



# SAÉ – 1.03

## Ondes Santé

PEREZ Loris, AUDUBERTEAU Emilien, ROBIN Eliott

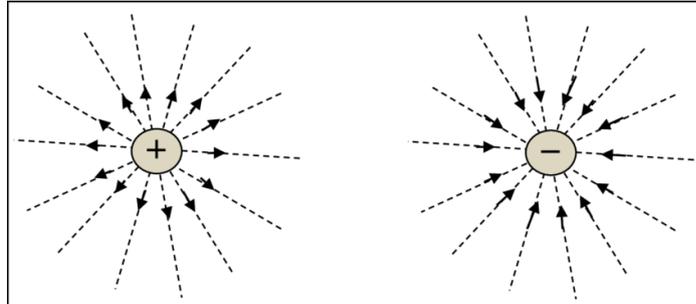
[lperez020@univ-pau.fr](mailto:lperez020@univ-pau.fr) ; [eaduberteau@univ-pau.fr](mailto:eaduberteau@univ-pau.fr) ; [erobin010@univ-pau.fr](mailto:erobin010@univ-pau.fr)

# Table des matières

Interaction des champs électrique et magnétique sur les matériaux.....	3
Le champ électrique :.....	3
Le champ magnétique :.....	4
Le champ électromagnétique :.....	4
En haute fréquences dans l'air :.....	5
Lien entre E et H :.....	5
La polarisation: .....	5
L'induction électromagnétique :.....	6
Pénétration des ondes électromagnétiques : .....	6
Effets sur les matériaux :.....	7
Le DAS :.....	7
Les différents effets des champs électriques et magnétiques.....	8
Très basses fréquences .....	8
Moyennes et hautes fréquences .....	9
Fréquences radio .....	9
Synthèse .....	10
Règlementation et DAS.....	11
En France .....	11
En Europe.....	11
Etat des lieux sur l'impact des ondes .....	12
Conclusion.....	13
Planning du projet.....	14

# Interaction des champs électrique et magnétique sur les matériaux

Le champ électrique :



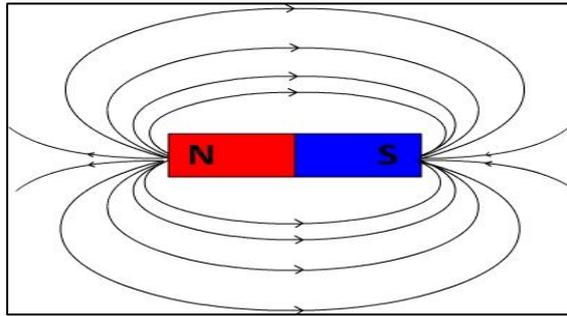
Un champ électrique est un champ vectoriel créé par une particule électriquement chargée. Cette particule chargée va modifier les propriétés locales de l'espace, ce que traduit justement la notion de champ. Un champ électrique est un champ de force invisible créé les charges. Elle se mesure en V/m.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (\text{Grandeur vectorielle (force d'un point de E)})$$

Si l'on met plusieurs particules chargées côte à côte : Les particules chargées exercent des forces d'attraction les unes. Lorsque les charges sont opposées, elles se repoussent mais lorsque que les charges sont identiques, elles se rapprochent.

Nous avons donc un champ électrique statique ou champ électrostatique : les charges **ne bougent pas** et plus on s'éloigne, plus la force diminue. De plus lors d'une tension, plus la tension est élevée et plus le champ électrique sera fort.

## Le champ magnétique :



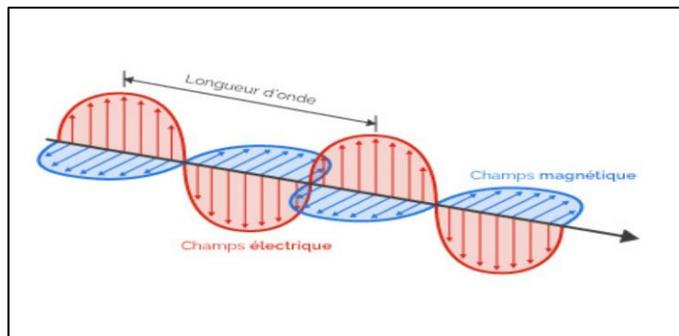
Lorsque des charges électriques se mettent en mouvement, cela crée un champ magnétique perpendiculaire au champ électrique. Il se mesure en Tesla ou A/m.

