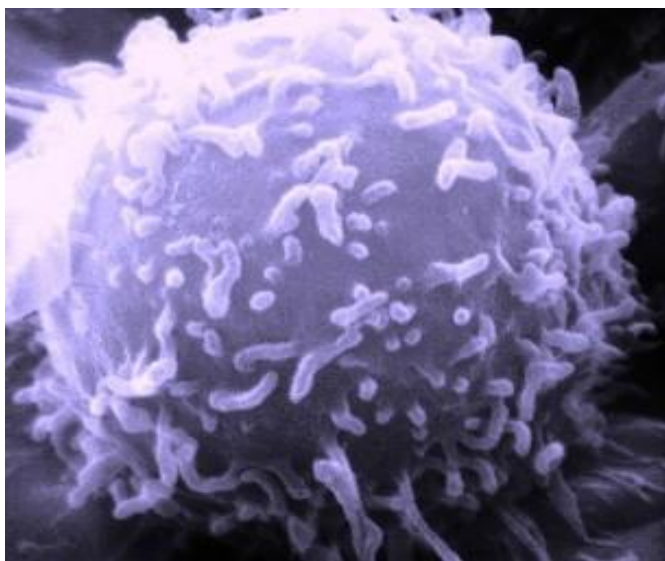
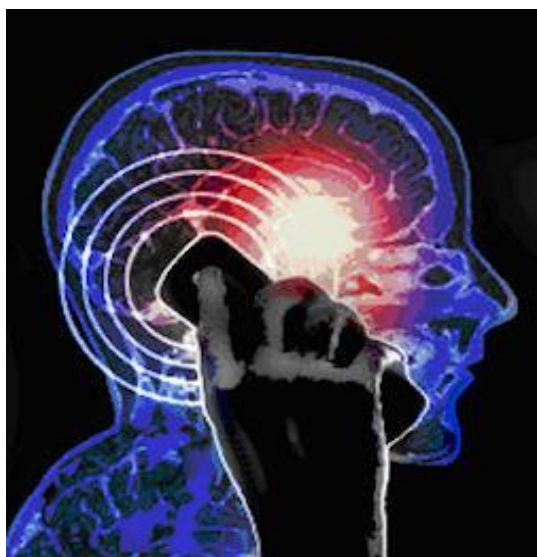


# TPE

## Les effets des ondes électromagnétiques sur les êtres vivants



**Mathis Legay**  
**Julien Marro**  
**Aymeric Rannou**

1ere S2 - Lycée Félix le Dantec - Lannion  
Septembre 2015 - Février 2016



# Remerciements

- **Mme Fuhrer**, notre professeur de SVT et **Mme Biannic**, notre professeur de Physique qui nous ont aidées et encadrées tout au long de ce travail.
- **Mr Moisan**, un des fondateurs de l'entreprise AMG Microwave à Lannion (expert dans la fabrication de matériel radio et micro-ondes) qui nous a prêté gratuitement un générateur et une antenne capables d'émettre un rayonnement continu de 1800 MHz.
- La **Maison du Gazon**, filiale de l'entreprise danoise DLF (leader mondiale des semences) qui nous a gracieusement offert des graines de ray-grass anglais, pour réaliser notre expérience.
- **Mr Pierre Le Ruz**, expert du CRIIREM (Centre de Recherche et d'Information Indépendantes sur les Rayonnements Electromagnétiques) qui nous a aidé à interpréter notre expérience.
- **Mr Raphaël Gillard**, enseignant-chercheur à l'INSA de Rennes (Département Antennes & Dispositifs Hyperfréquences, Équipe Systèmes Rayonnants Complexes) qui nous a aidé à interpréter notre expérience.
- **Mr Gérard Ledoigt**, professeur de Biologie à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand et directeur de recherche de l'ERTAC (Equipe de recherche sur les tumeurs et l'autosurveillance cellulaire) qui nous a aidé à interpréter notre expérience.
- **Mme Marie-Claire Tricot-Cammaerts**, Docteur du département de biologie des organismes à l'Université Libre de Bruxelles, qui nous a aidé à interpréter notre expérience.
- **Mme Alice Terrasse**, avocate au Barreau de Toulouse, qui a défendu la première personne en France qui a obtenu une allocation handicapée suite à une incapacité due aux ondes. Et qui a bien voulu faire un entretien téléphonique avec nous pour répondre à nos questions.
- **Mr Alain Vian**, professeur de biologie à l'université d'Angers et célèbre pour ses recherches concernant l'influence de rayonnements électromagnétiques sur des plants de tomates, qui nous a aidé concernant l'interprétation de notre expérience.
- **Mme Elodie Le Parquer** pour sa relecture.
- **Le club d'apiculture du lycée Le Dantec** qui nous a autorisé à réaliser notre expérience dans leur local.



# Sommaire

Problématique : Les ondes électromagnétiques émises par les téléphones mobiles sont-elles dangereuses ?

<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>1. Qu'est-ce qu'une onde ?</b>	<b>7</b>
1.1. Etymologie et signification	8
1.2. Le principe des ondes	8
1.3. Les caractéristiques fondamentales des ondes	11
1.4. Les différents types d'ondes	18
<b>2. Les ondes de communication</b>	<b>27</b>
2.1. La téléphonie mobile	29
2.2. Le Wi-Fi	35
<b>3. L'interaction entre micro-ondes et matière vivante</b>	<b>37</b>
3.1. Les interactions onde-matière	38
3.2. Des effets thermiques mis en évidence	42
3.3. La structure cellulaire et le fonctionnement atteint	44
<b>4. Notre expérience</b>	<b>57</b>
<b>Observation de l'effet d'ondes de 1800 MHz sur la croissance du ray-grass</b>	
4.1. Préparation de l'expérience	58
4.2. Mise en place	64
4.3. Observations	69
4.4. Interprétation	81
<b>5. Les effets des micro-ondes sur les êtres vivants</b>	<b>89</b>
5.1. Les micro-ondes et le cerveau	90
5.2. L'électrosensibilité : interview de Maître Alice Terrasse	101
5.3. Troubles hormonaux et atteinte à la fertilité	107
<b>6. Protection et principe de précaution</b>	<b>113</b>
6.1. Comment s'en protéger dans la maison ?	114
6.2. Les bons usages du téléphone mobile	115
6.3. Différents procédés pour nous protéger : cage de Faraday et peintures isolantes	116
<b>Conclusion.....</b>	<b>121</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>123</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>125</b>

# Introduction

Avec plus de 72 millions de téléphones portables activés en France pour 66 millions d'habitants en 2016, soit plus d'un mobile par personne, la technologie de la téléphonie mobile est victime d'un essor prépondérant. Ce véritable bijou de technologie prend une place de plus en plus importante dans notre société, si bien qu'il est impossible de ne pas trouver, dans quelconque lieu public, une personne penchée sur son téléphone. Le portable s'est imposé à tous, que l'on soit adolescent, ou bien plus âgé.

L'expansion considérable de cette technologie s'oppose à une connaissance scientifique réduite quant aux effets des rayonnements que le téléphone portatif émet : les ondes électromagnétiques. Elles sont invisibles pour la plupart, inodores mais elles sont pourtant bien là, partout dans notre environnement. Jamais une technologie ne s'était développée aussi rapidement, et ce sans que les scientifiques ne soient certains des effets non néfastes de ces ondes. C'est un des débats qui divise le plus la communauté scientifique de nos jours, où l'incertitude plane toujours autant. Alors que l'opinion publique attend des chercheurs une réponse définitive, ces derniers sont confrontés à un défi de taille.

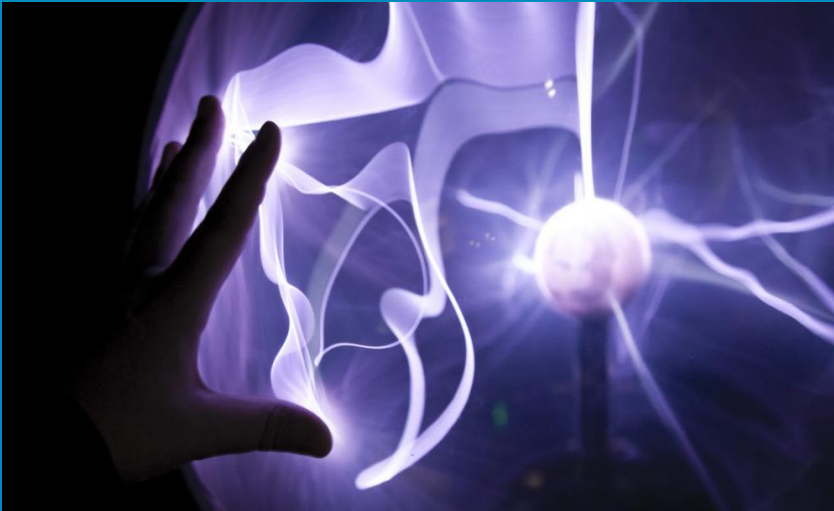
Ce sont des études qui se contredisent qui sont publiées, une véritable guerre des laboratoires qui est lancée, reflétant les enjeux considérables qui pèsent sur ces recherches. Les uns, financés par les opérateurs mobiles, sont accusés de complaisances tandis que les autres sont accusés de négligence dans leurs protocoles.

Comment donc s'y retrouver parmi les milliers d'articles scientifiques publiés, qui ne semblent pas présenter les mêmes résultats ? Nous avons essayé, en s'appuyant sur des études sérieuses et pour la plupart répliquées par d'autres laboratoires, et en mettant au point notre propre expérimentation, de regrouper les effets des ondes émises par notre téléphone, tant au niveau moléculaire, que macroscopique.

Les propos rassurants donnés par les opérateurs et le gouvernement ne semblent plus suffire pour rassurer la population face aux études, qui régulièrement annoncent de nouveaux risques dans notre environnement. Les ondes émises par le téléphone mobile sont-elles dangereuses ?

Nous définirons ainsi en premier lieu ce que sont les ondes électromagnétiques, et comment les téléphones portables fonctionnent, puis nous nous intéresserons aux interactions de ces rayonnements avec la matière et de leurs effets biologiques. Nous présenterons ensuite notre expérience, où nous avons exposé du ray-grass anglais. Par la suite, nous nous intéresserons aux effets des ondes électromagnétiques à l'échelle des organismes vivants, pour enfin s'attarder aux attitudes à adopter et aux possibilités qui se présentent pour se protéger de ces rayonnements.

# 1. Qu'est-ce qu'une onde ?



# 1.1. Étymologie et signification

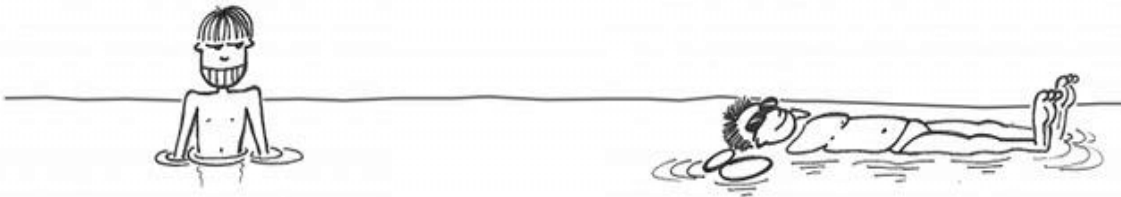
Le mot "**onde**" provient du latin "unda", car c'est en jetant des cailloux dans l'eau que l'on observa des cercles, des rides, se former à la surface du liquide, qui constituent donc les fameuses ondes.

En sciences physiques, le mot « onde » désigne le **phénomène par lequel de l'énergie est transportée sans déplacement de matière**. C'est une perturbation ou une agitation qui se déplace dans un environnement donné qui, en passant, le laisse dans son état initial.

Du point de vue du mathématicien, c'est une somme (finie ou non) de **fonctions sinusoïdales réelles ou complexes**, chacune caractérisée par une **fréquence** et une **amplitude**.

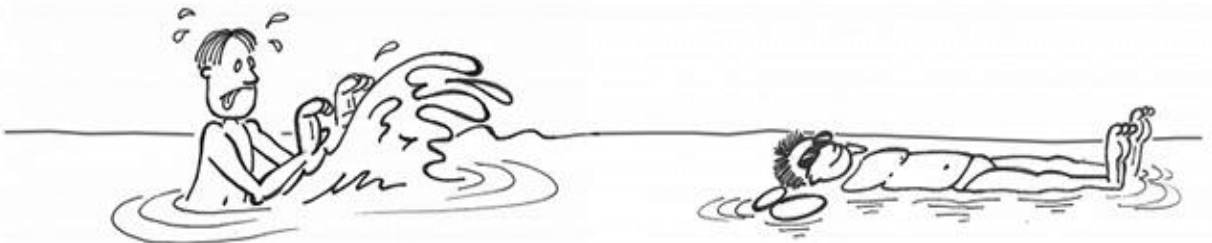
## 1.2. Le principe des ondes

Un jeune homme veut faire une farce à son copain, en l'éclaboussant sans se faire remarquer.



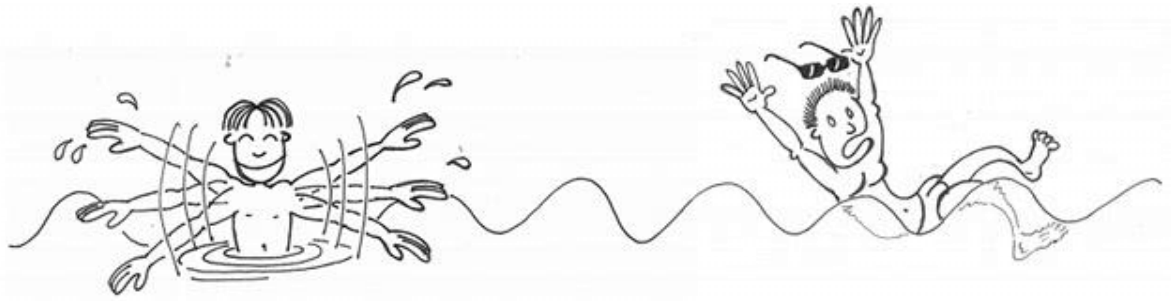
*(Les schémas suivants proviennent du site de l'Observatoire de Paris)*

Il va alors créer une poussée d'eau en espérant qu'elle atteigne sa cible. Quelques instants plus tard, il se rend compte que sa technique ne fonctionne pas. Son copain est toujours sec, car il est trop loin, et s'il se rapproche il va se faire remarquer.



Le jeune homme va donc changer de technique, et va se mettre à agiter régulièrement ses bras de haut en bas. Une vague va être créée, et la cible sera mouillée.





**Le train de vagues créé est une onde.** Le jeune homme a **communiqué de l'énergie à l'eau**, en la mettant en mouvement de haut en bas, et celle-ci s'est propagée et arrose son copain.

Une fois l'apport d'énergie du mouvement des bras du jeune homme dissipé de vague en vague, **la surface de l'eau revient à son état d'origine**. La hauteur, la distance et la durée des vagues dépendent de l'énergie initialement transmise, en d'autres termes, de la force avec laquelle le jeune homme a agité ses bras.

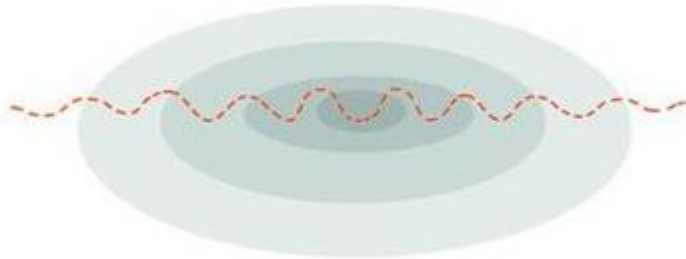
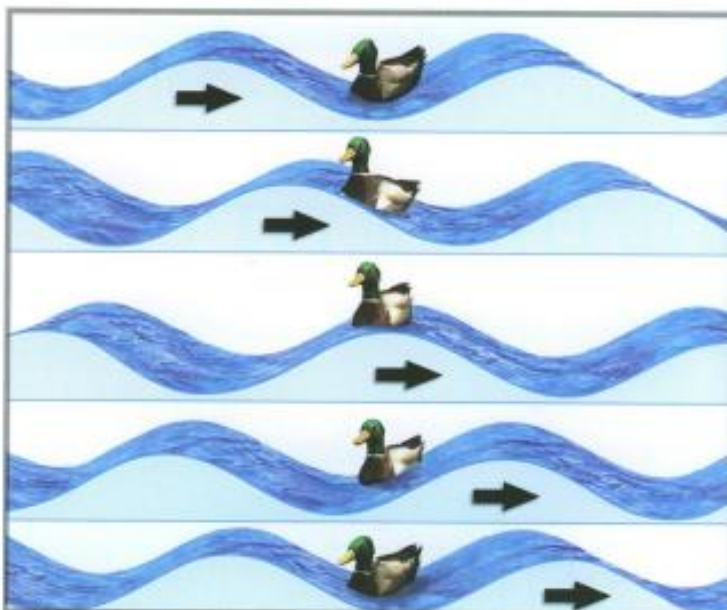


Schéma montrant la diffusion de l'onde à la surface de l'eau



Si un canard en plastique avait été positionné à côté de la victime lorsque le jeune homme a fait sa blague, la perturbation (l'ondulation de la vague) se serait **transmise de proche en proche avec un transfert d'énergie** (le canard aurait oscillé) mais **sans transport de matière** (le canard n'aurait pas bougé).

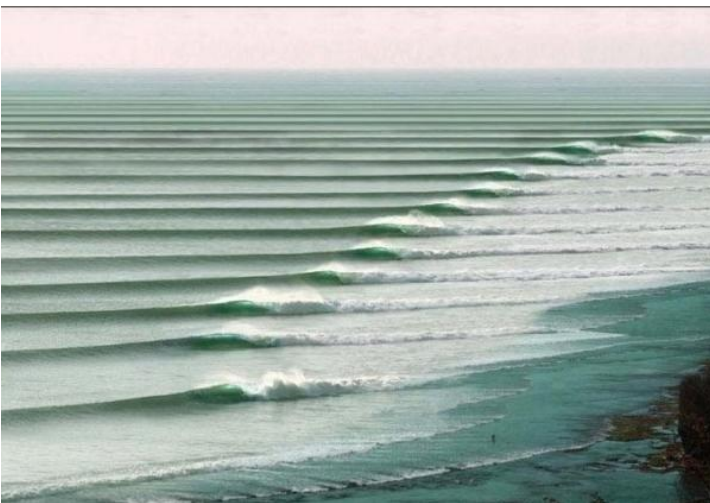
**4.2** Une vague fait monter, puis descendre le canard, mais celui-ci revient à sa position de départ après le passage de l'onde. (La flèche indique le déplacement de l'onde.)

**Transport d'énergie sans transport de matière**

**Une onde est une perturbation qui se propage, et transporte de l'énergie, sans transporter de matière.**

Les **oscillations** (ou « **ondulations** ») à la surface de l'eau constituent la façon la plus simple et directe de « **voir** » **les ondes**. Mais il existe bien d'autres représentations d'ondes, cela va des **vagues** à la surface de l'eau jusqu'à la **lumière** (qui est elle-même une forme d'onde), qui suivent le même principe tout en étant invisibles à l'œil nu.

Les ondes peuvent être **très différentes** les unes des autres, selon leurs **caractéristiques**, selon **le milieu** dans lequel elles se propagent, ainsi que selon **leur type**.



# 1.3. Les caractéristiques fondamentales des ondes

Les caractéristiques d'une onde nous permettent de la décrire et d'en expliquer la propagation. Les ondes possèdent toutes des caractéristiques communes : **leur façon de se propager, l'amplitude, la fréquence et la période, la longueur d'onde, la vitesse de propagation.**

## Leur façon de se propager

Les ondes se propagent de manière **transversale** ou **longitudinale**.

## Les ondes transversales

Sur le schéma ci-dessous, une corde est tendue à partir d'une porte. On observe **une déformation** de la corde provoquée par un mouvement qui se propage de proche en proche dans la **direction horizontale**. Le mouvement est **transversal** car la corde forme une vague qui **monte et descend, perpendiculairement** à la **trajectoire horizontale** de la vague, et qui se dirige vers la porte.

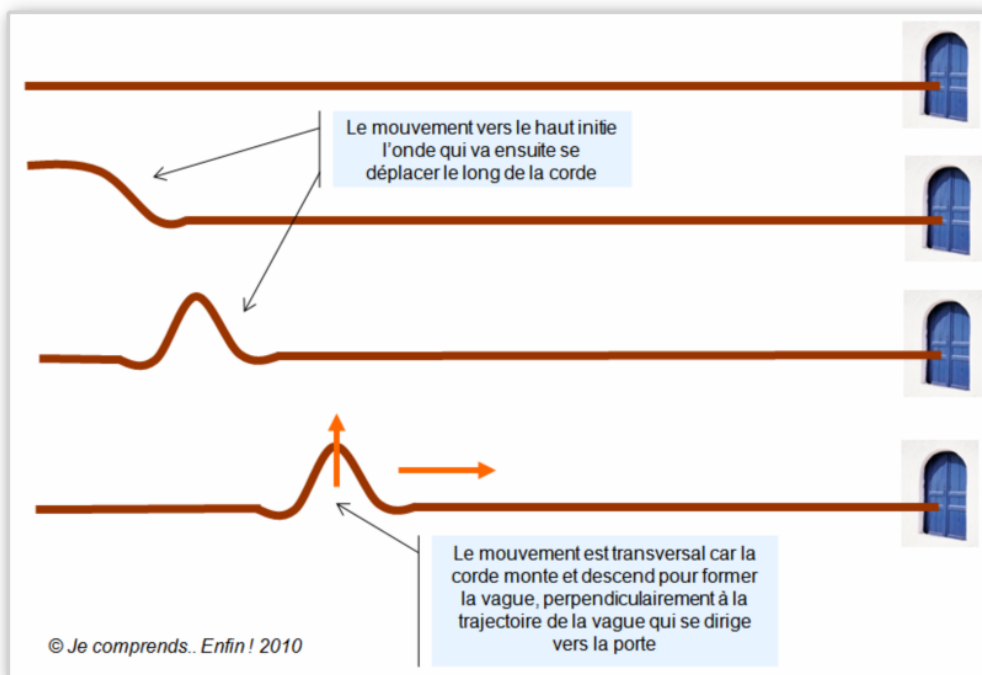
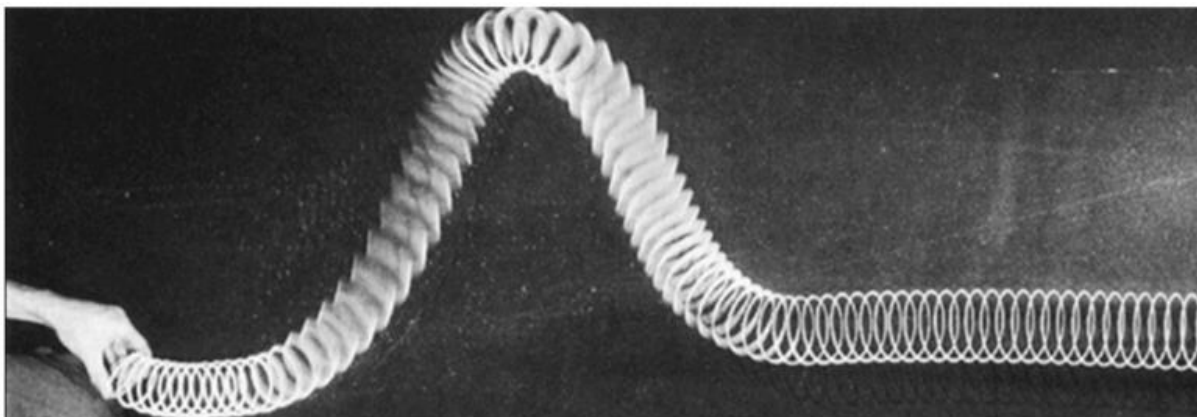


Schéma expliquant le mouvement d'une onde transversale

Remarque : La corde est le milieu de propagation, elle **ne se déplace pas**. Il n'y a **pas de transport de matière**.

Une **onde transversale** est une onde qui se propage **perpendiculairement au déplacement du milieu**, c'est-à-dire qu'elle **monte et descend**.



Onde transversale

## Les ondes longitudinales

Une **onde longitudinale** est une onde qui se propage **parallèlement au déplacement du milieu**, c'est-à-dire qu'elle **se comprime et s'étire**. La déformation du milieu se fait dans **la même direction** que la propagation.

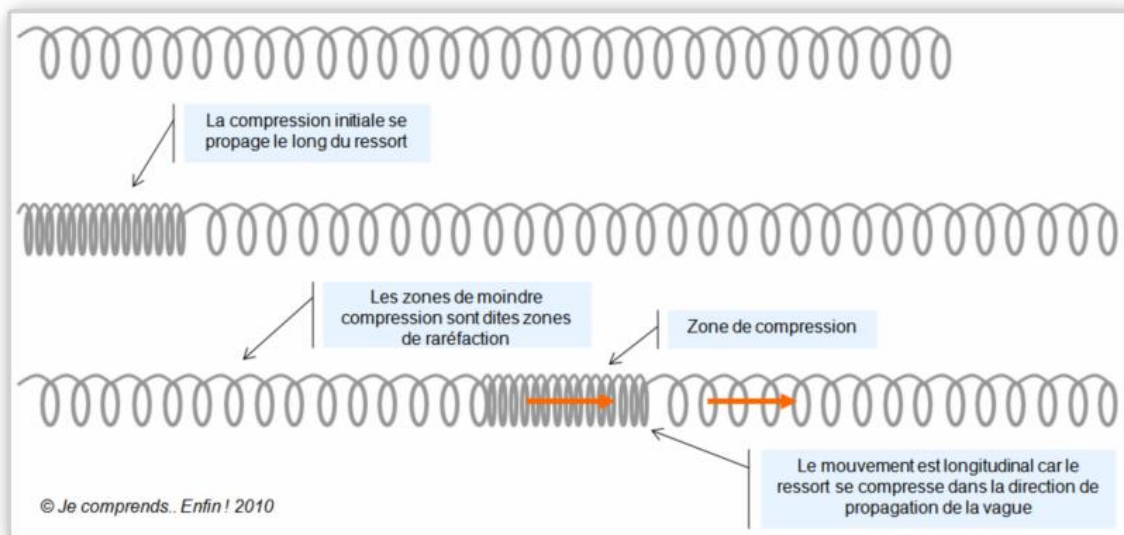
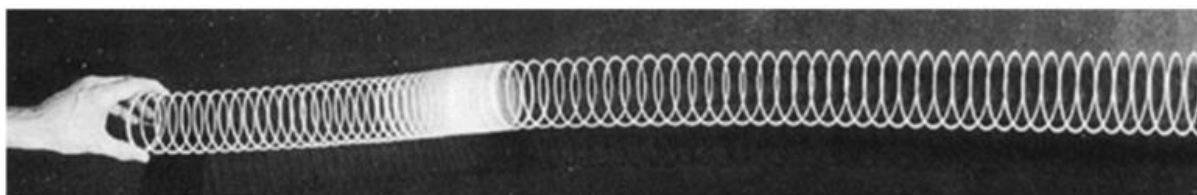


Schéma expliquant le mouvement d'une onde longitudinale



Onde longitudinale

Remarque : Certains animaux se déplacent comme les ondes

**La nature** reprend souvent à son compte bien **des principes physiques**. Pour se déplacer, certains **animaux** ont choisi de se mouvoir comme **une onde longitudinale**, et d'autres comme **une onde transversale**.



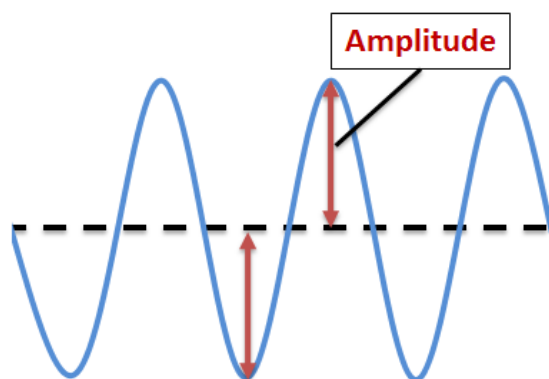


## L'amplitude

L'**amplitude (A)** d'une onde correspond à la **hauteur maximale** atteinte par rapport à **sa position au repos**.

L'**amplitude** dépend de l'énergie transmise par l'onde. Plus la quantité d'énergie transportée par une onde est importante, plus l'amplitude est grande.

Dans le cas d'une **onde transversale**, l'amplitude correspond à la **hauteur maximale de la crête** ou de la **profondeur du creux** par rapport à la **position d'équilibre** située au milieu de l'onde.



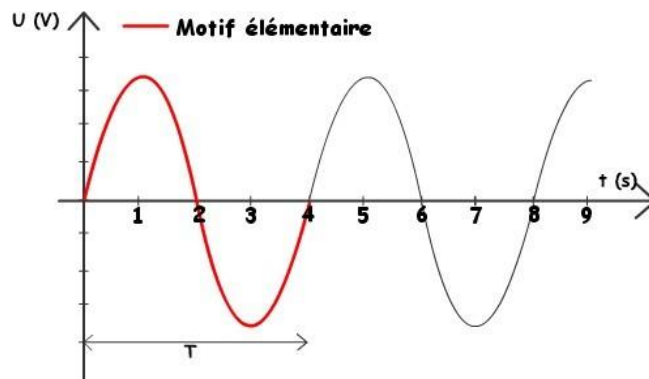
Amplitude d'une onde transversale

Pour une **onde longitudinale**, l'amplitude est plus difficile à mesurer puisqu'elle est **fonction de la densité des zones de compression**. Plus les zones de compression comprennent de cycles, plus l'amplitude est grande.

On mesure l'amplitude en **unités dérivées du mètre** car il s'agit **d'une distance**.

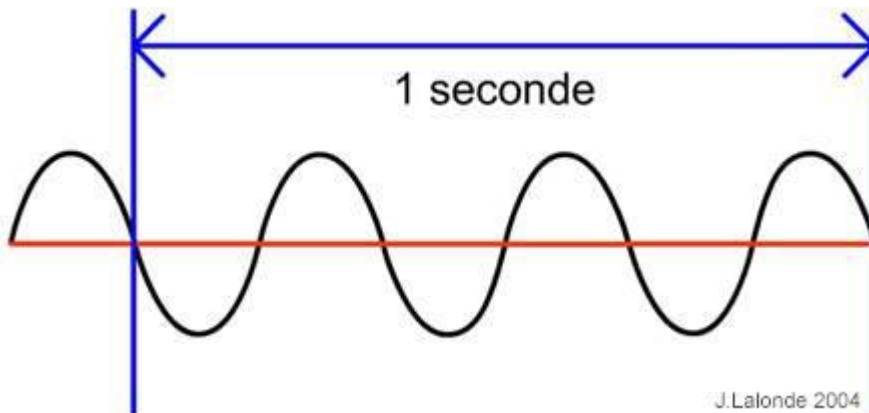
# La fréquence et la période

La période (T) est le temps nécessaire à l'onde pour effectuer un cycle complet.



Période d'une onde transversale

La fréquence (f) est le nombre de cycles produits par une onde en une unité de temps. On effectue habituellement cette mesure pour une durée d'une seconde. Les scientifiques ont établi une nouvelle unité de mesure correspondant à la quantité de cycles par seconde, soit le hertz (Hz).



Fréquence d'une onde

La fréquence est l'inverse de la période :

$$f = 1/T \text{ et } T = 1/f$$

Avec :

**f** = fréquence en **Hertz**

**T** = la période en **seconde**

La **longueur d'onde** et la **fréquence** sont liées.

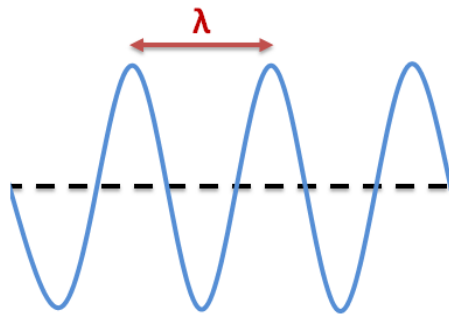
Plus courte est la longueur d'onde, plus il y a de cycles par unité de temps, donc plus la fréquence est grande.

## La longueur d'onde

La **longueur d'onde**( $\lambda$ ) correspond à la **longueur d'un cycle** complet d'une onde.

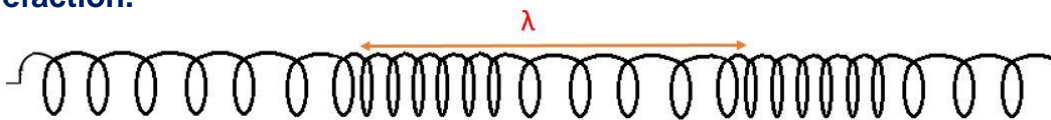
Cette longueur correspond à la **distance** qui **sépare deux points identiques** de l'onde à un **instant donné**, soit deux points situés à la **même amplitude**.

Dans le cas **d'une onde transversale**, la longueur d'un cycle complet correspond à la **distance séparant deux crêtes** de l'onde ou encore deux creux.



Longueur d'onde( $\lambda$ ) d'une onde transversale

Dans le cas d'une **onde longitudinale**, la longueur du cycle correspond plutôt à la **distance** dans laquelle sont incluses **une zone de compression** et **une zone de raréfaction**.



Longueur d'onde ( $\lambda$ ) d'une onde longitudinale

Puisqu'il s'agit **d'une distance**, on la mesure généralement **en mètres** ou en une autre **unité dérivée du mètre**. On peut la calculer en divisant la **distance totale** parcourue par le **nombre de cycles** effectués.

$$\lambda = c \times T$$

Avec :

**c** = vitesse de l'onde en **m/s** ( $=3,00 \times 10^8$  m/s)

**$\lambda$**  = longueur d'onde en **mètres**

**T** = la période en **secondes**

Par exemple, si **deux cycles** d'une onde s'étendent sur **une longueur de 16 cm**, on peut **diviser** cette longueur **par le nombre de cycle** qu'elle contient, soit **2**. On trouve donc que la longueur de cette onde est de **8 cm** pour un cycle.

La longueur d'onde s'exprime également comme étant la vitesse de l'onde divisée par sa fréquence :

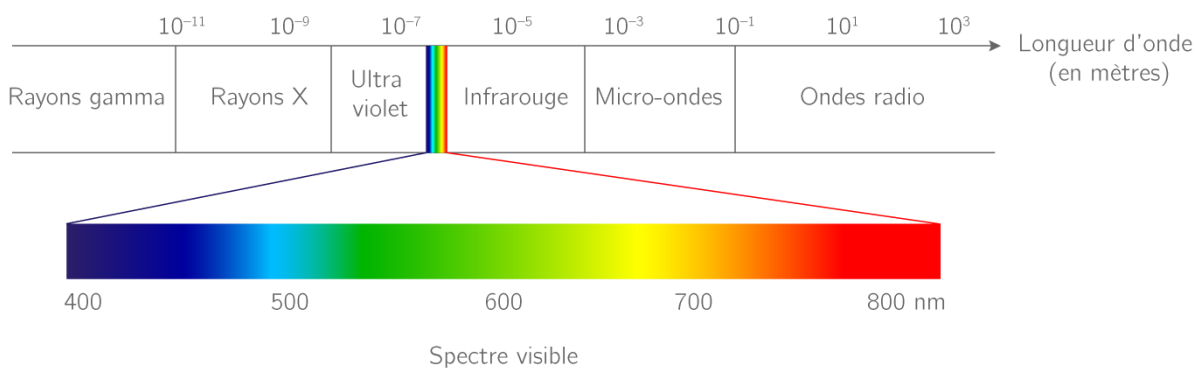
$$\lambda = c \times T = c/f$$

Avec :

**f** = fréquence en **Hertz**



On peut distinguer les **différentes catégories** d'ondes selon leur **longueur d'ondes en mètres** :



**Schéma spectre électromagnétique avec les longueurs d'ondes**

## La vitesse de propagation (célérité)

**La célérité** (vient du latin celer [keler] : rapide) d'une onde est **la « vitesse »** à laquelle elle se propage (on préfère le terme célérité à celui de vitesse car il n'y a **pas de transport de matière**), c'est-à-dire **la distance parcourue** par une onde en **une unité de temps**.

Il est possible de déterminer mathématiquement **la célérité** d'une onde si **la fréquence** et **la longueur d'onde** sont connues.

La vitesse d'une onde est déterminée par l'équation suivante :

$$v=f \times \lambda$$

Avec :

**v** = vitesse de l'onde en **m/s**

**f** = fréquence de l'onde en **Hertz (Hz)**

**λ** = longueur d'onde en **mètres**

La vitesse de propagation d'une onde est **une propriété du milieu** dans lequel elle se propage.

