



Qu'est-ce qu'un
Champ électromagnétique?

Alain Azoulay
Consultant, www.radiocem.com



Définition trouvée à l'article 2 de la Directive

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

«champs électromagnétiques» :

des champs électriques statiques,

des champs magnétiques statiques

et des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variant

dans le temps et dont les fréquences vont jusqu'à 300 GHz



Plan de l'exposé

1. Introduction

2. Notions de base relatives au champ électromagnétique

3. Contexte de la Directive 2013/35/UE : les grandeurs à connaître

4. Conclusion

1. Introduction

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

Pourquoi s'intéresse-t-on aux champs électromagnétiques et que sont ces champs ?



Lignes THT



**Station de base de téléphonie
mobile**

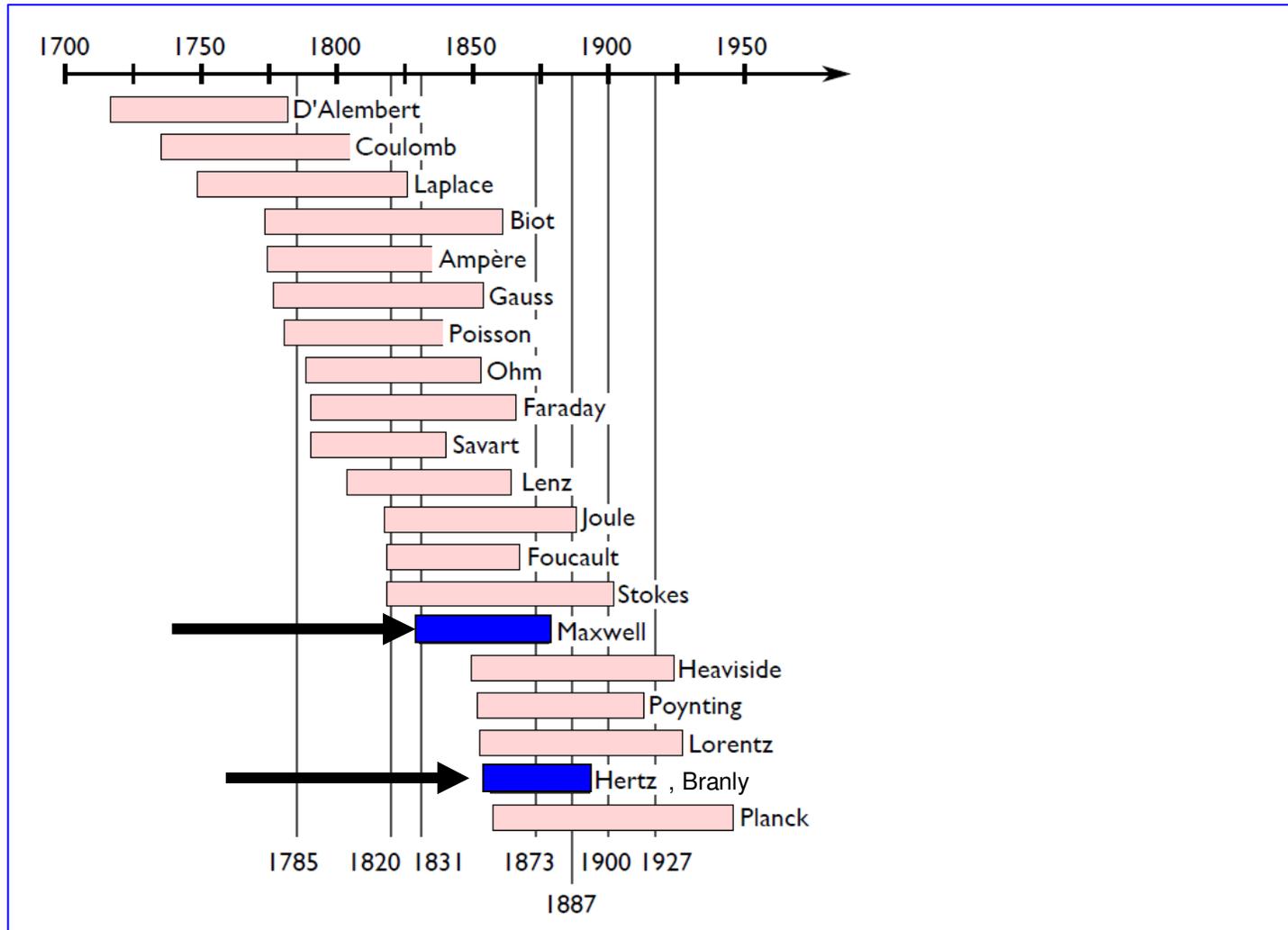
**Ce ne sont pas les seules sources
de champs électromagnétiques**