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

Le vecteur  $B$  possède comme informations : sa direction, son sens et sa valeur.

La norme du vecteur  $B$  est une grandeur qui décrit l'influence magnétique exercée en un point donné de l'espace.

## Le champ électromagnétique :



Ce champ résulte de la combinaison de 2 ondes (l'une électrique, l'autre magnétique). Il apparaît lorsqu'un courant circule.

On peut donc créer une onde électromagnétique qui combine à la fois les variations du champ électrique et du champ magnétique. Ces variations vont se déplacer dans l'espace à la vitesse de la lumière.

A très haute fréquence, les deux champs sont indissociables.

## En haute fréquences dans l'air :

$$p = E \cdot H$$

(p : W/m<sup>2</sup>)

## Lien entre E et H :

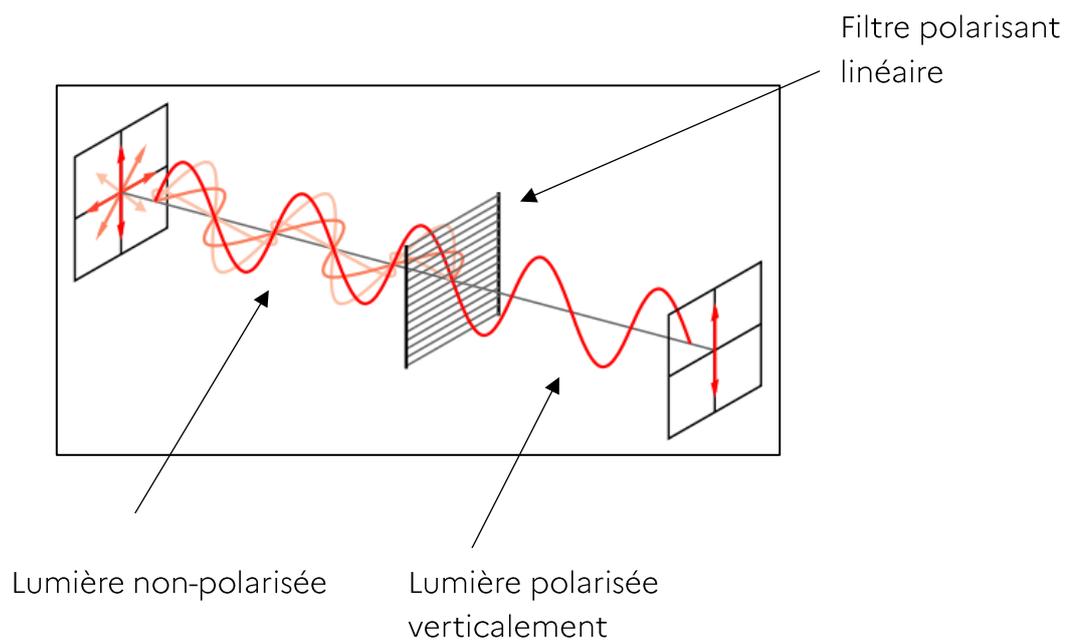
On sait que  $E = Z_0 \cdot H$   
(avec Z<sub>0</sub> : impédance du vide ; E : V/m ; H : champ magnétique)

→ Cela nous dit que quand nous connaissons le champ électrique, nous pouvons calculer le champ magnétique associé.

$$p = E \cdot H = E \cdot \frac{E}{Z_0} = \frac{E^2}{Z_0} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

(p : W/m<sup>2</sup>)

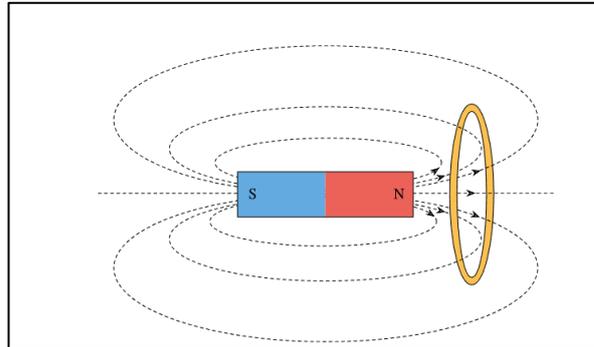
## La polarisation :



Le soleil émet des ondes électromagnétiques : le champ électrique varie aléatoirement dans toutes les directions du plan (x,y,z)

Polariser signifie donc créer une onde dont le champ électrique varie uniformément dans le temps ou bien filtrer les champs électriques rectilignement par exemple.