# 1.4. Les différents types d'ondes

Il existe deux grands types d'ondes :

- les **ondes mécaniques**, dont la propagation s'appuie sur la matière ;
- les **ondes électromagnétiques** qui n'ont pas besoin de support matériel pour se propager.

## Les ondes mécaniques

On qualifie l'onde de « **mécanique** » car la **perturbation** est **une déformation** du milieu matériel lui-même... Et on peut la qualifier d'onde « **progressive** » si la propagation de la perturbation s'effectue **de proche en proche** plus ou moins rapidement.

**Les ondes mécaniques** déplacent temporairement **la matière** (eau, air, terre, etc.) et requièrent d'avoir **ce support de matière** pour exister. La perturbation correspond à **une variation d'une propriété mécanique** (vitesse, position, énergie, etc.) des points d'un milieu matériel. Il n'y a par exemple pas de son dans l'espace car il n'y a pas d'air à déplacer, de même que l'eau sert à transporter les vagues, et que les ondes sismiques se déplacent dans le sol.

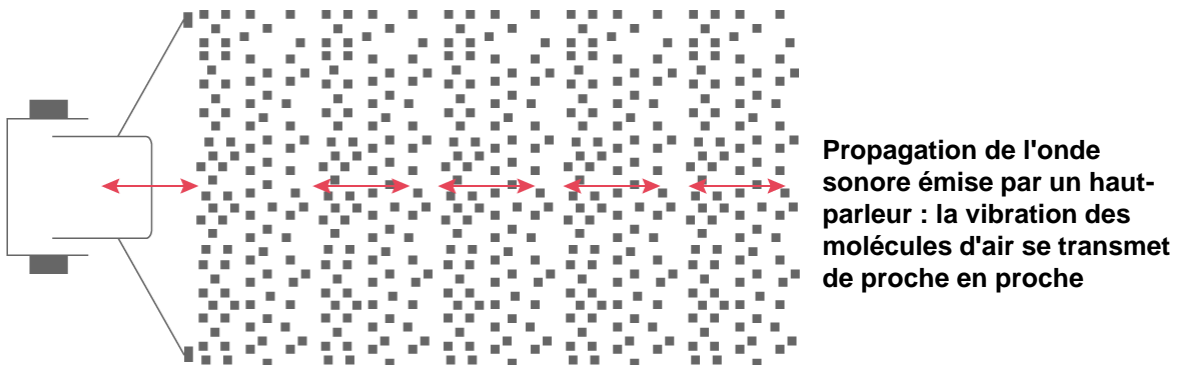
Voici **les trois grands types** d'ondes mécaniques : **les ondes de gravité, les ondes sonores, les ondes sismiques.**

### Les ondes de gravité :

**Les ondes de gravité** à la surface d'un liquide sont des **vagues** qui se propagent à la surface du liquide, sous l'action de diverses impulsions : énergie du vent pour les vagues de la mer, perturbations apportées par des obstacles ou des apports d'énergie dus par exemple à la chute d'un corps dans l'eau. On dit de ces ondes qu'elles sont « **de gravité** » parce que **la seule force extérieure** qui est considérée dans leurs dynamiques est **la pesanteur**.

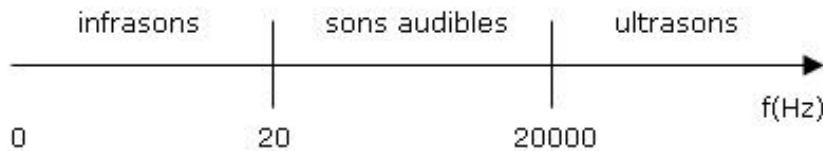
### Les ondes sonores :

**Une onde sonore** est **une vibration mécanique** pouvant se propager dans **un milieu matériel** (gaz, liquide ou solide).



**Les ondes sonores** se propagent à la vitesse  $v = 340 \text{ m/s}$  dans l'air, à  $20^\circ\text{C}$  et à pression atmosphérique.

**Les ondes sonores** sont émises par **une source** (voix humaine, instrument de musique, diapason) et mises en évidence par **un récepteur** tel que l'oreille humaine ou animale. Elles sont caractérisées par **leur fréquence**. Elles se répartissent **en 3 classes** :



- **Les infrasons** ont **une fréquence inférieure à 20 Hz**. Ils sont audibles par certains animaux comme les éléphants qui leur permettent de communiquer.
- **Les sons audibles** par l'oreille humaine sont compris **entre 20 Hz et 20 000 Hz**. Les sons de basse fréquence sont les sons graves, les sons aigus sont des sons de haute fréquence.
- **Les ultrasons** ont **des fréquences supérieures à 20 000 Hz**. Ils sont audibles par les chauve-souris, les chats, les dauphins.

### Les ondes sismiques :

**Les ondes sismiques** correspondent aux **ondes élastiques** qui se propagent à la surface et à l'intérieur de notre planète, en déformant plus ou moins le milieu selon l'intensité du séisme.

Il existe **2 catégories** d'ondes sismiques :

#### Les ondes profondes

- **Les ondes P** : ce sont des **ondes longitudinales** capables de se propager **dans tous les milieux**. Ce sont **les plus rapides**.
- **Les ondes S** : ce sont des **ondes transversales** qui se propagent seulement dans **les milieux solides**.

**La vitesse** de ces ondes **augmente** avec la **profondeur** et en fonction de la **distance parcourue**.

#### Les ondes de surfaces

Elles sont **moins rapides** que les ondes profondes, mais de **plus grande amplitude**, et se propagent seulement dans **les couches superficielles du globe**.

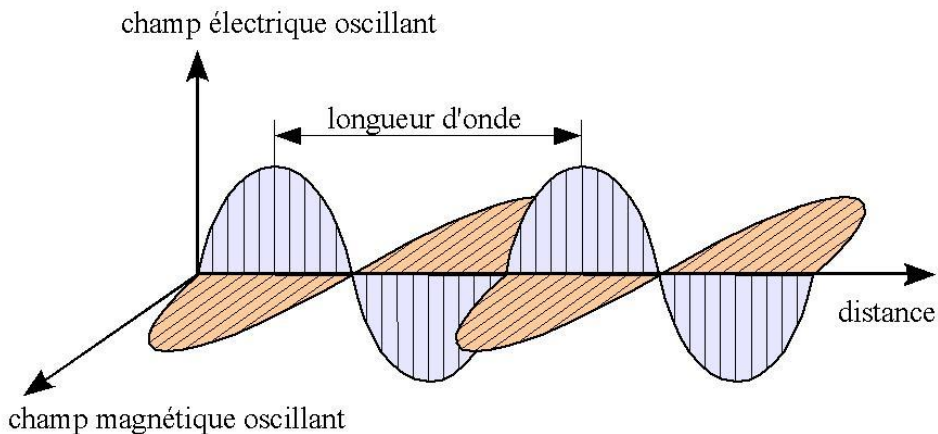
# Les ondes électromagnétiques

Ce sont les ondes qui nous intéressent dans le cadre de notre TPE.

Une **onde électromagnétique** correspond à des **photons**, (particules élémentaires de masse et de charge nulle, énergie "pure" en quelque sorte) qui circulent pour former des ondes sous forme d'énergie électromagnétique concentrée en un rayonnement qui se propage.

**L'électromagnétisme** est une force de faible énergie qui résulte du **couplage** entre un **champ électrique** et un **champ magnétique**. Le terme de « **champ** » désigne la zone dans laquelle l'effet de cette force se fait sentir sans être visible, ni même perceptible.

Ainsi, lorsqu'un champ, est formé d'un **champ magnétique** et d'un **champ électrique**, il émet une **onde électromagnétique**. Ces deux champs oscillent **en même temps** mais **dans deux plans perpendiculaires** et se déplacent à la **vitesse de la lumière** ( $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ).



**Schéma d'une onde électromagnétique**

Un **champ électrique** est un **champ de force** invisible créé par l'**attraction** et la **répulsion** de **charges électriques**. Il se mesure en **Volts par mètre (V/m)**. Plus la charge électrique est importante, plus le champ est fort. De même que l'intensité du champ **diminue** au fur et à mesure que la distance à sa source augmente.

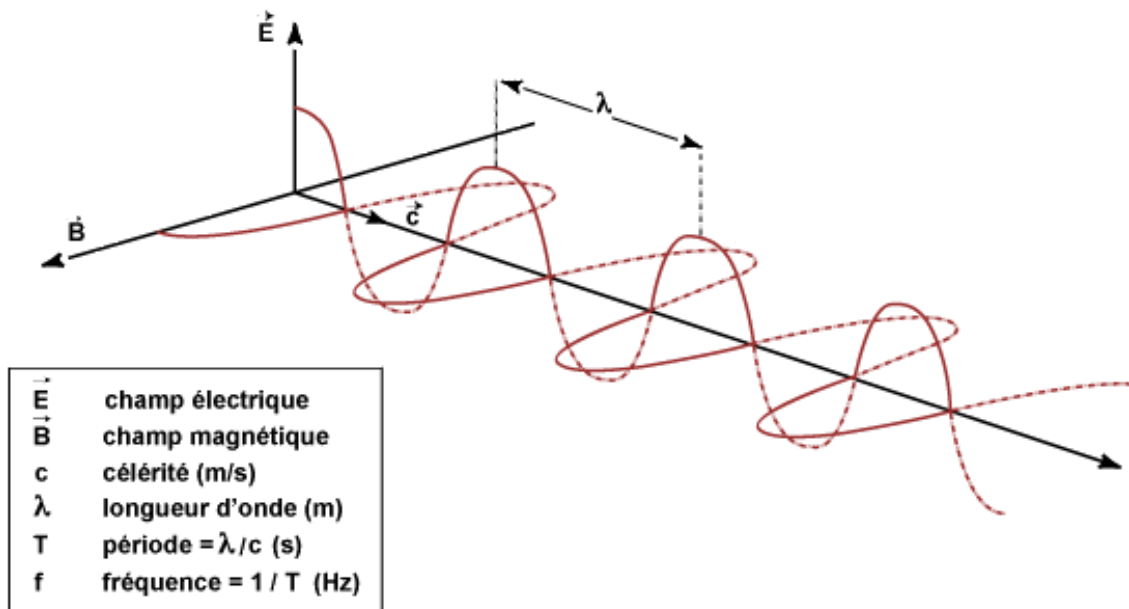
Un **champ magnétique** est un **champ de force** résultant du **déplacement des charges** (comme le courant électrique). L'intensité d'un champ magnétique est mesurée en **Gauss (G)** ou **Tesla (T)**. L'intensité du champ diminue au fur et à mesure qu'augmente la distance à sa source.

**Le champ électromagnétique** est donc **le couplage** de ces deux champs : **champ électrique et champ magnétique**.

*Il est possible de calculer la valeur d'un champ électromagnétique à l'aide des équations de Maxwell (nous n'étudions pas ces équations, car elles dépassent le cadre de notre TPE), ou de le mesurer à l'aide de gaussmètres, ou de magnétomètres.*

Contrairement aux **ondes mécaniques**, les **ondes électromagnétiques** peuvent se déplacer **dans le vide**. Les **ondes électromagnétiques** traversent également **la matière**, mais à une vitesse **moins rapide**, et peuvent même être complètement **stoppées** ou **absorbées** selon l'objet traversé. Par exemple, les ondes hertziennes sont absorbées par certains métaux.

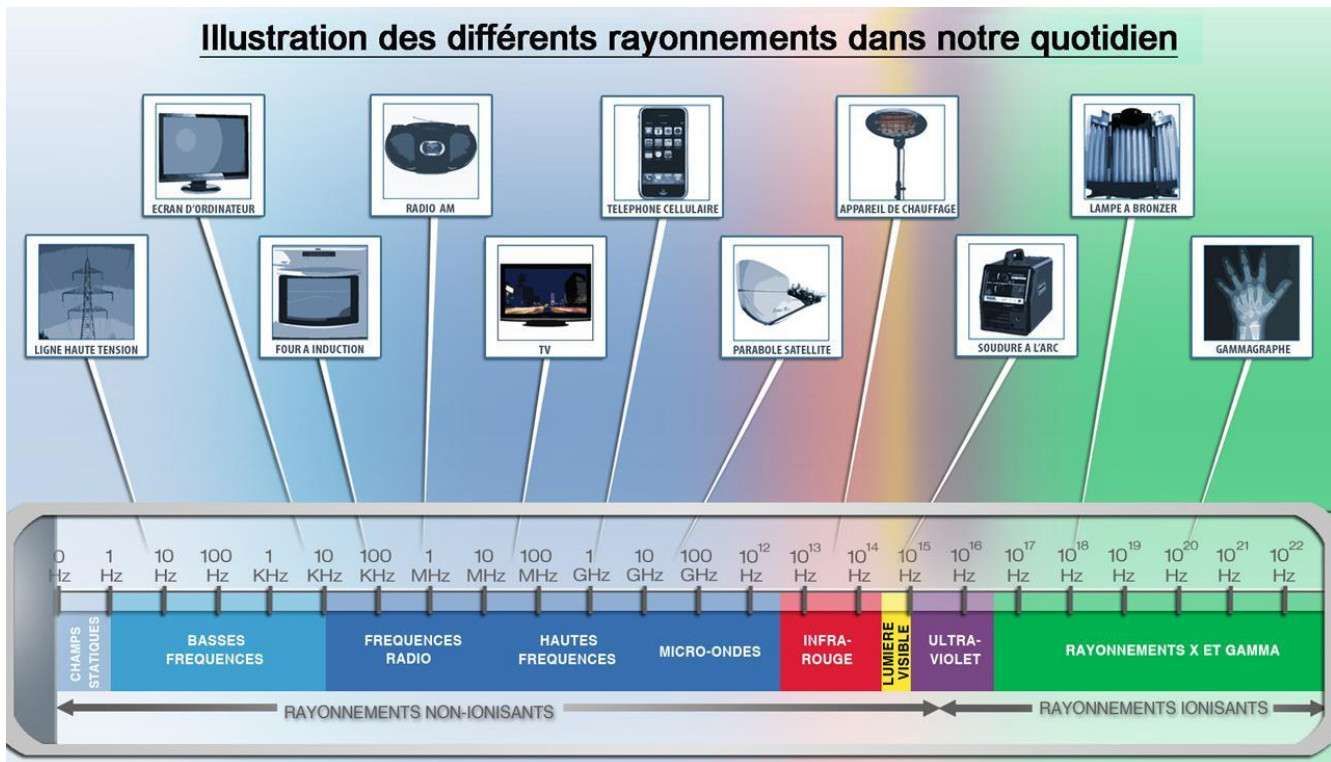
Les fréquences les plus basses ont des longueurs d'onde qui s'étendent sur des milliers de kilomètres, mais ce sont les plus hautes fréquences aux longueurs d'ondes très courtes et à grandes amplitudes qui transportent le plus d'énergie.



Représentation d'une onde électromagnétique

## Le spectre électromagnétique

Selon leur **longueur d'onde** (donc leur **fréquence**) ou leur **énergie**, les ondes électromagnétiques **se classent** en **différentes catégories**. On appelle cette classification : "**le spectre électromagnétique**".



Cette classification est divisée en **deux parties** : les **rayonnements ionisants** et **non-ionisants**. Elles correspondent au niveau d'énergie émis par l'onde entraînant plus ou moins de modifications au niveau des cellules.

Certaines ondes électromagnétiques transportent suffisamment d'énergie pour **casser des liaisons atomiques**. Par exemple, les **Ultra-Violet (UV)** à forte dose sont connus pour provoquer des mélanomes, c'est une forme de **cancer de la peau**. On qualifie ces ondes d'**«ionisantes»**. Voici les **trois catégories d'ondes ionisantes** :

- **UV** : compris entre  $7,5 \times 10^{14}$  Hz et  $3 \times 10^{17}$  Hz  
**Le soleil** est une source d'UV.  
**Utilisation** : traitement de certaines maladies, stérilisation d'instruments chirurgicaux.
- **Rayons X** : compris entre  $3 \times 10^{17}$  Hz et  $3 \times 10^{19}$  Hz  
**Utilisation** : **Imagerie médicale** (radiographie, scanner, IRM), **radiothérapie** (voir encadré page suivante)
- **Rayons Gamma** : leur fréquence est comprise entre  $3 \times 10^{19}$  Hz et  $3 \times 10^{22}$  Hz (> à  $3 \times 10^{22}$  Hz, on parle d'onde Gamma cosmique)  
Les rayons Gamma sont émis lors de **la désintégration d'un noyau atomique**. Ce sont les rayons **les plus dangereux** pour le corps humain.



## Rayons X : la radiothérapie

**La radiothérapie** est une méthode de **traitement locorégional des cancers** (agissement direct sur la zone du cancer et sur sa périphérie) , utilisant des radiations pour détruire les cellules cancéreuses tout en épargnant les tissus sains périphériques. Elle consiste à exposer une partie précise du corps à des radiations. On utilise pour cela des radiations **ionisantes** : **les rayons X**. La cible est alors irradiée de façon successive et sous des angles différents pour superposer les champs d'irradiation sur la région à traiter et un maximum de radiation est localisé sur la zone tumorale.

La radiothérapie agit en ionisant les acides nucléiques (l'ADN et l'ARN) des cellules traitées, c'est-à-dire qu'elle fragilise les molécules des cellules cancéreuses, les tue ou les rend incapables de se multiplier. Elle entraîne une altération des chromosomes, perturbant les divisions cellulaires des tumeurs. Elle peut être utilisée pour plusieurs types de cancer.



Cependant, les rayonnements ionisants tuent aussi les cellules saines. La radiothérapie a donc besoin de savoir où se localise exactement la tumeur et il est impératif de ne pas utiliser des doses trop fortes afin de ne pas endommager les cellules saines.

La radiothérapie est une arme thérapeutique efficace contre le cancer. Elle occupe une des toutes premières places au côté de la chirurgie, à laquelle elle est parfois associée, et de la chimiothérapie dans le traitement contre le cancer.

À l'inverse, les **ondes non-ionisantes**, comme les radiofréquences (dont celles des téléphones mobiles), n'ont pas assez d'énergie pour être mutagènes et donc cancérigènes. La frontière entre rayonnements ionisants et non-ionisants est la lumière visible. Voici les **quatre catégories d'ondes non-ionisantes** :

- **Basses fréquences : Inférieures à 30 kHz**  
Elles présentent un faible risque pour le corps humain.  
**Utilisation** : ce sont majoritairement les lignes à haute tension et les appareils électriques (rasoirs, sèche-cheveux).
- **Radiofréquences** : comprises entre **30 kHz et 300 GHz** environ.  
On distingue plusieurs appareils et ondes usant de cette radiofréquence : **la téléphonie mobile** (900 MHz - 2.4 GHz), **la Radio FM** (87.5-108 MHz), **la Télévision** (40-900 MHz), **le Wi-Fi** (2.4 GHz), **les fours à micro-ondes** (2.4 GHz) ainsi que **les radars** (1-100 GHz). Dans cette catégorie, on trouve les « **micro-ondes** ». **La longueur d'onde** des radiofréquences est comprise entre  **$10^5$  et  $10^{-3}$  m**. (voir encadré page suivante)
- **Infrarouges** : comprises entre **300 GHz et 385 THz** environ.  
La majeure partie des ondes sont appelées "**ondes térahertz**".  
On distingue la télécommunication par fibre optique, les télécommandes domestiques, pour la télévision, les consoles... **La longueur d'onde** associée est comprise entre  **$10^{-2}$  et  $10^{-6}$  m**.
- **Domaine du visible** : comprises entre **385 et 750 THz**, il s'agit des **longueurs d'ondes** comprises entre **700 nm** (Infrarouges) et **400 nm** (Ultraviolets). Ce sont les seules ondes électromagnétiques **visibles par l'œil humain**. On distingue donc **différentes couleurs**, selon la **longueur de l'onde**.

Fréquence	Gamme	Exemples d'applications
0 Hz	Champs statiques	Électricité statique
50 Hz	Extrêmement basses fréquences (ELF)	Lignes électriques et courant domestique
20 kHz	Fréquences intermédiaires	Écrans vidéo, plaques à induction culinaires
88 – 107 MHz	Radiofréquences	Radiodiffusion FM
300 MHz – 3 GHz	Radiofréquences micro-ondes	Téléphonie mobile
	400 – 800 MHz	Téléphone analogique (Radiocom 2000), télévision
	900 MHz et 1800 MHz	GSM (standard européen)
	1900 MHz – 2,2 GHz	UMTS
	2400 MHz - 2483.5 MHz	four à micro-ondes, Wi-Fi, Bluetooth
3 – 100 GHz	Radars	Radars
385 – 750 THz	Visible	Lumière, lasers
750 THz — 30 PHz	Ultra-violets	Soleil, photothérapie
30 PHz — 30 EHz	Rayons X	Radiologie
30 EHz et plus	Rayons gamma	Physique nucléaire

**Classification simplifiée des fréquences**



## Radiofréquences : les ondes des téléphones mobiles contre la maladie d'Alzheimer

Gary Arendash, spécialiste américain de la maladie d'Alzheimer, et ses collègues, ont mené des investigations visant à explorer les **effets des ondes de haute fréquence sur l'apparition de la maladie et sur son développement**. De précédentes études avaient suggéré que l'exposition aux ondes électromagnétiques augmentaient le risque de souffrir d'Alzheimer.

L'équipe d'Arendash a utilisé des souris normales (mémoire testée dans des labyrinthes), des souris - vieillissantes et très jeunes - génétiquement modifiées pour développer des plaques amyloïdes.

Ces accumulations d'amyloïdes sont considérées par les chercheurs comme responsables de la neuro-dégénérescence et de la démence dans la maladie d'Alzheimer, car elles empêchent les transmissions normales des influx nerveux entre les cellules cérébrales.



Placées dans des cages à égale distance d'une antenne émettrice, les souris ont été exposées une heure ou deux quotidiennement pendant sept à huit mois pour reproduire l'utilisation des téléphones portables durant plusieurs décennies chez les humains.

Cette étude a montré que les souris génétiquement modifiées vieillissantes exposées aux ondes électromagnétiques générées par les téléphones portables ont vu leurs capacités améliorées. Les dépôts d'amyloïde dans le cerveau se sont résorbés. D'après le professeur, les ondes électromagnétiques ont rétabli un fonctionnement normal de la mémoire des vieilles souris atteintes d'Alzheimer.

Les souris génétiquement modifiées exposées aux ondes dès leur jeune âge ne souffraient pas des troubles de la mémoire observés chez les souris « alzheimer ».

Enfin chez les souris normales, la mémoire s'est améliorée par ces mois d'exposition. Par ailleurs, aucune anomalie, tumeur ou autre n'a été observée dans l'organisme de ces souris.

Ainsi le professeur conclut que **les ondes n'auraient pas d'effets nocifs sur la souris** mais plutôt un **effet stimulant sur les fonctions cérébrales**. Comme l'homme partage 90% du patrimoine génétique avec la souris, on peut supposer que les ondes peuvent également avoir un effet positif sur l'homme .

## L'énergie transportée dans les ondes électromagnétiques

L'énergie transportée dans ces ondes électromagnétiques est différente en fonction de la **fréquence** de chacune d'entre elles. On dit que l'énergie est granuleuse car elle est constituée de « **grains** » d'énergie appelés **photons**.

L'énergie de ces photons, notée **e**, est liée à la fréquence, notée **f** de l'onde choisie. Ainsi, on peut établir cette relation :

$$e = hf = hc/\lambda$$

Avec :

**h** : la constante de Planck (6,625.10<sup>-34</sup> J.s)

**f** : la fréquence de l'onde en Hertz

**c** : célérité de l'onde (3,00 x 10<sup>8</sup> m.s)

**e** : l'énergie de l'onde électromagnétique en joules

**λ** : longueur d'onde en mètre

Ainsi, les rayonnements électromagnétiques de **courte longueur d'onde** ou de **fréquence élevée** émettent **davantage d'énergie** que les rayonnements de **grande longueur d'onde** (basse fréquence).

Plus l'énergie est **forte**, plus il y a un risque d'avoir des **effets biologiques** lors d'une exposition de longue durée. Ainsi, le rayonnement **ionisant** a une énergie plus forte que le rayonnement **non-ionisant**.

## La puissance des ondes électromagnétiques

**Une puissance** en général est l'énergie transportée d'un corps à un corps, par une **unité de temps**. Elle s'exprime en **watt (W)**. La puissance est liée à **l'amplitude** (ex: plus une «vague» est haute, plus elle est puissante).

L'amplitude d'une onde électromagnétique, et donc son énergie **s'atténue** en s'éloignant de la source émettrice, la puissance d'une onde diminue avec **le carré de la distance**. On en déduit que plus un émetteur est loin, moins les ondes reçues sont puissantes.

On peut calculer, **la puissance surfacique** (puissance diffusée ou perçue sur une surface) transportée par une onde, par la formule :

$$\text{Puissance surfacique} = P/S$$

Avec : **puissance surfacique** en W/m<sup>2</sup>

**p** : la puissance de l'onde en Watt

**s** : la surface en m<sup>2</sup>

**Dans notre expérience que nous décrirons plus tard, nous avons abordé les effets que peuvent avoir les ondes utilisées en télécommunication, au-delà de 1 Ghz, sur les organismes vivants.**

## 2. Les ondes de communication



**Les télécommunications radios sont effectuées dans l'espace au moyen d'ondes électromagnétiques, dont les longueurs d'ondes se situent dans les micro-ondes.**

**Les micro-ondes** sont des rayonnements électromagnétiques situés entre les **ondes radios** et les **ondes infrarouges**. La gamme des micro-ondes va donc de **1 GHz à 300 GHz**.

Il faut savoir qu'il n'existe pas de délimitation précise pour **les gammes de fréquences**. On les fixe généralement suivant le contexte. Par exemple, on subdivise les micro-ondes en **trois parties** suivant leur fréquence :

- **UHF** (Ultra High Frequency) : Ondes comprises entre **1 GHz et 3 GHz**  
Utilisation : Réseaux privés, militaire, GSM, GPS, DATA, Télévision, Radioamateur, Wi-Fi etc.
- **SHF** (Super High Frequency) : Ondes comprises entre **3 GHz et 30 GHz**  
Utilisation : Réseaux privés, Wi-Fi, Micro-onde, Radiodiffusion par satellite (TV), Faisceau hertzien, Radar météorologique, Radioamateur, etc.
- **EHF** (Extremely High Frequency) : ondes comprises entre **30 GHz et 300 GHz**  
Utilisation : Réseaux privés, Radars anticollision pour automobiles, Liaisons vidéo transportables, Radioamateur, etc.

**Nous avons choisi d'étudier les micro-ondes car aujourd'hui, beaucoup d'interrogations se posent sur la nocivité de ces rayonnements, notamment dans le cas du téléphone mobile.**

**Nous nous pencherons plus précisément sur les ondes UHF (1 à 3 GHz), dans lesquelles se trouvent les ondes de télécommunication, c'est-à-dire les ondes GSM, les ondes liées au transfert des données DATA, et le WI-FI.**



Nous décrirons maintenant les deux principales utilisations des ondes **UHF** : la **téléphonie mobile** et le **Wi-Fi**.

## 2.1. La téléphonie mobile

La **téléphonie mobile**, ou **téléphonie cellulaire** désigne les **communications sans fil**. Elle est basée sur la **radioélectricité**, qui désigne l'ensemble des phénomènes qui régissent la formation et la propagation des ondes électromagnétiques de faibles énergies. La radioélectricité est le fondement de toutes **les techniques de communication** ayant pour support **les ondes électromagnétiques**.

Le téléphone mobile est le **support matériel** de la téléphonie mobile. Il transmet d'un utilisateur à un autre, de la **voix numérisée** et des **données**, à l'aide de **micro-ondes**.

La voix et les données numérisées sont transmises sur des **ondes électromagnétiques** de fréquence de l'ordre du gigahertz (**de 1 à 3 GHz environ**). Le principal avantage du téléphone mobile est qu'il permet de **communiquer partout** où la couverture réseau est suffisante. Mais pour cela, le téléphone mobile a besoin **d'un réseau**. Pour avoir une utilisation optimale du mobile, il faut être à portée d'**une antenne relais** de son opérateur et recevoir un signal radio de qualité suffisante. Aujourd'hui, chaque téléphone mobile précise le type de **technologie** disponible dans la zones où l'on se trouve, à l'aide de logos : « 4G », « 3G » ou « E » pour « Edge », par exemple.



Pour émettre ces réseaux, les opérateurs ont besoin d'obtenir du gouvernement des fréquences, situées dans une **bande précise et bien définie**, afin de ne pas **interférer** avec la radio, la télévision, la défense, les activités aériennes etc.

Chaque **réseau** a donc **sa propre bande de fréquence**. Ces fréquences sont **achetées** par les opérateurs à des prix très élevés (exemple : Orange a acheté sa licence 4G pour les bandes de fréquences 2600 Mhz et 800 Mhz : 1,178 milliard d'euro).

Voici les standards des téléphonie mobile : les ondes GSM et DATA.

## Les ondes GSM

Le réseau **GSM** (*Global System for Mobile communications*) constitue au début du 21<sup>ème</sup> siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un **standard de téléphonie** dit « **de seconde génération** » (**2G**) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode **entièrement numérique**.

Le standard GSM utilise les bandes de fréquences **900 MHz** et **1800 MHz** (950 Mhz et 1900Mhz en Amérique).

La norme GSM autorise un débit maximal de **9,6 kbps**, ce qui permet de transmettre **la voix** ainsi que des **données numériques** de faible volume, par exemple des messages textes (**SMS**) ou des messages multimédias (**MMS**). Le débit est la mesure de **la quantité de données numériques** transmises par unité de temps (exprimé en **bit/s ou bps**).



## Les ondes DATA ("données" en anglais)

Le **standard téléphonique DATA**, a marqué un tournant dans la téléphonie mobile, avec l'apparition de la possibilité de consulter **des données** sur son téléphone mobile.

En 2005, le standard de téléphonie de "**troisième génération**" dite **3G** (ou UMTS) est apparu. Les réseaux 3G utilisent des bandes de fréquences **de 1885-2025 MHz** et **2110-2200 MHz**.

La **3G** permet d'atteindre des débits supérieurs à **384 kbps**, offrant des usages multimédias tels que **la transmission de vidéo**, **la visioconférence** ou **l'accès à internet haut débit**, tout en gardant **les services vocaux**, et la transmission de **données numériques faibles (SMS, MMS)** qui eux sont toujours envoyés suivant la norme **GSM**.





La **technologie 4G** (appelée également LTE) est la nouvelle génération des standards téléphoniques, en voie d'expansion à travers le monde, y compris en France où elle n'est pas encore présente partout.

La **4G** garantit un transfert de données **de meilleure qualité** et beaucoup **plus rapide** : les débits vont de **100Mb/s à 1Gb/s**; il est maintenant possible de faire des appels "visio" ou de **regarder la télévision en direct**.

En France, la **norme 4G** utilise les bandes de fréquences des **2 600 MHz** et **800 MHz**. Le 2.6 GHz est principalement utilisé dans **les zones urbaines**. A cette fréquence, la distance de propagation est **faible**, ce qui nécessite la présence de **beaucoup d'antennes relais**. Les fréquences «**basses**» (en dessous de 1GHz) ont de bonnes propriétés de propagation. Les opérateurs n'ont pas besoin de déployer beaucoup d'équipements pour couvrir une zone donnée. Les fréquences basses sont donc plus utilisées dans **les zones rurales**. Ce sont les fréquences dites "**en or**". Mais leur prix est élevé. Libérées lors du passage à la TNT, elles ont été récupérées par le gouvernement auprès des chaînes de télévision. Comme cette bande de fréquence est proche de celle de la télévision, le mobile 4G peut néanmoins créer des brouillages et interférences avec la TNT à certains endroits. On utilise également le **800 MHz en ville** pour avoir une meilleure pénétration de la 4G dans les bâtiments.

Comme pour le passage de la 2G à la 3G, les terminaux mobiles doivent être **adaptés** à la nouvelle génération 4G, ce qui est déjà le cas pour bon nombre de produits qui ont été mis sur le marché.



Le tableau ci-dessous récapitule **les différents standards** utilisés en téléphonie mobile :

Standard	Génération	Utilisation
<a href="#">GSM</a>	2G	Permet le transfert de voix ou de données numériques de faible volume.
GPRS	2.5G	Permet le transfert de voix ou de données numériques de volume modéré.
EDGE	2.75G	Permet le transfert simultanés de voix et de données numériques.
UMTS	3G	Permet le transfert simultanés de voix et de données numériques à haut débit.
LTE	4G	Permet le transfert simultanés de voix et de données numériques à haut débit.

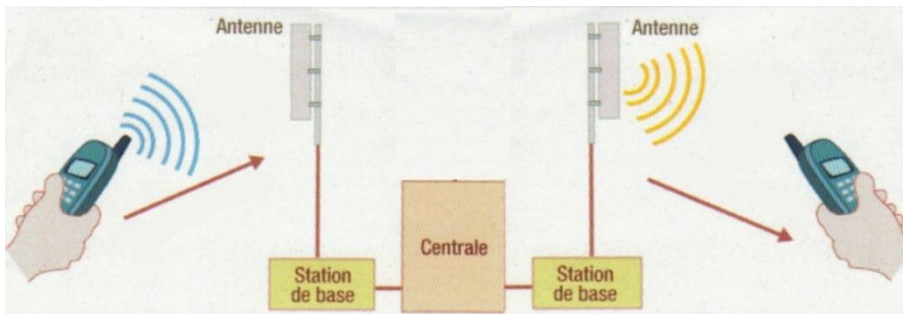
### Le fonctionnement des réseaux mobiles

**Le réseau mobile** est constitué **d'antennes relais**. Chaque antenne est un **émetteur-récepteur** de **signaux radioélectriques** pour les communications mobiles et **convertit** des signaux électriques en **ondes électromagnétiques** (et réciproquement).



Par exemple, lorsqu'on passe un appel depuis son mobile, celui-ci cherche **l'antenne la plus proche** de son opérateur et établit **une liaison radio** avec elle. Pour recevoir un appel, le principe est le même, sauf que c'est l'antenne qui demande la liaison avec le téléphone du destinataire. Et dans ce cas, pour que la communication se fasse, l'opérateur a besoin de savoir dans quelle **cellule du réseau** se situe le destinataire. C'est la raison pour laquelle, quand ils sont allumés et même lorsqu'ils ne sont pas utilisés pour passer des appels, les mobiles se signalent au réseau.





Donc pour avoir un réseau mobile **fiable**, les opérateurs mettent en place un grand nombre **d'antennes relais**, pour couvrir l'ensemble du territoire.

Chaque opérateur a **ses antennes-relais**, et chaque antenne relais a **sa bande de fréquence**. C'est-à-dire qu'il y a des antennes différentes pour les fréquences 800 MHz, 1800 MHz et 2600 MHz. Leur **portée** et leur **pénétration** dans la matière vont donc être **différentes**, car plus la fréquence est **basse**, plus la distance de propagation est **longue**. Et inversement, plus la fréquence est **haute**, plus la distance de propagation est **courte**. Une antenne 800 MHz a une portée plus longue qu'une antenne 2600 MHz. Chaque antenne a donc une portée **limitée**, et ne couvre que le territoire autour d'elle, appelé « **cellule** ». Les opérateurs divisent donc le territoire sous forme de « **cellules** » (d'où l'autre nom de « **réseaux cellulaires** » souvent utilisé pour désigner les réseaux mobiles), qui se chevauchent de façon à ne jamais perdre le positionnement de l'utilisateur. Les "cellules" ont une **taille variable** selon **la géographie** et **la densité de population** (une antenne-relais ne peut transférer, simultanément, les données que **d'une soixantaine d'utilisateurs**).

En **milieux urbain**, les ondes ont du mal à rentrer dans la bâtiment. Leur portées sont aussi réduites par les **obstacles rencontrés** (immeubles, arbres...). Il y a également **beaucoup d'utilisateurs**. Les opérateurs **multiplient** donc **le nombre d'antennes relais haute fréquence en ville**, de façon à obtenir une bonne couverture réseau.

En **milieu rural**, les opérateurs n'ont pas ce genre de problèmes. Pour la 4G, ils privilégient donc la bande de fréquence autour de **800MHz** qui assure une distance de propagation **plus longue** et des cellules **plus grandes**. Ainsi **moins d'antennes relais** sont nécessaires.



Schéma du déploiement d'antennes en fonction du milieu

Cette **division "cellulaire"** du territoire permet de téléphoner en se déplaçant. Cela ne pose aucun problème lorsque l'on bouge de quelques mètres à l'intérieur de la cellule à laquelle on est connecté. Mais si l'on **s'éloigne** de l'antenne, le signal **faiblit** et la communication risque de s'interrompre. Pour éviter cela, le mobile **mesure** en permanence **la qualité des signaux alentours**. Et, il est capable de **basculer automatiquement** vers une autre antenne de l'opérateur, plus proche avec un meilleur signal. Ce saut de cellule est appelé **«handover »**, ou **« transfert intercellulaire »**.

