

# **Effets biologiques des ondes électromagnétiques**

## 1. Onde électromagnétique

Le but principal est la transmission de l'information (parole, image, ...) d'un point à un autre dans l'espace libre. Cette transmission s'effectue sous un aspect électromagnétique.

La transmission d'information en espace libre nécessite des antennes, l'un à l'émission et l'autre à la réception.

- L'antenne émettrice, qui est parcourue par un courant électrique, engendre dans l'espace une onde électromagnétique composée d'un champ électrique  $\vec{E}$  et d'un champ magnétique  $\vec{H}$ . Cette onde gagne de proche en proche tout le milieu ; c'est ce qu'on appelle la propagation des ondes électromagnétiques.
- Le récepteur reçoit l'onde électromagnétique et la transforme en un courant électrique.
- Le milieu de propagation est caractérisé par des paramètres qui influent sur la propagation des ondes électromagnétiques tels que :
  - La perméabilité magnétique  $\mu$  (H/m).
  - La permittivité du milieu  $\varepsilon$  (F/m).
  - La conductivité électrique  $\sigma$  ( $\Omega^{-1}/m$ ).

L'onde se propage avec une vitesse :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$$

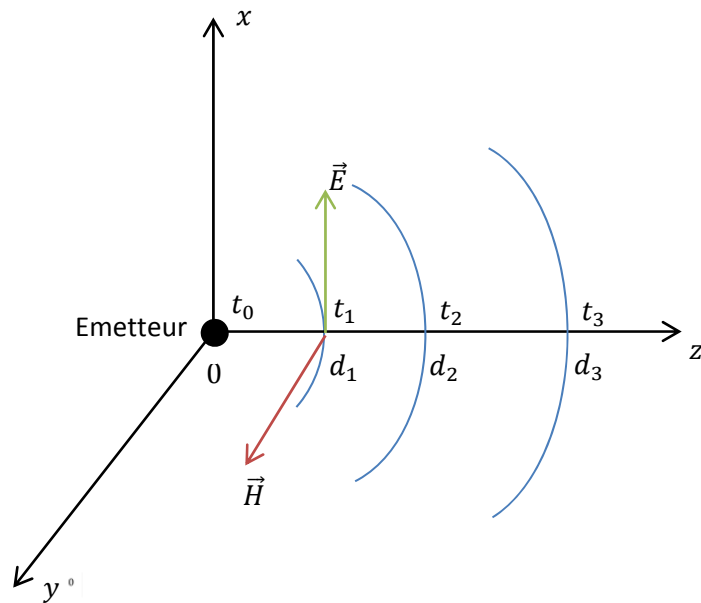
Dans le cas du vide  $\varepsilon = \varepsilon_0$  et  $\mu = \mu_0$ , donc :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = c \text{ (vitesse de la lumière).}$$

Le phénomène de propagation des ondes électromagnétiques est découvert en 1887 par le savant allemand Heinrich Rodolf Hertz. Grâce à un oscillateur de sa conception, il produit des ondes électromagnétiques et montre qu'elles possèdent toutes les propriétés de la lumière (réflexion, réfraction et polarisation) ; il mesure la vitesse de ces ondes et trouve  $300000Km/s$ , confirmant la théorie énoncée en 1864 par le mathématicien et physicien écossais James Clerk Maxwell.

### *Principe*

Si on considère un repère cartésien  $(o, x, y, z)$ , au niveau duquel on placera un émetteur.



L'onde, qui est composée d'un champ électrique  $\vec{E}$  et d'un champ magnétique  $\vec{H}$ , est émise à  $t_0$ . A l'instant  $t_1$  elle sera à la distance  $d_1$ , à l'instant  $t_2$  elle sera à la distance  $d_2$  ...

Donc il y a une distance parcourue pendant un temps et par conséquent une vitesse appelée vitesse de propagation.

## 2. Equations de Maxwell

Les équations de Maxwell contiennent pratiquement toutes les informations concernant les caractéristiques du champ électromagnétique. L'association du champ électrique  $\vec{E}(\vec{r}, t)$  et du champ magnétique  $\vec{H}(\vec{r}, t)$ , tous deux variant dans l'espace et dans le temps, définit le champ électromagnétique.