## L'induction électromagnétique :



L'induction électromagnétique est un phénomène physique conduisant à l'apparition d'un courant électrique, il apparait donc une force électromotrice dans un conducteur électrique soumis à un flux de champ magnétique variable (l'intensité de la force électromotrice dépend de la fréquence de variation du flux magnétique).

Tout ceci est résumé dans une seule équation, la troisième du célèbre scientifique Maxwell :

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Cela signifie que lorsqu'un champ magnétique change dans le temps, il crée un champ électrique en rotation (circulation) comme dit ci-dessus.

## Pénétration des ondes électromagnétiques :

Propriétés des matériaux :

1. **Conductivité ( $\sigma$ )** : Elle détermine la capacité d'un matériau à conduire un courant électrique. Les matériaux conducteurs, comme les métaux, ont une conductivité élevée, ce qui entraîne des pertes d'énergie importantes sous forme de chaleur lorsque des ondes électromagnétiques les traversent.
2. **Permittivité ( $\epsilon$ )** : Elle caractérise la capacité d'un matériau à se polariser en présence d'un champ électrique. Les matériaux avec une permittivité élevée, comme l'eau ou certains plastiques, peuvent mieux stocker l'énergie électrique, ce qui peut entraîner une absorption accrue des ondes électromagnétiques, particulièrement à certaines fréquences. Les matériaux avec une faible permittivité, tels que le vide ou l'air, permettent aux ondes de se propager plus librement.

3. **Perméabilité ( $\mu$ )** : Elle détermine la capacité du matériau à se polariser sous l'effet d'un champ magnétique. La perméabilité influence la propagation des ondes électromagnétiques dans un matériau. Dans les matériaux ferromagnétiques (comme le fer), où la perméabilité est élevée, les ondes électromagnétiques sont souvent fortement atténuées ou réfléchies, notamment à des fréquences élevées.

## Effets sur les matériaux :

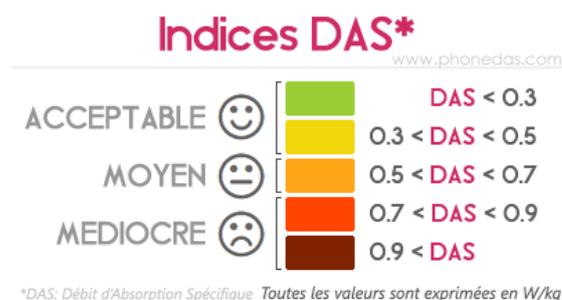
À **Basses fréquences**, les ondes électromagnétiques pénètrent bien dans les matériaux isolants (bois, tissus, plastiques), avec peu de pertes. Dans les conducteurs (métaux), la pénétration est limitée par l'effet de peau.

À **moyennes fréquences**, l'atténuation augmente légèrement, mais les matériaux conducteurs commencent à réfléchir davantage, et les isolants continuent de permettre une propagation modérée.

À **hautes fréquences**, les conducteurs (métaux) absorbent ou réfléchissent presque entièrement les ondes. Les matériaux contenant de l'eau, comme les tissus, absorbent fortement les ondes, surtout à cause de la forte permittivité de l'eau.

À **des fréquences très élevées** (lumière visible, rayons X), les ondes interagissent avec les électrons ou noyaux, provoquant absorption, diffraction ou réflexion.

## Le DAS :



Une partie de l'énergie transportée par les ondes électromagnétiques est absorbée par le corps humain. Pour quantifier cet effet, la mesure de référence est le débit d'absorption spécifique (DAS), pour toutes les ondes comprises entre 100 kHz et 10 GHz (pour les ondes plus élevées en fréquence, on parle de W/m<sup>2</sup>).

Le DAS s'exprime en Watt par kilogramme (W/kg) et est fixé par des organismes de santé publique.

La dangerosité dépend de la zone du corps, c'est pour ça qu'il existe plusieurs types de DAS : tronc -tête - membre.

# Les différents effets des champs électriques et magnétiques

Les effets des champs électromagnétiques sur les matériaux et les êtres vivants dépendent largement de la fréquence du champ. Les interactions varient en fonction des propriétés physiques et biologiques des matériaux exposés. On distingue trois grands domaines de fréquences.

## Très basses fréquences

La gamme de fréquences est de 0 Hz à environ 300 Hz.