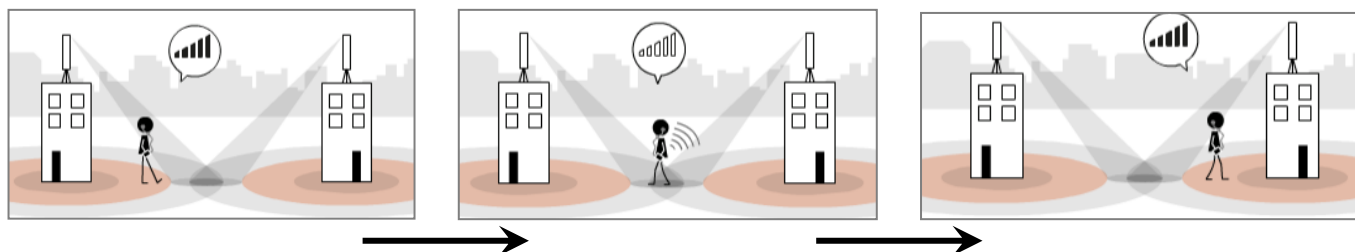


Schéma du transfert intercellulaire

Pour **éviter les risques sanitaires** liés à l'échauffement provoqué par ce type de rayonnement, la **puissance émise par les antennes relais est limitée**. On parle de **seuil légal d'exposition au champ magnétique** (ex : 41 V/m pour les ondes GSM, 58 V/m à 1 800 MHz). Ces valeurs sont-elles suffisamment basses ? C'est la question que posent les opposants aux ondes électromagnétiques et c'est le sujet que nous traiterons dans la suite de ce rapport.



## 2.2. Le WI-FI (Wireless-Fidelity)

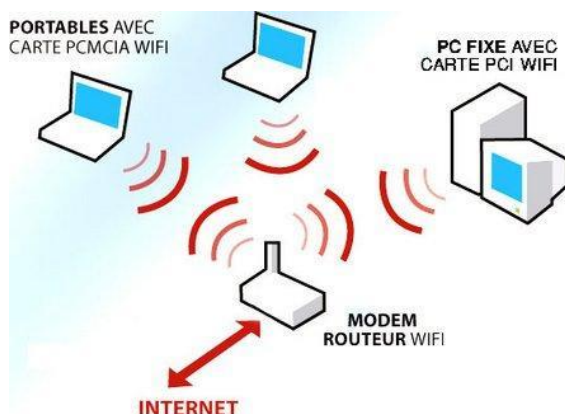
Contrairement aux réseaux que nous avons vu précédemment, le **Wi-Fi** est un **réseau local hertzien**, qui est destiné à la **transmission à haut débit et sans fil, de données informatiques**.

On le dit "**local**" à cause de sa **faible portée** due aux bandes de fréquences **élevées** émises à **faible puissance** : la distance de propagation est donc **courte**. Afin de limiter ses impacts sur le corps humain, la puissance émise par les équipements Wi-Fi (**~30 mW**) est vingt fois moindre que celle émise par les téléphones mobiles (**~600 mW**) . Un réseau Wi-Fi utilise deux bandes de fréquences : la bande des **2600 MHz (micro-ondes)** ou la bande des **5000 MHz (ondes radio)** pour transmettre des informations à travers un réseau.

La transmission Wi-Fi est **bi-directionnelle** :

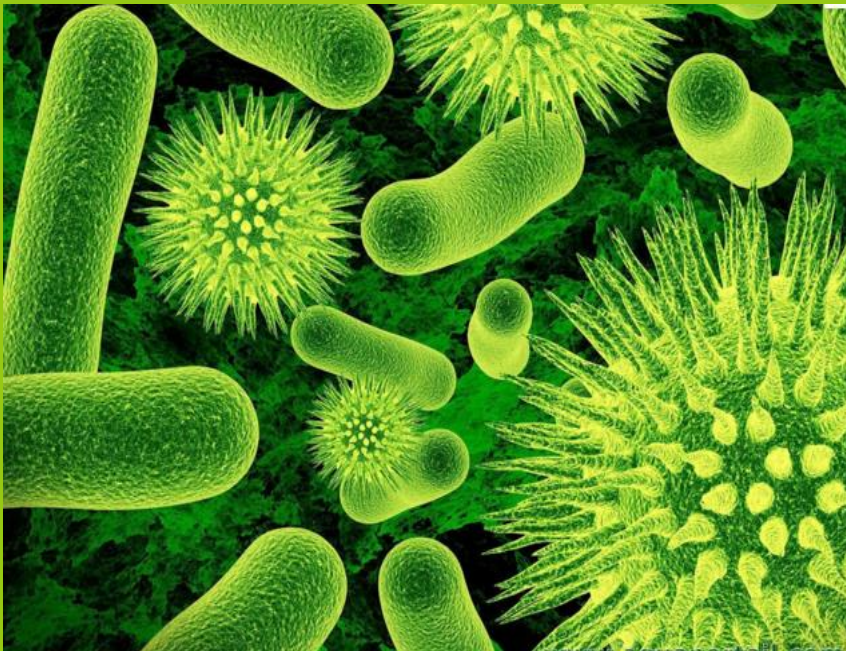
- Dans le sens **remontant**, l'objet qui se connecte doit posséder **un adaptateur réseau sans fil** pour se connecter et traduire les données envoyées, en un **signal radio**. Ce signal est transmis, par l'intermédiaire **d'une antenne**, à un décodeur : **le routeur**.
- Dans le sens **descendant**, les données reçues d'Internet devront également passer **par le routeur** pour être codées dans **un signal radio**, reçu par l'adaptateur de l'objet connecté. Le routeur est lui connecté à internet via **un réseau filaire (exemple : l'ADSL) ou un réseau mobile (3G/4G)**.

Le **Wi-Fi** est très pratique, car n'importe qui peut avoir rapidement **accès à internet sans fil**. Plusieurs objets connectés peuvent donc être **simultanément** connectés à internet, grâce à un seul et même **modem ou routeur**.





# 3. L'interaction entre micro-ondes et matière vivante



Notre téléphone portable nous est devenu indispensable, nous ne pouvons nous en passer. Si les effets des rayons ionisants, utilisés notamment dans l'imagerie médicale sont bien connus du fait de leur énergie élevée (nous y reviendrons), les effets des micro-ondes le sont beaucoup moins. Ces rayons étant dit "non-ionisants", le doute plane sur leurs effets tant au niveau cellulaire que moléculaire, et même sur leurs possibles effets en tant que rayons ionisants. Certains de ces effets ont été prouvés à plusieurs reprises, mais avec des études qui se contredisent. Certaines restent dans l'ombre, il est difficile de démêler le vrai du faux.

## 3.1. Les interactions onde-matière

Nous venons de voir qu'une onde électromagnétique transportait une énergie en Joules selon l'équation  $E=h*f$ .

Appliquons cette formule à **nos rayonnements de téléphones portables** (qui émettent -nous le rappelons- sur une fréquence de 900MHz et de 1800MHz). Nous prendrons ici **une fréquence de 1800 MHz** car c'est la plus énergétique donc potentiellement la plus dangereuse. Nous obtenons une énergie transportée de  $E=1.19*10^{-24}$  J soit de  $7.44*10^{-6}$  eV ( $=1.19*10^{-24}/1.60*10^{-19}$ ).

**Que devient donc cette énergie lorsque celle-ci entre en contact avec la matière ?**

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique rencontre une surface entre deux milieux, **trois types de phénomènes** sont possibles .

### Les trois phénomènes :

- **Réflexion**

Une partie du rayonnement peut **être réfléchi**, c'est à dire que ce rayonnement subit **un changement de direction tout en restant dans le milieu de départ**. Selon **les lois de Descartes**, le rayon réfléchi se trouve dans le plan qui contient à la fois le rayon incident et la normale au point d'incident (**N**) à la surface de séparation. De plus, l'angle de réflexion est le même que l'angle du rayon incident (**i=r** sur notre schéma page suivante).

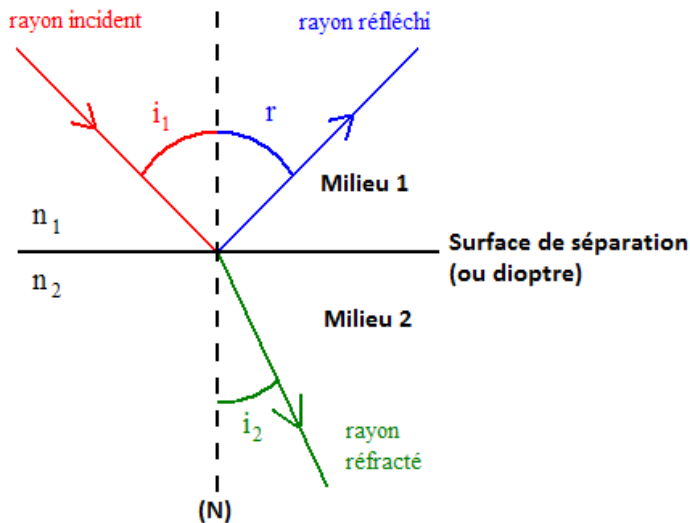
- **Réfraction**

Si le second milieu est **plus ou moins transparent aux ondes**, une partie du rayonnement peut aussi être **réfracté** (transmis au travers de celui-ci). La propagation des ondes dans un milieu se traduit au moyen d'un indice de réfraction, noté **n**, qui est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (**c**) et sa vitesse dans le milieu considéré (**v**), d'où  $n=c/v$ .



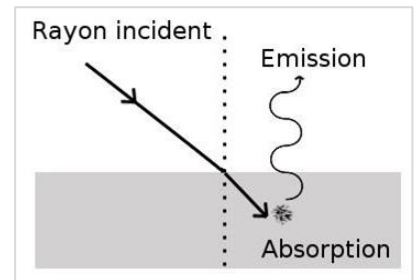
Ainsi, ce rayonnement peut pénétrer le second milieu où il est réfracté : il change de direction lorsqu'il atteint la surface séparant **deux milieux d'indice de réfraction différents**, il le traverse donc avec une **direction de propagation différente**. On note aussi que si l'indice de réfraction du milieu 2 est **plus important** que celui du milieu 1, le rayon réfracté **se rapproche** de la normale, **et inversement**.

**Remarque** : lorsque l'indice de réfraction du second milieu est plus petit que celui du premier, il existe une valeur de l'angle d'incidence  **$i$**  appelée angle de réfraction limite pour lequel l'angle de réfraction atteint la valeur maximale de  $90^\circ$ . Au-delà de cette valeur il n'y a plus de rayon réfracté, la lumière est réfléchie totalement, c'est la réflexion totale.



- **Absorption**

Le rayonnement électromagnétique est composé de particules d'énergies quantifiées, **les photons** (comme nous l'avons vu plus haut). L'énergie de ces photons peut être **transmise à d'autres particules**, c'est ce qu'on appelle **l'absorption** : les photons disparaissent, l'énergie électromagnétique est **absorbée** et est **transformée** en



**Mais, tous les photons ne peuvent être "absorbés"** par toutes les particules (c'est bien évidemment l'énergie qui est absorbée, mais le photon étant de l'énergie...), l'énergie de la matière est aussi **quantifiée** : elle ne peut pas prendre toutes les valeurs. On distingue deux cas pour l'absorption, celui de **l'atome** et celui de **la molécule**.

## L'interaction avec la matière

- **L'atome**

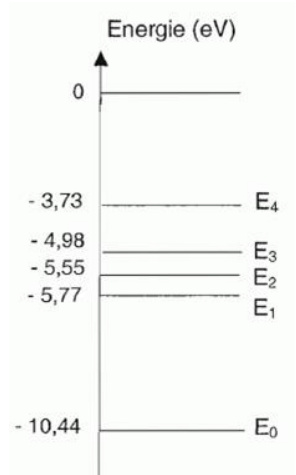
Dans l'atome, lorsqu'il y a **absorption**, ce sont les électrons qui changent **de niveau électronique**, et à chaque niveau correspond une énergie déterminée pour l'atome étudié, appelée **niveau d'énergie** (ces niveaux d'énergies sont quantifiés).

Le niveau d'énergie le plus bas d'un atome est appelé l'état fondamental (E0 dans le diagramme pris pour exemple), tandis que les niveaux d'énergie supérieurs sont nommés les états excités (E1, E2, E3, E4).

Pour changer de niveau, l'atome doit gagner ou perdre un paquet d'énergie strictement égale à l'écart entre le niveau initial (pas forcément l'état fondamental) et le niveau final.

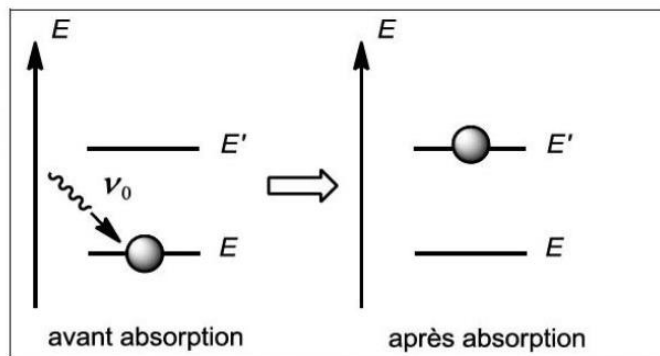
Prenons un exemple sur le diagramme ci-contre qui représente certains niveaux d'énergie de l'atome de mercure.

Cet atome pourrait par exemple absorber un photon d'énergie E=4.67 eV (= -5.77 - (-10.44)) en passant de l'état fondamental (E0) à l'état excité E1.



• **La molécule**

Comme pour un atome, une onde électromagnétique de fréquence  $\nu_0$  peut être absorbée par une molécule, qui va ainsi passer d'un niveau énergétique à un autre. L'absorption n'est possible que si l'énergie de l'onde correspond à la différence entre les deux niveaux énergétiques.



Molécule passant d'un niveau d'énergie E à E' sous l'influence d'un rayonnement de fréquence  $\nu_0$

L'énergie propre d'une molécule peut être décomposée en trois termes indépendants :

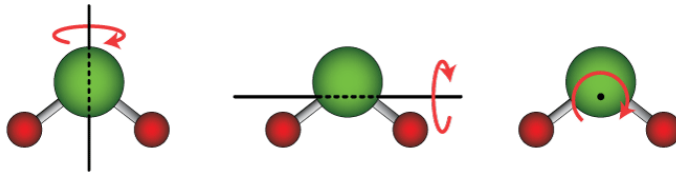
- l'énergie électronique, soit l'énergie liée aux électrons (comme pour l'atome)
- l'énergie vibrationnelle, associée aux mouvements des atomes autour de leur position d'équilibre sans mouvement d'ensemble, comme si les atomes s'éloignaient et se rapprochaient, les liaisons faisant office de "ressorts"



Vibrations possibles d'une molécule



- **l'énergie rotationnelle**, associée aux mouvement de rotation de la molécule autour d'un axe

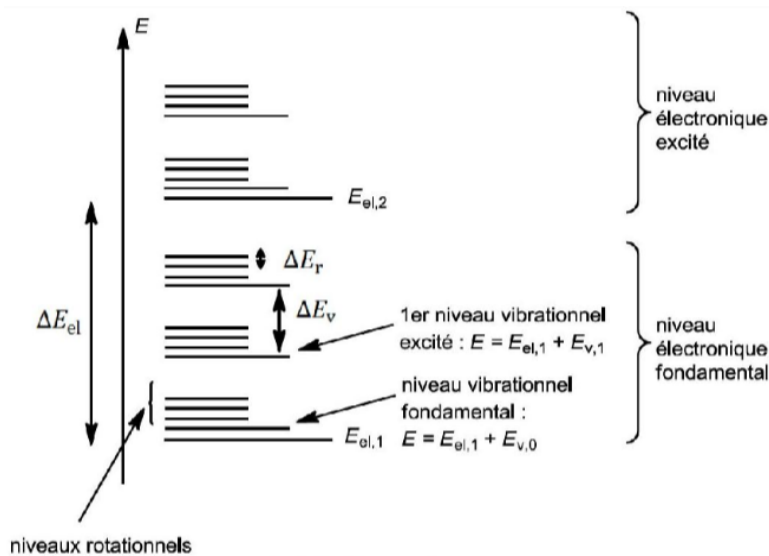


**Rotations possibles d'une molécule**

Toutes ces énergies sont **quantifiées**, et la différence entre deux niveaux électroniques, vibrationnels ou rotationnels ne sont pas du tout du même ordre de grandeur, comme nous pouvons le voir sur le graphique représentant les niveaux d'énergie d'une molécule.

$$\Delta E_{\text{rotationnelle}} \ll \Delta E_{\text{vibrationnelle}} \ll \Delta E_{\text{électronique}}$$

Ordres de grandeur :  $\Delta E_{\text{électronique}}$  150 à 2400 kJ.mol<sup>-1</sup> |  $\Delta E_{\text{vibrationnelle}}$  5 à 150 kJ.mol<sup>-1</sup> |  $\Delta E_{\text{rotationnelle}}$  1.2 à 5 kJ.mol<sup>-1</sup>



**Niveaux énergétiques**

Ainsi, on peut en déduire des ordres de grandeur précédent les fréquences des rayonnements électromagnétiques absorbés selon **le type de transition** :

- **Transitions électroniques** : domaine de l'UV-Visible
- **Transitions vibrationnelles** : domaine du proche infrarouge
- **Transitions rotationnelles** : domaine de l'infrarouge lointain et des micro-ondes (ce sont celles qui nous intéressent)

L'énergie ainsi gagnée peut être **retransformée** soit par émission d'un photon (d'énergie aussi égale à la différence entre deux niveaux d'énergie), soit en agitation particulière (augmentation de la vitesse d'une particule), soit par contact avec une autre molécule ou atome.

**Remarque:** Certains de ces phénomènes peuvent intervenir en même temps, un rayonnement peut ainsi à la fois être absorbé, réfracté et/ou réfléchi.

Il existe aussi **un paramètre important** qui influe de manière significative la manière dont les rayonnements interagissent avec la matière vivante, car pour l'instant nous n'avons parlé que d'atomes et de molécules, pas de matière vivante. **L'absorption de l'énergie dépend des propriétés de la matière.** Lorsque la matière est conductrice, les bandes d'absorption sont plus larges. Or la matière vivante est principalement composée d'eau et d'ions, donc plus elle en contient, plus les éléments sont capables d'absorber une plus large "gamme" d'énergie.

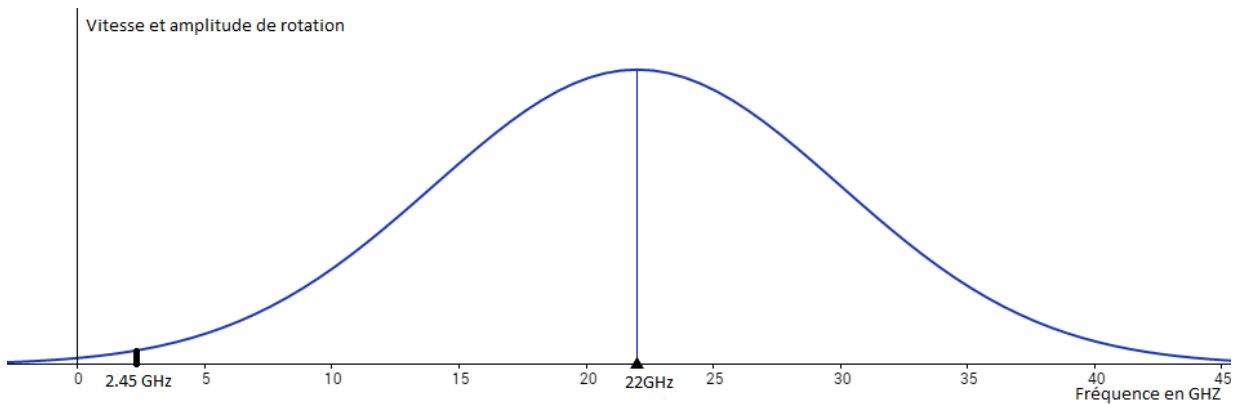
**Note:** *Nous n'avons pas abordé l'effet ionisant des ondes dans cette partie, non pas parce que les micro-ondes ne sont pas concernées par ce phénomène (il semblerait au contraire que si), mais parce que nous l'abordons plus tard même si cela fait partie de la façon dont les ondes interagissent avec la matière.*

## 3.2. Des effets thermiques mis en évidence

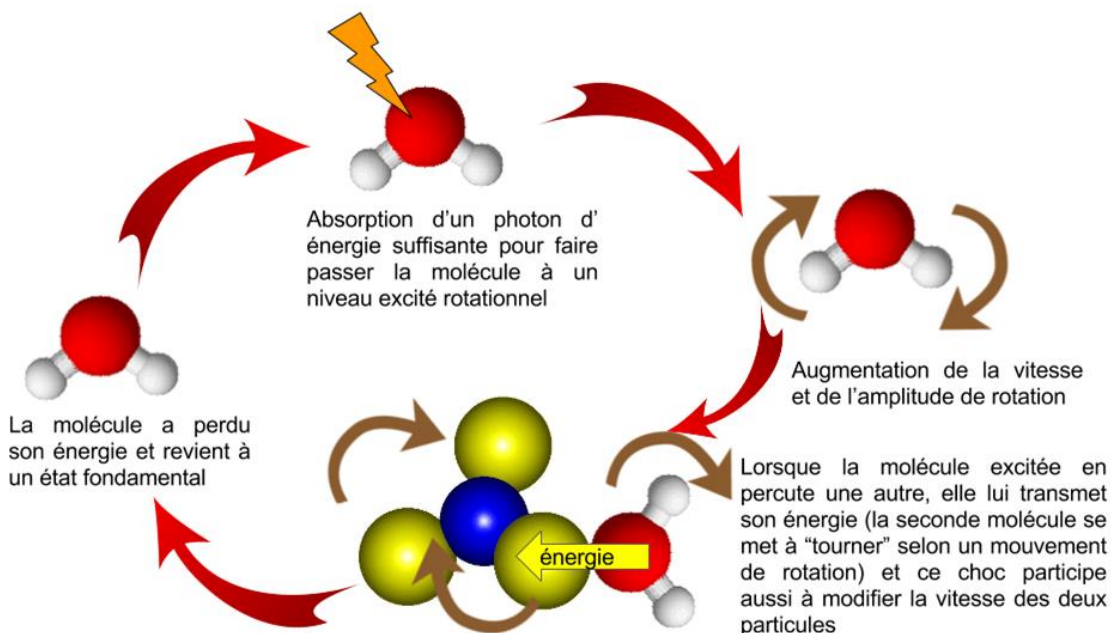
La matière est capable **d'absorber l'énergie** portée par un rayonnement électromagnétique, et cette énergie peut permettre **une agitation de la particule absorbante.** Cette agitation, se transmettant de particules en particules, se traduit au niveau macroscopique **par de la chaleur.** Étant donné que les micro-ondes sont principalement concernées par la transition rotationnelle, prenons l'exemple **du four à micro-ondes**, qui comme son nom l'indique, utilise **des micro-ondes pour chauffer les aliments.**

Le micro-onde est basé sur **l'absorption d'un photon** proche de la bande énergétique rotationnelle des molécules d'eau. La molécule d'eau présente **trois fréquences de résonance** (pour une transition rotationnelle) **dans la gamme des micro-ondes** (et d'autres dans l'infrarouge), une à **22 GHz**, une autre à **183.3GHz**, et une dernière à **325,4 GHz**. Cependant, la fréquence de résonance se présente comme **une valeur moyenne**, la molécule peut encore, dans une certaine mesure, absorber ou émettre des photons de fréquence **plus basse ou plus haute.**

On s'intéressera ici exclusivement **à la première de ces fréquences (22GHz).** Le graphique de la page suivante présente, pour l'eau, la courbe de résonance et la vitesse/amplitude de rotation de la particule qui en résultera.



Si l'on envoie un photon (excitateur) à 22GHz, on voit **une énorme augmentation de la vitesse de rotation** mais aussi de **l'amplitude de rotation**. Lorsque, cette dernière percutera d'autres particules, elle leur **transmettra tout d'abord son énergie**, puis ce "choc" **modifiera la vitesse de ces particules**, en les accélérant, mais aussi leur amplitude. Cela se traduira par **la production de chaleur**, car la chaleur se traduit par **l'agitation de particules**. **La température d'une molécule n'est rien d'autre que la vitesse moyenne à laquelle elle s'agite.**



Dans le four à micro-ondes, **la fréquence émise est de 2.45 GHz**. On se place à environ **un dixième du "pic" de rotation**, car si l'on soumettait les aliments à une fréquence de 22GHz, les molécules d'eau accumuleraient trop d'énergie et les autres aliments carboniseraient (le choc physique créé par les particules excitées provoquerait une rupture des liaisons). Mais si l'on se mettait à 0.2GHz, il n'y aurait pas d'effet suffisant.

**Donc, plus le nombre de chocs augmente, plus l'agitation des particules augmente, et plus la température augmente.**

Cet exemple n'est pas propre au four à micro-ondes, car **tous les niveaux excités** (électronique, vibrationnel et rotationnel) **sont capables de produire de la chaleur** (nous parlons de niveau excité car les particules sont excitées).

Les effets thermiques des ondes électromagnétiques et en particulier des micro-ondes sont **bien connus**. Une telle augmentation de température est **dangereuse** pour les cellules, et peut les tuer. Car en effet, la chaleur peut provoquer **une déformation de la structure des protéines** voire même **une déformation de la structure de l'ADN** (on parle de dénaturation) qui ne peuvent plus accomplir leur(s) fonction(s), des lésions peuvent aussi apparaître, le tout peut mener à **une rupture de l'activité cellulaire**, donc à **la mort de cette cellule**.

Pour les molécules d'eau, les scientifiques considèrent que l'absorption des ondes au niveau rotationnel ne serait négligeable qu'en dessous de **0.1 GHz**, alors que nos téléphones fonctionnent principalement à **0.9 GHz et à 1.8 GHz**.

Cependant, c'est à une puissance de **800W** que fonctionne l'appareil électroménager alors que les téléphones portables...**250mW maximum** ! Même si la fréquence est la même et donc l'énergie portée par les photons est la même, la puissance est différente, **le débit de photons est donc moindre** pour un téléphone portable, ce qui fait **un débit d'énergie moins important**.

C'est ainsi pour palier ce problème de chaleur qu'une norme a été mise en place pour les GSM, elle se nomme le **DAS (Débit d'Absorption Maximum)**, est de **2W/Kg** (de chair exposée) et correspond à **la dose maximale de rayonnement que peut absorber un tissu** pour qu'il puisse par la suite réguler les écarts de température sans endommager son fonctionnement.

**Nous nous interrogeons donc maintenant sur les effets non-thermiques des micro-ondes, car un téléphone portable ne produit de nos jours pas de chaleur du fait de ces rayonnements, ou du moins pas assez pour endommager nos cellules.**

## **3.3.La structure cellulaire et le fonctionnement atteint**

Ce sont donc **les effets non-thermiques** des micro-ondes qui nous intéressent maintenant, de nombreuses études ont montré des effets à l'échelle de la cellule non négligeables. L'interrogation essentielle des chercheurs est de savoir si ces ondes artificielles peuvent avoir des conséquences sans élévation de température. Nous verrons ainsi ici **les différents aspect de cette atteinte à la cellule**.

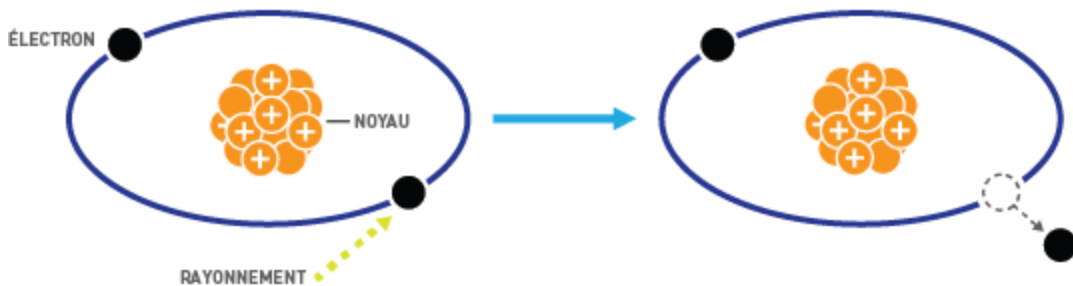
### **Une augmentation des radicaux libres : un rayonnement donc ionisant ?**

Les micro-ondes sont des rayonnements dit "**non-ionisants**", cependant, il semblerait qu'ils puissent avoir **les mêmes "pouvoirs" que leurs frères, les rayonnements ionisants**.

Une équipe de l'université de Gazi (Turquie), menée par Nesrin Seyha, a exposé des **lapins blancs** de Nouvelle-Zélande à des **ondes de 1800 MHz** quotidiennement pendant 15 minutes, et a observé **une augmentation significative de radicaux libres dans le cerveau des animaux exposés** (c'est en réalité une augmentation de Malondialdéhyde et de 8-Oxo-2'-désoxyguanosine qui sont tous deux des produits d'oxydation qui a été observée). Ce n'est pas la seule, **de nombreuses recherches confirment ces données**, comme par exemple celle du Docteur Hamzani, à Tel Aviv, qui a mis en évidence qu'une exposition aux ondes d'un téléphone portable provoquait **un stress oxydatif** sur les tissus (c'est l'agression chimique sur les constituants de notre organisme dû à un excès de radicaux libres).

Mais tout d'abord, il convient d'expliquer ce qu'est **un radical libre** et comment il peut se former sous l'influence d'un rayonnement électromagnétique.

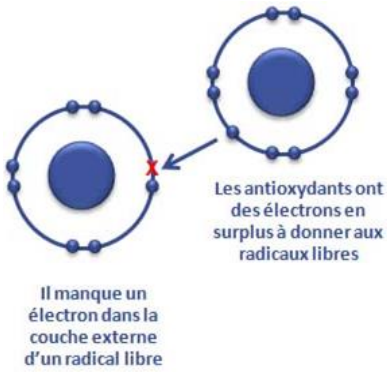
Un radical libre est **une espèce chimique**, atome ou molécule, qui possède un ou plusieurs électrons non appariés sur sa couche externe (on les appelle des électrons célibataires). Il a donc perdu un ou plusieurs électrons de sa couche externe. Cette caractéristique le rend **instable** et lui procure **une grande réactivité vis à vis des molécules environnantes**. De plus, un radical libre se stabilise au détriment de la molécule voisine, qui devient à son tour un radical libre, et ainsi de suite. Le phénomène se propage par des réactions en chaînes.



Nous l'avons vu dans la partie précédente, un atome ou une molécule est **capable d'absorber de l'énergie** provenant d'un rayonnement électromagnétique. Dans le cas présent, nous considérons des transitions électroniques. Mais lorsque l'énergie portée par le rayonnement est assez puissante (cela varie en fonction de l'espèce chimique, mais la bibliographie physique donne une valeur générale :  $100 \text{ kJ.mol}^{-1}$ ), l'électron va se **"détacher"** de sa couche, **créant un élément instable** : il n'est plus électriquement neutre et ne respecte plus les règles du duet (2 électrons sur la couche externe) et de l'octet (8 électrons sur la couche externe). De plus, lorsque ce sont des molécules qui sont atteintes, l'électron enlevé peut faire partie d'un doublet liant (= liaison covalente entre deux atomes d'une molécule) et ainsi **briser les liaisons entre atomes d'une molécule** ! Ce phénomène est normalement propre aux rayonnements ionisants (domaine de l'UV, et des rayons X et Gamma), mais il semblerait, selon certaines études citées plus haut, que **les micro-ondes soient aussi concernées**.

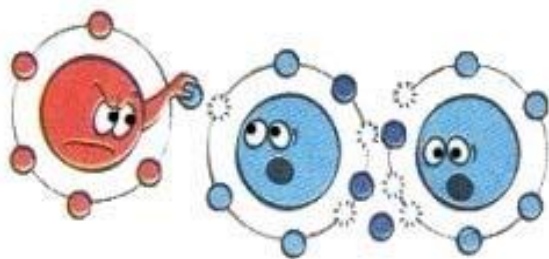
Pour obtenir un radical, il faut donc en moyenne **100 kJ.mol<sup>-1</sup>**, ce qui nous donne 1eV de nécessaire par molécule pour avoir cette ionisation ( $100 \times 10^3 / 6.022 \times 10^{23} = 1.66 \times 10^{-19} \text{ J} \approx 1\text{eV}$ ). L'énergie délivrée par un rayonnement de 1800 MHz est de **7.44\*10<sup>-6</sup> eV**, il faudrait donc **10 000 fois cette puissance pour provoquer une radicalisation**. Statistiquement, c'est impossible, mais de nombreuses études montrent le contraire, et il ne faut pas oublier qu'en physique quantique, tout est possible.

Ainsi, c'est un élément instable qui est créé, et qui réagit avec un plus grand nombre de molécules. **Les conséquences sur l'organisme en sont graves.**



Si les radicaux libres sont naturellement produits par notre organisme (lors des réactions provoquées par les mitochondries, cellules énergétiques de nos cellules permettant de produire l'énergie nécessaire à leur fonctionnement) et qu'il existe des antioxydants capables de palier ce problème (en donnant des électrons à ces radicaux pour les stabiliser), **un excès de ces radicaux en dehors de la "dose" normale ne peut plus être régulé par l'organisme.**

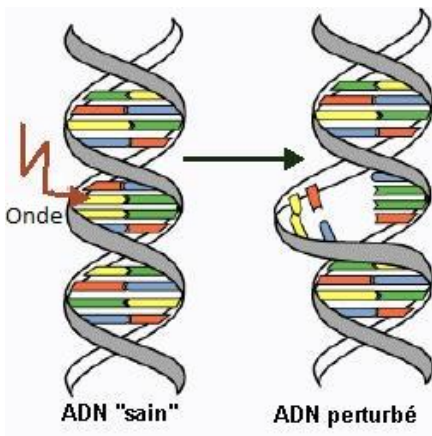
Ces radicaux libres sont **très instables** et cherchent à tout prix à récupérer leur(s) électron(s) manquant afin de se compléter et de **retrouver un équilibre**, et ce en s'attaquant à tout ce qui se trouve sur leur passage. Ainsi, tous les éléments de la cellule sont **"attaqués"**, des éléments de la structure même de la cellule (la membrane par exemple) jusqu'aux éléments du noyau (donc l'ADN!) en passant par les protéines. Certaines cellules peuvent être **détruites**, d'autres peuvent **muter**, et certaines **assurer un fonctionnement que partiel**.



En entraînant **une dégradation graduelle des cellules**, les radicaux libres seraient **les premiers responsables du vieillissement prématuré**. De plus, ces derniers sont liés à de **nombreuses maladies**, notamment **les maladies dégénératives** (Alzheimer par exemple) et **surtout les cancers**.



Ces études laissent le doute quant aux **effets mutagènes** des ondes émises par les téléphones mobiles. En réalité, certaines l'ont démontré, notamment dans le rapport Reflex. Financé par 7 états européens et coordonné par le Pr. Franz Adlkofer, ce rapport d'études démontre qu'une **exposition chronique de très faible intensité** aux champs électromagnétiques de la téléphonie mobile **provoque des ruptures simples et doubles de brins d'ADN** sur les cellules humaines. Si ces rayonnements sont capables de léser la matière et de pénétrer au sein même des cellules, **ils pourraient blesser l'ADN**. Ce dernier se situe dans le noyau de la cellule (pour les cellules eucaryotes), contient **toute l'information génétique** de cette dernière, et est **essentiel à son fonctionnement** (les gènes commandent l'expression des protéines, qui accomplissent diverses fonctions dans la cellule).