Ex: Machine à souder
le plastique à 27 MHz



Champs EM : Longue histoire au fil des siècles

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE



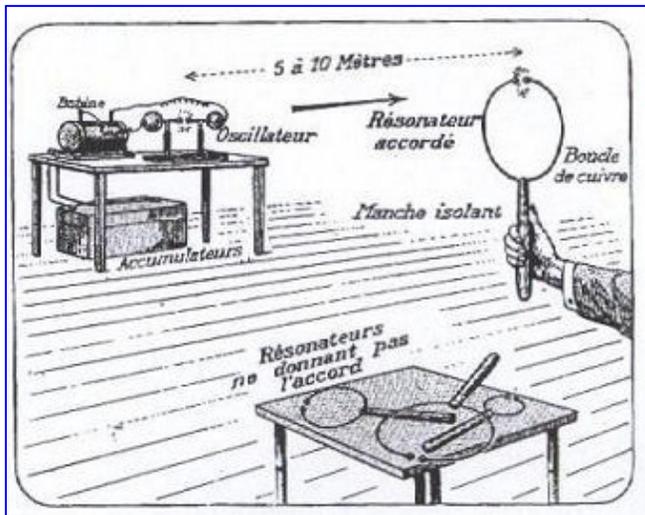
Extrait de cours du Pr. John Martin

VIII. *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field.* By J. CLERK MAXWELL, F.R.S.



J.C. Maxwell

Théorie du champ ElectroMagnétique (1864)

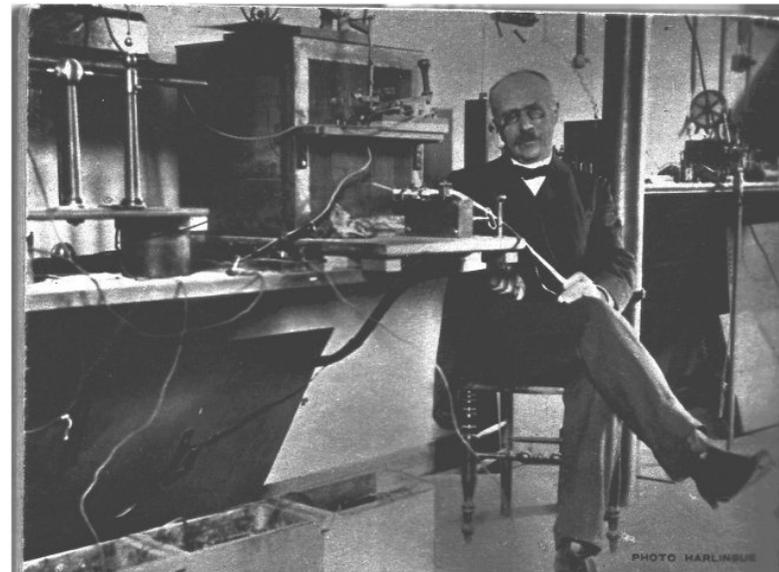


Expérience de Hertz en 1884



Hertz

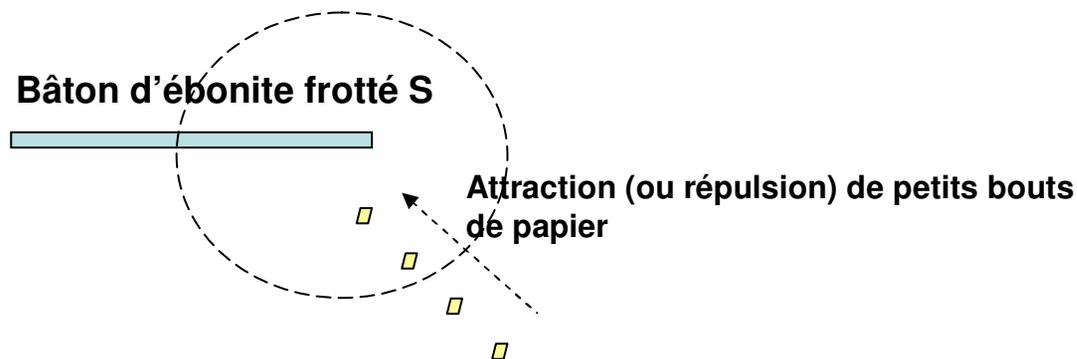
3 décembre 2013 .



Expérience de Branly

Dans le domaine de l'électricité statique,

Expérience du « bâton d'ébonite et de la peau de chat »



Le bâton est chargé électriquement (q quantité d'électricité) ;

l'espace autour du bâton est le siège d'une **zone de « Champ électrique E »**

la force d'attraction (ou de répulsion) est reliée à ce champ par:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

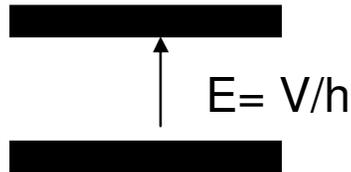


Champ électrique

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

De même, l'expérience du condensateur C chargé sous une différence de potentiel constante V accumulant une charge $Q = C.V$