Les sources principales émettrices sont les réseaux électriques (50/60 Hz), les équipements électroménagers et les installations industrielles

Avec ces installations plusieurs effets sont observés :

- **Effets d'induction magnétique :**  
Le champ magnétique variable génère des courants électriques induits dans les conducteurs, y compris les tissus biologiques.  
Ces courants peuvent perturber les signaux électriques naturels du corps humain, comme ceux impliqués dans le fonctionnement du système nerveux et cardiaque.
- **Effets neurologiques :**  
Des expositions prolongées peuvent interagir avec l'activité cérébrale, entraînant des maux de tête, des troubles du sommeil ou de la concentration, bien que ces effets restent difficiles à établir avec certitude.

*Exemple pratique : Les travailleurs proches de lignes haute tension sont soumis à une exposition accrue aux champs électromagnétiques à basses fréquences.*

## Moyennes et hautes fréquences

La gamme de fréquences est d'environ de 300 Hz à 300 MHz.

Les sources principales émettrices sont les appareils de radiodiffusion AM/FM, les communications radio professionnelles (police, pompier, armée, ...), les équipements de sécurité (radars, portiques) et les appareils médicaux tels que l'électrochirurgie.

Les effets observés sont :

- **Effets thermiques modérés :**  
À ces fréquences, l'énergie transportée par les ondes électromagnétiques commence à être absorbée par les tissus biologiques, provoquant une légère élévation de la température.  
L'effet thermique dépend de la densité de puissance, de la durée d'exposition et de la fréquence.
- **Effets biologiques :**
  - Perturbation des membranes cellulaires.
  - Modification des processus physiologiques, comme la prolifération cellulaire ou l'activité enzymatique.
- **Exemples d'interaction :**
  - Radiofréquences : Elles peuvent pénétrer les tissus et générer des courants ioniques.
  - Antennes de communication : Les ondes émises par les antennes radio peuvent causer une surchauffe des tissus mous.

## Fréquences radio

Les fréquences radio sont situées dans une plage qui se trouve dans les « Moyennes Fréquences ». On étudie ici un « cas particulier » des moyennes fréquences.

La gamme de fréquences émettrice est d'environ 300 MHz à 30 GHz.

Les sources principales sont les télécommunications mobiles (2G, 3G, 4G, 5G), le Wifi (2,4 GHz et 5GHz), les communications par satellite et les micro-ondes.

Les effets observés sont :

- **Effets thermiques prononcés :**  
À ces fréquences, les ondes électromagnétiques pénètrent les tissus superficiels (peau, muqueuses) et provoquent un échauffement important par absorption de l'énergie.  
Le Débit d'Absorption Spécifique (DAS) est utilisé pour quantifier cette absorption dans le corps humain.
- **Effets non thermiques (assujetti à des débat scientifique) :**  
Bien que les mécanismes soient encore mal compris, certaines études suggèrent des effets biologiques à faibles expositions, tels que :
  - Stress oxydatif dans les cellules : Perturbation de la barrière hémato-encéphalique & risques de cancérogénicité à long terme (classés comme "possiblement cancérogènes" par le CIRC).
  - Exposition accrue avec la 5G : La 5G utilise des fréquences plus élevées (3,5 GHz à 26 GHz), provoquant une absorption accrue dans les couches superficielles de la peau.
  - L'utilisation intensive des smartphones augmente l'exposition locale aux CEM (champs électromagnétiques) (proximité de la tête).

## Synthèse

Plus les fréquences sont élevées et plus les ondes électromagnétiques possèdent de l'énergie ce qui, en contact de la peau devient dangereux car les ondes est absorbé par la peau car elle contient de l'eau, des sels, et des ions qui en font un **bon conducteur électrique** (conductivité).

$$E = h \cdot f$$

h : Constante de Planck (J.s) - E : J - f : Hz

Fréquences	Sources	Effets principaux
Très basses fréquences	Réseaux électriques, appareils	Induction électrique, effets sur le système nerveux
Moyennes et hautes fréquences	Radios, appareils médicaux	Effets thermiques modérés, perturbations biologiques
Fréquences radio	Télécommunications, micro-ondes	Effets thermiques, effets biologiques (non avérés)

# Règlementation et DAS

## En France

Les seuils d'exposition aux ondes électromagnétiques sont définis par la réglementation nationale, en accord avec les recommandations de l'ICNIRP et la directive européenne.

