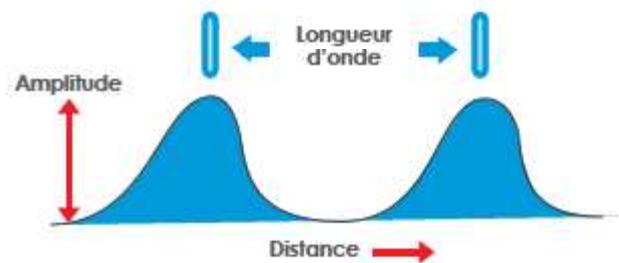
L'**amplitude** correspond à la hauteur d'une «vague», la **longueur d'onde** à la distance entre les crêtes de deux «vagues» successives.

La **fréquence**, nombre de «vagues» par seconde, est inversement proportionnelle à la longueur d'onde.



Comme son nom l'indique une **onde électromagnétique** est une onde électrique et magnétique !

Elle est composée d'un **champ électrique** et d'un **champ magnétique**.



Ondes électromagnétiques

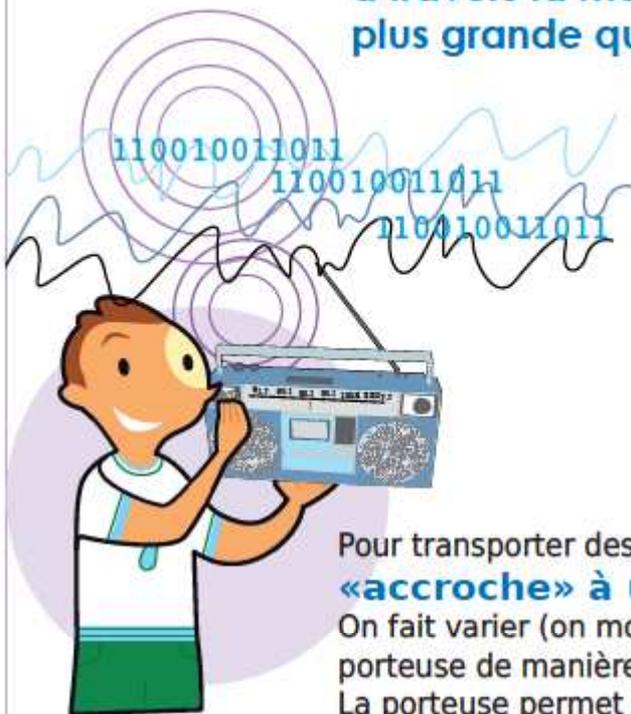


L'Anglais Maxwell avait imaginé les ondes électromagnétiques en 1873 (les fameuses «équations de Maxwell») et l'Allemand Hertz les mit en évidence (1887), d'où l'unité utilisée, le Hertz (Hz), pour exprimer leur fréquence. Hertz pensait alors qu'il n'y aurait aucune application de ces ondes !



# Les ONDES RADIO, PORTEUSES D'INFORMATIONS

Comme toutes les ondes électromagnétiques, les ondes radio transportent de l'énergie, à partir de leur source, à travers la matière et le vide. Cette énergie est d'autant plus grande que l'amplitude de l'onde est élevée.



A la différence des vagues et du son, les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de matière pour se déplacer.

Elles peuvent traverser certains matériaux.

Elles se déplacent à la vitesse de **300 000 km par seconde** dans le vide !

C'est la fameuse **vitesse de la lumière**.