C'est en 1873 que Maxwell publia les quatre équations couplées qui permettent d'interpréter pratiquement tous les phénomènes rencontrés en électromagnétisme.

Les charges, variables dans le temps et dans l'espace, qui ont donné naissance au champ électromagnétique sont appelées des sources. Elles peuvent apparaître sous la forme d'une densité volumique de charges notée  $\rho(\vec{r}, t)$  ou d'une densité de courant notée  $\vec{J}(\vec{r}, t)$ .

Les quatre équations de Maxwell sont :

✓  $\text{rot } \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \dots (1)$  : Equation de Maxwell-Faraday.

Cette équation décrit le phénomène d'induction : Un champ magnétique variable est à l'origine d'un champ électrique.

$$\checkmark \operatorname{div} \vec{D} = \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \dots (2) : \text{Equation de Maxwell Gauss.}$$

Cette équation exprime la manière dont les charges électriques sont à l'origine du champ électrique.

$$\checkmark \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \dots (3) : \text{Equation de Maxwell-Ampère.}$$

Cette équation exprime la manière dont un courant électrique est à l'origine d'un champ magnétique. On remarque qu'un champ électrique dépendant du temps crée lui aussi un champ magnétique.

Dans l'équation (3)  $\vec{J} = \sigma \vec{E}$  est le courant de conduction et  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$  est le courant de déplacement.

$$\checkmark \operatorname{div} \vec{B} = \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \dots (4) : \text{Equation de conservation de flux.}$$

Par analogie avec l'équation (2) on déduit que cette équation exprime qu'il n'existe pas de charges magnétiques.

Les grandeurs apparaissant dans les équations (1)- (4) sont :

$\vec{E}$  : Champ électrique (V/m)

$\vec{H}$  : Champ magnétique (A/m)

$\vec{D}$  : Induction électrique (Coulomb/m<sup>2</sup>)

$\vec{B}$  : Induction magnétique (Tesla)

$\vec{J}$  : Courant de conduction ;  $\vec{J} = \sigma \vec{E}$  ( $\sigma$  est la conductivité ( $\Omega^{-1}/m$ ))

$\rho$  : Densité de charges électriques (Coulomb/m<sup>3</sup>)

Le champ électrique  $\vec{E}$  est lié à l'induction électrique par la relation suivante :

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} : \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \text{ est la permittivité électrique (F/m)}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi 10^9} \text{ (F/m) est la permittivité du vide.}$$

$\epsilon_r$  est la permittivité relative.

Le champ magnétique  $\vec{H}$  est lié à l'induction magnétique par la relation suivante :

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \mu = \mu_0 \mu_r \text{ est la perméabilité magnétique (H/m)}$$

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ (H/m) est la perméabilité du vide.}$$

$\mu_r$  est la perméabilité relative.

Les constantes  $\epsilon_0$  et  $\mu_0$  sont liées à la vitesse de la lumière  $c = 3 \cdot 10^8$  (m/s) par :

$$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$$

$\varepsilon$ ,  $\mu$  et  $\sigma$  sont des paramètres intrinsèques du milieu diélectrique. Dans le cas où ce milieu est le vide nous avons :

$$\varepsilon = \varepsilon_0$$

$$\mu = \mu_0$$

$$\sigma = 0.$$

### 3. Comportement d'une onde dans un milieu

#### 3.1. Cas d'un milieu avec pertes

On considère un milieu avec pertes (un milieu conducteur avec une conductivité  $\sigma$ ). Les équations de Maxwell dans la notation complexe s'écrivent :

$$\overrightarrow{rot} \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{E} = -j\mu\omega\vec{H}$$

$$\overrightarrow{rot} \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \sigma\vec{E} + j\omega\varepsilon\vec{E}$$

$$div \vec{E} = \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$div \vec{B} = \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

L'équation d'onde pour le cas d'un milieu conducteur s'obtient de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) &= \vec{\nabla} \times (-j\mu\omega\vec{H}) = -j\mu\omega (\vec{\nabla} \times \vec{H}) = -j\mu\omega (\sigma\vec{E} + j\omega\varepsilon\vec{E}) \\ &= \omega^2\varepsilon\mu \left( \frac{\sigma}{j\omega\varepsilon} + 1 \right) \vec{E} = \omega^2\varepsilon\mu \left( 1 - j \frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right) \vec{E} \end{aligned}$$