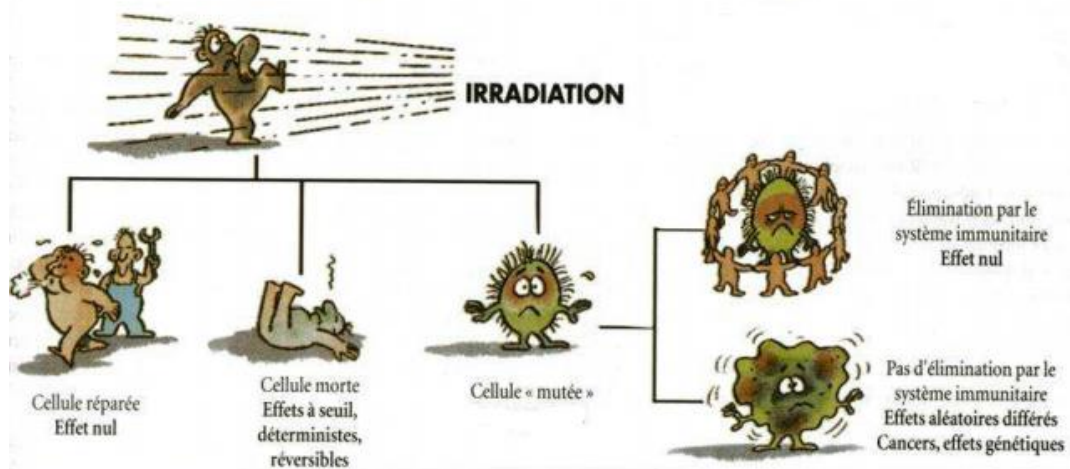


Ces rayonnements pourraient ainsi **créer des radicaux libres** au niveau des nucléotides; ou des radicaux libres, créés par les rayonnements mais à d'autres endroits de la cellule, pourraient aussi transmettre leur instabilité aux molécules composant l'ADN. Les nucléotides sont les unités de bases de l'ADN, chaque nucléotide code pour un acide aminé précis, les protéines étant des assemblages d'acides aminés, une séquence de nucléotides code pour une séquence d'acides aminés. La modification d'un seul nucléotide peut donc **entraîner la production d'une protéine défectueuse** qui n'accomplit plus sa fonction de base. Ainsi, **les ondes émises par le téléphone portable pourraient être à l'origine de mutations de l'ADN**.

Si des **systèmes de réparations** sont présents dans l'organisme afin de réparer ces erreurs, certaines mutations échappent à ces mécanismes en raison du nombre important de nucléotides présent dans chaque cellule (environ 6 milliards de nucléotides par cellule pour l'être humain). Si elles ne sont pas "réparées", **les mutations peuvent conduire soit à la mort de la cellule** (de son propre-chef, l'apoptose, ou par le système immunitaire), **soit conduire à l'apparition de nouveaux caractères au sein de la cellule**. Si les mutations sont le fondement de la bio-diversité, de nombreuses maladies sont liés à celles-ci, **les maladies génétiques**. Et lorsque les gènes atteints sont ceux chargés de synthétiser des protéines qui régulent des fonctions cellulaires importantes (comme la mitose, division cellulaire, ou l'apoptose, la mort programmée), les mutations peuvent entraîner **des tumeurs** (prolifération cellulaire anarchique), ce qui peut amener à **des cancers**.

Les cellules mutées peuvent se diviser et transmettre leur matériel génétique modifié à leurs cellules filles, et lorsque ce sont des cellules somatiques qui sont atteintes (gamètes ou cellules les produisant), **la mutation devient héréditaire**.

## Conséquences de l'irradiation d'une cellule



Mais **attention à ne pas mélanger effets biologiques et effets sanitaires**, et à ne pas tirer de conclusions hâtives. Il existe certes un risque d'augmentation de radicaux libres lors qu'une exposition normale aux ondes d'un téléphone portable, mais **nous ne savons pas avec certitude si ce risque est assez grand pour provoquer de tels dégâts à l'échelle de la cellule et de telles maladies à l'échelle de l'organisme.**

### Expression de protéines traduisant un stress

Mais la matière vivante peut-elle réagir à des rayonnements dont la puissance se situe sous les limites légales sans qu'aucun transfert d'énergie ne soit détectable par les instruments de mesures des physiciens ?

Cette question a notamment été le sujet de recherche de l'équipe d'Alain Vian et de Gérard Ledoigt, tous deux alors professeurs à l'université Blaise Pascal à Clermont-Ferrand, qui se sont intéressés à **l'impact des facteurs environnementaux sur la physiologie des plantes**. Le cas des plantes est intéressant à considérer car ce sont déjà des êtres vivants qui sont spécialisés dans le captage de rayonnements électromagnétiques (la lumière par exemple lors de la photosynthèse) et qui sont dépourvus de psychologie : on ne pourra reprocher aux résultats obtenus les effets psychosomatiques (troubles physiologiques occasionnés ou aggravés pas des facteurs psychiques). Ces chercheurs ont voulu savoir si cette capacité à capter des rayonnements électromagnétiques pouvait s'étendre à des longueurs d'ondes différentes.

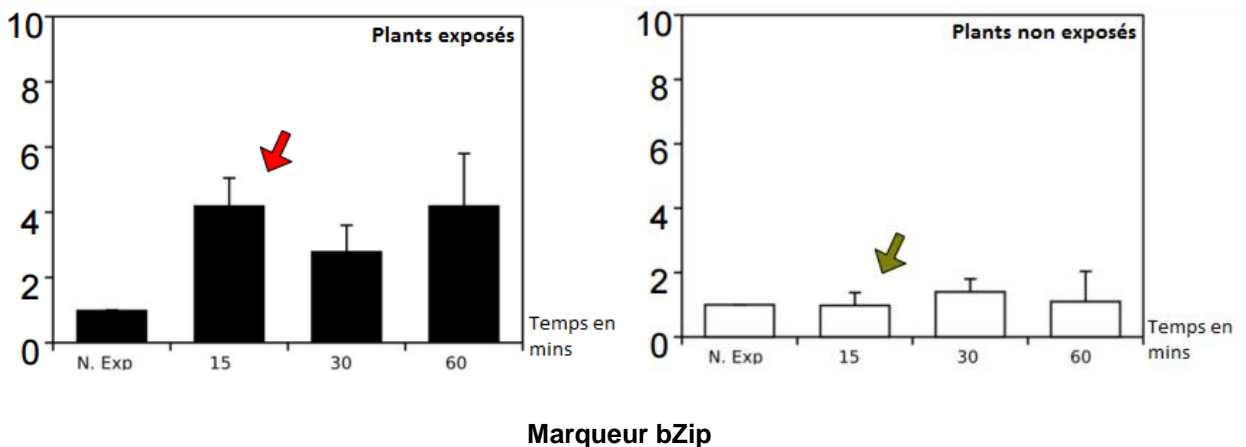
Dans une chambre réverbérante à brassage de mode permettant de contrôler les rayonnements et de garantir la même exposition à la même intensité à n'importe quel endroit de la pièce, ils **exposent des plants de tomates pendant 10 minutes à une fréquence correspondant à celle d'un téléphone portable (ici 900MHz)**, et en dessous des limites légales du DAS (nous en avons parlé plus haut) afin d'éviter tout effet thermique.

L'expérience révèle que **les plantes exposées réagissent**, certains gènes de la tomate se comportent comme si les cellules avaient été agressées : la cellule se met rapidement à produire des **protéines liées à la situation de stress cellulaire**. Il est montré une augmentation de la protéine Pin2 par exemple, qui est une protéine typique des solanacées (famille de la tomate), et qui est fabriquée par les plantes lorsqu'elles sont attaquées par des insectes (ces protéines perturbent la digestion des insectes, et qui amène donc une certaine protection à la fin).

En plus de cette réaction directe de défense, **une augmentation de protéines exprimée lors d'une situation de stress** est observée. C'est en réalité une augmentation d'ARN messager correspondant à ces protéines qui est notée (ce qui traduit la demande de la cellule pour ces protéines), notamment du marqueur bZip (facteur de transcription, molécule qui se fixe sur l'ADN et qui va permettre l'expression d'autres gènes de défense) ce marqueur est associé à **une situation de brûlure** selon le Pr. Vian.

Des gènes de calcuprotéines sont aussi exprimés (calmoduline, protéine kinase, etc) dont les protéines sont situées dans la chaîne de réponse cellulaire à un stress et qui nécessitent la présence de calcium (dont le transfert est induit par stress, selon le Pr. Ledoigt).

Vous pouvez voir sur le graphique ci-dessous l'évolution de l'accumulation des transcrits bZip en fonction du temps, le profil est quasiment le même pour tous les marqueurs : on observe une accumulation qui atteint 4 fois au bout de 15 minutes, puis elle diminue à 30 minutes pour ré-augmenter au bout de 60 minutes. Le Pr. Vian qualifie cette caractéristique, d'aspect triphasique de la réponse : une première accumulation rapide puis une décroissance et une deuxième accumulation plus tardive. C'est une caractéristique, selon lui, que l'on reprend très souvent lorsque l'on étudie les réponses des végétaux à un stimulus environnemental lésant ou non lésant.



Ainsi, **les ondes des téléphones portables sont à la fois perçues par les plants de tomates comme une agression**, mais ces dernières sont capables d'y faire face et de répondre.

Les chercheurs ne se sont pas arrêtés là, ils voulaient maintenant savoir si des organismes non-photosynthétiques pouvaient percevoir ces rayonnements. En effet, les plants de tomates possèdent des chloroplastes (comme toutes les cellules photosynthétiques) dont nous avons parlé plus haut, ces organites sont capables de percevoir un rayonnement électromagnétique et de le traiter : c'est leur rôle lors de la photosynthèse, mais normalement avec les longueurs d'ondes du visible. La question était donc de savoir si les mêmes réactions étaient observées sur des organismes non-photosynthétiques.

Les chercheurs ont donc refait leur **expérience sur des cellules de tissus de peau humaine** (des kératinocytes, cellules constituant 90% de la couche superficielle de la peau, l'épiderme) et ont observé des **résultats similaires**, mais avec un facteur de temps 3 à 4 fois plus long : les cellules des tissus mettaient en moyenne une heure à réagir, contre 15 minutes pour les plants de tomates, et les **réactions étaient moins intenses**. Les résultats de cette expérience n'ayant pas été publiés, nous n'avons pas pu obtenir les protéines exactes relevées (nous savons seulement que l'expression de calmoduline s'est retrouvée ici).

Ce ne sont pas les seuls à avoir réalisé de telles expériences sur les protéines liées au stress, mais c'est la plus connue et la plus citée dans les revues scientifiques. Cependant, ils n'ont pas mis en évidence l'expression de protéines de choc thermique (protéines chaperonnes exprimées lors d'un stress cellulaire qui sont capables de "réparer" d'autres protéines, nous en reparlerons), ils ont testé le gène HSP 70 mais n'ont remarqué aucune différence d'expression.

D'autres chercheurs ont mis en évidence ces **protéines de choc thermique**. En 2000, De Pomerai et ses collègues ont démontré l'existence d'effets biologiques non thermiques chez le vers nématode, se caractérisant par l'induction de HSP16 à la suite d'une **exposition de 18h à des rayonnement de 750MHz à 0.5W/Kg**. Ils expliquent qu'une augmentation de la température de l'animal exposé ne semble pas être la cause de cette réponse cellulaire. Selon eux, le mécanisme cellulaire serait déclenché par un effet non-thermique.

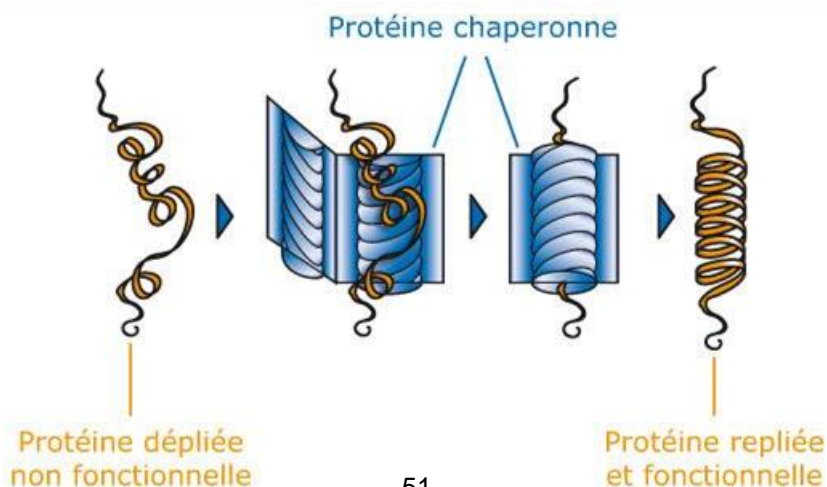
En 2002, Leszczynski et son équipe (Finlande), qui ont exposé des cellules endothéliales d'origine humaine (cellules qui tapissent la couche la plus interne des vaisseaux sanguins, celle qui est en contact avec le sang) à un rayonnement par impulsion de 900MHz et à une puissance de 2.4W/Kg (supérieur au DAS autorisé en France, qui est de 2W/Kg) pendant une heure. Les chercheurs ont noté **l'augmentation de production de la protéine du stress HSP 27**, dont la proportion aurait triplée par rapport aux cellules non-exposées.

Cependant, cette production était passagère et n'était plus présente 1 à 4 heures après l'exposition. Selon eux aussi, les effets étaient non-thermiques. Enfin, la dernière étude que nous citerons est celle de l'équipe du Pr. Calabrò, qui a mis en évidence une modulation de l'expression d'HSPs dans des cellules neuronales (HSP 70 et HSP 27 augmentent, HSP 20 diminue).

### Quelles sont donc les fonctions et les conséquences de ces protéines liées au stress, ces fameuses *Heat Shock Proteins* ?

Tout organisme, des bactéries jusqu'à l'homme, est doté de mécanismes qui lui permettent de résister à de brusques changements de son environnement. Face à une situation qui peut compromettre la survie cellulaire (hyperthermie, processus inflammatoires, etc...), les cellules expriment des protéines connues sous le nom de **protéines de choc thermique, aussi appelées heat shock proteins ou HSP** (attention, ce n'est pas parce qu'elles se nomment protéines de choc thermique qu'elles n'interviennent que lors d'une variation de température, elles interviennent dans une multitude de stress cellulaire). Ces HSP forment une famille de protéines remarquablement bien conservée au cours de l'évolution, des bactéries jusqu'à l'homme. Elles sont classifiées en fonction de leur poids moléculaire : 27 kiloDaltons (kD), 70kD, 90kD, etc.

Cette réponse cellulaire est placée sous le contrôle de facteurs de transcriptions spécifiques, les facteurs de choc thermique (*Heat Shock Factors, HSF*). **En réponse au stress, ces protéines sont produites et agissent comme molécules chaperonnes pour réparer les protéines endommagées.** Ces protéines chaperonnes entourent les protéines et leurs imposent une structure spécifique, mais si cela est impossible, elles déclenchent la destruction des protéines défectueuses par le biais d'autres enzymes. La structure d'une protéine est très importante car c'est en partie cette caractéristique qui va donner les différentes caractéristiques de la protéine. En l'absence de stress environnementaux dans les cellules vivantes, l'activité de ces protéines chaperonnes est principalement destinée au repliement initial des protéines nouvellement synthétisées, permettant ainsi de leur donner une conformation active.





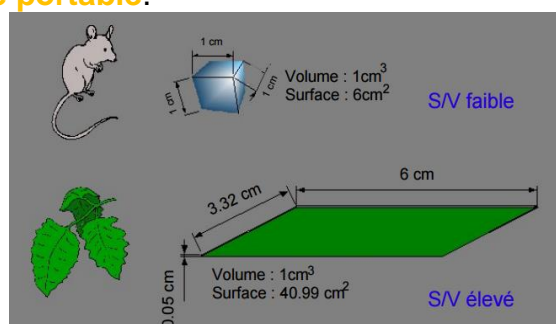
Selon l'équipe de De Pomerai, **les micro-ondes pourraient rompre les liaisons de faible énergie** (les liaisons hydrogène notamment, comme nous l'avons vu dans la partie sur les radicaux libres) qui maintiennent la structure spatiale des protéines et donc l'activité biologique. En réponse, les mécanismes de régulation déclencheraient la synthèse massive des HSP.

Les ondes pourraient également **déclencher un stress oxydatif connu pour induire la synthèse d'HSP**. Une autre possibilité avancée par les auteurs est la dérégulation du contrôle de la synthèse des HSP.

Si **ces protéines sont bénéfiques dans certains types de maladies**, notamment les maladies dégénératives (Alzheimer, Parkinson) qui sont caractérisées par un dépôt de protéines dysfonctionnelles, elles ne le sont pas du tout dans les thérapies cancéreuses, et pourraient même **favoriser le développement de tumeurs cancéreuses** (division anarchique et non contrôlée de cellules "immortelles", ne répondant plus aux signaux de destruction cellulaires). Les HSP sont abondamment fabriquées dans les cellules cancéreuses et interfèrent avec les substances anti-cancéreuses. De plus, étant donné que ce sont des protéines de survie, elles participent à la résistance à l'apoptose (processus par lequel les cellules déclenchent leur auto-destruction) et à faciliter leur capacité à échapper à la surveillance immune. Enfin, selon Mr. Le Ruz, président du Criirem, que nous avons contacté pour une interprétation des résultats de notre expérience, **une surexpression de HSP peut expliquer un dysfonctionnement dans la production d'hormones de croissance chez les plantes (les auxines)**.

Il y a cependant **de grosses limites aux expérimentations** : les organismes observés sont des organismes se développant en surface (les feuilles de plants de tomates et les cultures de cellules de kératinocytes), contrairement à **l'animal** ou à **l'être humain**, qui eux **se développent en volume** (mis à part les vers de De Pomerai, mais leur volume n'est guère imposant). Cela influence de manière très importante la proportion de cellules situées à l'interface directe des rayonnements électromagnétiques (sur le schéma ci-dessous, il y a presque 7 fois plus de surface exposée sur des végétaux que sur un animal pour le même volume).

Prudence donc à **ne pas extrapoler ces résultats à l'humain**. Nous avons observé des effets biologiques, et non des effets sanitaires, il ne faut pas mélanger les deux. Encore une fois, le risque existe, mais face au manque d'études sur l'humain et aux conflits d'intérêts que posent ce sujet, **personne ne sait avec certitude quels dangers biologiques exacts représentent le téléphone portable**.





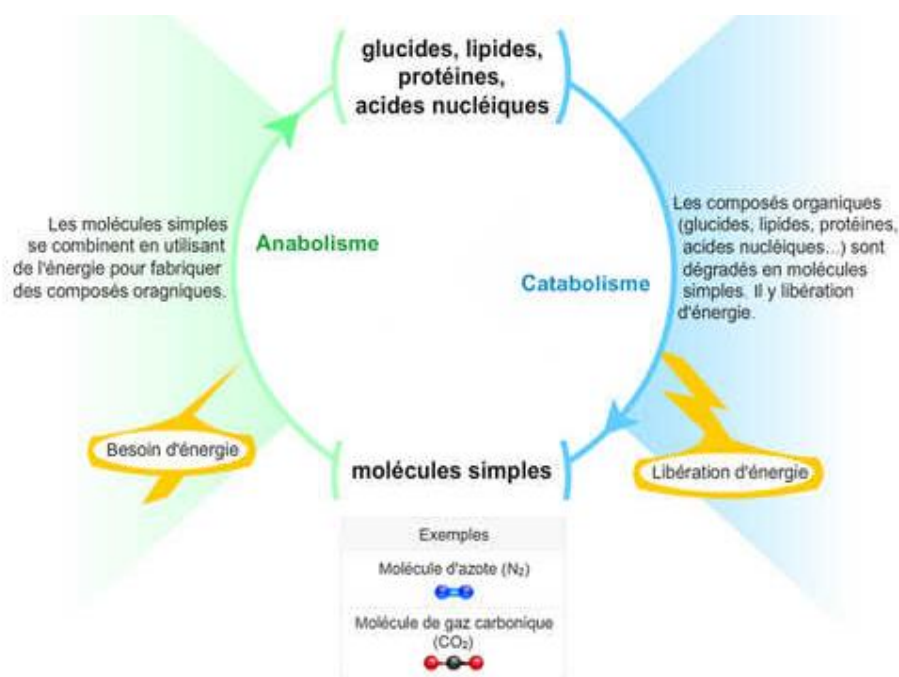
## La chute du métabolisme énergétique observée

Les Pr. Vian et Ledoigt ont montré, dans leur expérience d'exposition de plants de tomates à un rayonnement électromagnétique, **l'affectation du métabolisme énergétique par cette exposition.**

Le métabolisme est l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent au sein d'un être vivant pour lui permettre de se maintenir en vie, de se reproduire, de se développer, et de répondre aux stimulus de son environnement. Le métabolisme énergétique, lui, regroupe l'ensemble des réactions qui s'accompagnent (au sein d'une cellule), de la production d'énergie chimique utilisable par la cellule.

Les chercheurs ont remarqué que **la concentration en Adénosine tri-phosphate (ATP) diminuait de 30% dans les 30 minutes suivant l'exposition.**

Une cellule doit trouver l'énergie nécessaire à son fonctionnement : celle-ci est principalement obtenue par dégradation de molécules organiques (c'est le catabolisme). Elle doit également fabriquer des protéines pour assurer son fonctionnement, ces processus sont très coûteux en énergie, ce sont les réactions d'anabolisme. Ce dernier processus n'est réalisable que si un intermédiaire est capable d'emmagasiner cette énergie et de la restituer selon les besoins : les molécules d'ATP jouent ce rôle intermédiaire. Dans la plupart des êtres vivants, l'ATP est produit grâce aux mitochondries : ce sont des organites qui jouent le rôle de "centrale énergétique" en dégradant les aliments absorbés. Le cas des plantes est un peu particulier car elles ne s'alimentent pas : elles convertissent donc l'énergie solaire en énergie chimique (ATP) au moyen de la photosynthèse et par le biais des chloroplastes dont nous avons déjà parlé, mais elles possèdent aussi ces mitochondries.



Il semblerait ainsi que **les ondes électromagnétiques puissent influencer le métabolisme énergétique**, il y a **deux hypothèses** à cela :

- La première est celle de la **demande accrue d'énergie** demandée par la synthèse des protéines de choc thermique.
- La seconde est celle que **le champ électromagnétique produit influencerait directement la production d'ATP**. Selon les études du Pr. Buchachenko, les enzymes qui synthétisent l'ATP produiraient 2 à 4 fois plus de cette molécule énergétique en présence de Magnésium-25 (isotope du magnésium qui possède 13 neutrons) qu'en présence de Mg-24 (12 neutrons) ou Mg-26 (14 neutrons). Toujours selon lui, cela est dû au fait que le Mg-25 produit un champ magnétique, donc les activités enzymatiques essentielles de notre organisme fonctionneraient avec le magnétisme et seraient influencées par les champs électromagnétiques externes. Le Dr. Pilette émet ainsi l'hypothèse qu'en agissant sur ces activités enzymatiques, **les micro-ondes pourraient empêcher les cellules de produire l'énergie en quantité suffisante et ainsi affecter profondément le métabolisme cellulaire**. Cela pourrait expliquer, selon lui et à l'échelle humaine, que le premier symptôme rencontré lors d'une **exposition chronique aux micro-ondes** est **la fatigue**. Cependant, aucune étude ne prouve cela, c'est juste une hypothèse.

En plus de cette chute d'ATP de 30%, l'étude sur les plants de tomates a montré que la charge énergétique adénylique, ou CEA, passait d'un niveau standard (0.8) chez les plantes non exposées à une valeur très faible selon les chercheurs (0.6) 30 minutes après l'exposition. Cette CEA est un marqueur de l'état énergétique d'une cellule, nous ne détaillerons pas plus ici car cela est bien trop compliqué pour nous. Une valeur de charge énergétique adénylique très faible (inférieure à 0.5) révèle une situation de crise profonde. Mais attention, si 0.6 et 0.5 sont, certes, des valeurs voisines, elles sont en fait très éloignées. Pour passer de 0.6 à 0.5 de CEA, "il y a un monde" selon le Pr. Vian.

Le **métabolisme énergétique de la cellule** se trouve ainsi **impacté** par le rayonnement électromagnétique de même intensité qu'un téléphone portable. Si cela amène à un déficit énergétique, la cellule touchée pourrait se trouver dans la **difficulté d'effectuer sa/ses fonction(s)**.

## Conclusion de la partie

Si des mesures sont prises pour lutter contre les effets thermiques des ondes, nous voyons bien que **les effets non-thermiques sont loin d'être négligeables et sont très présents**. Dans l'ensemble, **les cellules se sentent agressées, blessées physiquement lors d'une exposition à un rayonnement électromagnétique** de puissance et de fréquence semblable à celui de nos téléphones portables. Il semblerait que **ces rayonnements soient capables de modifier la structure des molécules** (protéines défectueuses qui n'accomplissent plus leurs fonctions), entraînant une panoplie de mécanismes de défenses, et en impactant aussi le métabolisme énergétique des cellules.

Cependant, nous le rappelons encore une fois, nous observons ici des effets biologiques, il ne faut donc pas extrapoler tous ces résultats à l'homme et en déduire des effets sanitaires. Mais **nous pouvons nous demander si de telles conséquences aux échelles moléculaire et cellulaire peuvent impacter des organes, voir des organismes entiers**.



## 4. Notre expérience



**Observation des effets d'un rayonnement de 1800 MHz sur la croissance du ray-grass**

# 4.1. Préparation de l'expérience

## Comment l'idée nous est venue ?

Au tout début de nos recherches, nous cherchions comment nous pouvions illustrer notre problématique, avec une expérience. Nous nous posions la question si, malgré tout ce que l'on entend sur le sujet, **les ondes émises par un téléphone mobile étaient réellement dangereuses pour l'homme, ou tout autre organisme.**

C'est alors que nous avons eu l'idée "**d'irradier**" un organisme vivant. Au début, nous nous sommes posés la question si nous pouvions réaliser cette expérience sur nous-mêmes. Mais nous nous sommes vite rendu compte que c'était impossible. Déjà, comment nous exposer continuellement aux ondes ? Comment observer des effets ? Mais surtout, cela aurait été **dangereux** pour notre santé, car il n'est tout de même pas conseillé d'être soumis aux ondes d'un téléphone mobile durant des heures .

Ainsi, nous avons pensé à "**irradier** " **une plante**, organisme vivant immobile et "sans conscience", avec le **même type de rayonnement** qu'un téléphone émet, avec la même intensité que celle recommandée pour l'homme, pour ensuite pouvoir faire une étude comparative entre des plants exposés, et des plants non-exposés.

Bien sûr, une plante, est **un organisme différent** de celui d'un homme, et a une manière de fonctionner différente. Les résultats observés, ne seront donc **pas forcément transposables à l'homme**. Mais l'étude sur la plante procure de nombreux avantages : **une croissance rapide, pas de psychologie donc pas d'effets psychosomatiques, un encombrement du matériel nécessaire limité**, mais surtout, il est **facile d'observer** leur croissance, ainsi que **leurs cellules**.

L'idée étant retenue, il nous a fallu réfléchir à la mise en œuvre : comment observer les effets des ondes sur les plantes ? Sur quel type de plante peut-on facilement extraire des informations ? Avec quel appareil pouvons nous émettre un rayonnement continu similaire à celui d'un téléphone mobile? Où réaliser cette expérience ?

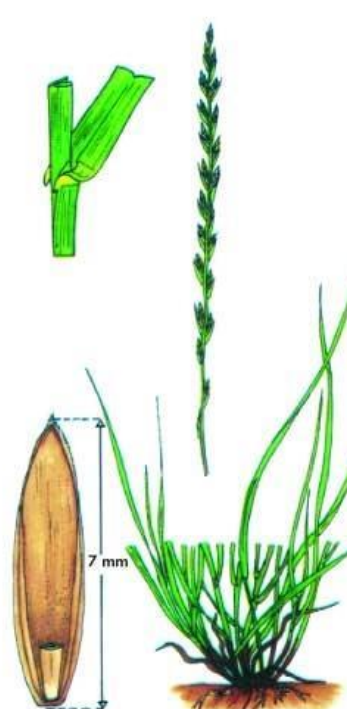
## Comment réaliser cette expérience ?

Avant de nous lancer dans nos investigations, nous avons demandé à nos professeurs de SVT et de Physique-chimie, si notre expérience leur semblait réalisable. Elles nous ont donné le feu vert.

Nous avons alors demandé à Madame Fuhrer, notre professeur de SVT, quel type de plante convenait pour notre expérience sachant qu'il nous fallait une plante qui **germe vite**, qui puisse **résister dans la durée** (c'est-à-dire environ 1 mois : le temps de notre expérience), qui ait de **grosses cellules** pour pouvoir bien les observer, et qui n'ait **pas besoin de beaucoup d'entretien** (à cause des week-ends). Elle a alors contacté un de ses collègues chercheur du CNRS de Rennes, qui nous a conseillé d'utiliser du **ray-grass anglais**, qui remplissait tous ces critères.



**(Lolium perenne)**



**AVANTAGES**

- Excellente plante de pâture (végétation basse et dense). Très appétente.
- Bonne valeur alimentaire.
- Implantation et exploitation faciles.
- Assez bonne tolérance aux excès d'eau.
- Bonne pérennité (3 à 6 ans selon le milieu et la variété).
- Bonne association avec le trèfle blanc.

**LIMITES**

- Production stoppée par la chaleur.
- Assez sensible aux rouilles.
- Difficile à faucher avec une barre de coupe.

**CRITÈRE DE CHOIX DES VARIÉTÉS**

- Précocité, souplesse d'exploitation.
- Répartition du rendement.
- Ploïdie.
- Pérennité.
- Résistance aux maladies (rouilles).

350 à 550 grains/g

Le ray-grass anglais (*Lolium perenne*) est une **plante herbacée vivace de la famille des poacées (= graminées)**, très utilisée dans les pâturages ainsi que dans les jardins, elle est **très robuste** (souvent utilisée pour les terrains de Football ou de rugby...), et **germe très rapidement** (1 semaine en moyenne).

Pour nous en procurer, nous avons cherché **dans les jardinerie**s, mais malheureusement, les gazons vendus aux particuliers sont **des mélanges de plusieurs espèces**. Il y est donc très difficile d'y différencier les graines de ray-grass, des autres espèces de gazons.

Après de multiples recherches, le chercheur du CNRS nous a conseillé de demander à l'entreprise «La Maison du Gazon », filiale de l'entreprise danoise DLF (leader mondiale des semences), s'ils pouvaient gracieusement nous offrir **un petit sachet de graines de ray-grass anglais**. Nous leur avons donc envoyé un mail, et ils nous ont de suite répondu positivement.

Un mois plus tard, nous avons réceptionné le colis provenant du Danemark.



Ils nous ont offert **100g de ray-grass** anglais de la **variété tétraploïde "Fabian"** : ces semences ont été **génétiquement modifiées** pour avoir un organisme dont les chromosomes de base figurent en quatre exemplaires dans le noyau cellulaire. Ces modifications permettent aux brins d'être **plus résistants aux maladies**. L'étiquette nous a également informée, que ces graines avaient **98% de chance de germer**.

Species	Variety	1000SW	GERM%	Gram
Per. Ryegrass turf 4n	Fabian	2,14	98,0	100

En parallèle, nous avons cherché **un générateur capable d'émettre un rayonnement similaire à celui d'un téléphone mobile**. Comme, nous l'avons vu auparavant, les opérateurs utilisent différentes bandes de fréquences : **800 Mhz, 1800 MHz ou 2,6 MHz** dans la téléphonie mobile. **Nous avons choisi de nous focaliser sur la bande de 1800 MHz, même si ce n'est pas la plus énergétique.**

Nous avons donc demandé aux laboratoires de physique du lycée Le Dantec s'ils possédaient un tel générateur. Ils nous ont répondu négativement, car non utilisé dans le domaine scolaire. Nous avons alors contacté par téléphone l'IUT de Lannion, sans plus de succès.

Finalement, nous avons cherché une entreprise sur Lannion, qui pouvait avoir ce genre de générateur (via Internet) et avons identifié l'entreprise "AMG Microwave", située dans l'espace Pégase de Lannion. Cette entreprise est spécialisée dans la conception et dans la fabrication de solutions radars et micro-ondes. AMG conçoit et fabrique du matériel radio dans les gammes de fréquence **de 1 à 40 GHz (domaine des micro-ondes)**.



En parcourant leur site internet, nous avons vu qu'ils vendaient des générateurs. Nous les avons alors contacté par mail en leur indiquant le but de notre démarche, et quelques jours plus tard, ils nous recontactaient par téléphone pour nous dire qu'ils étaient d'accord pour nous prêter un générateur avec une antenne, qui correspondait parfaitement avec ce que nous cherchions. De suite, nous sommes allés demander à l'administration s'ils voulaient bien que l'on puisse mettre en place notre expérience, dans l'enceinte du lycée. Nous avons obtenu une réponse favorable.

Une semaine plus tard, nous sommes allés chercher le générateur. Celui-ci associé à l'antenne sont capables d'émettre un rayonnement continu, à une bande de fréquence **1800 MHz** et d'une puissance de **27 dbm (= 500 mW)**.

Monsieur Moisan, le fondateur de l'entreprise AMG Microwave, nous a expliqué comment fonctionne le générateur. Il nous a également donné **les formules** permettant de déterminer à quelle distance il fallait positionner l'antenne, pour que les godets de ray-grass "reçoivent" la même puissance qu'un humain lorsqu'il a le téléphone à l'oreille. Monsieur Moisan nous a également fait visiter les locaux de l'entreprise, et nous a expliqué le but de son travail.



**L'entreprise AMG Microwave**



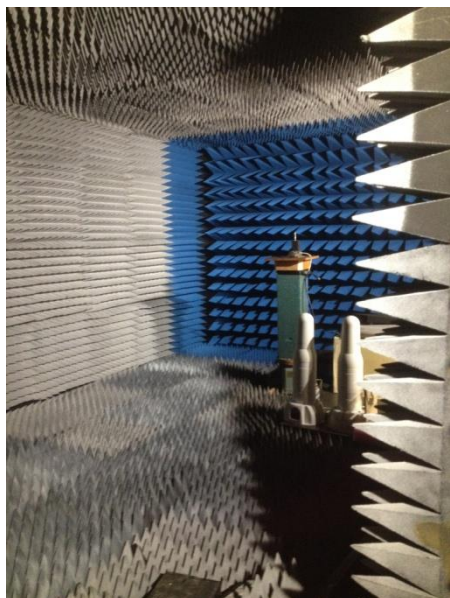
**Le générateur qui nous a été prêté**

Chez "**AMG Microwave**", une dizaine d'ingénieurs et de techniciens, travaillent à concevoir, à fabriquer, ou à maintenir des radars et capteurs dans les secteurs ferroviaire, maritime, la sécurité et la défense.

Pour faire ce travail, l'entreprise possède de multiples logiciels (pour la conception), de nombreuses machines et une chambre hélicoïde (chambre sourde, sans interférence) pour pouvoir tester leurs produits.



**L'antenne**



Chambre hélicoïde

Après cette visite (fin décembre 2015), nous avons maintenant un **générateur capable d'émettre un rayonnement similaire à celui d'un téléphone portable**, ainsi que **des graines de ray-grass anglais**.

Il nous fallait à présent trouver une salle dans laquelle nous pouvions mettre en place notre expérience pendant 1 mois.

## Où faire notre expérience ?

Nous avons décidé que pour observer l'effet des ondes d'un téléphone mobile sur du ray-grass, nous allions séparer des godets-contenant des graines dans des bacs différents :

- il y aurait deux bacs avec chacun 12godets de ray-grass, exposés aux ondes,
- et deux bacs de 12 godets chacun non exposés aux ondes.

Pour pouvoir observer le plus précisément possible les différences, il fallait que les godets aient **la même exposition à la lumière, la même luminosité, la même hygrométrie, et poussent avec la même température ambiante**.

Au début, nous voulions mettre les godets dans **deux pièces différentes** pour que les godets non exposés ne soient pas exposés aux ondes du générateur. Mais, nous nous sommes vite rétractés car il était presque **impossible** d'avoir exactement les mêmes conditions dans deux pièces différentes. Nous avons alors décidé de tout regrouper dans **une seule et même pièce**, mais en couvrant les godets témoins avec **une cage de Faraday** pour les protéger des ondes (voir expérience "Cage de Faraday" que nous avons réalisée). On aurait également mis une cage au-dessus des godets exposés pour respecter l'égalité de luminosité entre les bacs (exposés/non exposés). Nous avons alors cherché du grillage capable de faire une cage de Faraday. Mais après de multiples recherches, **nous n'avons pas trouvé de grillage** assez fin pour garantir l'isolation. Nous en avons également déduit que le grillage nécessaire serait si fin **qu'il aurait pour effet de diminuer la luminosité** et **aurait peut-être empêché les graines de pousser** (il aurait alors fallu trouver un éclairage pour chaque lot et un système permettant de garantir un bon échange d'air, c'était bien trop compliqué...).



Nous avons donc mis les **bacs exposés et non exposés dans une pièce commune au lycée**, que **le club d'apiculture** nous a gentiment prêtée. Nous les avons **espacés de quelques mètres** et avons orienté l'antenne de façon à ce que les plans non exposés ne soient pas sous l'effet des ondes.

La pièce est exposée vers **le nord**, et la température y est **homogène**, de l'ordre de **24°C**.