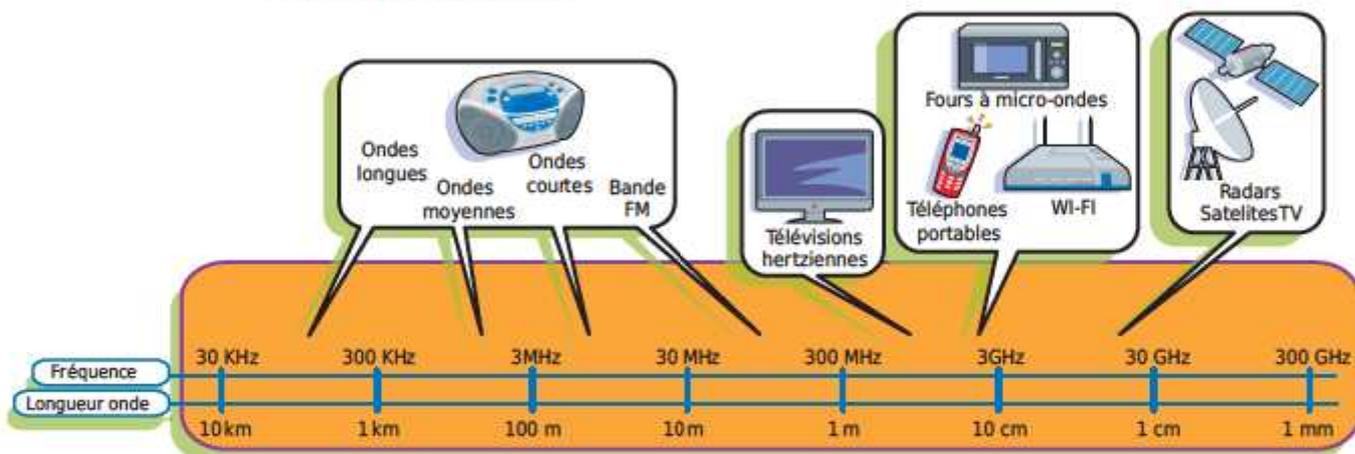
Ainsi, d'un satellite de télévision situé à 36 000 km d'une antenne parabolique, les ondes radio ne mettent que 1,2 dixième de seconde !

Pour transporter des informations (sons, images, données...), on les **«accroche» à une onde radio : c'est l'onde porteuse**.

On fait varier (on module) l'amplitude, la fréquence ou la phase de l'onde porteuse de manière à reproduire fidèlement le signal à transmettre.

La porteuse permet de caler celui-ci dans une bande de fréquences bien déterminée. C'est le procédé de **modulation**.

A la réception, opération inverse ! Signal et porteuse sont séparés par la **démodulation** !



Ondes radiofréquences

Il y a aujourd'hui tellement d'utilisations des ondes radio qu'on a dû créer des autorités de régulation qui attribuent des fréquences différentes aux uns et aux autres - ceci pour éviter le brouillage. C'est l'utilisation de la porteuse qui permet de respecter ces attributions. Une autre façon de partager cette ressource rare est de la découper dans le temps: c'est le découpage temporel, improprement appelé «onde pulsée».



# «ALLO, T'ES OÙ?» la TÉLÉPHONIE MOBILE

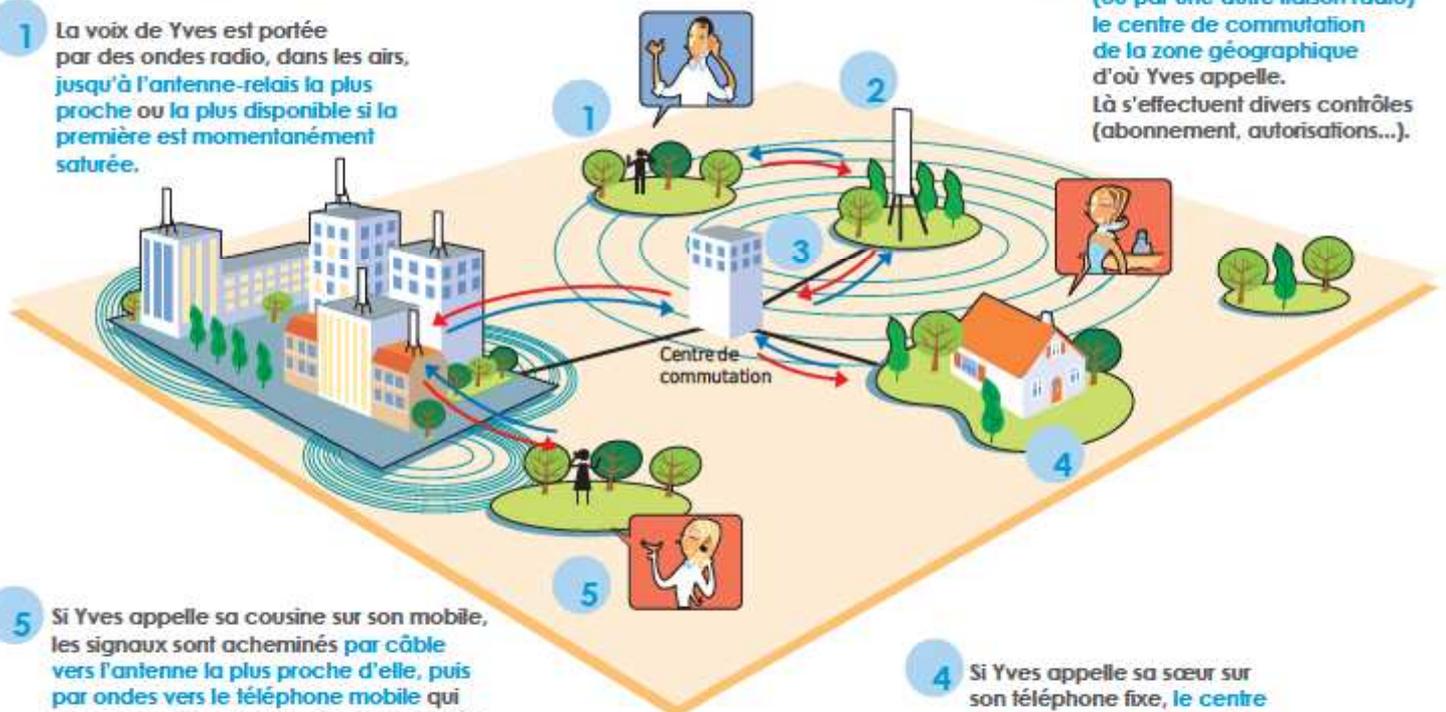
Si Yves, tout en se promenant, peut appeler presque n'importe qui et n'importe où, c'est grâce à la technologie de la téléphonie mobile.