D'autre part nous avons :

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - \Delta \vec{E}$$

Donc on obtient :

$$\Delta \vec{E} + \omega^2\varepsilon\mu \left( 1 - j \frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right) \vec{E} = \vec{0} \dots\dots\dots(1)$$

L'équation d'onde (1) pour le cas d'un milieu conducteur est similaire à celle d'un milieu sans pertes ( $\sigma = 0$ ), la différence est que  $\omega^2\varepsilon\mu \left( 1 - j \frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)$  dans le milieu avec pertes est remplacée par  $k^2 = \omega^2\varepsilon\mu$

$$\text{Si on pose } \gamma = j\omega\sqrt{\mu\varepsilon} \cdot \sqrt{1 - j \frac{\sigma}{\omega\varepsilon}} = \alpha + j\beta \Rightarrow \gamma^2 = -\omega^2\varepsilon\mu \left( 1 - j \frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)$$

Donc l'équation d'onde (1) devient :

$$\Delta \vec{E} - \gamma^2 \vec{E} = \vec{0} \dots\dots\dots(2)$$

Si on considère que le champ électrique a uniquement une composante selon l'axe x et que la propagation est selon l'axe z, dans ce cas l'équation (2) se réduit à :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_x}{\partial z^2} - \gamma^2 \vec{E}_x = 0 \dots\dots\dots(3)$$

Avec  $\gamma$  est la constante de propagation complexe. La solution de l'équation (3) est :

$$\vec{E}_x(z) = Ae^{-\gamma z} + Be^{+\gamma z} \dots\dots\dots(4)$$

L'onde qui se propage dans la direction +z est :

$$Ae^{-\gamma z} = Ae^{-\alpha z} e^{-j\beta z}$$

Cette dernière équation s'écrit dans le domaine temporel comme suit :

$$\mathcal{Re}\{Ae^{-\alpha z} e^{-j\beta z} e^{+j\omega t}\} = Ae^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) \dots\dots\dots(5)$$

Dans l'équation (5) la constante A est supposée réelle.

L'équation (5) représente une onde se propageant dans la direction +z avec une vitesse de phase

$$v = \frac{\omega}{\beta}$$

et une longueur d'onde

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

et un facteur exponentiel d'atténuation.

**Remarque**

Dans le cas d'un milieu sans pertes ( $\sigma = 0$ ), nous avons

$$\gamma = j\omega\sqrt{\epsilon\mu} = jk = \alpha + j\beta$$

Ce qui implique que  $\alpha = 0$  et  $\beta = k$ .

Une détermination complète de l'onde électromagnétique nécessite la détermination du champ magnétique  $\vec{H}$ .

A partir des équations de Maxwell, nous avons :

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H} \Rightarrow \vec{H} &= \frac{j}{\omega\mu} (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \frac{j}{\omega\mu} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \tilde{E}_x & 0 & 0 \end{vmatrix} = \left( \frac{j}{\omega\mu} \cdot \frac{\partial \tilde{E}_x}{\partial z} \right) \vec{j} \\ &= -\frac{j\gamma}{\omega\mu} (Ae^{-\gamma z} - Be^{+\gamma z}) \vec{j} = \frac{1}{Z} (Ae^{-\gamma z} - Be^{+\gamma z}) \vec{j} \end{aligned}$$

avec  $Z = \frac{j\omega\mu}{\gamma} \dots\dots\dots(6)$

Si on considère uniquement une propagation selon +z alors :

$$\frac{\tilde{E}_x}{\tilde{H}_y} = \frac{Ae^{-\gamma z}}{\frac{1}{Z}Ae^{-\gamma z}} = Z$$

où  $Z$  est l'impédance d'onde pour un milieu avec pertes. Elle est complexe. Pour un milieu sans pertes :

$$Z = \frac{j\omega\mu}{\gamma} = \frac{j\omega\mu}{j\beta} = \frac{j\omega\mu}{jk} = \frac{j\omega\mu}{j\omega\sqrt{\mu\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

qui est l'impédance d'onde pour un milieu diélectrique ayant  $\sigma = 0$ .