Entre les électrodes, il existe un **champ électrique \vec{E}**



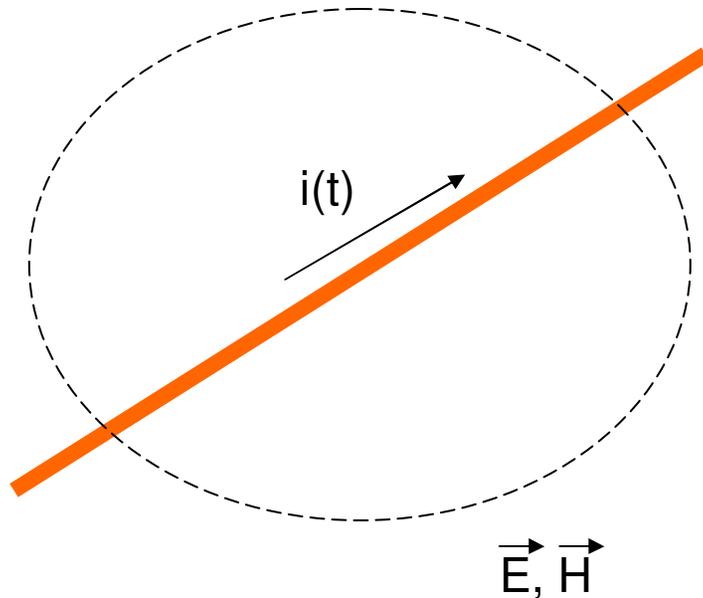
E s'exprime en V/m si V est en volts et h en mètres
 h distance entre les deux électrodes

De plus, si on fait varier la charge dans le temps, par exemple dans un circuit, on fait alors circuler un courant