## Oui, mais encore ?

1 La voix de Yves est portée par des ondes radio, dans les airs, jusqu'à l'antenne-relais la plus proche ou la plus disponible si la première est momentanément saturée.

2 L'antenne-relais convertit les signaux captés en signaux électriques.

3 Les signaux rejoignent par câble (ou par une autre liaison radio) le centre de commutation de la zone géographique d'où Yves appelle. Là s'effectuent divers contrôles (abonnement, autorisations...).



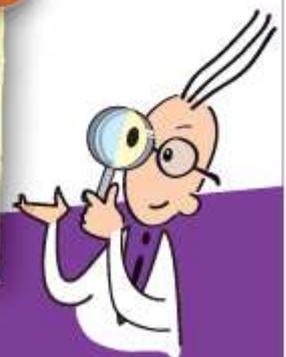
5 Si Yves appelle sa cousine sur son mobile, les signaux sont acheminés par câble vers l'antenne la plus proche d'elle, puis par ondes vers le téléphone mobile qui décode les signaux à l'arrivée : la cousine d'Yves entend sa voix.

4 Si Yves appelle sa sœur sur son téléphone fixe, le centre de commutation des mobiles oriente - commute - les signaux sur le réseau de téléphonie classique : la sœur d'Yves entend sa voix.

Les régions que l'on veut «couvrir» sont dotées d'**antennes relais** et découpées en cellules.

Géographie, configuration des bâtiments, nombre d'abonnés et trafic de communications dictent la forme et l'étendue des cellules.

En Europe, deux groupes de fréquences ont été attribués pour le GSM («2G»), partagés entre opérateurs : autour de 900 MHz (GSM 900) et autour de 1800 MHz (GSM 1800). Les nouvelles technologies (UMTS «3G», WIMAX...), apportent une réponse aux problèmes de saturation des réseaux actuels, dans la gamme de fréquence 900-3500 MHz. Elles permettent aussi d'accéder aux nouveaux services multimédia (vidéo, visio-conférence, accès à Internet...).



# EXPOSITION VARIABLE

Nombreux sont aujourd'hui les systèmes électroniques et de communication sans fil... mais notre niveau d'exposition à ces sources d'ondes électromagnétiques est très variable !



Antennes-relais de télévision, de téléphonie mobile, de radio....; ordinateur, téléphone sans fil, «box» Wi-Fi..., nous sommes plongés dans un

**champ électromagnétique ambiant** qui résulte de ces différentes sources. Elles sont plus ou moins distantes de nous et n'ont pas toutes la même puissance d'émission.