### Salle où nous avons fait notre expérience



**Godets de graines exposées aux ondes**

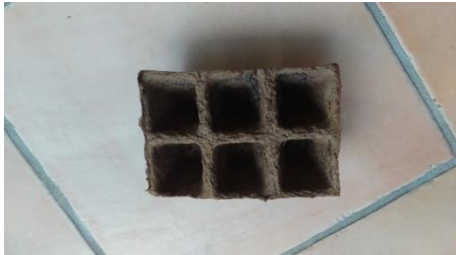
**Godets de graines non exposées aux ondes**

## 4.2. Mise en place

### Elaboration des godets :

Pour réaliser cette expérience, nous avons acheté des barquettes de six godets en tourbe (au rayon Jardinerie d'une grande surface). Nous avons séparé **le nombre de barquettes en deux pour qu'il y ait 4 barquettes exposées (24 godets) et 4 barquettes non exposées (24 godets)**.

Ensuite, nous avons les avons remplies de **terreau universel**. Nous avons pris du terreau universel, et non de la terre naturelle, car il favorise l'enracinement des racines et permet un développement de la semence dans des conditions optimales. De plus, si l'on avait pris de la terre du jardin, des mauvaises herbes auraient peut-être poussées.



Pendant ce temps là, nous avons mis les graines de ray-grass anglais à **tremper dans de l'eau pendant 30 minutes** (nous avons lu que cela facilitait la levée des graines). Il semble que cette durée de 30 minutes soit en fait trop courte pour garantir une hydratation complète et homogène de toutes les graines, comme nous l'a expliqué le professeur Alain Vian, que nous avons contacté par la suite pour avoir son point de vue quant aux résultats obtenus (nous y reviendrons plus tard).



Une fois les godets remplis de terreau et les graines "hydratées", nous avons semé ces dernières. Nous avons mis une **vingtaine de graines** par godet. Rigoureusement, il aurait fallu mettre exactement le même nombre de graines dans chaque godet, pour après pouvoir observer la fréquence de germination (le nombre de graines ayant germées sur le nombre de graines semées dans le godet). Cette erreur nous handicapera donc par la suite pour pouvoir bien comparer les résultats.





Photo des godets avec les semences de ray-grass anglais

Nous avons ensuite recouvert les graines d'une fine couche de terreau, et nous les avons arrosées avec **10 ml d'eau**. C'est ce volume que nous leur avons versé à chacun de nos passages, **tous les trois jours**.



Les graines allaient maintenant pouvoir germer.

### Mise en place champ électromagnétique :

Il fallait maintenant les soumettre aux **radiations** de notre antenne, qui émettait selon un cône **de 30° par 60 °**. Pour connaître **la distance à laquelle mettre cette antenne**, il fallait pouvoir calculer **la puissance reçue au niveau des plants**. Au départ, nous avons placé l'antenne à **28 cm** des godets.

Lorsqu'une onde se propage, elle se disperse dans l'espace et subit donc **un affaiblissement**, même dans un milieu sans perte. La valeur de cette perte est appelée **l'affaiblissement d'espace libre**.



Pour calculer la **puissance reçue**, il faut calculer la **puissance que le rayonnement perdait, donc la valeur de l'affaiblissement d'espace libre, soustrait à la puissance de départ et au gain d'antenne**. Nous avons, pour le générateur, une puissance de départ de 20 dbm, et un gain d'antenne de 7 dbm.

**La formule de l'affaiblissement d'espace libre est la suivante :**

$$A = 10 \log \left( \frac{4\pi d^2}{\lambda} \right)^2$$

Avec une longueur d'onde de **16.7 cm**, nous obtenions ainsi une perte de... **26.5 db !** Alors que nous avons une puissance totale de **27 dbm !** Il nous restait donc **0.5 dbm au niveau des godets**, soit **environ 1.1 mW**, alors que nous en voulions **250mW...** Cela s'explique par le fait que cette formule n'est valide que lorsque le rayonnement émis par l'antenne est isotrope, ce qui n'était pas notre cas.

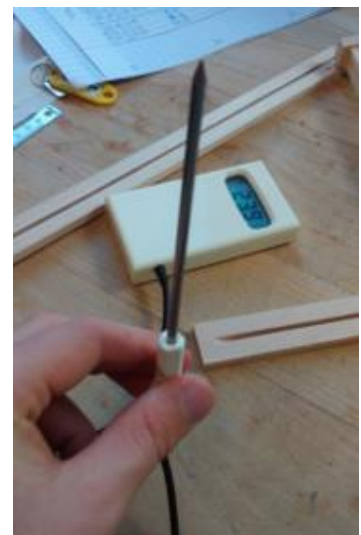
Nous avons donc voulu réaliser **un champ proche** (zone où les calculs d'affaiblissements ne sont plus valides), puis régler le générateur pour que le tout émette **24dBm (=250mW)**. Pour une antenne de **longueur D (15cm pour nous)**, la distance par rapport à cette antenne de **la frontière entre champs proche et champs lointain se calcule en divisant D<sup>2</sup> par la longueur d'onde**.

En-delà de cette distance, on se trouve donc en **zone de champ proche** ; au-delà, on se trouve dans la **zone de champ lointain**. Nous étions donc **en champ proche à partir de 13.5 cm**, mais nous avons décidé de placer l'antenne à une distance de 20 cm pour se rapprocher au plus du champ proche (avec toujours un générateur réglé sur 27 dBm, et avec la formule d'affaiblissement libre, nous obtenions une perte de 23.5 dBm). Nous ne pouvions placer l'antenne à 13.5 cm car elle enlevait beaucoup trop de luminosité sur les plants exposés.

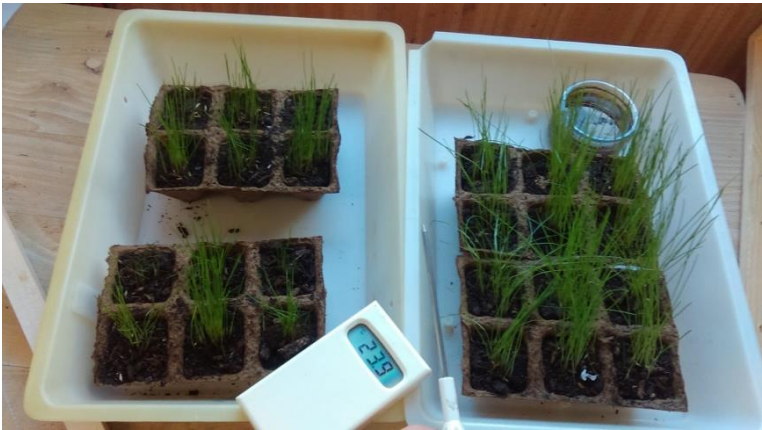
Il nous est alors **impossible** de déterminer la valeur de **densité de puissance (exprimée en W/m<sup>2</sup>)** à laquelle sont soumis les plantes, même en étant en champs lointain...

Après **10 jours**, afin de nous assurer que les graines poussaient dans exactement **les mêmes conditions**, nous avons mesuré à l'aide d'un **thermomètre à sonde**, la température qu'il faisait dans la pièce, au niveau des plants exposés et au niveau des plants non exposés.

La température ambiante était autour de **23,9°C**, du au chauffage central du lycée.



Il faisait, également, exactement **la même température (23,9°C)** au niveau des plants exposés, et des plants non exposés.



**Plants exposés**



**Plants non exposés**

Nous aurions voulu mesurer, de la même façon, **l'hygrométrie**. Malheureusement, les laboratoires de physique et de SVT du lycée n'avaient pas l'appareil nécessaire.

Nous avons mis en place une expérience visant à analyser **le comportement**, ainsi que **la croissance** du ray-grass anglais, face à **une exposition continue d'ondes** de 1800MHz de puissance de 250mW (en sortie d'antenne) (se rapprochant des ondes émises par un téléphone mobile). **Voici un rappel de la mise en place de l'expérience.**



**1 antenne** (composée de deux "patches") émettant dans un cône de 60° sur 30°  
L'antenne est placée à **20 cm** pour se rapprocher au plus d'un **champ proche** (suivant la formule  $D^2/\lambda$  pour avoir la valeur de la distance permettant un champ proche, et ainsi éviter la perte de puissance).

**24 godets** de ray-grass anglais arrosés tous les 2 jours avec 10 ml d'eau.

**Générateur** émettant en continu des ondes de 1800MHz à une puissance de 250mW

En même temps, nous avons mis **24 autres godets témoins**, dans la même pièce, avec la même exposition (solaire), constitués et arrosés de la même façon.



## 4.3. Observations

Nous avons commencé l'expérience **le 12 janvier 2016**, et elle s'est terminée **le 5 février 2016**. L'expérience a donc duré **25 jours**, durant lesquels, comme nous l'avait conseillé le chercheur du CNRS, nous sommes allés **tous les 3 jours** : **observer la croissance des graines**, **les prendre en photo**, **les arroser**, et lorsque les brins étaient suffisamment forts, **observer au microscope les cellules** d'un brin de chaque bac (exposé et non exposé).



Les graines de ray-grass viennent d'être semées

**Au bout de 6 jours**, les premiers brins sortaient. Il y avait déjà une différence, sur **les quatre barquettes** de 6 godets, placés **sous l'antenne**, seulement **2 barquettes** avaient germées. Tandis que sur **les quatre barquettes** de godets **non exposés**, il y avait dans tous **au moins un brin** par godet.



Godets non exposés

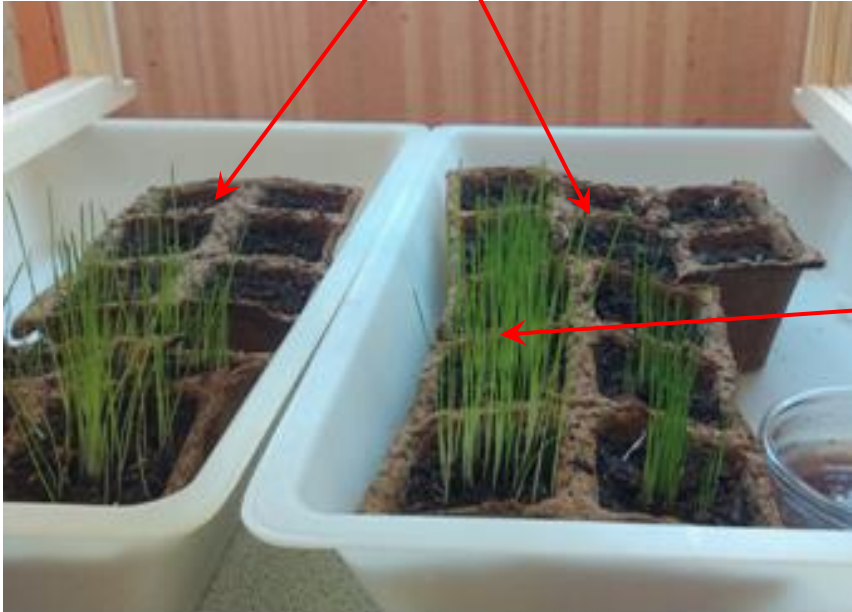
Godets exposés, le bloc arrière n'a aucun brin de sorti.



Après 10 jours d'exposition aux ondes

## Godets exposés aux ondes

12 godets n'ont absolument pas germé (ceux situés à l'arrière du bac)



12 godets ont germé mais de façon inégale (taille différente)

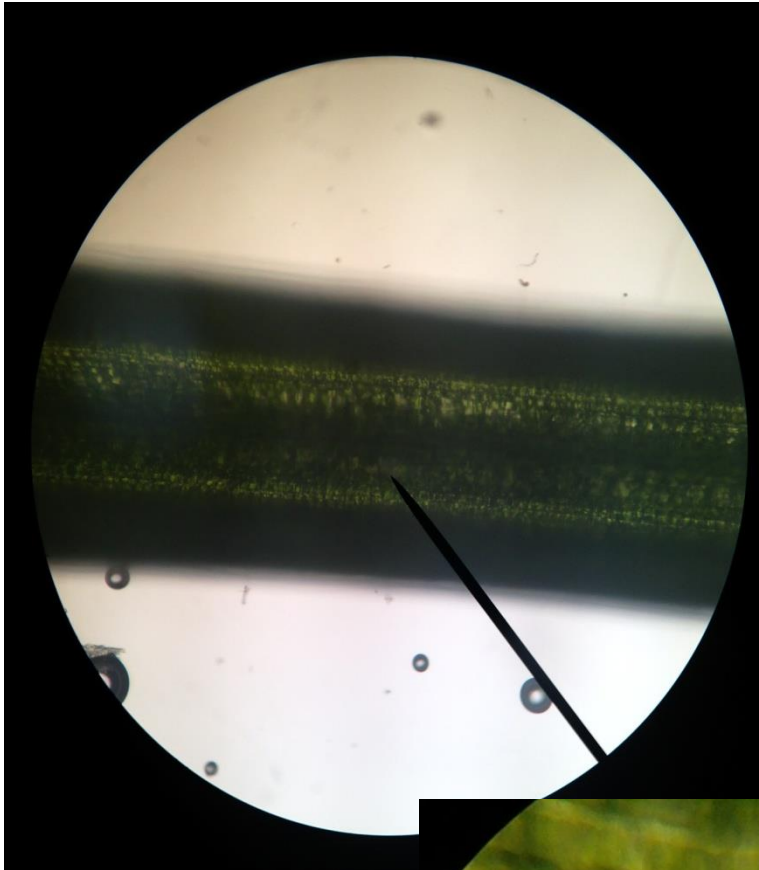
Il y a une symétrie entre les 2 bacs exposés avec des croissances similaires (bonnes au premier plan et nulle à l'arrière plan)



Une autre vue, où l'on voit bien la différence de taille des brins de ray-grass.



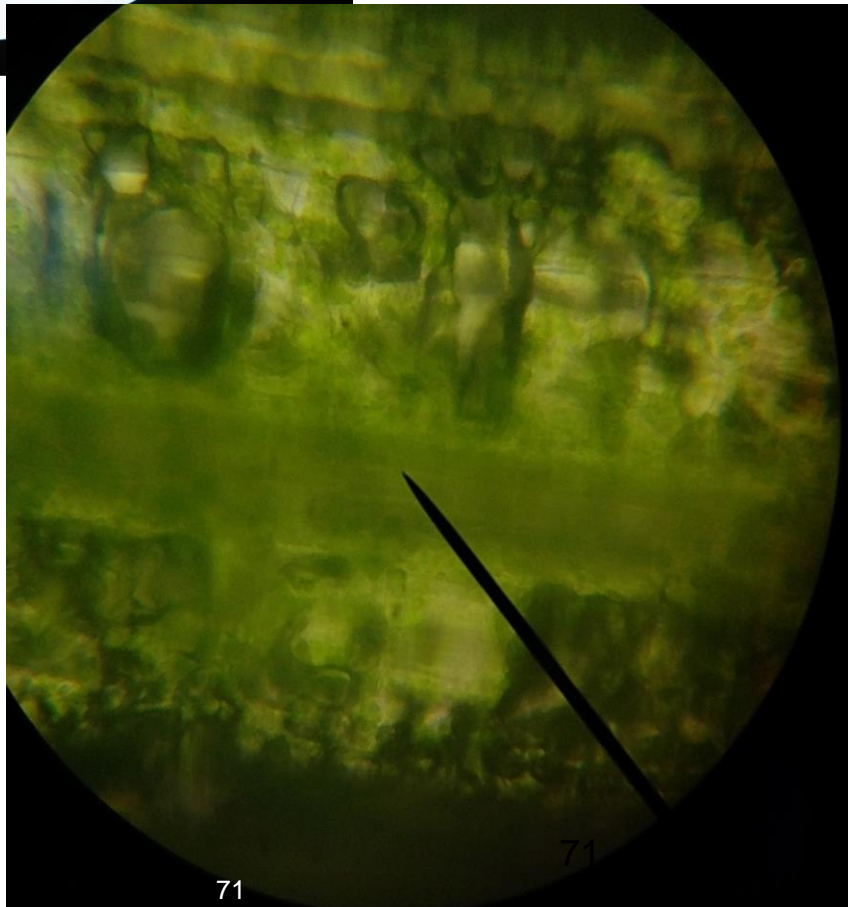
# Observation microscopique des plants exposés le 22/01/2016 après 10 jours d'exposition aux ondes



Moyen grossissement (x10)

Nous ne distinguons que très vaguement les chloroplastes et les limites des cellules

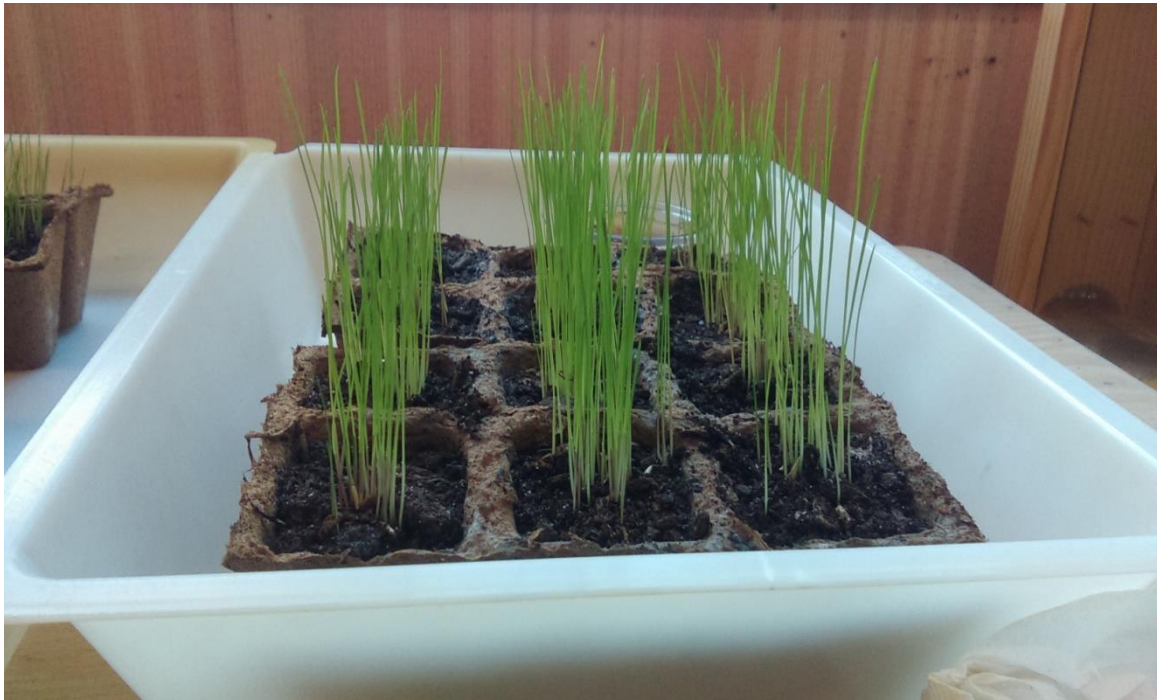
Gros grossissement (x40)



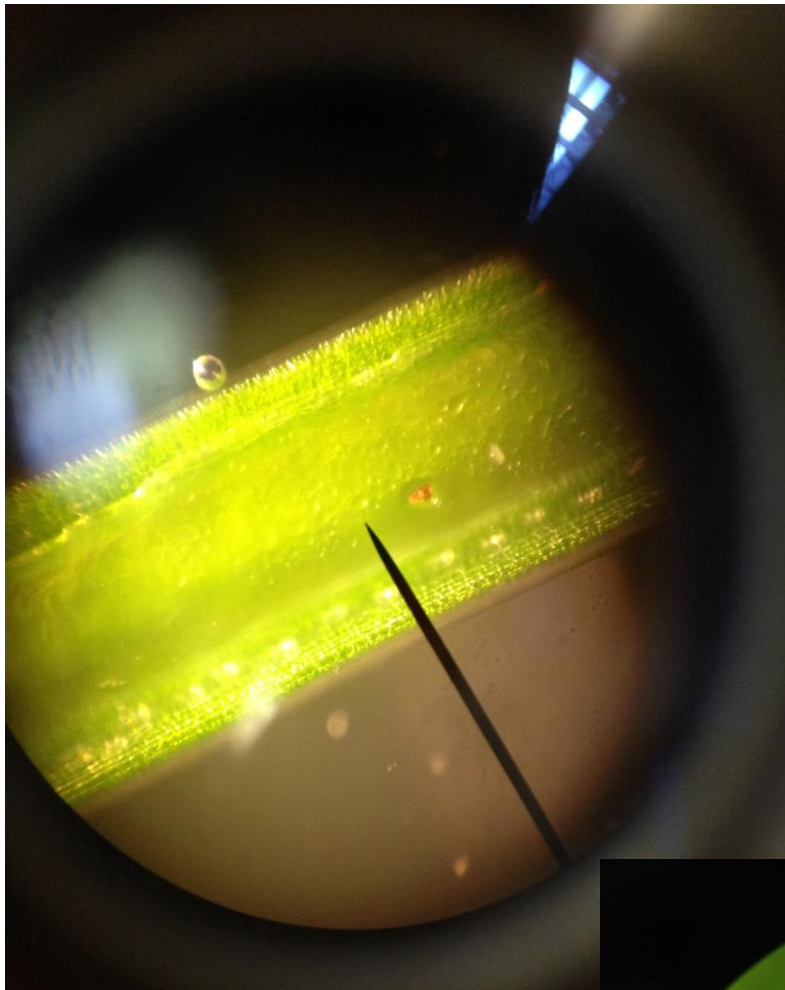
Après 10 jours

## Godets témoins (non exposés aux ondes)

Contrairement aux godets exposés, **tous les godets non exposés** ont germé avec **une taille à peu près équivalente**. Ceci est reproduit sur les 2 bacs .



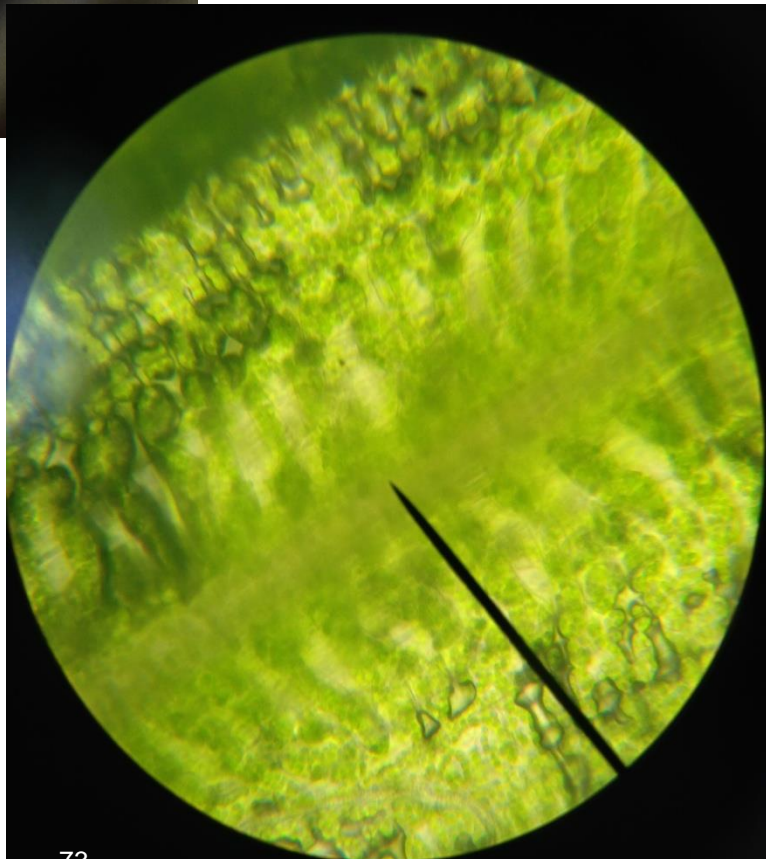
# Observation microscopique des plants non-exposés le 22/01/2016 après 10 jours de pousse



Moyen grossissement (x10)

Ici, nous voyons bien les **chloroplastes** et les **démarcations des cellules**

Gros grossissement (x40)



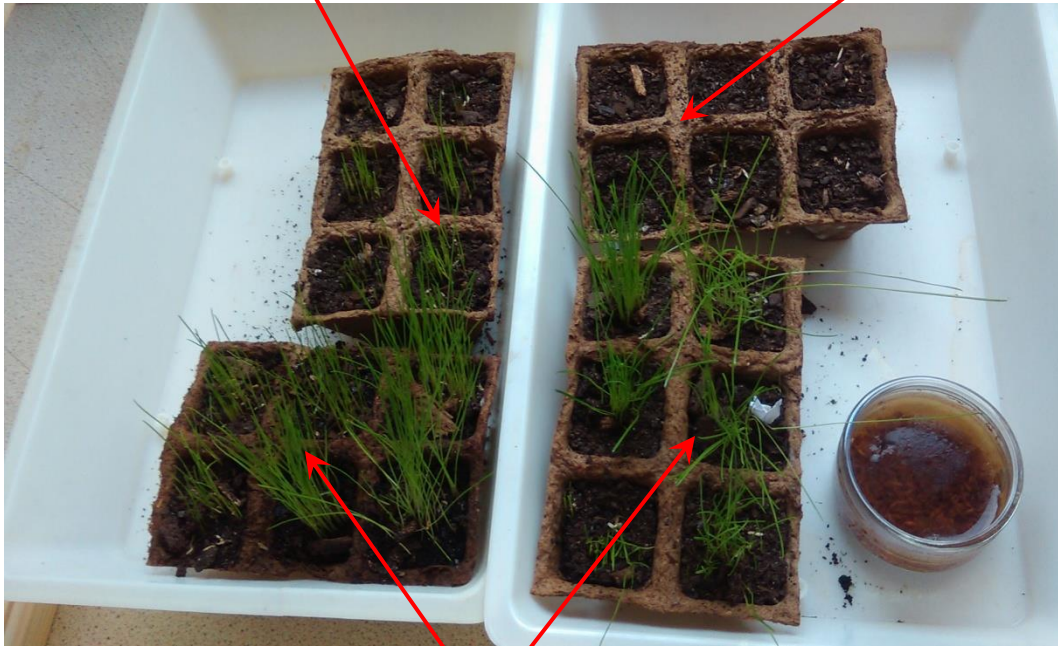


# Après 18 jours d'exposition aux ondes

## Godets exposés aux ondes

Les plants de ces godets **commencent** tout juste à pousser, avec **12 jours de retard** par rapport aux autres

**Aucune trace** de germination pour cette zone...



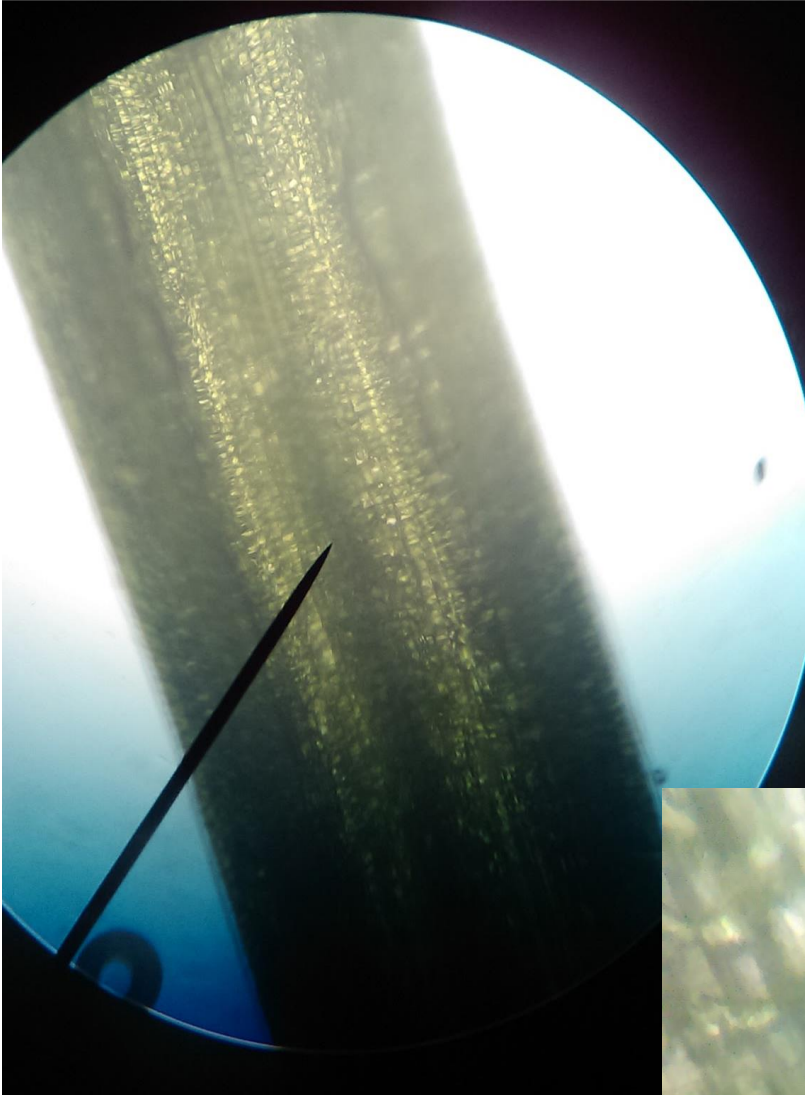
Ces brins **continuent** leur pousse

Nous observons un brin à l'apparence **plus fragile** que celui des bacs non exposés



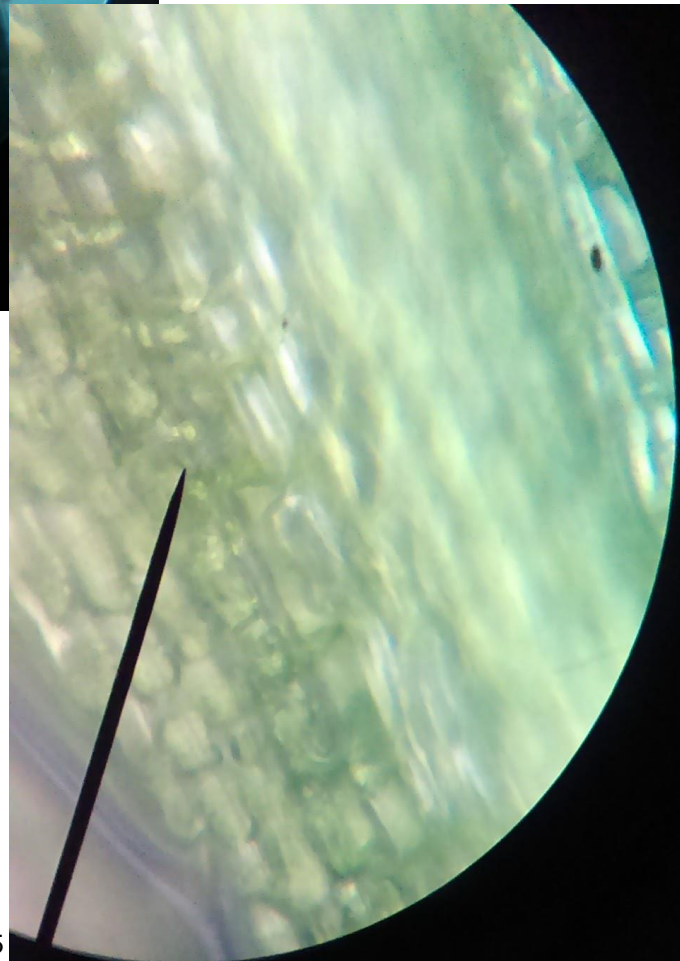
Les "plants nouveaux" vus de dessus

# Observation microscopique des plants exposés le 29/01/2016 après 18 jours d'exposition aux ondes



Moyen grossissement (x10)

Encore une fois, il est dur de distinguer les **chloroplastes** mais les **limites des cellules sont visibles clairement**



**Gros grossissement (x40)** (c'est la mise au point la plus précise que nous avons pu obtenir...)

Après 18 jours

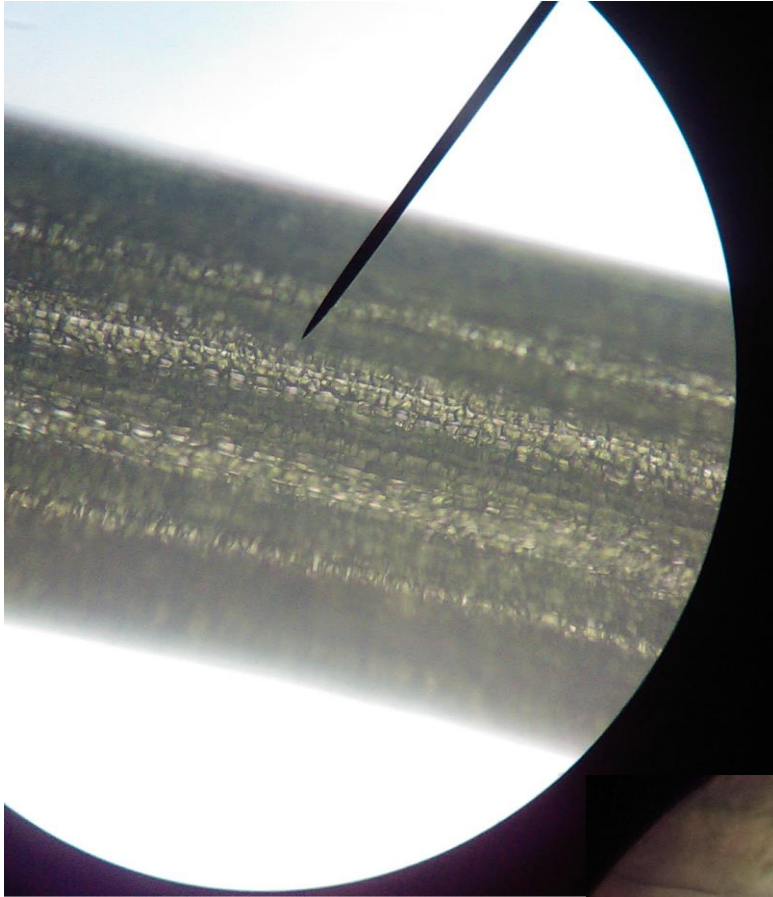
## Godets témoins non exposés aux ondes



Nous voyons bien qu'ici, les plants ont tous environ **la même taille** et ont l'air **plus "solides"** que les plants exposés.



# Observation microscopique des plants non-exposés le 29/01/2016 après 18 jours d'exposition aux ondes



Moyen grossissement (x10)



Gros grossissement (x40)

Nous apercevons ici bien les  
**chloroplastes**

Après 25 jours d'exposition

## Godets exposés aux ondes

Les brins ayant eu du retard lors de la germination, sont **en croissance**

**Aucun brin** n'a germé



Les brins ont continué leur croissance, mais de façon **inéga**le. Les brins du milieu sont **plus hauts** que ceux aux extrémités.



Autre vue où l'on voit bien que les graines dans le bloc de godets en haut à droite n'ont pas poussé.



Après 25 jours

## Godets témoins (non exposés aux ondes)



Tous les godets ont germés avec **une taille homogène**.  
Les brins paraissent **plus solides** que ceux des godets exposés.



# Conclusion des observations

## Observation microscopique

Nous avons observé les cellules d'un brin exposé et non exposé, provenant à chaque fois du même godet, à l'aide d'un microscope optique ayant trois grossissements : **x4, x10, x40**.

Les résultats **ne montrent rien de bien évident**. Avec les photos, nous pouvons peut-être supposer que les chloroplastes sont **plus facilement** identifiables sur **les plants non exposés** et ont l'air **en plus grand nombre** (estimation car nous n'avons pas le matériel nécessaire pour les compter). Mais cela n'est qu'une supposition.

Egalement, nous avons observé que l'apparence des échantillons exposés est **plus "fragile"** que les échantillons non exposés (même si rien n'est mis en évidence avec l'observation microscopique).



## Observations sur la croissance

A travers cette expérience, nous avons pu observer **des différences** dans la croissance des godets exposés et non exposés.

Alors que **les godets non exposés** présentent tous **une croissance homogène**, ce n'est pas le cas pour les godets soumis au rayonnement électromagnétique. La croissance du ray-grass anglais y est en **effet inégale mais relativement symétrique** dans les deux bacs exposés. Certains des godets ont une croissance comparable aux godets non exposés mais d'autres, situés à l'arrière ont eu **un retard** dans la germination, voire **aucune germination**.

**Il y a donc une réelle différence entre les échantillons exposés et ceux non exposés.**

## 4.4. Interprétation

A travers cette expérience, nous avons pu observer des différences entre la croissance des graines de ray-grass exposés, et ceux non exposés. Pour autant, pouvons nous vraiment conclure sur le fait que les ondes sont responsables de ces différences. Pour nous aider à interpréter ces résultats, nous avons donc contacté par mail plusieurs experts dans le domaine des ondes électromagnétiques et leur avons soumis notre protocole expérimental et nos résultats (voir les mails en annexes). A notre grande satisfaction, la plupart nous ont répondu, très élogieux sur notre étude et nous ont fait des retours que nous présentons ci-dessous.