- **Champ électrique (E) :**
  - Limites : 41 à 61 V/m selon la fréquence.
  - Exemples :
    - 900 MHz : 41 V/m
    - 1800 MHz : 58 V/m
    - 2100 MHz : 61 V/m
- **Champ magnétique (H) :**
  - Limites : 0,11 à 0,16 A/m selon la fréquence.
- **Densité surfacique de puissance (S) :**
  - Limites : 4 à 10 W/m<sup>2</sup> selon la fréquence.

Des dispositifs de contrôle sont gérés par l'ANFR (Agence Nationale des Fréquences) pour surveiller les émissions des antennes relais. Les niveaux mesurés en environnement urbain sont souvent bien inférieurs aux seuils réglementaires.

## En Europe

Les normes sont harmonisées par la directive 2013/35/UE et les recommandations de l'ICNIRP. Toutefois, certains pays adoptent des limites plus strictes pour protéger les populations sensibles :

**Belgique et Italie :** Application de seuils plus bas dans les zones urbaines densément peuplées. Cela répond à une volonté de précaution vis-à-vis des populations vulnérables, notamment les enfants et les personnes âgées. L'objectif est de réduire les risques d'exposition prolongée, en limitant les densités de puissance autour des écoles, hôpitaux et zones résidentielles.

Les nouvelles technologies, telles que la 5G, sont constamment surveillées pour évaluer leur impact potentiel sur la santé.

# Etat des lieux sur l'impact des ondes

## Comparaison des niveaux mesurés en Vrms :

Les signaux mesurés grâce à un appareil de mesure de puissance montrent des variations significatives en fonction des fréquences :

- 4G : 1100 Vrms
- 5G : 1450 Vrms
- Point d'accès Wi-Fi : 20 Vrms
- Interprétation des valeurs : La 5G présente un niveau de signal plus élevé que la 4G en raison des fréquences plus élevées utilisées, nécessitant une puissance accrue pour compenser les pertes liées à la faible portée des bandes millimétriques.  
Le signal Wi-Fi, bien que beaucoup plus faible en Vrms, reflète son utilisation locale et ses besoins de puissance réduits. Cette faible intensité limite les risques d'exposition prolongée.

**Conséquences sur le DAS** : Ces niveaux respectent les normes de sécurité, notamment pour le Wi-Fi, qui opère à des puissances très faibles, réduisant les risques pour la santé. La réglementation veille à ce que même les signaux 5G respectent les seuils de DAS fixés à 2 W/kg pour la tête et le tronc.

## Conclusion

L'étude des interactions des champs électriques et magnétiques avec les matériaux et les êtres vivants révèle une complexité croissante avec l'augmentation des fréquences. À très basses fréquences, les effets sont principalement d'ordre électrique et magnétique, avec des impacts potentiels sur le système nerveux et cardiaque. À moyennes et hautes fréquences, les effets thermiques deviennent plus prononcés, entraînant une élévation de la température des tissus biologiques et des perturbations cellulaires. Les fréquences radio, utilisées notamment dans les télécommunications mobiles et le Wi-Fi, présentent des effets thermiques significatifs et des risques pour la santé, bien que ces derniers soient encore sujets à des débats scientifiques.

La réglementation en France et en Europe vise à protéger les populations en fixant des seuils d'exposition aux ondes électromagnétiques, en accord avec les recommandations internationales. Les dispositifs de contrôle, tels que ceux gérés par l'ANFR, permettent de surveiller les émissions et de s'assurer que les niveaux mesurés respectent les normes de sécurité. Les nouvelles technologies, comme la 5G, sont particulièrement scrutées en raison de leur utilisation de fréquences plus élevées, nécessitant une puissance accrue.

En somme, bien que les ondes électromagnétiques soient omniprésentes dans notre environnement moderne, une compréhension approfondie de leurs effets et une réglementation stricte sont essentielles pour minimiser les risques pour la santé publique.

# Planning du projet

*Le projet proposé le 09/12/2024.*

## **Du 09/12 au 12/12 :**

- Nous avons pris connaissance du sujet via les cours et les documentations sur Elearn.

## **Du 13/12 au 17/12 :**

- Prise en main du kit d'analyse HF HFE35C et réalisation d'expériences.
- Commencement de la rédaction du rapport.

## **Du 20/12 au 30/12 :**

- Rédaction du rapport

## **Du 31/12 au 09/01 :**

- Finalisation du rapport
- Préparation de la soutenance orale