### 3.2. Cas d'un bon conducteur

Dans le cas particulier d'un bon conducteur, le courant de conduction est beaucoup plus grand que le courant de déplacement, ce qui signifie que

$$\sigma \gg \omega\varepsilon$$

Notons que la majorité des métaux peuvent être classifiés comme de bon conducteur (voir le tableau ci-dessous)

Matériaux	Conductivité $\sigma$ (S/m)
Aluminium	$3.816 \cdot 10^7$
Cuivre	$5.813 \cdot 10^7$
Eau distillée	$2 \cdot 10^{-4}$
Eau de mer	3 – 5
Or	$4.098 \cdot 10^7$
Argent	$6.173 \cdot 10^7$

Puisque  $\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \gg 1$ , on peut négliger 1 devant  $\frac{\sigma}{j\omega\varepsilon}$  dans l'équation  $\gamma = j\omega\sqrt{\varepsilon\mu}\sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}}$  :

$$\gamma = \alpha + j\beta = j\omega\sqrt{\varepsilon\mu}\sqrt{\frac{\sigma}{j\omega\varepsilon}} = \sqrt{j}\sqrt{\omega\mu\sigma}$$

Tenant compte que

$$\sqrt{j} = \left(e^{j\frac{\pi}{2}}\right)^{\frac{1}{2}} = e^{j\frac{\pi}{4}} = \frac{1+j}{\sqrt{2}}$$

L'expression de  $\gamma$  devient

$$\gamma = \frac{1+j}{\sqrt{2}}\sqrt{\omega\mu\sigma} = (1+j)\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} \dots\dots\dots(7)$$

A partir de l'équation (7), on a

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}$$



Puisque le facteur d'atténuation est  $e^{-\alpha z}$ , l'amplitude de l'onde sera atténuer par un facteur  $e^{-1} = \frac{1}{e} = 0.368$  lorsque l'onde traverse une distance

$$z = \frac{1}{\alpha} = \delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \dots\dots\dots(8)$$

Comme exemple, le cuivre à  $f = 3$  MHz, cette distance est  $\delta = 0.038$  mm. A  $f = 10$  GHz, on trouve une distance très faible, elle est uniquement  $0.66 \mu\text{m}$ . Donc une onde électromagnétique haute fréquence est atténuer très rapidement lorsqu'elle se propage dans un bon conducteur.

La distance  $\delta$  à travers laquelle l'amplitude de l'onde décroît par un facteur  $e^{-1}$  ou  $0.368$  est connue sous le nom d'épaisseur de peau ou profondeur de pénétration.

Pour les fréquences microondes, l'épaisseur de peau pour un bon conducteur est tellement petite que les champs sont confinés dans une couche très mince d'où vient l'appellation peau.

**Exemple**

Calculer l'épaisseur de peau pour l'aluminium, le cuivre, l'or et l'argent pour une fréquence  $f = 10$  GHz.

**Solution**

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$$

Puisque  $\omega = 2\pi f$ , l'expression de l'épaisseur de peau devient

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_0 \sigma}} = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_0}} \sqrt{\frac{1}{\sigma}} = 5.03 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{1}{\sigma}}$$

- Pour l'aluminium,  $\delta = 8.14 \cdot 10^{-7}$  m
- Pour le cuivre,  $\delta = 6.60 \cdot 10^{-7}$  m
- Pour l'or,  $\delta = 7.86 \cdot 10^{-7}$  m
- Pour l'argent,  $\delta = 6.40 \cdot 10^{-7}$  m

Ce résultat montre que dans un bon conducteur, le courant circule dans une région extrêmement mince proche de la surface du conducteur.

L'impédance d'onde pour le cas d'un bon conducteur peut être obtenue à partir de l'équation (6) :

$$z = \frac{j\omega\mu}{\gamma} = \frac{j\omega\mu}{(1+j)\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}} = (1+j)\sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}}$$

Notons que l'argument de cette impédance est  $\frac{\pi}{4} = 45^\circ$ . C'est une caractéristique d'un bon conducteur. L'argument de l'impédance pour un milieu sans pertes est  $0^\circ$ . L'argument de l'impédance d'un conducteur arbitraire est entre  $0^\circ$  et  $45^\circ$ .