Notre exposition aux champs électromagnétiques dépend de la puissance des émetteurs, de leur distance et de tous les obstacles intermédiaires à la propagation des ondes.

**La puissance reçue diminue fortement avec la distance.**

Quand nous appelons un ami avec notre portable, celui-ci émet aussi des ondes radio.

Mais sa puissance d'émission est **bien plus faible** que celle des antennes-relais de téléphonie mobile. Et pourtant,

**la puissance absorbée localement** par notre organisme est bien plus grande que celle due à une telle antenne : c'est que nos petits téléphones de poches sont très près de nous, **collés à l'oreille !**



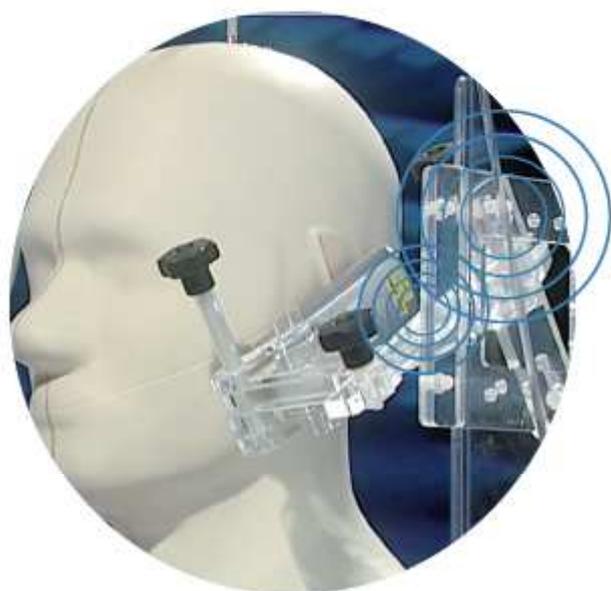
La puissance d'émission de chaque équipement est adaptée au «rayon» à couvrir selon l'usage fait de cet équipement. Ainsi, celle d'une «box» Wi-Fi à la maison n'a pas besoin d'être très grande car une portée à faible distance suffit. Celle de nos téléphones mobiles est en permanence et automatiquement adaptée au niveau minimum compatible avec une bonne qualité de communication avec l'antenne-relais.



# MESURER L'EXPOSITION

Invisibles, inodores les ondes radio échappent à nos cinq sens. Mais on peut les détecter et évaluer notre exposition avec des appareils de mesure.

**À domaines différents, mesures différentes!**



Pour quantifier notre niveau d'exposition, on utilise le «**DAS**», **débit d'absorption spécifique**.

C'est la puissance absorbée par le corps par unité de masse de tissu. Il s'exprime en **Watts**, unité de puissance, **par kilogramme** (W/kg).

Pour les **sources très proches de nous**, comme le téléphone portable ou les antennes Wi-Fi de nos ordinateurs, le **DAS est mesuré en laboratoire** sur des mannequins dont les propriétés d'absorption des ondes sont les mêmes que celle de notre corps.

La mesure de DAS est très complexe à mettre en oeuvre. Aussi pour les **sources** de champ électromagnétique **éloignées de nous**, par exemple, les émetteurs de radio et télévision ou les antennes-relais de téléphonie mobile, on mesure une autre quantité : la valeur du **champ électrique** sur le site, exprimé en **Volts par mètre** (V/m).

Une simple équation mathématique permet d'en déduire la puissance du champ électromagnétique. On peut ainsi évaluer le **niveau d'exposition maximum**.



Comment mesurer, en un lieu donné, un champ électromagnétique dû à tout un ensemble de sources? Comment connaître la contribution de chaque source? Comment s'affranchir de la variabilité du «trafic» (nombre d'appels) influençant les émissions des antennes-relais de téléphonie mobile? La tâche n'est pas aisée! Elle est confiée à des laboratoires spécialisés, indépendants et officiellement reconnus, qui sont tenus de respecter un protocole de mesure correspondant à des normes nationales et internationales.