$$i(t) = dq/dt$$

ou si la charge est **mise en mouvement**,

Un phénomène complémentaire apparaîtra : **l'Induction magnétique B**

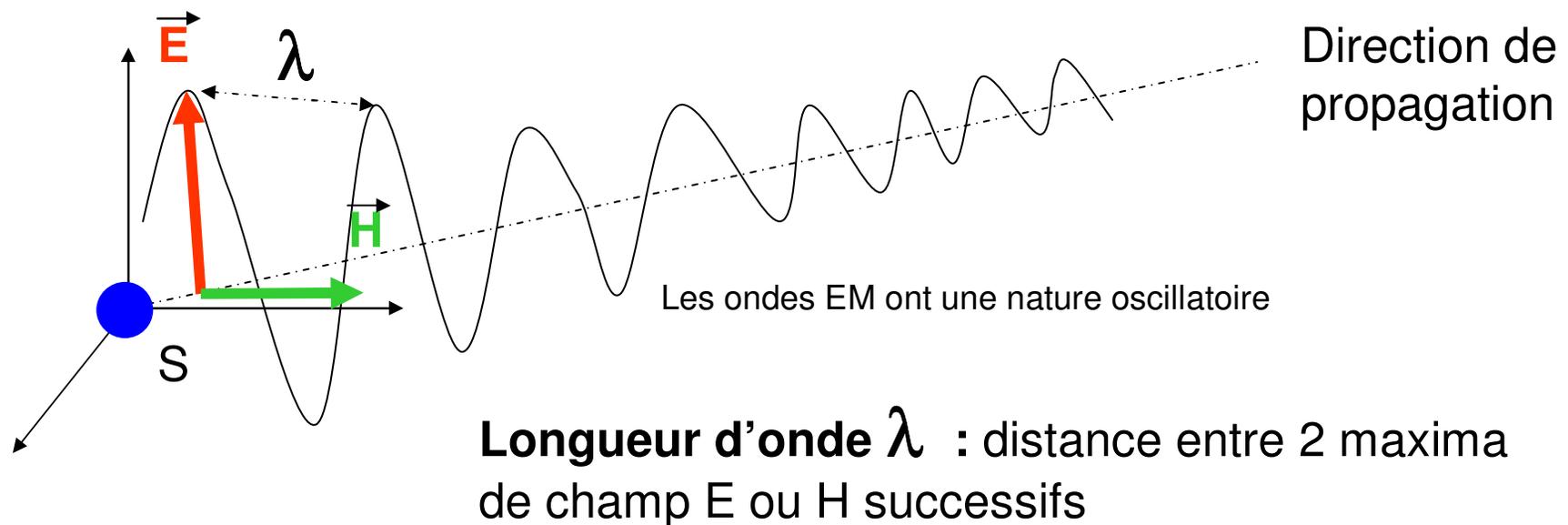


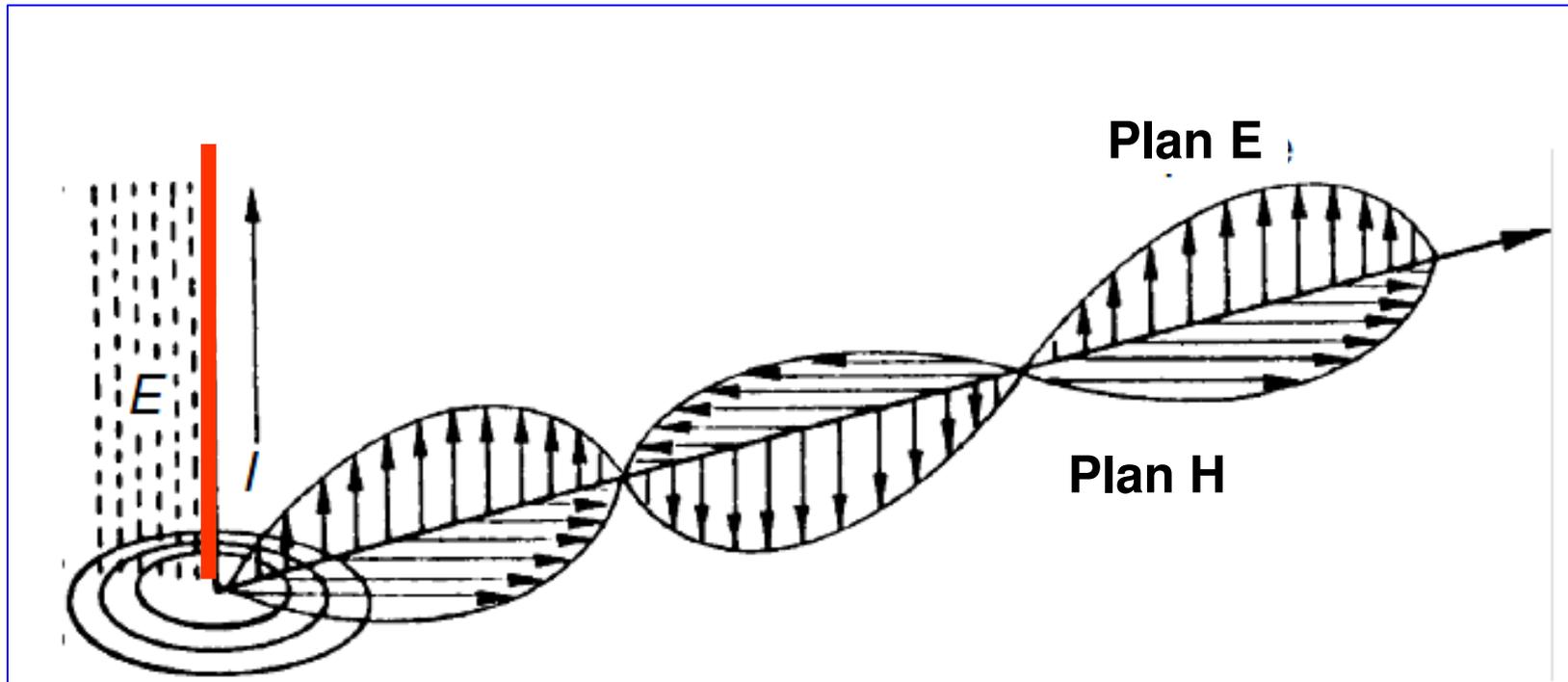
Tout conducteur parcouru par un courant crée à distance un champ EM caractérisé par:

- un vecteur champ électrique \vec{E} (V/m)
- un vecteur champ magnétique \vec{H} (A/m) relié au vecteur \vec{B} (induction magnétique) par une relation simple $\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$, en Teslas)

μ perméabilité magnétique du milieu
Dans l'air, $\mu = \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$

Un rayonnement EM est une perturbation de l'espace et est représenté par un champ Electrique E et un champ Magnétique H (qui sont liés par les équations de Maxwell)