### Les personnes contactées étaient :

- **Raphael Gillard** est chercheur à l'Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes (IETR), et également enseignant dans le département Systèmes et Réseaux de Communication (SRC) de l'INSA Il travaille donc dans le domaine des ondes, **il nous a répondu.**

- **Pierre Le Ruz** est le président de l'association du CRIIREM. Il est docteur en physiologie animale, expert européen en nuisances électromagnétiques et en radioprotection. Il est également l'auteur de livres et publications sur les effets biologiques des radiations non-ionisantes. Il est fondateur du CEPEM (Centre d'Etude en Protection Electromagnétique) et directeur scientifique de l'ABPE-Recherche (Association Biologie Prospective Environnement). Le Dr Le Ruz est également expert européen à la cité des sciences de Valence. L'association dont il est président : le Centre de Recherche et d'Information Indépendant sur les Rayonnements ElectroMagnétiques (CRIIREM), est une association écologiste, dont le but est d'informer sur les effets potentiels des champs électromagnétiques sur les biens et les personnes. C'est pour cela que nous l'avons contacté. **Il nous a répondu.**

- **Gérard Ledoigt**, professeur de Biologie à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, ancien directeur de recherche de l'ERTAC (Equipe de recherche sur les tumeurs et l'autosurveillance cellulaire) et de l'UFR des Sciences exactes naturelle de l'université Blaise Pascal. Il mène des travaux reconnus par tous sur les impacts des ondes électromagnétiques sur les organismes vivants. **Il nous a répondu.**

- **Alain Vian**, il était professeur de Biologie Végétale à l'université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand et travaillait avec Gérard Ledoigt jusqu'à la dissolution du laboratoire en 2007. Il est maintenant professeur à l'université d'Angers et mène des travaux sur les interactions entre les plantes et leur environnement, il travaille toujours en collaboration avec l'institut Pascal sur les effets des rayonnements non-ionisants de très haute fréquence sur le développement des plantes. **Il nous a répondu.**

• **Joe Wiart** : Il est Ingénieur du Corps Interministériel des Télécommunications, Docteur en physique de l'ENST (Ecole nationale supérieure des télécommunications) et de l'Université Paris VI, membre émérite de la Société des électriciens et des électroniciens depuis 2008 et membre senior de l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) depuis 2002.

Il est depuis 1997 directeur de l'unité de recherche de Orange sur l'interaction des ondes électromagnétiques et du corps humain. Joe Wiart est un expert de la dosimétrie. C'est à dire des quantités de rayonnements émis par un téléphone ou reçus par l'organisme.

Il est notamment responsable des mesures de DAS au sein d'Orange Labs.

**Il ne nous a pas répondu.**

• **Marie-Claire Tricot Cammaerts** est docteur du département de biologie des organismes à l'Université Libre de Bruxelles.

Elle a réalisé une expérience, dans laquelle, elle a exposé une société de fourmis au rayonnement d'ondes de type GSM 900MHz. Elle a observé que ce rayonnement inhibait la mémorisation, par des fourmis, d'indices olfactifs et visuels associés aux sites alimentaires.

**Elle nous a répondu.**

Nous avons également contacté l'**ARTAC**, qui est une association de chercheurs axée sur le cancer, et en particulier sur l'électrosensibilité et les effets des champs électromagnétiques sur notre santé. Ils nous ont invité à regarder leur site.

**Ils ne nous ont pas répondu.**

L'association **Robin des toits** qui est une association française écologiste, luttant pour la sécurité nationale devant les technologies sans fil. Elle juge dangereux l'exposition à un rayonnement électromagnétique et l'implantation d'antennes relais. Nous avons contacté son délégué en Bretagne, mais **il ne nous a pas répondu.**

Dans chacun de leur mail (que nous avons mis en annexe), les experts, même s'ils constatent la rigueur du protocole, sont **très prudents** sur les conclusions qu'on pourrait tirer quant à une responsabilité des ondes sur les résultats que nous avons pu avoir durant notre expérience.

D'un point de vue général, la plupart nous ont indiqué que pour conclure à des effets, il faut **réitérer l'expérience plusieurs fois, mener une étude statistique, et pouvoir garantir un champ homogène et isotrope.** **Nous n'avons pas pu le faire étant donné les contraintes de temps et de matériel.**



**Certain d'entre eux ont émis quelques hypothèses, montrant que les ondes pourraient y être pour quelque chose.**

**Hypothèse 1 : L'exposition aux ondes a provoqué, chez les graines qui ont poussé en retard un stress, elles auraient alors produit des protéines de stress, ce qui aurait influé sur leur germination**

Nous avons précédemment décrit une expérience, celle du Pr. Ledoigt et du Pr. Vian, qui ont exposé des plants de tomates à un champs électromagnétique.

Les chercheurs ont démontré qu'à une "faible amplitude" 5 V/m (volts par mètre), très inférieures aux normes réglementaires actuelles (28 V/m et plus selon les fréquences utilisées) et, à l'issue d'une courte exposition (10 minutes), on observe une augmentation immédiate et importante (3-5 fois) de protéines de stress, ces fameuses Heat Shock Proteins. Ces effets biochimiques sont comparables à ceux que l'on observe à la suite d'un choc ou d'une blessure.

Pierre Le Ruz rajoute, que "l'émission de ces protéines de stress peut expliquer un dysfonctionnement dans la production des auxines (hormones de croissance des plantes) et donc un blocage de la germination dans votre expérimentation". Certes, ce ne sont pas les mêmes ondes qui sont utilisées ici, ni les mêmes moyens techniques, et le même niveau de connaissance, mais les résultats de ces recherches peuvent être une piste à étudier pour interpréter nos résultats. Toutefois, la mise en évidence de protéines de stress nécessiterait des connaissances et des moyens expérimentaux que nous n'avons pas.

Cependant, Marie-Claire Tricot-Cammaerts est plutôt défavorable à cette hypothèse, pour elle, certes les plantes émettent des protéines de stress, mais "ce sont des plantes avec tige, racines, feuilles qui font cela; [elle] ne pense pas que des graines sauraient le faire".

**Hypothèse 2 : La division cellulaire est impactée par les ondes électromagnétiques**

Gérard Ledoigt, lui, n'a pas fait référence à ses travaux sur les protéines de stress dans son interprétation mais a été plus général en évoquant que potentiellement : "On peut interpréter cette différence de germination et de croissance, entre échantillons témoins et traités, par une action directe du champ électromagnétique sur les divisions cellulaires comme cela a été rapporté dans la littérature scientifique". Il prend l'hypothèse que le champ exposé serait dissymétrique pour expliquer les différences entre les godets exposés. Cependant, son hypothèse rejoint celle de Mr. Le Ruz, car la littérature rapporte que dans ces cas de rayonnement de micro-ondes (Henry Lai), la division cellulaire est impactée par les protéines de choc thermiques.

Selon Marie-Claire Tricot-Cammaerts, "Cela prouve que de toutes petites cellules (les cellules germinatives) ne savent pas germer si elles sont dans un champ électromagnétique d'assez haute intensité. Si elles sont protégées, elles savent germer (exemple: dans de l'eau, ou de la terre humide). Ceci pourrait expliquer que 'la moitié' environ de graines ne germent pas." Les graines seraient ainsi incapables de se diviser et de synthétiser toutes les protéines nécessaires à la croissance sous l'influence du rayonnement.

### Hypothèse 3 : Le rayonnement électromagnétique provoque un échauffement qui modifie la croissance de la plante

Raphael Gillard, même si il ne privilégie pas cette hypothèse, évoque un échauffement provoqué par les ondes électromagnétiques, qui viendrait modifier la croissance des plantes exposées. "La caractéristique de DAS retenue (0,4 W/kg ici) est effectivement définie à partir de critères thermiques (la norme pour les téléphones est définie pour que l'échauffement des tissus reste inférieur à 1°C, valeur au-delà de laquelle le corps humain ne sait plus réguler)".

Il est donc possible que les ondes chauffent les échantillons exposés mais dans ce cas, Raphael Gillard ne comprend pas pourquoi la croissance est inhomogène dans les bacs alors que le champ magnétique irradiant les plantes devrait lui être homogène (il faudrait vérifier si il n'y a pas une dissymétrie du champ).

La chaleur provoquée reprendrait les effets de la chaleur que nous avons vu précédemment, mais à long terme, pendant 25 jours (déformation de la structure des protéines et de l'ADN, lésions, etc).

De plus, nous avons trouvé sur Internet une expérience très proche de la notre qui a été menée par des lycéennes danoises. Elles se sont intéressées à l'impact des ondes WI-FI (2.4 GHz) sur le développement de certains végétaux. Elles ont exposé des semences de cresson à des ondes Wi-Fi : la moitié était irradiée alors que l'autre était mis à l'écart de toutes radiations. Elles les ont arrosées avec la même quantité d'eau, et avec une exposition au soleil similaire. Douze jours plus tard, elles observaient cela :



La première image montre le résultat des semences non exposées : le cresson y a poussé normalement.

L'image 2 représente les semences exposées à la borne WI-FI : on voit que les graines ont peu voire pas du tout germé.

Ce n'est pas la même fréquence d'onde qui est utilisée ici, mais elle est proche, et contrairement à l'expérience du professeur Ledoigt, le niveau scientifique de cette expérience se rapproche du notre.

Et comme nous, elles arrivent au même résultat, à savoir qu'elles ont observé une différence dans la croissance d'organismes vivants exposés à des ondes par rapport à d'autres non exposés. On peut donc supposer que les ondes peuvent avoir un effet néfaste sur la croissance.

Ces résultats sont plutôt en faveur d'une explication liée aux ondes.

Nos contacts ont également challengé notre protocole pour essayer d'identifier des raisons expérimentales à ces résultats. Est-on certain que les conditions expérimentales soient exactement les mêmes entre échantillons exposés et non exposés?

#### **Hypothèse 4 : La structure et l'antenne modifient la luminosité reçue par les échantillons exposés par rapport à ceux non exposés**

Dans son mail, Raphael Gillard, nous fait remarquer, que l'antenne ainsi que la structure permettant de la faire tenir, pouvait masquer légèrement les godets de la lumière du soleil. Les godets exposés peuvent donc avoir reçu moins de luminosité que les godets non exposés. Pour respecter une parfaite égalité de luminosité, il aurait donc fallu reproduire la même structure avec un "cache" de la taille de l'antenne, au-dessus des godets non exposés.

#### **Hypothèse 5 : La température du générateur modifie la croissance des échantillons exposés**

Une autre interrogation qu'ont émis Gérard Ledoigt et Raphael Gillard, est l'influence de la température émise par le générateur positionné sous les godets exposés : ne pourrait elle pas influencer la croissance du ray-grass exposé ? Comme nous l'avons vu précédemment, nous avons mesuré la température de la pièce, au niveau des bacs exposés et non exposés. Celle ci était identique à 23,9 °C.

Toutefois, après réception de ces mails, nous nous avons renouvelé la mesure de la température :

- à la surface du générateur, elle était 2,5°C au dessus de la température ambiante de la pièce, soit à une température de 26,4°C
- dans l'espace entre le générateur et la table sur laquelle reposait les godets, elle était de 24,5°C, soit 0,6°C au dessus de la température mesurée au niveau des plants exposés.



**Température à la surface du générateur**



**Température de l'espace entre la table et le générateur**

Ces mesures montrent qu'il existe un gradient de température sous la table et que potentiellement, même si la température mesurée dans les bacs est identique à la température ambiante, les bacs peuvent reposer sur une surface légèrement plus chaude (0,6°C atténué par l'épaisseur de la table). Sachant que dans son mail, Gérard Ledoigt nous a indiqué que ce genre de semences était très sensibles à une élévation de la température (1°C maximum de différence), le générateur a donc pu influencer la croissance des semences.

### **Hypothèse 6 : La non homogénéité du champ électromagnétique.**

Nous n'avons aucune preuve que le champ électromagnétique émis soit homogène (cela nous a été demandé par la quasi-totalité des chercheurs contactés), il nous l'a été dit par l'entreprise qui nous a prêté le matériel, mais nous n'avons pas les instruments pour le vérifier. Ainsi, une explication possible de la disposition des plants non germés pourrait être celle selon laquelle les rayonnements se seraient concentrés sur les deux godets "du fond", et nous pourrions rejoindre une des hypothèses précédentes quant à l'absence de germination.

### **Hypothèse 7 : Une hydratation non-homogène des lots de graines**

Selon le Pr. Vian, nos résultats seraient dûs à une mauvaise hydratation des semences.

En effet, il nous dit : "en ce qui concerne [nos] résultats, je resterais pour ma part prudent quant aux conclusions... 30 min de trempage est un temps notoirement insuffisant. Il faudrait pour une hydratation homogène un minimum de 6-12h."

Il semblerait pour lui que les différences que nous observons soient "probablement dues à une hydratation différente des deux lots de graines ce qui est presque certain pour un temps aussi court... ce qui influe de manière décisive sur le couplage", qui est la façon dont le champ électromagnétique interagit avec la matière vivante.

Les différences viendraient donc peut être tout simplement d' "une meilleure hydratation des échantillons exposés", ou alors à une conductivité différente des graines ce qui amène à une conductivité différente du rayonnement électromagnétique au sein de la cellule mère.

De plus étant donné que le champ obtenu n'est pas isotrope et qu'"à cette fréquence, la pénétration des ondes est extrêmement limitée ! Hors de question de considérer que tout le caryopse [l'intégralité de la semence, toutes ses faces en quelque sorte] soit exposé !", puis, "selon l'orientation relative des semences, leur interaction avec l'onde peut être nulle ou maximale", car l'embryon n'est pas au centre de la semence, mais près d'un sillon.

Les spécialistes interrogés ont été **très intéressés** par nos travaux et nous ont incité, tout **en nous félicitant** pour la rigueur mise en œuvre, **à les poursuivre**. Nous restons en contact avec eux pour leur transmettre notre rapport.

De notre côté, cette expérience a été **très enrichissante** :

- elle nous a montré que **nous pouvions obtenir des résultats significatifs** en suivant un protocole expérimental rigoureux
- elle nous a montré que nous pouvions **interpeller des scientifiques de haut niveau et que ceux-ci étaient disposés à nous aider**
- elle nous a montré que **les résultats doivent être interprétés rigoureusement** en pesant les arguments pour et contre et que la première impression “les ondes impactent la croissance” n’est pas forcément la meilleure

Si nous devons continuer, nous referions cette expérience **plusieurs fois** (elle doit être répliquée au moins trois fois pour être valable selon le Pr. Ledoigt) **en modifiant légèrement** les conditions opératoires :

- le générateur **serait éloigné** des plantes pour éviter la surchauffe
- une structure identique à celle supportant l’antenne pour les échantillons exposés **serait installée sur les échantillons non exposés**
- **nous tremperions les graines dans l’eau une journée** avant de les semer pour que leur hydratation soit homogène
- **nous compterions précisément les graines dans chaque godet** pour calculer des taux de germination
- **nous essaierions de mettre en évidence des protéines de stress** avec le concours de chercheurs spécialisés dans ce domaine
- **nous effectuerions une mesure jour par jour et millimètre par millimètre de chaque brin** afin de pouvoir construire un graphique d’évolution pour les deux lots
- **nous réaliserions chaque jour un test de solidité** afin de mettre en évidence une fragilisation présente ou non chez les plants exposés

**Ainsi, nous pourrions lever les doutes et trouver des explications aux phénomènes observés lors de notre expérience.**

La question se pose maintenant quant à l’extrapolation de nos résultats. Et bien, il est hors de question de le faire, **nous ne savons pas précisément si les rayonnements sont la cause de nos résultats** et même des scientifiques comme le Pr. Vian se refusent de toute démarche d’extrapolation vers un quelconque autre être vivant.





# 5. Les effets des micro-ondes sur les êtres vivants



Après avoir étudié les effets biologiques des ondes en se concentrant principalement sur une cellule, sortons de cette petite échelle et intéressons nous aux effets qui ont été démontrés au niveau des organes, voir au niveau d'êtres vivants entiers (nous nous intéressons ici aux êtres vivants comportant une conscience). Nous verrons ainsi quels sont les risques des micro-ondes sur les êtres vivants.

## 5.1. Les micro-ondes et le cerveau

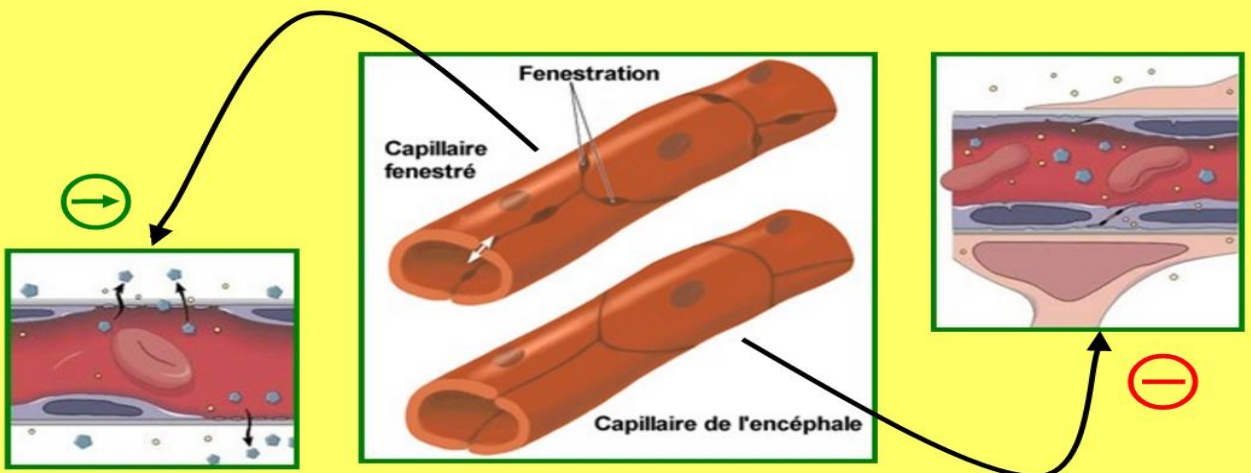
Le cerveau, ou encéphale, est le siège des fonctions supérieures (fonctions cognitives, sens, réponses nerveuses) et végétatives (fonctions automatiques de l'organisme).

C'est donc un organe essentiel qui assure la régulation de toutes les fonctions vitales. Le cerveau reçoit des informations provenant de l'ensemble du corps humain via des nerfs, les intègre et les analyse puis répond en émettant de nouveaux signaux qui redescendent vers les parties du corps concernées, ou restent dans le cerveau. Avec ses 100 milliards de neurones (cellules spécialisées dans la communication et le traitement d'information) connectés en "réseau", cet organe est le plus complexe des êtres vivants.

### La perméabilité de la barrière hémato-encéphalique

Leif Salford, un neurochirurgien de Suède, et son équipe, ont déjà publié plusieurs études démontrant que l'exposition de rats aux émissions de téléphone portable pouvait créer aux animaux des fuites dans la barrière hémato-encéphalique et pouvait avoir des impacts sur leurs fonctions cognitives.

La plupart des capillaires (plus fins et plus petits vaisseaux sanguins) de notre corps sont fenestrés. C'est-à-dire qu'ils possèdent de petits trous qui laissent s'échapper de petites molécules comme les minéraux, les nutriments et le glucose, ce qui permet d'alimenter les organes. Dans le cas du cerveau, il existe une barrière physiologique qui empêche la diffusion de certaines molécules vers les neurones. En effet, la stabilité autour de constantes précises de notre cerveau (une température précise par exemple) est à ce point importante qu'il faut que l'apport en minéraux, en nutriments et en glucose soit parfaitement contrôlé pour répondre aux besoins métaboliques des neurones, pas plus et pas moins.



Certaines molécules contenues dans le sang pourraient, si elles diffusaient librement, **influencer l'activité neuronales**.

Pour bien les contenir dans l'espace sanguin, les capillaires de notre cerveau ont développés **une architecture particulière** :

- C'est-à-dire, au lieu d'avoir des **endothéliales**, cellules tapissant le fond des vaisseaux sanguins, laissant des espaces de fenestration, les endothéliales des capillaires du cerveau sont **disposées de façon continue et montrent des jonctions serrées**.

- Il y a ensuite des **péricytes**, cellules entourant les cellules endothéliales et qui ont un rôle dans la régulation métabolique en **régulant le débit sanguin**. Ces cellules sont aussi présentes dans les capillaires sanguins normaux, mais sont bien moins nombreuses que dans les vaisseaux du cerveau.

- Enfin, ces capillaires **sont entourés de pieds** qui sont des prolongements d'astrocytes (cellules gliales qui ont pour principales fonctions le support et la protection des neurones) et qui **participent à la régulation de l'apport nutritionnel aux neurones et au maintien de cette barrière**.

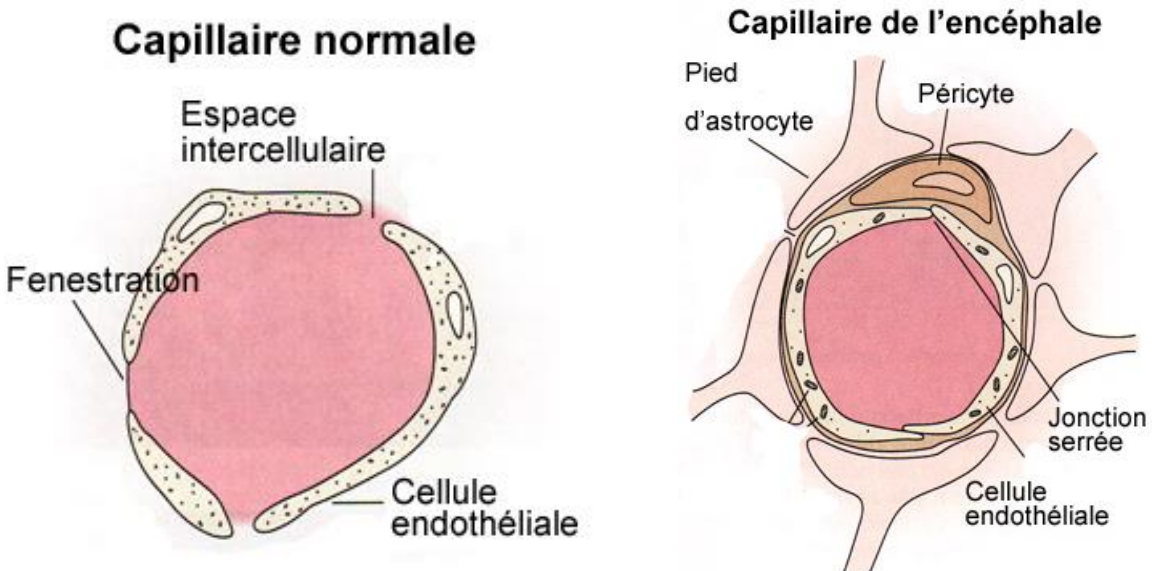


Schéma de comparaison entre une coupe de capillaire normal et une coupe de capillaire du cerveau

Cette barrière ne peut cependant **pas tout contrôler**. **Les molécules solubles** dans des lipides, comme l'alcool, la nicotine, les drogues et les anesthésiants **peuvent diffuser assez librement au travers de ces couches**.

Ainsi, Salford et ses chercheurs ont mis en évidence, après **2h d'exposition à des rayonnements de téléphone portable**, que **la barrière hémato-encéphalique devenait perméable** chez  $\frac{1}{3}$  des rats exposés, ce qui provoquait notamment **la fuite d'albumine, qui est une neurotoxine**. Mais si l'albumine peut passer, d'autres protéines le peuvent aussi, voir des cellules cancéreuses, qui pourraient ainsi créer des métastases (lieux secondaires de cancers) dans le cerveaux...

**L'injection d'albumine** dans le cerveau des rats a donné lieu à **des lésions neuronales et à la mort des neurones**. Elle a également causé une fuite de l'albumine provenant du rat lui-même, dans et autour de la zone des dommages neuronaux. Salford pense que la fuite initiale d'albumine dans le tissu cérébral, bien que non suffisante pour endommager les neurones, a peut-être commencé **un cycle vicieux de fuites supplémentaires qui ont conduit par la suite à des neurones endommagés**.

Même si ce sont des rats qui ont été exposés (un cerveau de rat pèse en moyenne 2g contre 1.5Kg pour un humain), **une telle perméabilité est très dangereuse** pour le cerveau, ce n'est pas pour rien que cette barrière existe. Si des études prétendent ne pas obtenir ces résultats de perméabilité, les études de Salford ont été **confirmées** par plusieurs équipes dans le monde, par exemple celle du Pr. Aubineau à Bordeaux.

### Des troubles cognitifs et nerveux

L'équipe grecque du Pr. Fragopoulou a montré qu'après **une exposition à des ondes de 900 MHz à raison de 2 heures par jour**, des souris placées dans un bassin ont **plus de mal à se diriger** (grâce à leur mémoire et à un repère visuel) vers la plateforme dissimulée sous quelques millimètres d'eau et qui leur permet de se reposer.

Ce n'est pas la seule, **nombreuses sont les études** qui ont montré des troubles dans les fonctions cognitives et nerveuses.

Par exemple, **Marie-Claire Camaerts** a mis en évidence ces troubles chez des fourmis.

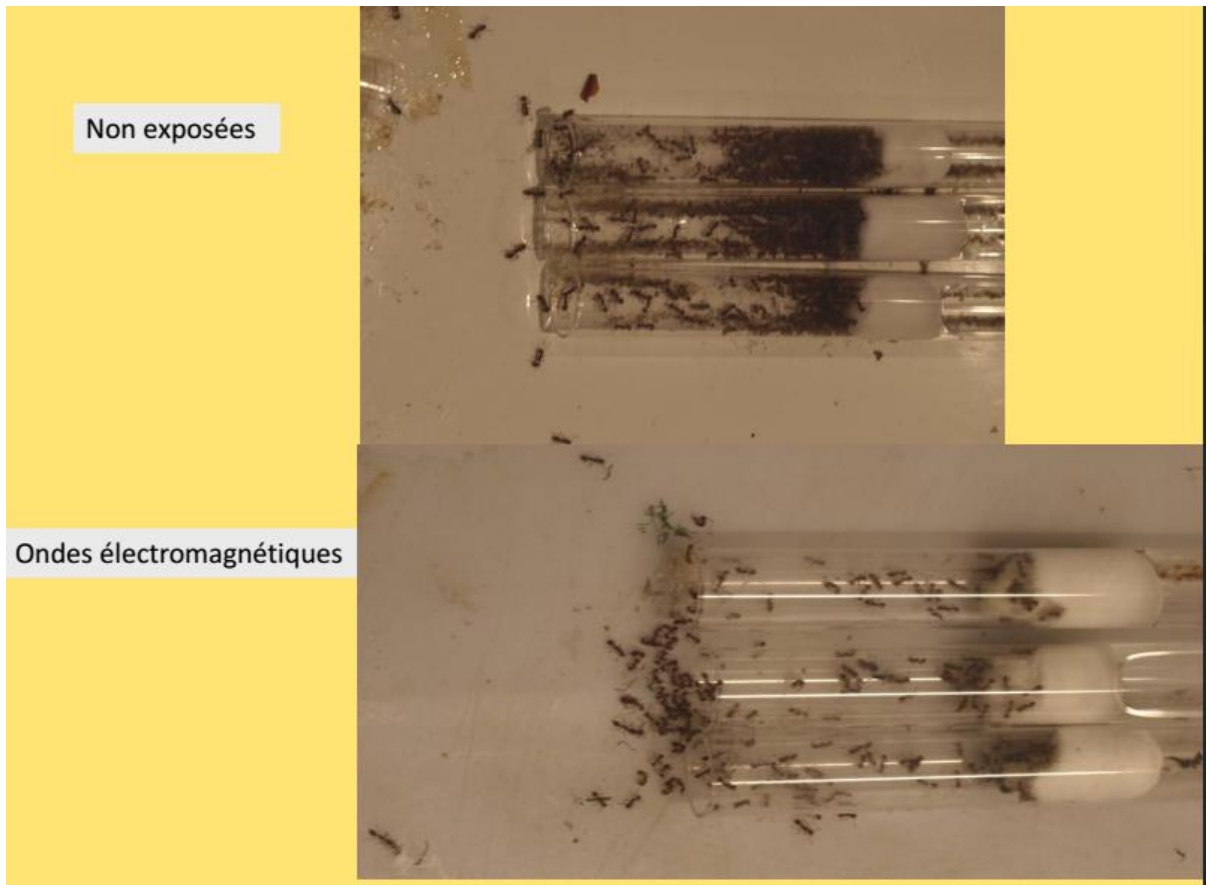
Dans une première série d'expériences, les chercheurs ont observé que **sous l'effet d'un générateur d'ondes semblables à celles d'un GSM**, les capacités d'apprentissage tant **olfactif** que **visuel** étaient **affectées** avec des scores moyens de l'ordre de 50% par rapport au groupe témoin. Placées ensuite à l'abri des ondes et après une période de récupération de 30 heures, **les fourmis retrouvaient une certaine capacité de mémorisation (60-80%)**. Ensuite, soumises une nouvelle fois **aux ondes** alors qu'elles étaient **en apprentissage**, les fourmis **perdirent immédiatement tout leur acquis et ne gardèrent aucune mémoire visuelle**.

Dans une autre série d'expériences, c'est **toute la capacité d'organisation de la colonie** qui s'est vue affectée. **Sous l'effet des ondes**, les fourmis ne suivent que très peu leur phéromone de piste, viennent à peine sur des aires marquées de leur phéromone et s'orientent mal vers leur phéromone d'alarme. **Les phéromones** sont des messages odorant que les fourmis s'échangent. Cela leur permet, par exemple, de retrouver leur chemin vers la ruche après avoir trouvé de la nourriture, ou de signaler un danger.



Ainsi **soumises aux ondes**, les fourmis, de **même colonies ne se reconnaissent pas et sont incapables de rentrer** au nid après avoir trouvé de la nourriture. Des difficultés à se déplacer sont mêmes remarquées.

Sur l'image ci-dessous rendant compte de l'expérience des chercheurs belges, nous voyons bien qu'à nombre de fourmis égales (même si l'image est trompeuse), **très peu de fourmis reconnaissent leurs phéromones de piste et sont capables de s'y orienter**.



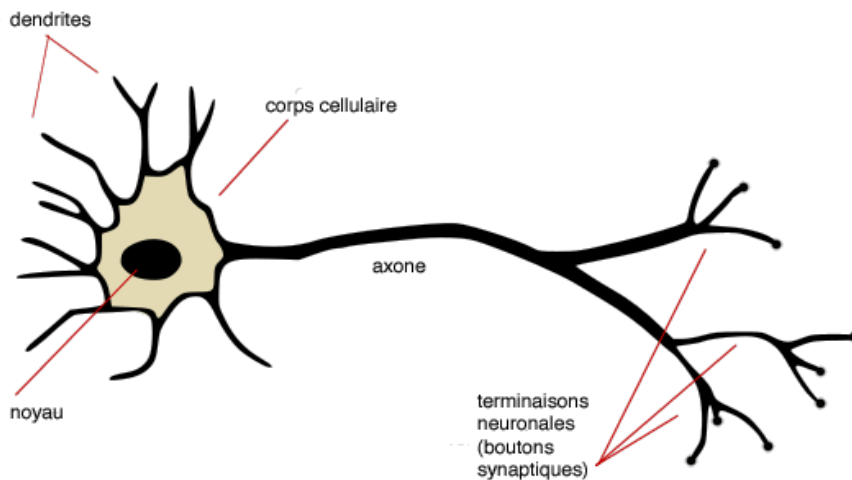
**Les micros-ondes interférait donc dans les communications du système nerveux, en brouillant ces informations, voir en les falsifiant.**

Pour comprendre comment les ondes pourraient interférer avec ces systèmes de communication, il faut comprendre comment les neurones communiquent entre eux, car notre cerveau, et notre corps contiennent **un réseau étonnement complexe de neurones** (100 milliards rien que dans le cerveau), Ils **communiquent**, dans un **but précis** (certains neurones servent à la mémoire, d'autres aux sens, d'autres encore pour faire des mouvements, etc).

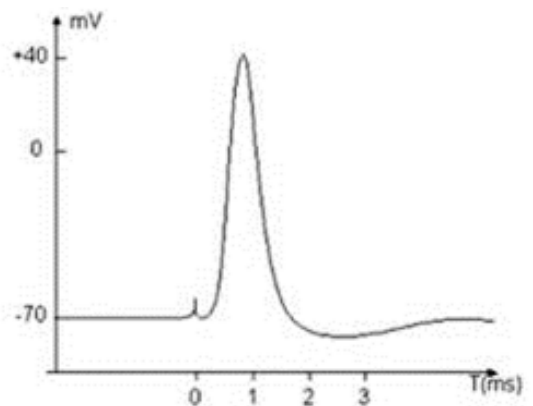
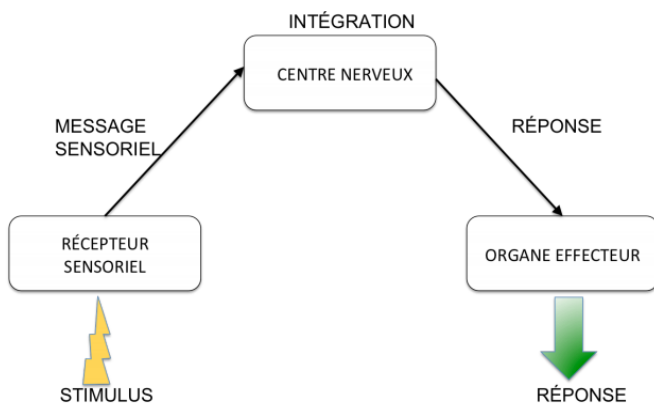
**Les neurones** sont **les cellules du système nerveux** spécialisées dans la **communication et le traitement d'informations**. Leur rôle est de **traiter et d'acheminer les informations dans l'organisme**. Il en existe des milliards **dans notre corps**, et pas uniquement dans notre cerveau.

Un neurone est composé **d'un noyau et d'un corps cellulaire**, entouré de **très nombreuses ramifications** qui partent en étoile, **les dendrites** (d'où proviennent les informations), et **d'un axone**, c'est un long prolongement unique se finissant par une arborisation terminale et par où sont diffusées les informations. L'axone peut parfois mesurer plusieurs dizaines de centimètres (90cm pour un neurone allant du cerveau à la moelle épinière, pour seulement 1 à 15 micromètres de diamètre).

Parmi les neurones, certains ont un rôle dans **les mouvements**, d'autres dans **la perception des sensations**, d'autres encore appartiennent au **système végétatif, responsable des fonctions automatiques de l'organisme**, comme respirer par exemple.



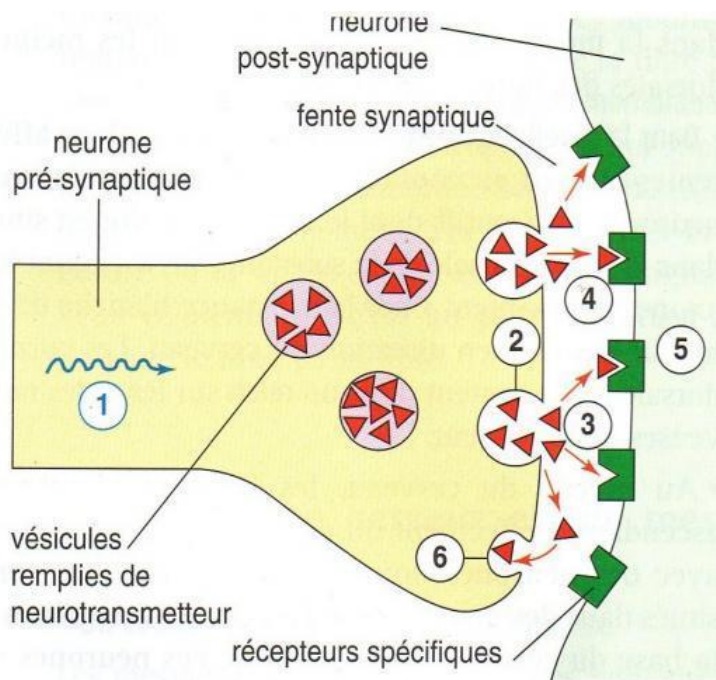
Un neurone est une cellule **excitable**, c'est-à-dire qu'un stimulus peut entraîner la formation dans la cellule d'un signal bioélectrique (l'influx nerveux), qui pourra être transmis à d'autres neurones, et/ou à d'autres tissus pour les activer. Ce signal de nature électrique **n'est pas continu**, il est **unidirectionnel**. Sa forme se répète indéfiniment dans un intervalle de temps, à intervalle strictement régulier, appelé **période**. Ce signal a une période bien particulière, qui peut varier et donc qui "**code**" le message.