Un

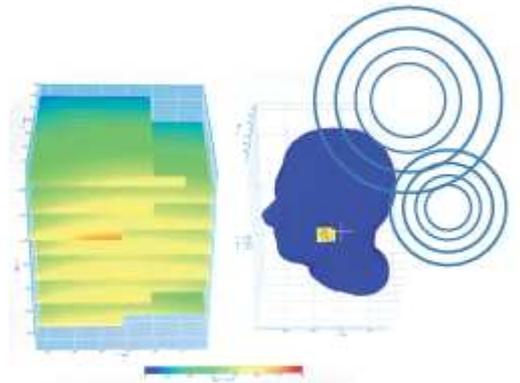
# EFFET BIEN CONNU... ...D'AUTRES MOINS

Les rayonnements électromagnétiques interagissent avec la matière, celle du vivant (végétaux, animaux...) comme du non-vivant (bâtiments...): ils y perdent une partie de leur énergie.

## Que devient celle-ci?

Cette fraction d'énergie est absorbée par la matière sous forme **d'énergie thermique**. Elle contribue ainsi à l'augmentation de la température de cette matière.

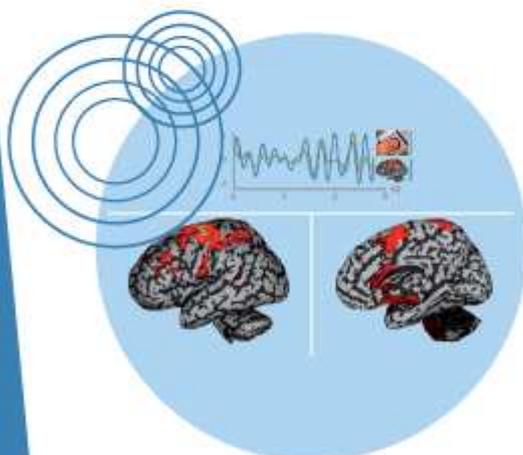
C'est **l'effet thermique**, le mieux connu des **effets biologiques des ondes radio**.



Au delà d'une certaine quantité d'énergie absorbée par seconde, l'élévation de température peut entraîner des perturbations de l'organisme.

**C'est pourquoi des limites d'exposition ont été fixées.**

De même qu'il réagit à toutes sortes de stimuli (lumière, chaleur, frottements...), **notre corps réagit à la présence d'ondes radio** : par exemple, l'activité cérébrale est légèrement modifiée par celles-ci.



Ces réactions font partie des **mécanismes naturels** de réponse à notre environnement.

Mais peuvent-elles avoir des **incidences sur notre santé** quand elle se répètent sur le **long terme**?

L'effet thermique des ondes radio est utilisé dans de nombreuses applications en milieu clos ou contrôlé : fours micro-ondes, traitement contre la douleur, installations de séchage industriel... les puissances utilisées sont alors très importantes.



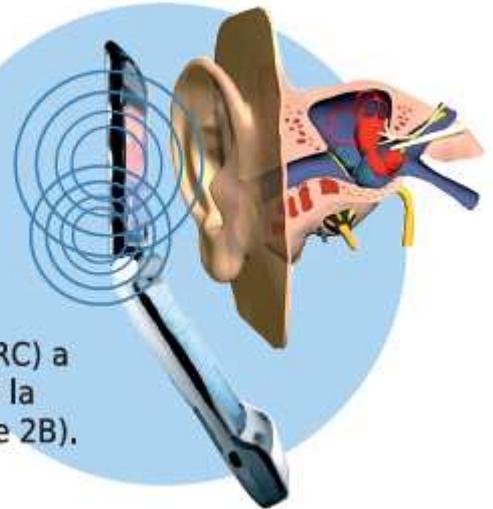
# Les ONDES RADIO et la SANTÉ: le TÉLÉPHONE MOBILE

Collé à l'oreille, le téléphone mobile, qui émet des ondes radio, représente-t-il un risque pour la tête ?  
**Que sait-on aujourd'hui ?**

En 2009, l'AFFSET a publié un rapport. Il conclut : «*Les données issues de la recherche expérimentale disponible n'indiquent pas d'effets sanitaires à court terme, ni à long terme de l'exposition aux radiofréquences. Les données épidémiologiques n'indiquent pas non plus d'effets à court terme de l'exposition aux radiofréquences. Des interrogations demeurent pour les effets à long terme, même si aucun mécanisme biologique analysé ne plaide actuellement en faveur de cette hypothèse*».

**Et à long terme, un risque de cancer ?**

En 2011, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé les champs électromagnétiques de radiofréquences dans la catégorie des **cancérogènes possibles pour l'homme** (Groupe 2B).