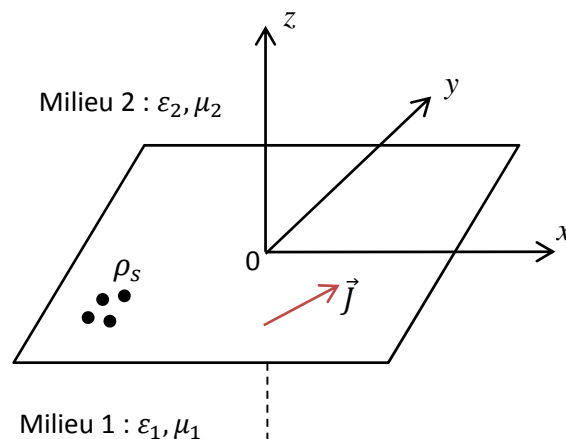
#### 4. Comportement du champ électromagnétique au passage d'un milieu à un autre

Les équations de Maxwell nécessitent des conditions aux limites pour une solution complète et unique. La méthode utilisée est la résolution des équations de Maxwell dans une certaine région pour obtenir des solutions avec des constantes inconnues, et puis l'application des conditions aux limites permet de déterminer ces constantes. Dans ce qui suit on va détailler ces conditions aux limites.

Dans la figure ci-dessous nous avons deux milieux. Le milieu 1 est situé dans le demi-espace  $z < 0$  alors que le milieu 2 occupe le demi-espace  $z > 0$

##### Remarque

L'axe  $z$  est dirigé du milieu 1 vers le milieu 2.



L'interface entre ces deux milieux diélectrique est situé dans le plan  $z = 0$  ( $xoy$ ).

Les composantes du champ électromagnétique dans le milieu 1 sont :

$$\begin{cases} E_{x1} & \text{composante tangentielle} \\ E_{y1} & \text{composante tangentielle} \\ E_{z1} & \text{composante normale} \end{cases}$$
$$\begin{cases} H_{x1} & \text{composante tangentielle} \\ H_{y1} & \text{composante tangentielle} \\ H_{z1} & \text{composante normale} \end{cases}$$

Les composantes du champ électromagnétique dans le milieu 2 sont :

$$\begin{cases} E_{x2} \\ E_{y2} \\ E_{z2} \end{cases} \text{ et } \begin{cases} H_{x1} \\ H_{y1} \\ H_{z1} \end{cases}$$

### Continuité du champ électrique tangentielle

Les composantes tangentielles du champ électrique sont continues :

$$\begin{cases} E_{x1}/z = 0^- = E_{x2}/z = 0^+ \\ E_{y1}/z = 0^- = E_{y2}/z = 0^+ \end{cases} \Rightarrow E_{t1}/z = 0^- = E_{t2}/z = 0^+$$

### Discontinuité de l'induction électrique normale

Dans le cas où l'interface de séparation entre les deux milieux contient des charges, l'induction électrique normale est discontinue :

$$D_{z2}/z = 0^+ - D_{z1}/z = 0^- = \rho_s \Rightarrow D_{n2}/z = 0^+ - D_{n1}/z = 0^- = \rho_s$$

avec  $\rho_s$  est la densité de charges surfaciques (Coulomb/m<sup>3</sup>).

### Discontinuité du champ magnétique tangentielle

Dans le cas où il existe un courant qui circule sur l'interface de séparation entre les 2 milieux, le champ magnétique tangentiel est discontinu.

$$\begin{cases} H_{x2}/z = 0^+ - H_{x1}/z = 0^- = J_y \\ H_{y2}/z = 0^+ - H_{y1}/z = 0^- = -J_x \end{cases}$$

avec  $\vec{j} = J_x \vec{i} + J_y \vec{j}$  est la densité de courant surfacique (A/m<sup>2</sup>).

### Continuité de l'induction magnétique normale

La composante normale de l'induction magnétique est continue :

$$B_{z1}/z = 0^- = B_{z2}/z = 0^+ \Rightarrow B_{n1}/z = 0^- = B_{n2}/z = 0^+$$

Lorsqu'une onde incidente rencontre la surface de séparation de deux milieux elle donne naissance à une onde réfléchie et une onde transmise. Deux cas sont possibles pour l'incidence, à savoir, l'incidence oblique et l'incidence normale. Dans le cas de l'incidence normale, le vecteur d'onde est perpendiculaire au plan de séparation. Notons que le cas de l'incidence normale est un cas particulier de l'incidence oblique.