Mais nos neurones ne nous servent pas qu'à effectuer **des mouvements**, ils sont aussi **la source de nos émotions, de nos pensées, de nos perceptions, de nos souvenirs, etc.**

La communication entre neurones se fait au moyen **d'une synapse**. C'est la région d'interaction entre deux cellules nerveuses qui constituent une aire de jonction, par laquelle **le message électrique du neurone est transmis**, mais sans contact entre les deux cellules nerveuses (en réalité, il existe des synapses où le signal est transmis électriquement par l'intermédiaire d'une jonction communicante, mais ce n'est pas la plus majoritaire).

Pour résumer, ce message de nature électrique arrivant le long de **l'axone**, va entraîner une ouverture de **canaux calciques** (du  $\text{Ca}^{2+}$  va entrer dans le neurone pré-synaptique, celui qui porte le message). Le calcium entraîne ensuite une migration de vésicules contenant des molécules appelés **neurotransmetteurs** vers l'extrémité **du bouton pré-synaptique**. Ces vésicules vont s'ouvrir, libérer leurs neurotransmetteurs, qui vont ensuite se lier **aux récepteurs** (du fait de leur affinité au niveau de la structure), présents sur l'extrémité de la membrane post-synaptique. C'est un nombre précis de neurotransmetteurs qui est émis en fonction des propriétés du signal électrique de départ (afin de pouvoir recréer le même message "codé").



**Les synapses** sont aussi **le lieu du traitement de l'information** (contrôle et modulation des messages nerveux). En effet il existe **deux types de synapses** :

- **Les synapses excitatrices** car leurs neurotransmetteurs font naître un nouveau message (qui recrée exactement le même message électrique)
- **Les synapses inhibitrices** car leurs neurotransmetteurs empêchent ou freinent l'émission du message par le neurone post-synaptique

Il existe **une grande diversité de neurotransmetteurs**, chacun peut agir sur des récepteurs précis (qui peuvent être différents), et entraîner des actions différentes.

Dans notre cas, il semblerait que **ces communications soient troublées**, les souris n'arrivent plus à se diriger vers la plate-forme qui leur permet de se reposer, les fourmis ne reconnaissent plus leurs phéromones.

Cela peut s'expliquer de plusieurs façons: **les micros-ondes pourraient détériorer les neurones eux-mêmes**, leur structure, leurs protéines ou leur matériel génétique (comme nous l'avons vu dans la partie sur les effets biologiques), **entraînant des défaillances des cellules nerveuses, et donc des défaillances de communications et de traitement.**

Ces rayonnements pourraient aussi **modifier la structure des neurotransmetteurs**, or cette structure est primordiale, car elle permet à ces derniers de s'associer avec leurs récepteurs. Ainsi, si la structure de certains neurotransmetteurs **est modifiée**, ils ne peuvent plus se lier avec leurs récepteurs, **le message transmis différera ainsi du message émis** (car c'est un nombre précis de neurotransmetteurs pour un message précis).

Nous avons parlé de l'expérience du Pr. Seyha qui avait mis en évidence des radicaux libres dans le cerveau de lapins blancs suite à une exposition, **des effets sanitaires semblent ainsi ici mis en évidence avec les effets biologiques.**

Il est aussi possible que ce soit **la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique** qui soit responsable de ces troubles, comme nous l'avons vu dans la sous partie précédente.

Elle laisserait alors passer **des molécules toxiques** pour le cerveau, qui pourraient **perturber les neurones** (en "bouchant" des récepteurs, ou en faisant office de neurotransmetteurs si leurs structure le leurs permet, dans les deux cas source d'un mauvais message), **les détériorer voir les tuer.**

Cette barrière a également pour but de **maintenir l'homéostasie** au sein de l'encéphale (capacité à maintenir à équilibre des constantes et des apports), car c'est un organe fragile, dont les cellules ont besoin d'un apport régulé. Si cet équilibre est brisé (du fait d'une barrière défaillante), les apports **ne sont plus régulés**, ce qui peut aussi entraîner **une défaillance du système nerveux.**

**Il semblerait ainsi que ces effets constatés à l'échelle cellulaire entraînent des conséquences sur le fonctionnement cérébral.**

Mais les modèles ici étudiés sont **bien plus petits et fragiles que l'homme**, en particulier la fourmi, son cerveau fait 0.5 mm<sup>3</sup>, alors que celui de l'homme en moyenne 1400 cm<sup>3</sup>, c'est un million de fois plus volumineux !

Et la fourmi a en moyenne 500.000 neurones dans son cerveau, contre 100 milliards pour l'humain.

**Attention donc, encore une fois, à l'extrapolation sur l'homme des résultats.**

A l'échelle humaine, des études mettent en évidence certains troubles.

Ainsi une étude polonaise de 2004 a-t-elle mis en évidence une relation avec l'incidence de certains symptômes : les personnes concernées se plaignaient beaucoup de **troubles du sommeil, de la concentration, de la vision, et d'irritabilité, de dépression, de nausées, de manque d'appétit, de maux de tête, de vertiges.**

En 2005, **une étude égyptienne** a été menée afin d'**identifier les éventuels impacts quant aux troubles neurologiques et comportementaux.**

**Résultats** : la fréquence des maux de tête, des troubles de la mémoire, du sommeil, des vertiges, des tremblements et des états dépressifs était significativement plus élevés chez les personnes habitant **près des antennes**, par rapport au groupe témoin **n'étant pas exposé.**

Et à la **batterie de tests neurologiques** passés, ces mêmes personnes auraient eu une performance **moins bonne** en ce qui concerne la concentration et la mémoire », précise le Dr Souvet.

Cependant, ces études sont **troublantes** :

En effet, les populations vivant à proximité d'antennes relais ressentent **un stress à l'idée d'en être proche.** Ces troubles seraient donc plus **psychosomatiques** (liés à un stress psychiques) que réellement liés à ces ondes, c'est l'effet nocebo.

Par exemple, comme nous l'avons vu dans le magazine Sciences et Avenir (d'octobre 2015) , des riverains de Saint-Cloud, en Hauts-De-Seine, **s'étaient plaint de nuisances causées suite à l'installation d'antennes-relais** de l'opérateur Orange à proximité de leur habitation.

Ils rapportaient **des symptômes chroniques** : maux de tête, sensation du goût modifié, et autres symptômes divers.

Or, ces antennes **n'étaient pas actives**, car elles n'étaient pas alimentée en électricité pour fonctionner. **Ces antennes n'avaient jamais émis la moindre onde.**

**Le doute persiste donc, effets psychologiques ou effets réels ? Nous reviendrons à cette question dans la partie concernant l'électro-hypersensibilité**

### **Les liens avec les tumeurs du cerveau**



Le cerveau **absorbe 20 à 30% des rayonnements** émis et reçus lors d'un appel du fait de la proximité du téléphone portable. Beaucoup d'études statistiques ont établi **un lien entre une utilisation abusive du téléphone portable et deux types de tumeurs du cerveau** : le gliome et le méningiome.



Selon **une étude du Dr. Gaëlle Coureau** et de ses chercheurs de l'université de Bordeaux, **l'utilisation intensive** du téléphone portable est un **facteur aggravant** le risque de développer **des tumeurs du cerveau**.

Au delà de **15h d'appel par mois**, soit **30 minutes par jour**, le risque de développer un **gliome**, tumeur agressive se développant rapidement, serait **multiplié par 4** et le risque de développer un **méningiome**, tumeurs bénignes dans 80% des cas, serait **doublé**.

Ils ont étudié **500 malades d'une tumeur au cerveau**, et les ont interrogé précisément sur leurs habitudes. Ils en ont déduit que ceux qui ont passé plus de 900 heures au téléphone dans leur vie ont un risque de tumeur **multiplié par 2.5**. Un délai atteint par exemple en passant **30 minutes par jour au téléphone pendant 5 ans**.

Selon une autre **étude du Dr. Lennart Hardell**, oncologue suédois, après **10 ans d'utilisation d'un portable**, il existe un risque accru de gliome (le risque est **multiplié par 3** selon son étude).

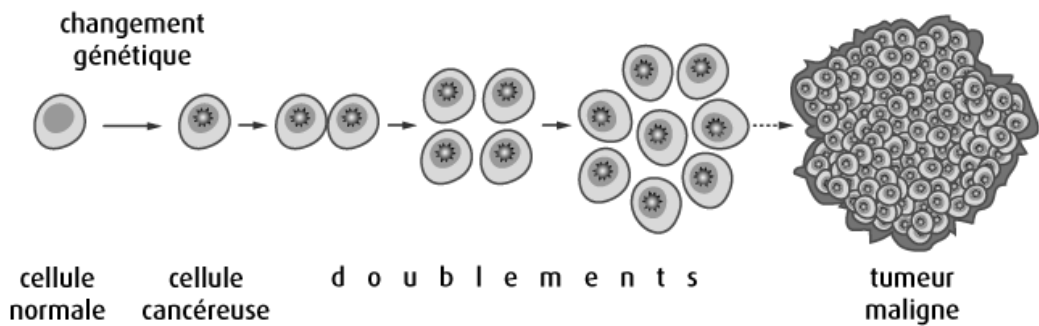
Si le **méningiome** est **une tumeur bénigne**, certains types de **gliome** sont des **tumeurs cancéreuse très agressive**. Le risque de ces deux pathologies étant mis en évidence, **nous allons donc brièvement les détailler**.

**Une tumeur** se caractérise par **une augmentation de volume d'un tissu**, suite à un **dysfonctionnement du développement cellulaire**. Le développement de tumeurs résulte **d'une succession d'évènements génétiques**. Ces anomalies s'accumulent généralement en **plusieurs années**, et concernent **les gènes contrôlant, directement et indirectement, la prolifération et la mort cellulaire**. La conséquence pour la cellule concernée est l'acquisition de **nouvelles propriétés** dont la capacité de **résister aux signaux externes** de l'organisme et de **générer ses propres signaux** pour induire la division cellulaire (on parle de **signaux mitogènes**).

On distingue **deux types de tumeurs** :

- **Les tumeurs bénignes** (les verrues ou les grains de beauté sont des tumeurs bénignes): elles se développent **localement**, et restent cantonnées au tissu dans lequel elles ont pris naissance. Leur croissance est **lente**, elles peuvent prendre de **l'expansion** et **être mortelles** dans certains cas où il n'y a pas de place à grossir, mais n'attaquent pas les tissus voisins. Ces tumeurs **ne donnent pas lieu à des métastases** (lieu secondaire de tumeur provoqué par migrations de cellule cancéreuses). Une ablation chirurgicale peut être nécessaire, mais ce type de tumeur **ne récidive pas**.
- **Les tumeurs malignes ou cancer** : elles ont une croissance **rapide et anarchique**, donnent naissance à **des métastases**, et elles **envahissent et détruisent les tissus voisins**. Le traitement consiste la plupart du temps à une ablation chirurgicale, et d'un traitement par radiothérapie (élimination des cellules cancéreuses par des ondes) et/ou chimiothérapie (élimination des cellules cancéreuses par des médicaments), car **elles récidivent après une ablation**.

## Développement du cancer



Les gliomes sont **des tumeurs des cellules gliales** (cellules qui ont un rôle de soutien et de protection du tissu nerveux en apportant les nutriments et l'oxygène, en éliminant les cellules mortes, ou en combattant les agents infectieux). **Les gliomes** représentent **plus de la moitié des tumeurs du cerveau**, même si leur incidence est d'environ 5 cas sur 100 000.

Il existe **des formes bénignes du gliome**, comme **le neurinome de l'acoustique**, dont le risque serait multiplié par 2.5 au bout de 10 ans d'utilisation de téléphone mobile, selon Hardell.

C'est donc une tumeur bénigne qui se développe sur **les nerfs de l'audition et de l'équilibre** (ce sont les cellules protégeant les nerfs, les cellules de Schwann -cellules gliales- qui forment la tumeur). En se développant, la tumeur va **comprimer ces nerfs**. Conséquences : le circuit nerveux est interrompu, l'oreille ne peut plus communiquer ses informations au cerveau. Le plus souvent, **une grosse perte d'audition** est remarquée, accompagnée **d'acouphènes**, ou **de troubles de l'équilibre**.

Il existe aussi **des formes malignes du gliome**, comme **le glioblastome**. Cette forme de gliome est **la plus fréquente et la plus agressive** (30% des tumeurs cérébrales), elle se développe **dans le cerveau**.

Ce sont **les astrocytes**, c'est-à-dire les cellules qui maintiennent la barrière hémato-encéphalique et qui alimentent les neurones, qui sont responsables de ce type de gliome. La tumeur étant **maligne**, sa croissance est **anarchique** et elle **détruit tous les tissus environnant**.

Aucun traitement ne permet sa guérison totale. L'espérance de vie est de 5 ans, et ne dépasse pas les 10%.

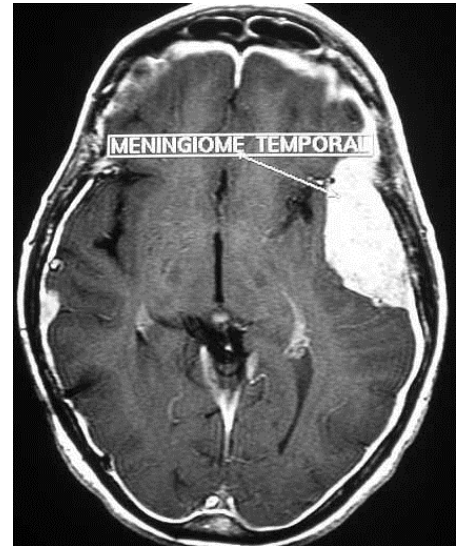
Si le risque de gliome est bien **multiplié par 4 pour les utilisateurs intensifs**, ce n'est pas négligeable, car le risque de glioblastome est aussi multiplié par 4...

Le deuxième forme de tumeur remarquée est **le méningiome**.

C'est **une tumeur cérébrale** développée à partir de **cellules des enveloppes du cerveau et de la moelle épinière : les méninges**.

**Le méningiome** représente **35% des tumeurs cérébrales**, ce qui le place en seconde position des tumeurs cérébrales les plus fréquentes, derrière le gliome.

Dans **80%** du temps, ce type de **tumeur est bénigne**, mais peut se révéler dangereuse sous **ses formes agressives**, et du fait de **sa localisation** : l'excroissance peut faire pression sur les neurones, ce qui peut s'avérer dangereux.



Le traitement se fait principalement par chirurgie, puis par radiothérapie si nécessaire (si le méningiome est malin). Il n'existe pas encore de chimiothérapie pour ce type de tumeur. Cependant, même s'il est la plupart du temps bénin, le risque d'avoir ce type de tumeur serait quand même **doublé suite à une utilisation importante de téléphone**.

Des risques seraient ainsi **très présents lors d'une exposition intensive aux ondes émises et reçues d'un téléphone mobile**, mais il ne faut pas oublier que ce sont des études statistiques à base de questionnaires que nous avons ici présenté.

Et selon le Dr Elisabeth Cardis, du Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC), les témoignages des patients seraient **affectés** par le fait qu'ils **cherchent une explication à leur maladie**, et donc ont inconsciemment **tendance à exagérer leurs positions**.

Cependant, nous avons bien noté, dans la partie concernant les effets biologiques de ces rayonnements, qu'ils sembleraient **capables d'affecter l'ADN**.

**Si les gènes affectés sont ceux contrôlant la division et la mort cellulaire, les rayonnements pourraient alors être responsables de tumeurs cérébrales.**

Ici aussi, nous pouvons associer les études d'effets biologiques et les études d'effets sanitaires, mais prudemment tout de même.

## 5.2. L'électrosensibilité

L'électrosensibilité ou hypersensibilité électromagnétique (nom donné par l'Organisation Mondiale de la Santé en 2005) est une **défici**ence handicapante causée par **une exposition à des ondes électromagnétiques**.

C'est un problème réel mais invisible, invalidant pour les individus qui en sont affectés. En France, environ **2% de la population** souffrirait d'électrosensibilité. Cela se traduit par des symptômes cliniques très divers tels que : des **maux de tête**, de la **fatigue inexplic**quée, des **troubles visuels** et de **l'audition**, des **problèmes de peau** (irritation, rougeurs, sensation de brûlure...), des **troubles du rythme cardiaque**, des **troubles de la mémoire**, des **douleurs musculaires**...lors d'une exposition à des ondes électromagnétiques.



En 2013, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement, et du travail (ANSES) a analysé 308 articles scientifiques publiés entre 2009 et 2012, et a conclu **une absence "d'effet sanitaire avéré chez l'homme"**, **mais sans en exclure la possibilité**. Ils n'ont toujours aucune preuve d'un lien entre le mal dont les gens souffrent, et l'exposition aux champs électromagnétiques. Les chercheurs ont mis en évidence un **effet "nocebo"**. C'est un effet qui **semble nuisible** à ses utilisateurs même s'ils sont **objectivement inoffensifs** (tandis que l'effet placebo est différent : c'est le fait de ressentir des bienfaits après avoir reçu - à son insu - un médicament ne contenant aucun principe actif). Des personnes avaient ressenti des malaises et des troubles du sommeil après l'installation d'une antenne relais à côté de chez eux, alors qu'elle n'était pas branchée.

Ce rapport a été **très controversé** par les militants et les chercheurs qui voudraient faire reconnaître un syndrome spécifique.





De plus, les études du **Pr. Andrew Marino**, du département de neurologie du Louisiana State University Health Science Center, se penchent sur **la capacité qu'a le corps humain à percevoir des signaux de très faible puissance**.

Pendant 20 minutes, les sujets sont isolés des interférences de l'environnement. Ils sont soumis à la seule stimulation d'un champ électromagnétique extrêmement faible. Il a ainsi observé un changement. L'analyse de l'activité cérébrale montre que les sujets perçoivent ce signal, même inconsciemment : l'activité électrique du cerveau change.

Selon le chercheur, le système nerveux détecte les sons, la lumière, la chaleur, le touché, le goût, et **les champs électromagnétiques**. Pour lui, **c'est le même processus**, il y a une cellule spécialisée quelque part dans le corps, elle interagit avec le champ électromagnétique qui entre dans le corps et envoie un signal au cerveau pour lui signaler la présence de ce champ dans l'environnement du sujet. Le cerveau reconnaît alors qu'il n'y a aucune information utile pour lui, et donc ignore le signal. Mais le processus consistant à détecter et ignorer met à l'épreuve les capacités d'adaptation du corps. L'organisme devient plus faible, et la santé plus fragile si ce processus se répétait souvent.

Selon Marino, **notre organisme réagit aux ondes électromagnétiques comme aux autres stimulations de l'environnement**

Durant l'été 2015, pour la **première fois en France** (au tribunal de Toulouse), une femme a obtenu une **allocation adulte handicapé, en raison d'une grave invalidité due à une hypersensibilité aux ondes électromagnétiques**. Cette personne souffre de très forts maux de tête ainsi que d'une arythmie cardiaque, à chaque fois qu'elle est exposée aux ondes électromagnétiques. Elle est obligée de **vivre dans une "zone blanche"**, c'est-à-dire dans un espace sans aucune onde, et dans une extrême précarité (elle est recluse dans les montagnes de l'Ariège en raison de ses troubles, dans une ancienne grange, sans électricité ni route, avec l'eau d'une source).

Cette femme a été **défendue par l'avocate Alice Terrasse** qui pense que cette décision pourrait faire jurisprudence car «des milliers de personnes» sont concernées mais n'ont pas saisi les tribunaux jusqu'à aujourd'hui.



**Zone blanche en Drôme**



## Voici le compte rendu du jugement :

### PROCEDURE

Par déclaration en date du 5 août 2014, Madame Marine P-R. a saisi le Tribunal du contentieux de l'incapacité d'un recours contre la décision de la Commission des Droits et de l'Autonomie des Personnes en Situation de Handicap de l'Ariège du 29 avril 2014 faisant suite à la demande de recours gracieux portant sur la décision du 24 septembre 2013.

Les parties ont été convoquées dans les formes et délais légaux.

Par ordonnance du 2 avril 2015 le tribunal a ordonné une expertise médicale confiée au Docteur Pierre Biboulet.

Après audition des parties présentes, le tribunal a mis l'affaire en délibéré à la date du 8 juillet 2015.

### Sur la recevabilité

Le présent recours a été formé dans les délais et en toute hypothèse sa recevabilité n'est contestée par aucune partie. Le recours sera donc déclaré recevable.

### Sur le fond

#### 1 - Les faits

Le demandeur, averti personnellement de la date de l'audience par lettre simple et lettre recommandée avec accusé de réception non retourné signé, ne s'est pas présenté mais s'est excusé par l'intermédiaire de son conseil.

Madame Marine P-R., âgée de 39 ans, expose dans sa lettre de recours qu'elle souffre de divers troubles et qu'il lui a été reconnu de ce fait un taux d'incapacité inférieur à 50 % ne lui permettant pas de bénéficier de l'allocation aux adultes handicapés à la date du 1er avril 2013.

#### 2 - Les demandes des parties

Le demandeur sollicite l'octroi de l'allocation aux adultes handicapés. Il fait valoir que sa situation n'a pas été exactement appréciée.

3 - Les conclusions en date du 18 mai 2015 du Docteur Pierre Biboulet, désigné comme expert dans la précédente ordonnance du 2 avril 2015 sont les suivantes :

### Le diagnostic :

**Syndrome d'hypersensibilité aux ondes électromagnétiques. S'il ne fait pas partie de données acquises, avérées, de notre système de santé français il est reconnu par d'autres pays. La description des signes cliniques est irréfutable. La symptomatologie disparaît dès que les causes sont éliminées ; mais cette élimination impose un mode de vie et des sacrifices qui ne permettent pas la moindre suspicion de simulation. En milieu protégé l'handicap est nul, en milieu hostile il peut atteindre 100 %.**

### L'évaluation du handicap :

- Les 19 activités : elles peuvent être toutes altérées, allant jusqu'à la syncope. Donc évaluation du handicap allant de 0 à 100 % selon la situation.
- La durée : nous ne devons pas accepter le fait qu'elle est définitive. Nous pouvons espérer qu'une solution thérapeutique apparaîtra ou que la symptomatologie s'atténuera. Donnons-nous un délai de trois ans.
- Les aides demandées par Madame P-R. sont essentiellement financières :
  - acheter du bois pour se chauffer,
  - rémunérer les voisins et aidants qui l'entourent pour ses approvisionnements en nourriture et autre.
  - assurer sa sécurité en période de mauvaises conditions météorologiques.
  - le logement a été ingénieusement aménagé à ses frais mais pourrait être amélioré.

### Le pronostic

Il n'existe pas à ce jour de traitement spécifique et définitif de cette pathologie hormis l'isolement dans des zones blanches- déjà reconnues et répertoriées en France – ou dans des bâtiments spécifiques - qui existent dans certains pays -.

### CONCLUSION :

1° - la déficience fonctionnelle de Madame P-R. est évaluée à 85% en milieu social actuel.

2° - Durée de trois ans renouvelable en fonction de l'évolution du handicap.

3° - Attribution de la prestation de compensation du handicap. Elle remplit les conditions d'obtention au titre de l'élément 2- aide technique- et de l'élément 3 - aménagement du logement-. Elle ne peut pas se procurer d'emploi compte tenu de son handicap. »

### 4 - La décision

Selon les dispositions des articles L. 821-1 et L. 821-2 du Code de la Sécurité Sociale :

L'allocation aux adultes handicapés est versée à toute personne dont le taux d'incapacité permanente partielle est d'au moins 80% ou s'il est compris entre 50 et 79 % dans le cas d'une restriction substantielle et durable pour l'accès à l'emploi compte tenu du handicap.

Au vu des éléments soumis à l'appréciation du tribunal, contradictoirement débattus, il résulte notamment qu'à la date du 1er avril 2013, Madame Marine P-R. avait un taux d'incapacité de 85 % avec une restriction substantielle et durable pour l'accès à l'emploi.

En conséquence, le tribunal estime qu'il y a lieu d'accorder l'allocation aux adultes handicapés à compter du 1er avril 2013 pour une durée de deux ans.

### DECISION

Le tribunal statuant publiquement, par jugement contradictoire, en premier ressort, après en avoir délibéré conformément à la loi, déclare recevable en la forme le recours de Madame Marine P-R., infirme la décision de la MAISON DEPARTEMENTALE DES PERSONNES EN SITUATION DE HANDICAP 09, et dit qu'à la date du 01/04/2013, Madame Marine P-R. présente un taux d'incapacité de 85 %, remplit les conditions médicales pour prétendre à l'allocation aux adultes handicapés à compter du 01/04/2013 pour une durée de deux ans.

Le Tribunal : Marie-Elisabeth Farné (président), Denis Lacombe (assesseur représentant les travailleurs salariés), André Baldini (assesseur représentant les employeurs et travailleurs indépendants), Elisabeth Alessi (secrétaire d'audience)

Nous avons contacté Alice Terrasse par mail, pour lui poser des questions en rapport avec ce jugement sur l'électrosensibilité. Puis, nous avons convenu d'un rendez-vous téléphonique qui a eu lieu le mardi 9 février. En voici une synthèse :

**Notre question : Beaucoup d'études sont faites mais ne sont pas toutes d'accord, qu'en pensez-vous ?**

Alice Terrasse : " Beaucoup d'études sont faites ...je pense qu'on n'a aucune certitude scientifique sur l'électro-sensibilité, sur la réalité de ce handicap...il ne faut pas parler de maladie, mais de déficiences fonctionnelles dues à ces ondes. Je témoigne du nombre croissant de personnes qui se disent électro-sensibles et qui le sont réellement...j'ai vu les symptômes en les accueillant dans mon bureau ou en me rendant chez eux. Donc il n'y a pas de réalité scientifique aujourd'hui, mais il y a une réalité dans les faits. "

**Notre question : Est-ce que votre jurisprudence a eu un impact ?**

Alice Terrasse : " Oui je pense sincèrement que cela a changé quelque chose car aujourd'hui on parle de l'électro-sensibilité, alors qu'avant on parlait plus de personnes qui étaient folles, qui disaient qu'elles étaient allergiques aux ondes. ... Aujourd'hui, c'est un mot qui circule. Cela a donné également, c'est une prise de conscience à plus haut niveau. Par exemple, jeudi prochain [11 février 2016], il y a un colloque à l'Assemblée Nationale à l'initiative de la Député Laurence Abeille, qui propose de s'interroger sur la reconnaissance de l'électro-sensibilité suite à l'intervention de la décision de justice. "

<https://www.weezevent.com/ehs>

The image shows a screenshot of a Weezevent event page. At the top, the title "COLLOQUE : POUR LA RECONNAISSANCE DE L'ÉLECTRO HYPERSENSIBILITÉ" is displayed in large white letters over a background of yellow stadium seats. Below the title, the page is divided into three main sections: "INFORMATIONS", "INSCRIPTIONS", and "DESCRIPTIF".

**INFORMATIONS**

Colloque : pour la reconnaissance de l'électro hypersensibilité  
11/02/2016 - 13h30 à 18h00  
Assemblée nationale  
126 rue de l'université  
75007 Paris  
FRANCE

A map shows the location at 126 Rue de l'Université, near the Palais Bourbon and the Assemblée Nationale.

**INSCRIPTIONS**

PANIER COORDONNÉES PAIEMENT CONFIRMATION

Aucun billet n'est disponible à la vente actuellement !

**DESCRIPTIF**

Colloque "POUR LA RECONNAISSANCE DE L'ÉLECTROSENSIBILITÉ"  
Assemblée nationale - Salle COLBERT, 126 rue de l'Université, Paris 7e  
Organisé par Laurence ABEILLE, députée à l'Assemblée nationale et Michèle RIVASI, députée européenne  
Entrée libre et gratuite mais inscription obligatoire avant le 4 février. En raison des règles de sécurité, sans inscription avant le 4 février, l'accès à l'Assemblée nationale sera refusé.

Avec le déploiement actuel du compteur électrique Linky, les expérimentations de la 5G pour la téléphonie mobile et toujours plus de wifi dans les lieux publics, nous sommes plus que jamais entourés d'un « brouillard d'ondes ». Dans le même temps, un tribunal a reconnu un handicap à 80% chez une femme souffrant d'électro-hypersensibilité. C'est pourquoi il nous semble indispensable de remettre ce sujet majeur de santé publique sur la table, et de s'adresser plus particulièrement aux médecins et professionnels de santé. Les scientifiques et médecins qui interviendront à ce colloque sont des spécialistes du sujet et nous montreront que les ondes électromagnétiques ont des impacts réels sur la santé et peuvent rendre certaines personnes « allergiques » à ces ondes.

#### 14h00 - Ouverture et introduction

- Laurence ABEILLE, députée à l'Assemblée nationale
- Michèle RIVASI, députée européenne

#### 14h30 - Table ronde : l'EHS, une reconnaissance sur le plan scientifique et médical ?

- Pr. Pierre LE RUZ – Expert européen, président de la Commission de recherche et d'Information Indépendantes sur les Rayonnements Electro Magnétiques
- Pr. Dominique BELPOMME, oncologue et président de l'Association pour la Recherche Thérapeutique Anti-Cancéreuse
- Docteur André VANDER VORST, ingénieur et physicien
- Docteur Pierre BIBOULET, médecin expert

#### 16h30 - Témoignages et débat : les constats de médecins, le vécu de victimes des ondes

- Dr Béatrice MILBERT – médecin généraliste
- Dr Alain COLLOMB – Association Santé environnement Provence
- Catherine NEYRAND, kinésithérapeute
- Marie-Christine NAHON, électro-hypersensible
- Bruno BESSON, conjoint d'une électro-hypersensible
- Olivier CACHARD, professeur de Droit, Université de Lorraine
- Maître François LAFFORGUE, avocat spécialisé dans la santé publique

#### 17h30 - Conclusion - Lancement de l'appel de médecins et professionnels de santé : «

L'électro hypersensibilité est un problème de santé publique »

Remise de l'appel à un représentant du Ministère de la santé (sous réserve)

### **Le programme du colloque sur l'électrohypersensibilité à l'Assemblée Nationale**

#### **Notre question : Est-ce que cela a changé quelque chose ?**

Alice Terrasse : « Oui cela a changé des choses puisqu'on est dans une phase de pleine reconnaissance de l'électro-sensibilité... Beaucoup de gens demandent l'instauration de plusieurs zones blanches, c'est-à-dire exemptes d'ondes pour pouvoir vivre dans des conditions à peu près décentes... Mme Richard vit dans une zone blanche, recluse dans sa petite maison. »

#### **Notre question : On a vu dans le magazine Sciences et Avenir que des gens sentaient des symptômes en voyant une antenne alors que l'antenne n'était pas branchée...**

Alice Terrasse : « Oui tout à fait, il y a un effet placebo dans le sens négatif, mais il ne faut pas confondre. C'est un faux débat, car ces personnes sont véritablement électro-sensibles, si on les met dans des conditions défavorables, avec des ondes à proximité, ces personnes souffrent véritablement. On ne doit pas limiter les analyses sur l'électro-sensibilité de ce point de vue là uniquement... Tout le monde est sujet à l'effet placebo, et pourtant on est véritablement malades parfois. »

**Notre question : Est-ce que personnellement vous prenez des précautions depuis la décision du tribunal ?**

Alice Terrasse : “Cela fait des années que je prends des précautions à titre personnel. J’ai internet à la maison, un téléphone portable, etc... mais je les utilise avec parcimonie. Par exemple, je vous parle au téléphone en mode mains-libres. A la maison, je n’ouvre la Wi-Fi que quand c’est nécessaire et je l’éteint la nuit...j’ai une petite fille et par précaution, je n’ai pas envie qu’elle supporte toutes ces ondes électromagnétiques. J’interdis à ma fille d’utiliser le portable...Vous-même êtes-vous sensibilisé à cette question ?... [Mathis : dans la famille, certains n’arrivent pas à dormir quand il y a le Wi-Fi]... On a tous déjà ressenti au téléphone portable un mal à la tête, l’oreille qui chauffe. Je remarque que tous les gens qui se disent électro-sensibles avaient déjà une déficience avant, beaucoup ont développé la maladie de Lyme, avec une atteinte du système immunitaire préalable. Ce sont déjà des personnes fragilisées physiquement. Tandis que d’autres qui n’avaient aucun symptôme sont devenus hyper-électro-sensibles à la suite d’une surexposition. “

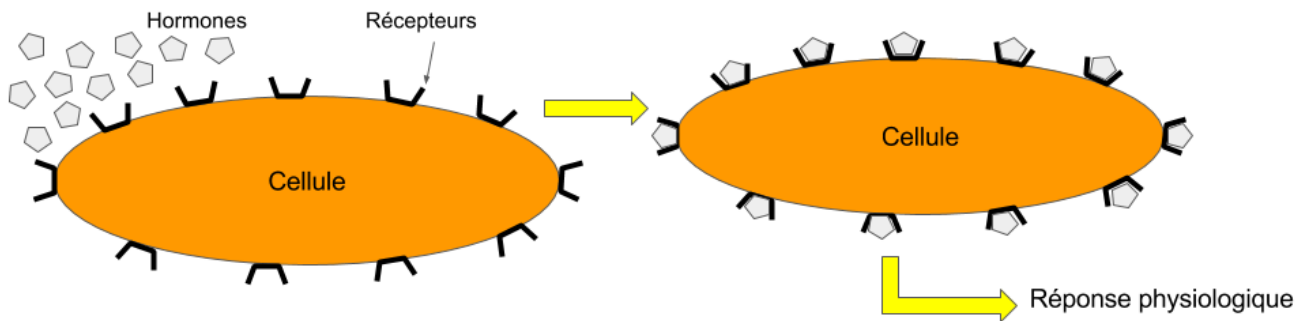
## 5.3. Troubles hormonaux et atteinte à la fertilité

### Des troubles hormonaux constatés

Les hormones sont des substances essentielles au sein de notre organisme. Ce sont des substances chimiques sécrétées par des cellules endocrines, qui circulent via le sang.

Elles agissent à distance sur des cellules cibles qui ont à leur surface des récepteurs dont la forme est complémentaire à l'hormone. Les cellules, une fois qu'elles ont captées ces hormones, vont répondre physiologiquement, par exemple par une synthèse de protéines (ou une absence de synthèse), une multiplication cellulaire, ou encore une mort cellulaire.

Les hormones régulent ainsi le développement, et les apports dans le sang. Autant dire qu'elles sont tout simplement indispensables.



Lors d'états émotionnels, de modifications de l'environnement, ou de situations anormales au sein de l'organisme, des changements hormonaux sont observés.

En 2002, Wenzel et son équipe ont publié qu'une exposition prolongée aux radiofréquences (900 MHz) engendrait un stress chronique chez la vache par dosage du cortisol salivaire (principale hormone de régulation du métabolisme des graisses, des protéines et des glucides, mais cette hormone est aussi sécrétée en situation de stress).

De plus, selon une étude rendue publique par l'Université du Queens au Canada et menée par le Dr. Shamloul, les ondes émises par nos téléphones cellulaires perturberaient la sécrétion d'hormones, en augmentant le taux de testostérone, mais en réduisant celui de l'hormone lutéinisante (la LH).

Prenons ce dernier exemple pour comprendre comment les ondes électromagnétiques pourraient être à l'origine de dérèglements hormonaux.



Tout commence **dans le cerveau** (système nerveux donc entre autre sous contrôle environnemental), au niveau de **l'hypothalamus**, avec des neurones qui vont sécréter **une neurohormone** (messager chimique produit par un neurone agissant comme une hormone) : **la GnRH**.

Cette neurohormone va être véhiculée **par le sang** (une veine porte fait le lien, on parle de système porte hypothalamo-hypophysaire) **jusqu'à la partie antérieure de l'hypophyse** (adénohypophyse).

**La GnRH** a donc pour cellules cibles **les cellules adénohypophysaires**, qui portent des **récepteurs complémentaires à la GnRH**. Lorsqu'elles fixent la neurohormone, elles produisent deux hormones, la **FSH** (hormone folliculo-stimulante) et la **LH** (hormone lutéinisante).