Cette classification ne modifie pas l'état des connaissances sur le sujet. Fondée sur l'étude internationale Interphone, elle signifie qu'il pourrait y avoir **un risque**, et qu'il faut donc surveiller de près le lien possible entre les téléphones portables et le risque de cancer, en poursuivant l'effort de recherche dans ce domaine.



Notre cerveau est bien protégé : une **barrière « sang-cerveau »** filtre le sang, ne laissant le chemin libre qu'aux substances utiles. Les ondes radio modifient-elles la perméabilité de cette barrière ? L'analyse de toutes les études publiées actuellement sur le sujet indique que non.



Les ondes radio sont des rayonnements non ionisants, tout comme les infrarouges et la lumière visible. Leur interaction avec la matière n'a rien de comparable avec celle des rayonnements ionisants, comme les rayons X qui peuvent briser la structure des molécules.



# Les ONDES RADIO et la SANTÉ : les ANTENNES-RELAIS

Les antennes-relais, piliers des réseaux de téléphonie mobile, suscitent parfois la crainte quant à notre santé.

## Qu'en est-il réellement ?



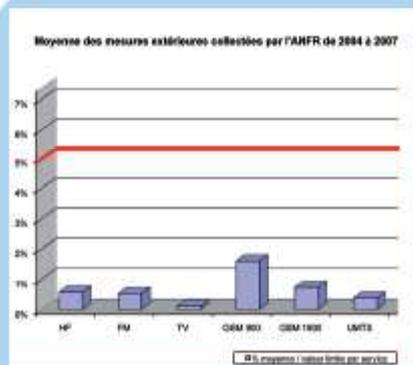
Qu'elles appartiennent au réseau de radio, de télévision ou de téléphonie mobile, les antennes émettent leurs ondes **de manière contrôlée** :

la population ne doit pas être exposée à des champs électromagnétiques qui dépassent certaines valeurs limites, fixées par les autorités, en référence aux effets thermiques.

Mais les antennes des réseaux de téléphonie mobile sont très présentes dans notre environnement.

Alors ?

Le champ électromagnétique décroissant fortement avec la distance, **notre exposition est très faible**, bien en dessous des valeurs limites réglementaires.



Pourtant, des personnes vivant près de telles antennes **se plaignent** : maux de tête, nausées, troubles du sommeil, picotements...

Elles mettent en cause ces émetteurs. Sont-elles **hypersensibles** aux champs électromagnétiques ? S'agit-il **d'effets psychosomatiques** ?

A ce jour, **aucune preuve** scientifique d'une relation de causalité entre l'exposition aux ondes radiofréquences et l'hypersensibilité électromagnétique n'a été apportée.

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a recensé tous les travaux faits sur l'électrohypersensibilité. Ses conclusions sont qu'il s'agit de symptômes non spécifiques, que l'on retrouve dans de nombreuses autres situations environnementales.



# Les ONDES RADIO et la SANTÉ: le Wi-Fi, le WiMAX

Les technologies WiFi et WiMAX sont des technologies permettant d'accéder à Internet par des ondes radio de fréquences élevées. Le développement de ces réseaux sans fils, nous expose t-il à des risques pour la santé ?

## Quelle exposition induit le Wi-Fi ?

La puissance maximale d'émission autorisée d'un émetteur Wi-Fi est faible (100 mW). Les mesures faites auprès des équipements Wi-Fi montrent que ceux-ci :



- respectent les **valeurs de DAS** définies par la loi pour les équipements situés très près des utilisateurs. Ils induisent un DAS des dizaines de milliers de fois inférieurs à celui induit par un téléphone mobile.
- respectent les **niveaux de référence** (61 V/m) pour les équipements qui sont utilisés à plus de 12 cm des utilisateurs comme les "box" ou points d'accès « hot spot ».

En conséquence, les systèmes Wi-Fi n'induisent a priori **pas de risques pour la santé**.

Pour limiter son exposition, il suffit de s'éloigner légèrement (quelques dizaines de cm) d'un émetteur Wi-Fi.

## Et le WiMAX ?

Les émetteurs WiMAX, qui fonctionnent à des fréquences autour de **3500 MHz**, permettent une connexion Internet à haut débit sur une zone de couverture de quelques kilomètres de rayon. Ils servent notamment à couvrir les zones non desservies par les technologies filaires classiques (de type ADSL ou par câble). La puissance d'un émetteur WiMAX est de l'ordre de **quelques watts**.