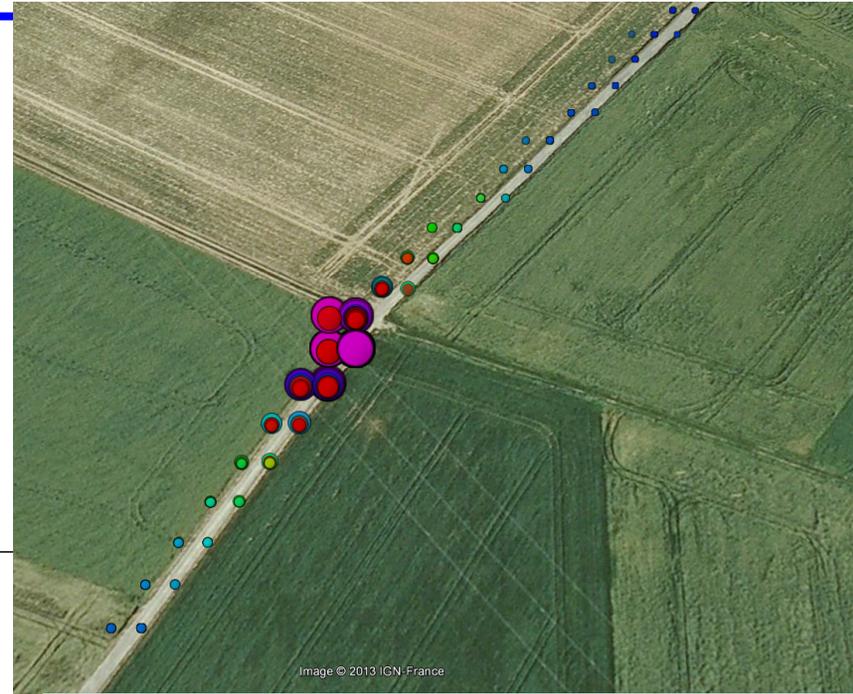


Polarisation d'une onde : Direction du vecteur champ électrique E

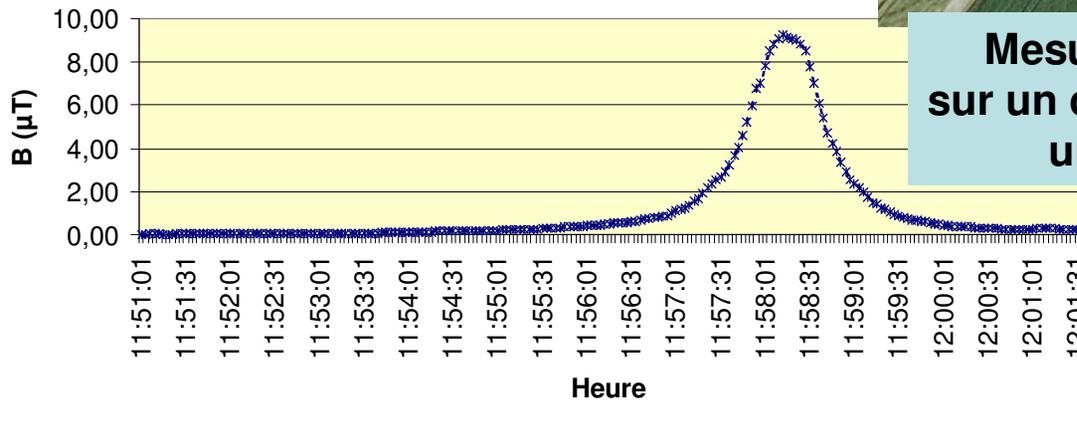
- **Polarisation linéaire : verticale ou horizontale**
- **Polarisation circulaire (droite ou gauche)**

Exemple : Application à très basse fréquence (50 Hz)

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE



Variation de l'induction magnétique B le long du chemin



Mesures d'induction magnétique sur un chemin quasi perpendiculaire à une ligne THT (10/10/2013)



Caractéristiques de l'onde électromagnétique

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

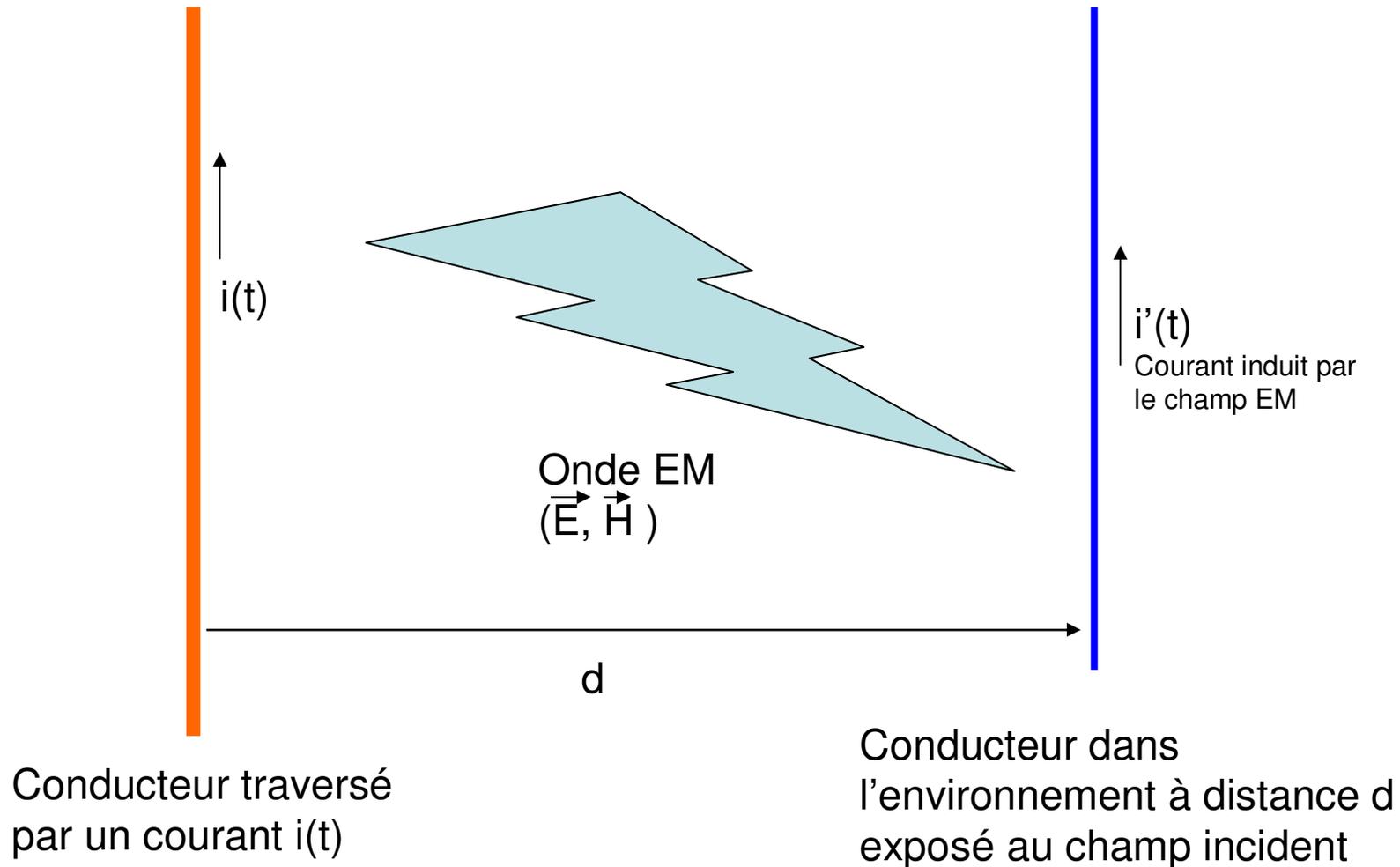
Une antenne d'émission produit un champ (ou onde) électromagnétique tout autour d'elle, constitué de 2 champs \vec{E} , \vec{H}
 \vec{E} s'exprime en V/m, \vec{H} en A/m

a) l'onde transporte de l'énergie $d\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$
(densité surfacique de puissance en W/m²)

b) loin de la source, les champs \vec{E} et \vec{H} décroissent comme l'inverse de la distance à l'antenne sauf très près de l'antenne

c) le rapport entre \vec{E} et \vec{H} est constant et égal à environ 377 Ohms. (loin de l'antenne, à quelques longueurs d'onde) et \vec{E} perpendiculaire / à \vec{H}