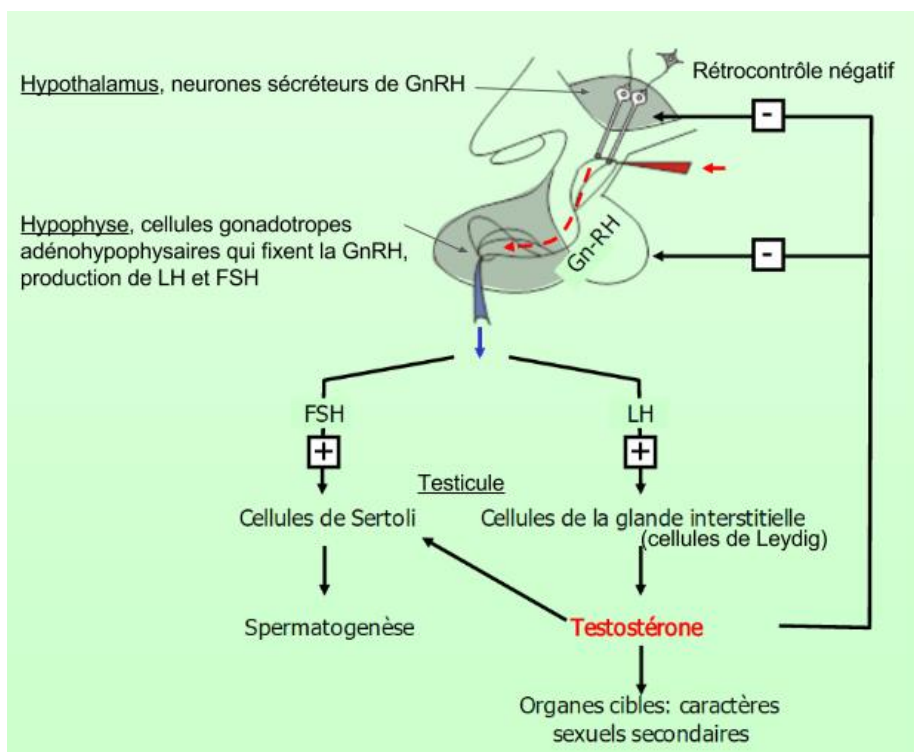
**La LH** a pour cible, elle, **les cellules de Leydig** qui se trouvent au niveau **du testicule**. En réponse, une fois qu'elles ont fixé la LH via leurs récepteurs, **ces cellules produisent de la testostérone**.

Cette dernière hormone (la LH) va avoir plusieurs rôles : permettre **la spermatogenèse**, et induire le maintien du **développement des caractères sexuels secondaires**.

**La FSH**, elle, stimule **les cellules de Sertoli** et avec **la testostérone**, permet aussi **la spermatogenèse**.

Cette testostérone, en retour, contrôle négativement, **le complexe hypothalamo-hypophysaire**, du fait que le taux de testostérone soit maintenu de manière **constante** autour d'une valeur de consigne.

Ainsi, si l'hypothalamus **produit trop de GnRH**, la testostérone, **trop concentrée**, va **inhiber** en retour l'hypothalamus qui produira alors **moins de GnRH** : c'est **une boucle de régulation**.



Dans le cas de **l'étude précédente** (Dr. Shamloul), **l'augmentation** du taux de testostérone **inhiberait la production de GnRH**, ce qui **inhiberait donc la production de LH**, ce qui explique **la baisse du taux de cette hormone**.

Cependant, ces études nous montrent que notre organisme **se régule car des facteurs viennent modifier sa stabilité**. Le facteur semble ici être **les ondes électromagnétiques** émises par le téléphone portable.

Ainsi, **les radicaux libres** que nous avons étudiés dans la partie concernant les effets biologiques sont une explication de ces effets à l'échelle de l'organisme. Ils pourraient **modifier la structure moléculaire des hormones, des récepteurs, des cellules**, tant celles qui produisent les hormones que les cellules mères des gamètes, ce qui expliquerait ces **modifications hormonales**.

**Mais les études manquent pour savoir si ces troubles hormonaux sont suffisants pour occasionner des dégâts à long terme, le risque est seulement présent.**

### **Des troubles de la fertilité masculine observés**

Notre téléphone portable, quand nous ne téléphonons pas, se situe pour la plupart des gens **dans notre poche**. Même si nous n'utilisons pas l'appareil, celui-ci émet quand même des ondes.

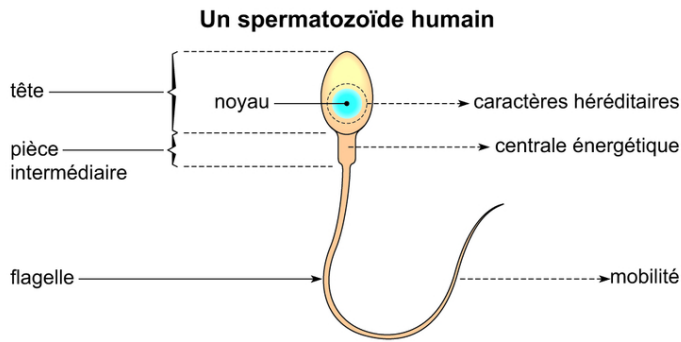
Du fait de sa proximité avec les organes reproducteurs, des études ont mis en évidence **l'affectation de la fertilité masculine en raison des rayonnements**.

**Le Dr. Fiona Mathews** et son équipe, de l'université d'Exeter, Royaume-Uni, met en évidence, en analysant 10 études sur **la qualité du sperme**, basée sur 1 500 échantillons. Les ondes électromagnétiques **appauvriraient** le sperme à **deux niveaux** : elles **réduiraient de 8 % la mobilité des spermatozoïdes** et elles **affecteraient leur viabilité (durée de vie) de 9 %**.

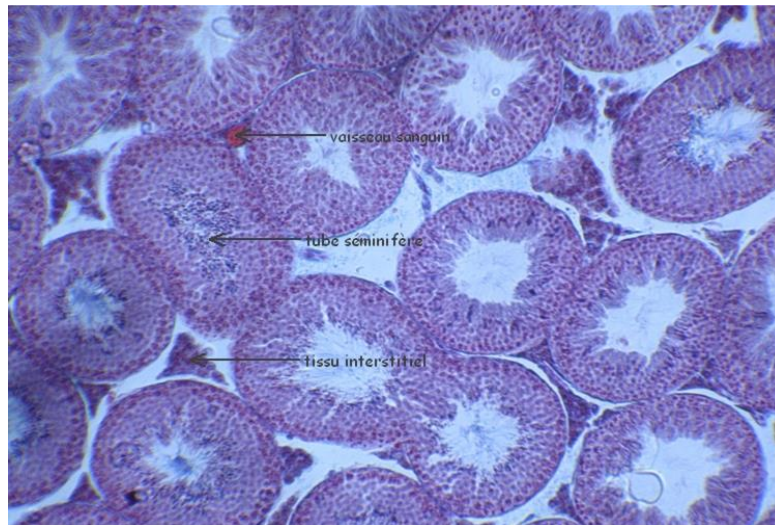
**Les spermatozoïdes** sont de **toutes petites cellules** (5 micromètres de diamètre) capables de se déplacer. Ils servent à transporter **la moitié des informations génétiques, issues du père** et nécessaires à la "fabrication" d'un nouvel être humain, jusqu'à l'ovule de la mère, qui contient l'autre moitié des informations.

Ils sont constitués de **plusieurs parties** :

- **la tête**, qui contient le noyau de la cellule, donc l'ADN,
- **le corps**, partie renfermant des substances productrices d'énergie qui se chargent, tel un moteur, de propulser le spermatozoïde dans sa course vers l'ovule,
- **la flagelle**, c'est grâce à cette partie que cette cellule peut se déplacer, la flagelle oscillant de droite à gauche et permettant une propulsion.



Ils sont fabriqués par **les testicules**, qui sont de véritables usines et qui fabriquent ces spermatozoïdes **de la puberté jusqu'à la fin de la vie**. Dans chaque testicule, on trouve un **réseau très dense de tubules**, les **tubes séminifères**, dans lesquels les spermatozoïdes sont produits, comme nous le voyons dans l'image ci-dessous.



**Coupe d'un testicule au microscope optique (x10)**

Ces tubules sont formés **d'une paroi épaisse**, et **d'une lumière au centre**.

La paroi contient principalement **les cellules germinales** (précurseurs des spermatozoïdes) appelées **spermatogonies**, qui sous l'action de la FSH et de la testostérone (hormone agissant plus précisément sur les cellules de Sertoli de ces tubules) vont être progressivement **remaniées jusqu'à devenir les spermatozoïdes**.

Comme nous le voyons sur la photographie ci-dessous, si nous allons de la périphérie jusqu'au centre, nous apercevons **des cellules** dont la taille diminue : cela matérialise **les transformations** que subissent les cellules mères pour **former des gamètes**.

Dans la lumière se trouve des cellules d'une **forme particulière** : ce sont **les spermatozoïdes** formés, qui vont ensuite être stockés dans une partie du système reproducteur humain : **l'épididyme**.



**Coupe d'un tube séminifère au microscope optique**

Les ondes émises par notre téléphone portable **affecteraient donc la fabrication de ces gamètes au niveau des tubes, ou les gamètes elles-mêmes dans leur lieu de stockage (l'épididyme)** à la vue des défaillances observées par l'équipe du Dr. Shamloul. L'explication biologique est toujours la même, **de la matière lésée qui provoque des dysfonctionnements.**

Ces troubles de la qualité du sperme sont renforcés par les troubles hormonaux mis en évidence précédemment.

**Du côté féminin, aucune étude n'a prouvé une baisse de la qualité des ovules,** seuls les hommes seraient concernés par la baisse de qualité de leur gamètes.

Les études sont là aussi **insuffisantes** pour révéler des risques importants à long termes, mais le principe de précaution semble ici s'appliquer.

### **Conclusion générale de la partie**

Si beaucoup de chercheurs biologistes **se refusent à l'extrapolation** de leurs résultats, les études d'effets sanitaires semblent à mettre en évidence avec ces effets biologiques notés, sans pour autant les confondre.

Les dangers paraissent **plus importants dans le cerveau,** où la barrière hémato-encéphalique semble **perdre sa perméabilité,** où des **troubles dans la communication entre neurones** apparaissent et où **le risque d'avoir une tumeur cérébrale semble augmenter** sous l'influence des rayonnements d'un téléphone portable.

La sensibilité accrue de certaines personnes à ces rayonnements a donné naissance à une pathologie en cours de reconnaissance : **l'électrosensibilité,** se présentant comme une allergie aux ondes électromagnétiques. Mais le doute plane sur cette "maladie", effets réels ou effets psychosomatiques ? Ou les deux ? Le fait que nous soyons face à une population capable d'angoisse complique la tâche aux scientifiques chargés de fournir une réponse définitive quant à la nocivité des rayonnements.

Un autre effet notable remarqué est l'apparition **de troubles hormonaux,** ces ondes sembleraient capables de **perturber les communications hormonales de notre corps.**

Enfin, les hommes seraient concernés par **une baisse de qualité du sperme,** avec des gamètes **d'une durée de vie moins importante,** et avec **des difficultés de déplacement.**

**Toutes ces études nous montrent les risques que présentent ces rayonnements, qui ne sont donc pas si inoffensifs que cela.**





# 6. Protection et principe de précaution



Si les conséquences sanitaires des ondes électromagnétiques sur l'ensemble de la population sont toujours discutées, certaines autorités sanitaires comme l'Organisation Mondiale de la Santé ainsi que de nombreux pouvoirs publics formulent des conseils pour limiter l'exposition face aux ondes wifi, antennes relais, fours à micro-ondes et autres équipements bluetooth, ainsi que promouvoir l'usage du mobile dans des conditions de sécurité optimales. En voici quelques-uns.

## 6.1. Comment s'en protéger dans la maison ?

- Utiliser des **biorécepteurs** : Ce sont des petits boîtiers qui coupent le circuit électrique et le courant magnétique quand aucun appareil ne fonctionne.
- Il est conseillé **d'éviter une exposition directe** avec une borne Wi-Fi et **l'éteindre pendant la nuit**. Le plus raisonnable est de se connecter à un réseau internet par un réseau filaire, qui lui n'émet pas d'onde.
- Le four à micro-ondes émet un champ électromagnétique important. Il fonctionne grâce à un rayonnement de forte puissance qui agite les molécules d'eau afin de provoquer le réchauffement ou la cuisson des aliments. Le problème du four à micro-ondes est qu'il n'est généralement pas totalement étanche et qu'une partie des ondes censées être confinées dans l'enceinte du four peuvent fuir à l'extérieur de celui-ci et nous atteindre beaucoup plus facilement que certaines ondes. Il est donc conseillé de **changer son micro-ondes tous les cinq ans**, qui en vieillissant « fuit » de plus en plus et perd de l'énergie. Lors de son utilisation, **se tenir à une distance d'au moins 1 mètre**.
- **Eloigner** le baby phone du lit du bébé
- **Garder ses distances avec les plaques à induction**, avec le frigidaire ou la cafetière électrique.
- Éviter **le chauffage électrique au sol** et **les chauffages radiants**.
- **Remplacer les ampoules fluo compactes**, dites « basse consommation », **par des Led** pour réduire les radiations lumineuses.
- Utiliser des **téléphones fixes filaires** car les téléphones fixes sans fil produisent aussi des ondes, il faut ensuite le **mettre en haut parleur** afin de l'écartier au maximum de sa tête.



## 6.2. Les bons usages du téléphone mobile

- Les **autorités sanitaires** recommandent aux parents de donner **le plus tard possible** un téléphone mobile à leurs enfants de préférence **pas avant 15 ans** (phase de croissance, avec une masse de tissus moindre, les rayonnements ont une nocivité accrue) , et de les inciter à avoir **une utilisation modérée**.
- Lors de l'achat d'un mobile, choisir son téléphone qui a **un débit d'absorption spécifique bas**, de préférence toujours inférieur à 0,7 W/kg
- Utiliser **un kit oreillette** (ou kit piéton) pendant les appels téléphoniques, pour réduire l'exposition de la tête aux ondes radio. Sinon, il faut éloigner son téléphone mobile **le plus loin** possible des oreilles.
- Ne pas garder son téléphone **près du lit la nuit**, **l'éloigner** le plus possible et **l'éteindre** car même en mode avion un téléphone portable continue d'émettre des ondes.
- Utiliser le mobile dans **de bonnes conditions de réception**. Le mobile ajuste automatiquement sa puissance d'émission en fonction des signaux radio qu'il reçoit du réseau.
- Ne pas téléphoner **en se déplaçant**, la puissance d'émission et de réception en irradiation de l'antenne-relais vers le mobile sont décuplées, celui-ci étant en recherches constantes d'antennes relais.
- Ne pas téléphoner dans un véhicule, même à l'arrêt. Dans un espace métallique fermé il se produit le **phénomène dit "cage de Faraday"** qui en plus optimise au maximum les effets nocifs des rayonnements par réflexions, non seulement sur l'utilisateur, mais aussi sur tous les passagers, notamment les enfants. En conséquence, il est impératif de sortir du véhicule pour téléphoner..



## 6.3. Différents procédés pour nous protéger

Pour se protéger des ondes, le cas ultime serait de vivre dans une cage de Faraday. Nous nous sommes intéressés à ce phénomène, que nous avons illustré par une expérience avec un téléphone mobile.

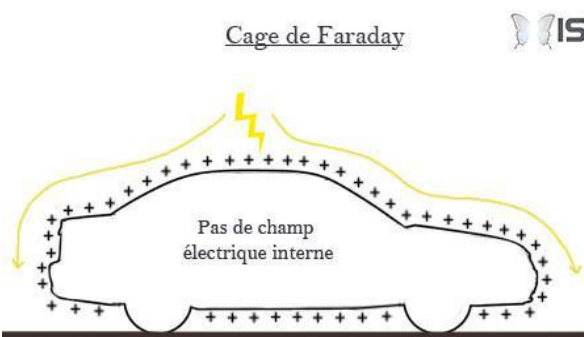
### La cage de Faraday

**Les micro-ondes** réagissent différemment avec différents types de matières. Certains matériaux peuvent les **dévier** et d'autres peuvent les **réfléchir** ou les **absorber**.

**Les métaux conducteurs** (acier, cuivre, fer, argent...) lorsqu'ils forment une enceinte grillagée, permettent **d'annuler le champ électrique** de l'onde à l'intérieur, même si des charges sont placées à l'extérieur de l'enceinte. Or, comme nous avons vu précédemment, une onde électromagnétique est constituée **d'un couplage d'un champ magnétique et d'un champ électrique**. Donc si l'un de ses deux champs est **nul**, alors l'onde ne peut plus se propager : c'est le principe de la cage de Faraday.



Aujourd'hui, les cages de Faraday sont **dissimulées** dans des équipements de la vie de tous les jours, comme par exemple dans les **ordinateurs**, ou autres **appareils électroménagers**. Mais également dans les pièces où il y a un appareil IRM, afin d'éviter les interférences avec d'autres ondes.



**L'automobile** est une cage de Faraday courante. Par exemple, si la foudre touchait une voiture, la carrosserie en métal de la voiture agirait comme une cage de Faraday. C'est-à-dire que les charges électriques se répartiraient sur la surface externe de la voiture avant de rejoindre le sol. Mais ne viendrait pas électrocuter les passagers à l'intérieur

## Notre expérience de cage de Faraday avec un mobile

Nous avons souhaité illustrer ce phénomène avec **une expérience** que nous avons filmée ([https://www.youtube.com/watch?v=bC-S6stKz30&feature=em-upload\\_owner](https://www.youtube.com/watch?v=bC-S6stKz30&feature=em-upload_owner)). Pour cela, nous avons regardé comme le métal aluminium vient « **isoler** » le téléphone mobile qui devient incapable de recevoir des ondes électromagnétique (et donc des appels).

### situation de départ



### expérience 1



L'aluminium constitue donc **une cage de Faraday**



## Expérience 2 : influence des trous dans la feuille d'aluminium



Nous avons réduit la taille de la feuille pour éviter que les trous ne se superposent.



### Conclusion de l'expérience :

Nous avons donc démontré que **l'aluminium** peut servir pour faire **une cage de Faraday**. Toutefois, son efficacité sera très dépendante de **la quantité d'alu** et **des ouvertures** dans la cage. C'est pour cela que dans notre expérience principale (**générateur d'ondes 1800 MHz + antenne + ray-grass**), nous n'avons pas pu utiliser un grillage comme cage puisque les mailles des grillages, que nous trouvons dans les magasins de jardinage ou de bricolage, étaient **trop grandes**. Si elles avaient été **plus petites**, elles auraient influées sur **la luminosité**.

Pour conclure, on voit bien que la protection face aux micro-ondes est **très limitée** car aujourd'hui les ondes sont **partout** et on ne peut pas forcer les gens à **vivre** dans une cage de Faraday. Même si nous pourrions **tapisser nos poches** d'un petit grillage afin d'éviter l'interaction entre notre peau et notre téléphone mobile, ou **recouvrir notre lit** d'une moustiquaire grillagée afin de nous isoler des ondes pendant la nuit.

On voit ainsi que **les zones blanches**, qui autrefois étaient considérées comme **inacceptables** pourraient aujourd'hui est perçues comme un refuge pour les personnes **électrosensibles**.

Nous venons de présenter la cage de Faraday qui permet de s'isoler des ondes. Il existe également **d'autres matériaux qui seraient capables de nous protéger des ondes**, notamment une **peinture au carbone** qui nous protégerait à la maison.

## Les peintures isolantes

Les deux principaux fabricants de peinture isolante sont **Duralex** et **Yshield** est une gamme de **peintures acryliques** destinées à **atténuer les champs et les ondes électromagnétiques**.

Deux types de peinture existent :

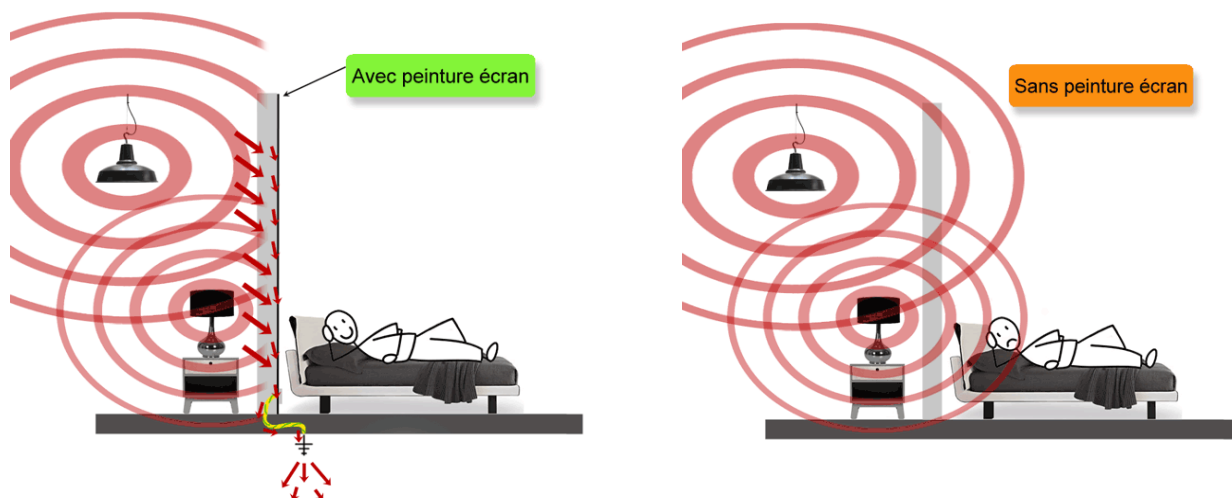
- DX Electro BF qui capte 99% des ondes en **basses fréquences** (réseau électrique) et nécessite un raccordement à la terre.
- DX Electro HF qui réduit de 95% **les hautes fréquences** (Wi-Fi, antenne relais, portables, ...) dans des espaces qui ne doivent pas contenir d'émetteur d'ondes. Il est éventuellement possible d'effectuer un raccordement à la terre si l'on souhaite une protection des ondes basses fréquences.

Ces peintures mates noires contiennent du **carbone**, qui agit comme un **conducteur**.

### Peinture anti-ondes Basse Fréquence : rôle et application

Cette peinture est dédiée à la **protection contre les champs basses fréquences** et plus précisément contre les champs électriques basses fréquences (**50 Hz** pour la peinture NSF34 Yshield de **50 à 16 KHz** pour la peinture Electrostop BF Duralex). Cette protection permet de **se prémunir des champs électriques basses fréquences issus d'un réseau de câbles** cachés dans une cloison, d'appareils électriques (lampe, station informatique, télévision, chaîne-hifi, aquarium, etc.) ou d'installations électriques (tableau électrique) situés dans une pièce mitoyenne.

Ces peintures permettent d'**isoler une pièce complète ou un périmètre défini de toute perturbation électrique**.



La peinture anti-ondes basse fréquence contient de **minuscules particules de graphite** et carbone qui **absorbent les champs électriques et les évacuent** ensuite vers la prise de terre.

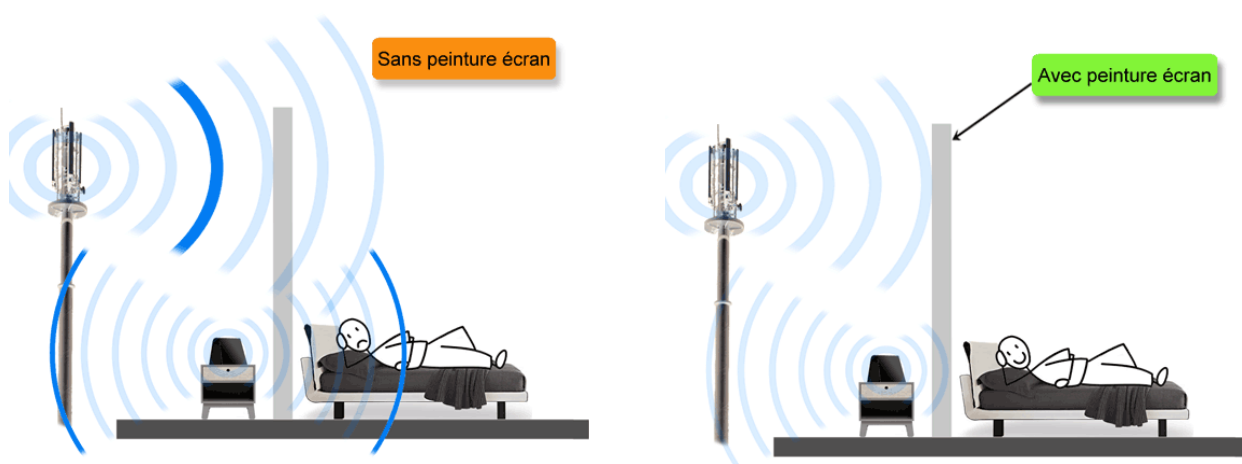
Pour jouer son rôle pleinement, cette peinture doit donc être impérativement **reliée à la prise de terre électrique** de l'habitation ou du bâtiment.

### Peinture anti-ondes Haute Fréquence : rôle et application

Les peintures de protection **hautes fréquences** (400 MHz à 7,5 GHz pour ElectroStop HF Duralex ; 30 MHz à 4GHz pour HSF54 Yshield), sont formées à partir de **particules de graphite et de carbone** et ont pour fonction la **réflexion des ondes électromagnétiques**.

Alors que la peinture basse fréquence **absorbe les champs électriques**, la peinture haute fréquence **renvoie les rayonnements: c'est la réflexion**. Le mur ou cloison une fois peint deviendra une **surface réfléchissante** pour les ondes électromagnétiques hautes fréquences.

Il est cependant important pour une **réflexion optimale** de réaliser un **recouvrement complet et homogène** de la surface. Une première couche de primaire d'accroche est absolument nécessaire dans le cas du blindage d'une surface non lisse (briques, pierres, blocs, béton, etc...)



**Ces peintures semblent donc être une alternative pratique et efficace à la Cage de Faraday.**

# Conclusion

Au cours de ce TPE, nous avons vu comment se caractérise une onde électromagnétique. Ces ondes électromagnétiques sont aujourd'hui largement utilisées dans les réseaux de télécommunications, ce qui nous a amené à nous poser la question de leur dangerosité.

Nous avons alors monté une expérimentation permettant de comparer la croissance de semences irradiées avec celles non irradiées. Les résultats obtenus ont mis en évidence des différences de croissance. Malgré tout, l'interprétation que nous en avons faite avec l'aide de chercheurs du domaine, n'a pas permis de conclure à un effet réel des ondes électromagnétiques, même si certains arguments vont dans ce sens. Il en est de même chez l'homme où les nombreuses études scientifiques n'ont pas mis définitivement en évidence un effet néfaste des ondes, même si indéniablement des personnes en souffrent. Quelle est la part des effets physiologiques et des effets psychologiques dans ces souffrances ? De nombreuses études se contredisent. Il est donc aujourd'hui préférable d'opter pour le principe de précaution, et réduire son exposition aux rayonnements par des gestes simples tous les jours.





# Bibliographie

- L'observatoire de Paris, Qu'est ce qu'une onde?  
[https://media4.obsprm.fr/public/AMC/pages\\_base-optique-geo/kezaco-onde.html](https://media4.obsprm.fr/public/AMC/pages_base-optique-geo/kezaco-onde.html)
- Ccssmi Québec, Cours sur les ondes  
<http://sites.cssmi.qc.ca/slavallee/IMG/pdf/SCT306OndesA.pdf>
- Je comprend enfin, Ondes et mouvement  
<http://www.je-comprends-enfin.fr/index.php?/Eau-ondes-et-mouvement/ondes-longitudinales-ou-transversales/id-menu-14.html>
- Les ondes : sésame sans fil, Les ondes ionisantes et non ionisantes  
<http://homo-mobilus.fr/reseau-mobile/les-ondes-sesame-du-sans-fil>
- Allo Prof, Le spectre électromagnétique  
<http://www.alloprof.qc.ca/bv/pages/s1137.aspx#micro-onde>
- Les ondes, Les différents types d'ondes  
<http://www.ondes-radio.orange.com/fr/les-ondes/les-differents-types-d-ondes>
- Qu'est-ce que la radiothérapie  
<http://www.e-cancer.fr/Patients-et-proches/Se-faire-soigner/Traitements/Radiotherapie/Qu-est-ce-que-la-radiotherapie>
- Des ondes pour améliorer la mémoire ?  
<http://www.sciencesetavenir.fr/sante/20100108.OBS3072/des-ondes-pour-ameliorer-la-memoire.html>
- Qu'est-ce que le Wifi et comment ça marche  
<http://www.commentcamarche.net/faq/42404-qu-est-ce-que-le-wi-fi-et-comment-ca-marche>
- La téléphonie mobile  
<http://www.ondes-radio.orange.com/fr/la-telephonie-mobile>  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9phonie\\_mobile](https://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9phonie_mobile)
- Portail radiofréquences-santé-environnement, Téléphones mobiles, santé et sécurité  
<http://www.radiofréquences.gouv.fr/>
- Etude d'Alain Vian et de Gerard Ledoigt :  
<http://www.next-up.org/pdf/StudySystemicAccumulationOfbZIPmRNAafteLowAmplitude900MHzStimulationInPlantpdfUniversityBlaisePascalFrance.pdf>  
<http://www.next-up.org/pdf/ImpactPhysiologiqueRayonnementElectroMagnetiquesHfCellulesviavantesPresentAlainVian102007.pdf>  
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00425-007-0664-2>
- Etude de De Pomerai :  
<http://www.nature.com/nature/journal/v405/n6785/full/405417b0.html>
- Leszczynsky cellules endothéliales :  
[http://dynamics.org/Altenberg/MED/CELL\\_PHONES/SEARCH/Leszczynsk.pdf](http://dynamics.org/Altenberg/MED/CELL_PHONES/SEARCH/Leszczynsk.pdf)
- La production d'ATP accrue en présence de Magnésium 25 :  
<http://scihub.org/AJBMS/PDF/2011/1/AJBMS-1-1-30-38.pdf>
- Les hypothèses du Dr. Pilette quant à l'effets des micro-ondes sur l'ATP :  
[http://www.next-up.org/pdf/Dr\\_Jean\\_Pilette\\_ANTENNES\\_DE\\_TELEPHONIE\\_MOBILE\\_TECHNOLOGIES\\_SANS\\_FIL\\_ET\\_SANTE\\_version112008.pdf](http://www.next-up.org/pdf/Dr_Jean_Pilette_ANTENNES_DE_TELEPHONIE_MOBILE_TECHNOLOGIES_SANS_FIL_ET_SANTE_version112008.pdf)
- Comment se protéger des ondes électromagnétiques ?  
[http://www.ehs-mcs.org/fr/protection-electrohypersensible\\_14.html](http://www.ehs-mcs.org/fr/protection-electrohypersensible_14.html)  
[http://www.robinstoits.org/S-informer-pour-agir-se-protéger-des-ondes-pourquoi-comment-Mes-opinions-com\\_a1907.html](http://www.robinstoits.org/S-informer-pour-agir-se-protéger-des-ondes-pourquoi-comment-Mes-opinions-com_a1907.html)
- Cage de Faraday :  
<http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/matiere-cage-faraday-3821/>
- Magazine « Sciences et avenir » : octobre 2015 : L'électrosensibilité existe-t-elle vraiment ?
- Magazine « Sciences et avenir » : juin 2013 : Radiothérapie du sur mesure pour soigner les cancers



# Annexes

Pierre Le Ruz nous a envoyé un document de 10 pages sur les pollutions électromagnétiques. Voici deux extraits :

(riirem

Centre de Recherche et d'Information Indépendantes  
sur les Rayonnements Electromagnétiques

## LES POLLUTIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Leurs effets sur les biens et les personnes.  
Les réglementations françaises et européennes.

Pierre LE RUZ Président du Criirem

Catherine GOUHIER-LE CORRE Secrétaire Général du CRIIREM

19-21 rue Thalès de Milet  
72000 Le Mans  
Tél / Fax : 02 43 21 18 69  
[contact@criirem.org](mailto:contact@criirem.org)

Aujourd'hui, avec les progrès de la technologie et les besoins sans cesse accrus en énergie électrique, **l'exposition aux rayonnements non ionisants (1 Hertz à 300 GigaHertz ) a fortement augmenté**. Aussi des questions cruciales se posent concernant la gestion des risques tant pour les biens que pour les personnes.

En ce qui concerne les ondes électromagnétiques d'Extrêmement  
Basses Fréquences (1 Hertz à 10 kiloHertz) :

- 1. Des études scientifiques réalisées sur l'animal**, exposé à des fréquences de 50/60 Hertz, révèlent des perturbations sur les flux d'ions calciques, les rythmes circadiens, les défenses immunitaires et le système nerveux. Mais aussi des modifications dans la physiologie de la glande pinéale et dans la synthèse des protéines, auxquelles sont à ajouter des effets promoteurs ou copromoteurs dans la cancérogenèse. Enfin, sans oublier les électrocutions, les électrisations et les brûlures de contact, **des études épidémiologiques humaines révèlent** des associations statistiquement significatives entre des expositions chroniques à 50/60 Hertz, des leucémies et des cancers du cerveau.
- 2. Des études techniques sur les lignes à hautes et très hautes tensions**, les alternateurs, les transformateurs, les moteurs électriques, les équipements de soudage, les plaques à induction et les ordinateurs, **révèlent des phénomènes de compatibilité électromagnétique (CEM) entraînant des dysfonctionnements sur les appareils et les matériels exposés**. Ces perturbations parasites sont expliquées par l'apparition de courants induits dans les structures métalliques des bâtiments ou des élevages, mais aussi dans les circuits électriques et électroniques des appareils ménagers, industriels, de bureautique et médicaux (implants actifs et inactifs). Ces problèmes sont réglementés par la Directive Européenne CEM2004/108/CE, les Normes NF-EN 61000 et le Décret français n° 2006-1278.

## EN CONCLUSION

Aujourd'hui, concernant l'impact de l'exposition aux rayonnements non ionisants des ondes Radioélectriques, RadioFréquences (RF) et HyperFréquences (HF), **les dispositions suivantes devraient normalement être prises en compte dans le cadre de la gestion des risques susnommés :**

1. Le communiqué N°136 du 27 juin 2001, de l'OMS qui indique que le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC) a classé les champs magnétiques des Extrêmement Basses Fréquences ( EBF/ELF), comme « peut-être cancérogènes pour l'homme », cela correspond à la classification 2B des agents cancérogènes.
2. Le rapport d'août 2010 du Ministère de l'Écologie et du Ministère de l'Industrie sur la maîtrise de l'urbanisme autour des lignes de transport d'électricité, qui recommande de retenir 1 microTesla comme valeur limite de zone d'inconstructibilité et 0,4 microTesla pour les zones de prudence pour les Bâtiments dits sensibles (écoles, crèches, maternités...).
3. La Résolution 1815 du 27 mai 2011 de l'Assemblée Parlementaire du Conseil de l'Europe qui a recommandé de fixer un seuil de prévention à 0,6 V/m pour les niveaux d'exposition à long terme aux micro-ondes ( ou HyperFréquences ).
4. La déclaration du 31 mai 2011 de l'OMS, qui dans le cadre de l'Agence Internationale de Recherche sur le Cancer (IARC), a classé les champs électromagnétiques des ondes radioélectriques ( Radiofrequency ) comme « peut-être cancérogènes pour l'Homme », à savoir dans le Groupe 2B des agents cancérogènes.
5. La Directive 2013/35/UE du Parlement Européen et du Conseil du 26-06-2013 et le Rapport d'octobre 2013 de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (ANSES) sur Radiofréquences et Santé qui préconisent dans le cadre de la gestion des risques radioélectriques une réduction de l'exposition pour les travailleurs et pour le public, de plus des protections pour les catégories spécifiques à risques particuliers et pour les porteurs de dispositifs médicaux (implants actifs ou passifs) sont aussi exigées.

Voici la synthèse de notre expérience que nous avons jointe aux mails envoyés aux experts :

## Expérience d'exposition de graines de ray-grass à des ondes de 1800MHz

Nous avons mis en place une expérience visant à analyser le comportement, ainsi que la croissance du ray gras anglais, face à une exposition continue d'ondes de 1800MHz de puissance 0.4 W/kg de chair exposée (se rapprochant des ondes émises par un téléphone mobile).



2 antennes émettant dans un cône de 60° sur 30°

24 godets de Ray gras anglais arrosés tous les 2 jours avec 10 ml d'eau.

Générateur émettant en continu des ondes de 1800MHz à une puissance de 0.4 W/Kg de chair exposé.

En même temps, nous avons mis d'autres godets témoins, dans la même pièce, avec la même exposition, constitués et arrosés de la même façon.



Après 10 jours de pousse:

Godets exposés aux ondes:

12 godets n'ont  
absolument pas  
germés



12 godets ont  
germés mais de  
façon inégale (taille  
différente)



Une autre vue, où  
l'on voit bien la  
différence de taille  
des brins de ray  
gras.

Après 10 jours de pousse:

Godets témoins (non exposés aux ondes):

Tous les godets ont germé avec une taille à peu près équivalente.



Nous allons à présent observer au microscope les cellules d'un brin exposé et d'un brin non exposé.

Elèves de première S SVT au Lycée Félix Le Dantec de Lannion:

Aymeric Rannou

Julien Marro

Mathis Legay