Lorsqu'un champ électromagnétique rencontre un tissu biologique, une partie de l'énergie est réfléchi, une partie est transmise et le reste est absorbé par le tissu biologique (voir figure ci-dessous).

La profondeur de pénétration d'un rayonnement électromagnétique dans un matériau conducteur dépend des caractéristiques de celui-ci et la fréquence de l'onde. Plus la fréquence est élevée, plus la profondeur de pénétration est faible.

Dans le cas du corps humain, les ondes ayant des fréquences élevées (de l'ordre de quelques GHz) ne pénètrent pas profondément dans les tissus. Les interactions se produisent ainsi uniquement en surface.

## **5. Rayonnement des ondes électromagnétiques et santé**

### **5.1. Introduction**

Les ondes qui nous intéressent ici sont celles qui sont utilisées au quotidien :

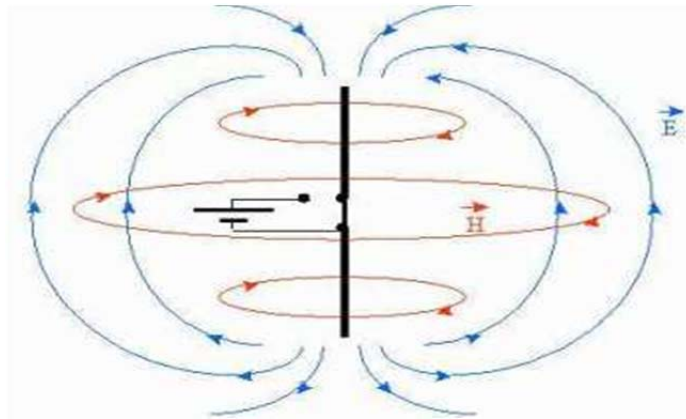
- à travers les lecteurs de puce RFID (les lecteurs de carte sans contact qui vous permettent de valider votre trajet dans les transports en communs par exemple), la télédiffusion analogique et numérique, la radiodiffusion (FM), les fréquences radio etc : toutes ces ondes ont une fréquence comprise entre quelques kHz et quelques centaines de Mhz. Ce sont des signaux basse fréquence.
- à travers la téléphonie, le Wi-fi, les fours micro-ondes, les radars et autres applications qui sont contenues dans la bande de fréquence s'étalant approximativement de 400MHz à quelques dizaines de GHz. Il s'agit ici d'applications considérées comme « hautes fréquences » ou hyperfréquences.
- Le but de tous ces signaux est de modifier le champ électromagnétique pour permettre la transmission d'information.

### **5.2. Rayonnement**

- Action d'un appareil émettant un champ électromagnétique. Un rayonnement se produit par effet d'antenne, capacitif ou d'induction.
- Perturbation électromagnétique : Signal, volontaire ou non, rayonné ou conduit, pouvant provoquer un dysfonctionnement d'un équipement.
- Pollution électromagnétique : Signal rayonné, volontairement ou non, pouvant provoquer une perturbation envers un équipement, ou susceptible de dégrader la santé des personnes ou la nature.

### **5.3. Champ électromagnétique et pollution électromagnétique**

- Champ produit par des objets chargés électriquement. Celui-ci est la résultante des composantes électriques et magnétiques dont les niveaux d'intensité sont exprimés en V/m, ou en A/m.
- Le champ est inversement proportionnel à la distance.



- Nous baignons dans un brouillard électromagnétique toujours plus dense: il serait plus puissant (plusieurs fois) que les champs électromagnétiques naturels (pollution électromagnétique).

#### 5.4. Les ondes sont-elles dangereuses ?

La plupart des ondes électromagnétiques sont très faibles et ne pénètrent pas l'organisme

- Cas des ondes à hyperfréquences (micro-ondes).

Lorsqu'elles traversent un organisme biologique, ces ondes interagissent avec ses molécules d'eau. Il se dégage un frottement des molécules entre elles qui produit de la chaleur. Dans le cas du four à micro-ondes, cela sert à cuire les aliments. Or le téléphone portable utilise le même mécanisme pour transporter des données, mais à des doses beaucoup plus faibles : seulement 2 watts contre 800 watts dans un four micro-ondes.

Mais les ondes électromagnétiques émises par la téléphonie mobile sont directement absorbées par le cerveau (selon certaines études).

- Cas des ondes RF: 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.