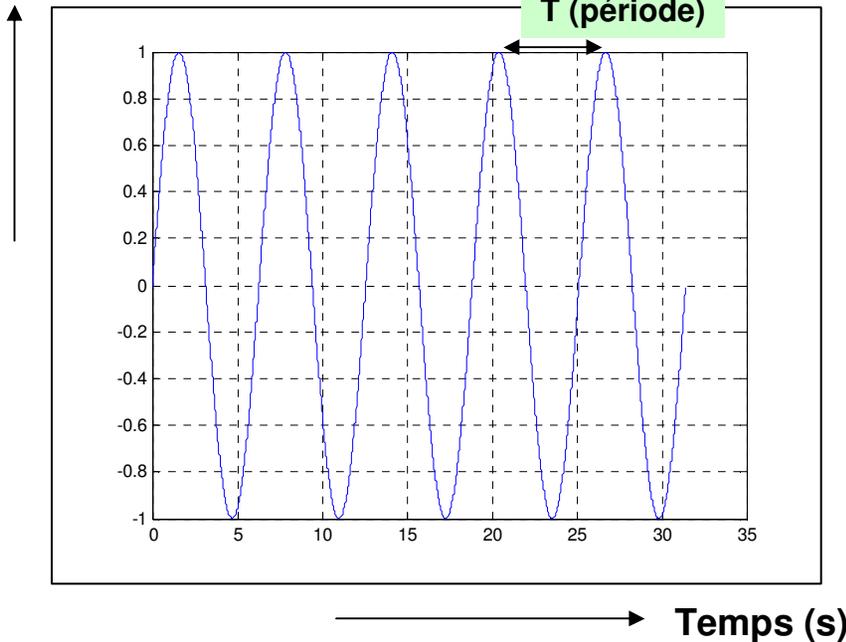
d) la longueur d'onde λ dans l'air est égale à
 $\lambda(\text{m}) = c / F(\text{Hz})$ ou $300 / F(\text{MHz})$
 c vitesse de la lumière $c = 3 \cdot 10^8$ m/s
mais pas dans les tissus biologiques



Correspondance Temps - Fréquence

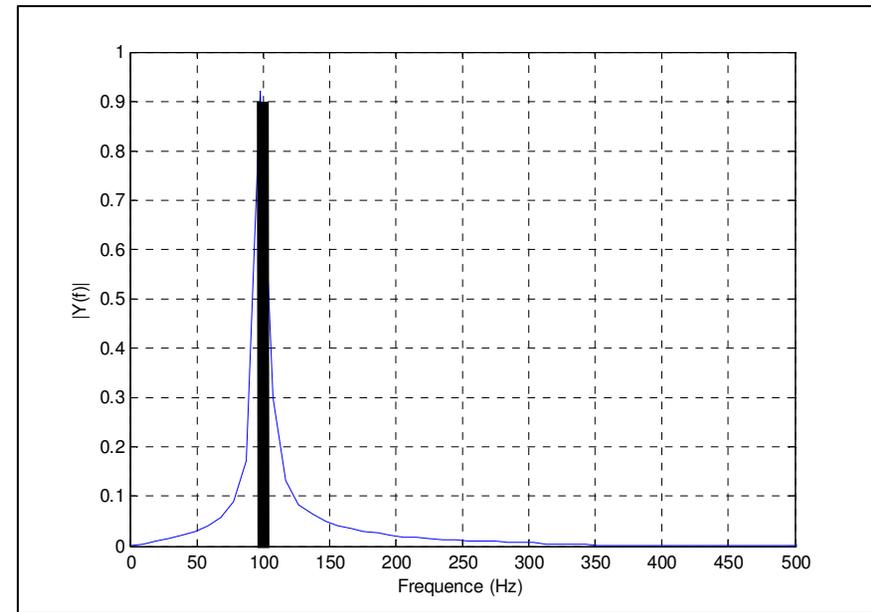
La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

amplitude



Oscillogramme

$F_c = 1/T$ (fréquence signal)



Spectre

Fréquence F (Hz)