Les mesures effectuées à proximité d'émetteurs WiMAX, révèlent des niveaux d'exposition des populations **très inférieurs** aux valeurs limites en vigueur.



La fréquence d'émission d'un émetteur Wi-Fi est la même que celle d'un four à micro-ondes (2400 MHz). La puissance rayonnée maximum est de 0,1 watt pour le Wi-Fi et de 1000 watt pour le four, soit 10 000 fois moins. En conséquence, le Wi-Fi n'entraîne aucun effet d'échauffement.



# La RECHERCHE COMMENT EN SAVOIR PLUS ?

Aujourd'hui, sait-on tout de l'impact sur notre santé des technologies sans fil ? Non, même si on en sait déjà beaucoup, les efforts de recherche doivent se poursuivre car leur développement est encore récent.



Déjà, il y a plus d'un siècle, un médecin du nom d'Arsonval étudiait les effets des champs électromagnétiques sur le vivant. Depuis, de nombreuses études ont été menées : **expériences en laboratoire** sur des animaux ou des cellules, **analyses sur des échantillons de population...**



**Pas d'effet** nocif à **cours terme** concluent aujourd'hui les études. **Mais à long terme ?** Une tumeur n'est décelable que plusieurs années après la modification d'une première cellule... Les ondes radio ont-elles pu favoriser son développement ?

Yves n'a son téléphone mobile que depuis deux ans mais l'utilise énormément.

Quand Claudine appelle... que c'est long !

Farid l'a depuis dix ans mais s'en sert peu.



Courent-ils un risque plus important ?

Plusieurs **études internationales** sont en cours. Par exemple **MOBIKIDS**, débutée en 2009 dans 13 pays européens, dont la France. Elle vise à étudier la relation entre le téléphone mobile et le cancer du cerveau chez des jeunes sujets de 10 à 24 ans.

**COSMOS**, qui regroupe les pays scandinaves et le Royaume Uni, étudiera sur une longue période (20 à 30 ans) d'éventuels effets sur la santé des téléphones mobiles.

Pour affirmer l'existence de tel ou tel effet, il faut que plusieurs études aient la même conclusion. Il faut aussi pouvoir reproduire les résultats d'une étude donnée. La base de données de l'OMS rassemble des milliers de références de travaux de recherche, ouvertes à tous.





# BONNES PRATIQUES au QUOTIDIEN

Les autorités sanitaires recommandent, par précaution, de limiter son exposition aux champs électromagnétiques émis par les téléphones mobiles.

## Que faire à l'échelle individuelle ?

Les effets nuisibles du rayonnement ultraviolet du soleil « pris à haute dose » sont aujourd'hui prouvés et nous y sommes attentifs : crème solaire, vêtements de protection...

C'est de la **prévention**

La possibilité d'un risque faible d'effet sur notre santé, lié à une utilisation intense et de longue durée (plus de 10 ans) des téléphones mobiles a été suggérée. Mais aujourd'hui, la preuve de l'existence d'un effet néfaste pour la santé n'a pas été apportée. Nous sommes incités à maîtriser notre exposition.

C'est de la **précaution**

En ce qui concerne le téléphone mobile, le **Ministère de la santé** invite à une approche de précaution.



**Zones de mauvaise réception ?**  
Limiter l'utilisation ! Car le téléphone mobile y fonctionne à puissance maximale pour maintenir la qualité de transmission.



**Utiliser son portable avec modération :**  
éviter les longues conversations.



**Utiliser un kit mains libres,**  
ce qui éloigne le téléphone des zones sensibles du corps.



**Les enfants : veiller à une utilisation modérée.**  
Ils pourraient être plus sensibles que les adultes.

D'une manière générale, s'éloigner de **quelques dizaines de centimètres** d'une source émettrice (base de téléphone DECT, émetteur Wi-Fi, babyphone...) permet de **diminuer très fortement son exposition.**

Les approches de précaution émises par le Ministère de la santé et l'OMS sont décrits sur leurs sites Internet. L'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) est mandatée pour les questions d'évaluation du risque. Ses avis et recommandations sont consultables sur son site.