#### 5.5. Questions

- Quels sont les mécanismes d'action des champs électromagnétiques sur le corps humain ?

- Qu'en est-il des systèmes Bluetooth ou Wifi dont la fréquence est celle des fours à micro-ondes (2450 MHz) donc celle de l'agitation des molécules d'eau, même si la puissance est très faible ?
- Existe-t-il des interactions entre les différents champs électromagnétiques et d'autres systèmes et modes d'usage ?

### **5.6. Téléphonie mobile et Antennes-relais**

- Depuis quelques années persiste une méfiance vis-à-vis de la téléphonie mobile et des antennes-relais.
- L'exposition aux rayonnements électromagnétiques n'est pas la même pour les deux sources:

Les téléphones mobiles :

- utilisent des radiofréquences (RF)
- ont un temps d'exposition et une puissance faible
- mais une forte proximité du cerveau

Les antennes-relais :

- utilisent des radiofréquences(RF).
- ont un temps d'exposition permanent et une puissance forte en sortie,
- mais le champ perd rapidement de sa puissance au fur et à mesure de la distance et des murs d'habitation.

### **5.7. Wi-Fi : source de pollution électromagnétique**

- L'expérience a été menée à partir de la semence de 29 volontaires âgés entre 26 et 49 ans (Des chercheurs américains et argentins).
- Chaque échantillon de sperme a été divisé en deux groupes : durée de 4 Heures.
- G1 : groupe témoin loin d'un ordinateur portable connecté en Wifi.
- G2 : Groupe au contact prolongé d'un laptop connecté en Wifi.
- Les spermatozoïdes ayant cessé de se déplacer : 14 % (G1) et 25 % (G2).

En Conclusion

- Le rayonnement électromagnétique néfaste pour la fertilité masculine.
- Le portable dans la poche de pantalon est mauvais.
- Le Wifi mauvais pour le sperme.



## **5.8. Risques: deux dangers**

Danger 1: Les effets thermiques

- Une étude a révélé que l'utilisation continue d'un mobile pendant 20 minutes fait augmenter la température des tissus en contact de 1° Celsius. C'est alors le cortex, la partie la plus sensible du cerveau se trouvant à proximité de l'oreille, qui absorbe cette fluctuation thermique

Second danger : l'émission par l'antenne d'ondes ultracourtes VHF

- Elles sont absorbées pour moitié par la tête de l'utilisateur.

D'après de nombreux spécialistes, il est possible, à terme, que l'ADN cellulaire soit lésé. Radiations des téléphones portables : attention aux boucles d'oreilles et aux montures de lunettes !

## **5.9. Ondes des téléphones mobiles : Gare au risque d'électrosensibilité**

L'électrosensibilité est un trouble physiologique lié aux rayonnements électromagnétiques, qui prend la forme d'une hypersensibilité aux ondes. Notre système nerveux fonctionne sous impulsions électriques (ce sont ces impulsions que mesurent les encéphalogrammes). Or, certains appareils comme les téléphones mobiles provoquent des interférences à cause des ondes qu'ils émettent. C'est la raison pour laquelle il faut les mettre hors tension dans les hôpitaux ou en avion

## **5.10. Les symptômes**

- Vous avez mal à la tête.
- Vous ressentez des nausées.
- Votre cœur a des palpitations.
- Vous dormez mal, et restez fatigués après avoir dormi.
- Vos yeux sont irrités, votre vue se trouble.
- Vous avez des problèmes de peau : tâches, irritations, herpès, sécheresse de la peau et des muqueuses.
- Vous devenez irritable.
- Vous souffrez d'un dérèglement hormonal.
- Vous recevez des chocs électriques et sentez des picotements sur le visage ou le corps.
- Vous avez anormalement chaud.

- Vous avez des douleurs aux dents et aux mâchoires (impression d'un courant électrique et un goût métallique dans la bouche).
- Vous ressentez des douleurs musculaires et des articulations (souvent accompagnées de craquements très forts), ainsi que des douleurs à la poitrine avec sensation d'oppression.

#### **5.11. Mesures à prendre**

- Protégez les plus jeunes.
- Gardez vos distances.
- Mettez votre mobile hors ligne.
- Mettez face « clavier » vers votre corps.
- Evitez d'utiliser le portable lors de déplacements rapides.