Domaine temporel

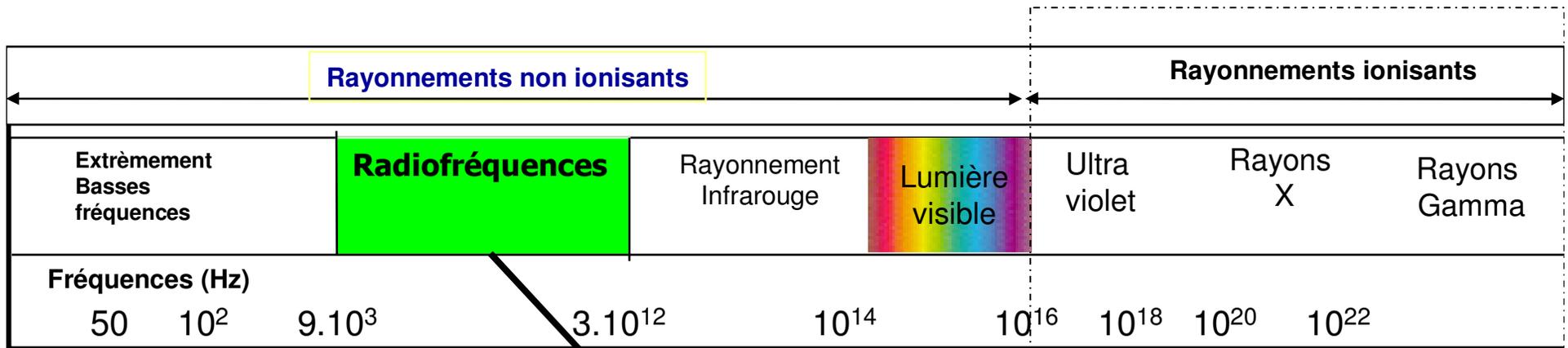


Domaine fréquentiel

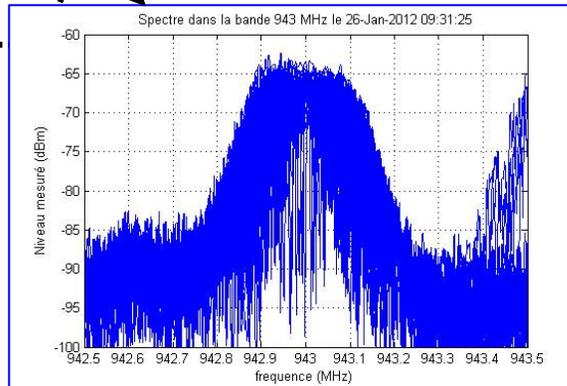
**Développement en série de Fourier
ou Transformation de Fourier rapide (FFT)**

Bande de fréquences

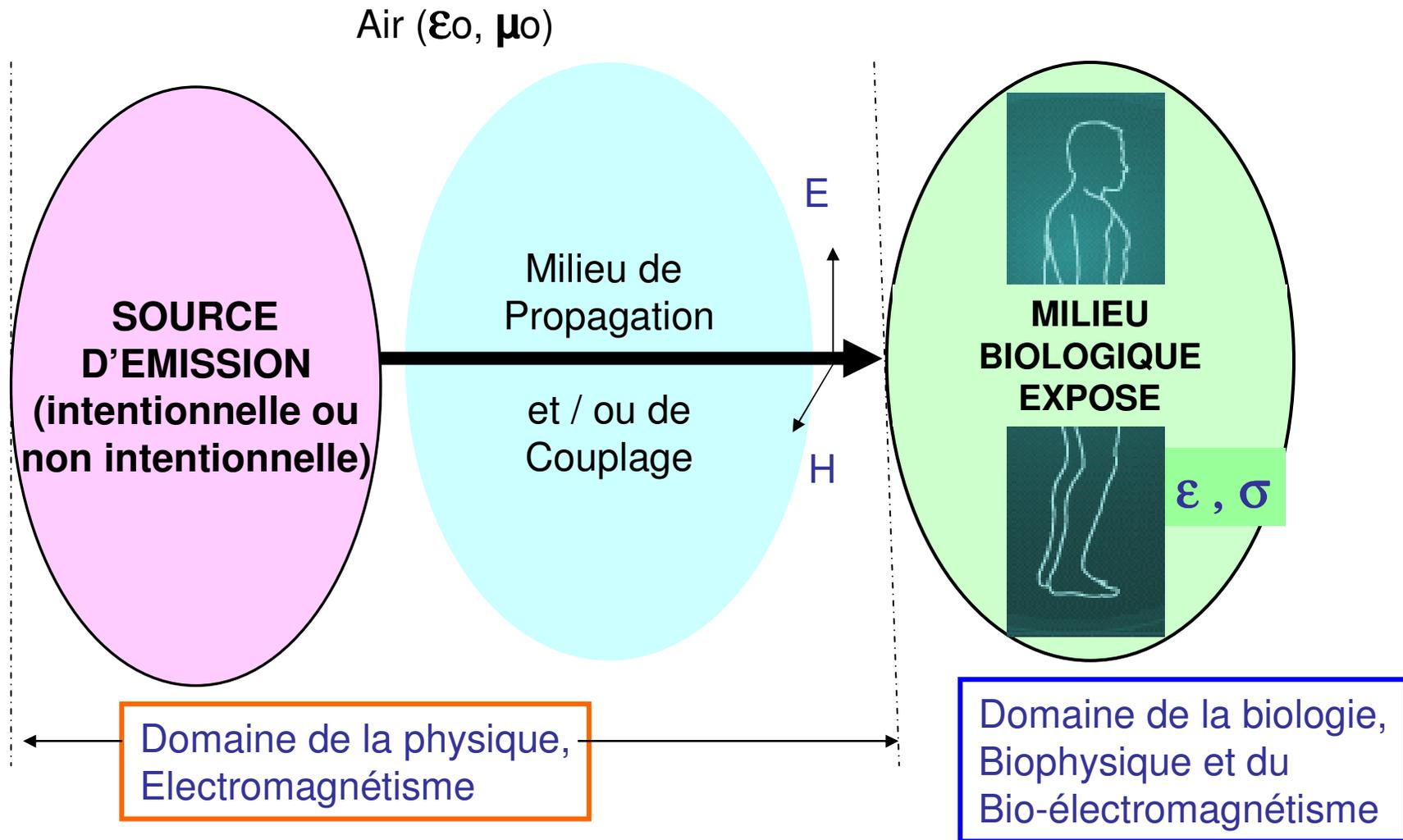
Une bande de fréquences est une partie continue du spectre radioélectrique exprimée en kilohertz (kHz), mégahertz (MHz) ou gigahertz (GHz).



Domaine d'application de la Directive
0 – 0,3 · 10¹² (300 GHz)



3 décembre 2013 .





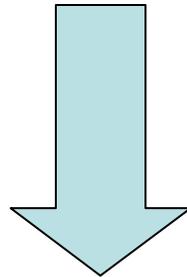
3. Contexte de la Directive 2013/35/UE : les grandeurs supplémentaires à connaître

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

Valeurs limites d'exposition (VLE) et valeurs déclenchant l'action (VA)

VLE : valeurs établies sur la base de considérations biophysiques et biologiques

VA: niveaux opérationnels fixés afin de simplifier le processus permettant de démontrer le respect des VLE ou qu'il y a lieu de prendre des dispositions de protection



GRANDEURS PHYSIQUES ASSOCIEES



GRANDEURS PHYSIQUES RELATIVES À L'EXPOSITION À DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES (1)

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

- **L'intensité de champ électrique (E)** (en V/m)

Une distinction doit être opérée entre le **champ électrique ambiant** et le **champ électrique présent dans le corps (in situ)** résultant de l'exposition au champ électrique ambiant.

- **Le courant induit dans les extrémités (il)** est le courant traversant les membres d'une personne exposée à des champs électromagnétiques dans la gamme de fréquences comprises entre 10 et 110 MHz résultant du contact avec un objet dans un champ électromagnétique ou du flux de courants capacitifs induits dans le corps exposé. Il est exprimé en ampères (A).

- **Le courant de contact (Ic)** est un courant qui apparaît lorsqu'une personne entre en contact avec un objet dans un champ électromagnétique. Il est exprimé en ampères (A).



GRANDEURS PHYSIQUES RELATIVES À L'EXPOSITION À DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES (2)

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

- **L'intensité de champ magnétique (H).**
Unités : A/m

- **L'induction magnétique (densité de flux magnétique) (B)**
Unités: T (tesla)

- **La densité de puissance (S) est une grandeur appropriée utilisée pour des hyperfréquences lorsque la profondeur de pénétration dans le corps est faible.**
Unités : (W/m²)



GRANDEURS PHYSIQUES RELATIVES À L'EXPOSITION À DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES (3)

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

- **L'absorption spécifique (AS)** de l'énergie est *l'énergie absorbée par une unité de masse de tissus biologiques*; Unités: **joule par kilogramme (J/kg)**. Dans la présente directive, elle est utilisée pour limiter les effets des rayonnements micro-ondes pulsés.

- **Le débit d'absorption spécifique (DAS)** de l'énergie moyenne sur l'ensemble du corps ou sur une partie quelconque du corps est *la puissance absorbée par unité de masse du tissu du corps*; Unités (watt par kg (W/kg)).

2 types de DAS :

a) **DAS «moyenné corps entier»** caractérise les effets thermiques.

b) Le **DAS local** permet d'évaluer et de limiter une puissance excessive dans des petites parties du corps résultant de conditions d'exposition spéciales.



4. CONCLUSION

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

La problématique du champ électromagnétique et de l'exposition des personnes est assez complexe, non seulement par les exigences de la Directive mais aussi parce que le champ électromagnétique et ses grandeurs associées ne sont pas toujours directement mesurables.

Les grandeurs externes (l'induction magnétique (B), les courants de contact (i_c), les courants induits dans les extrémités (i_l), l'intensité de champ électrique (E), l'intensité de champ magnétique (H) et la densité de puissance (S)) sont en général mesurables, parfois avec des difficultés métrologiques.

Pour les grandeurs internes, il en va différemment car les grandeurs ne sont pas souvent mesurables, il faut alors passer par des simulations ou des mesures sur des fantômes (DAS).



Bibliographie

La nouvelle directive européenne 2013/35/UE

- [1]. Directive 2013/35/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2013 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) et abrogeant la directive 2004/40/CE
- [2]. R. Feynman. Le cours de physique de Feynman – Électromagnétisme. Dunod, Edition 2013
- [3]. G. Bruhat. Electricité.
- [4]. A. Azoulay. Ondes et champs électromagnétiques. Revue AFIS. Sciences et pseudo sciences. Avril / Juin 2009