

# CARNAUTO

---

*Les instituts CARNOT de l'automobile et de la mobilité*



Plus d'innovations pour la compétitivité des PME de l'automobile et de la mobilité



# Les instituts Carnot

---

## La recherche pour les entreprises

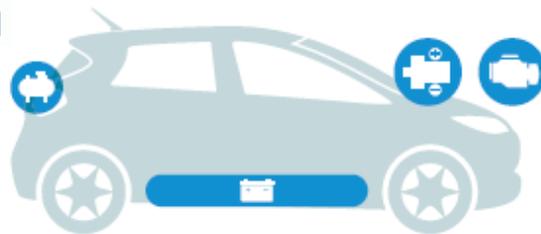
- Les instituts Carnot : **structures de recherche publiques** qui prennent des engagements forts pour développer la **recherche partenariale** au bénéfice de **l'innovation des entreprises** – de la PME au grand groupe – et des acteurs socio-économiques. Le réseau regroupe 39 instituts Carnot (labellisés par l'ANR). Plus d'info : <http://www.instituts-carnot.eu/fr>
- Carnauto : 9 instituts Carnot impliqués dans la filière automobile et mobilité. Objectif : **renforcer la compétitivité et l'attractivité** des ETI, PME et TPE en facilitant leur accès à l'innovation.

# L'action filière Carnauto

## 3 défis d'avenir pour la filière automobile et mobilité

### 1 MOTORISATIONS ET VECTEURS ÉNERGÉTIQUES

- Thermique et hybride
- Électrique et systèmes de stockage associés
- Pile à combustible et systèmes de stockage associés



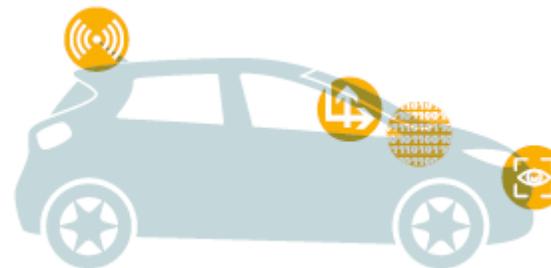
### 2 MATÉRIAUX ET ARCHITECTURES

- Allègement
- Fonctionnalisation intelligente
- Sécurité



### 3 TIC ET MOBILITÉ

- Aide à la conduite
- Gestion de la mobilité
- Architecture logicielle et système



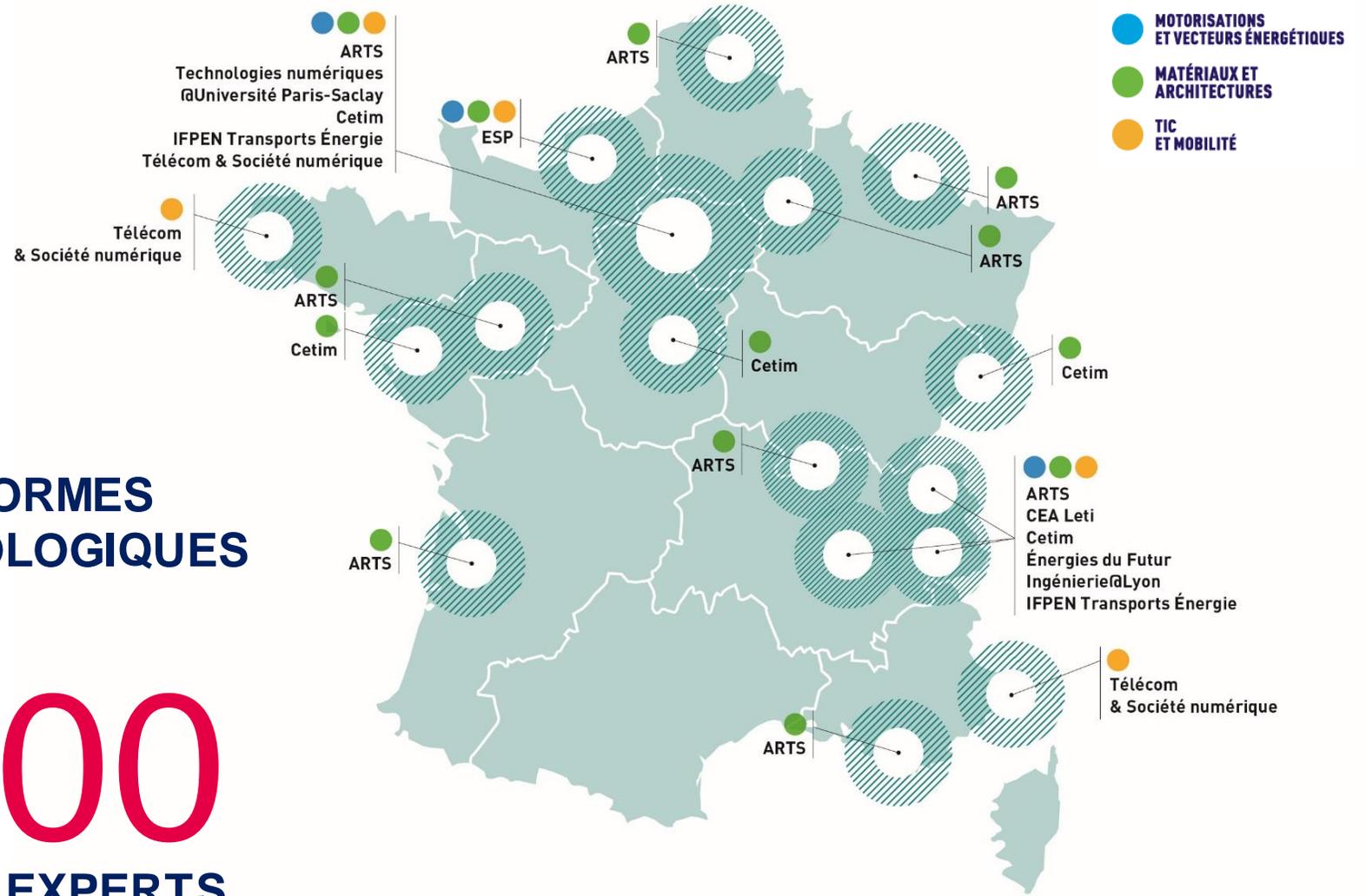
# L'action filière Carnauto

Un fort ancrage en région

**9** INSTITUTS  
CARNOT

**50** PLATEFORMES  
TECHNOLOGIQUES

**8000**  
EXPERTS



Nous suivre, nous contacter



[www.carnauto.fr](http://www.carnauto.fr)



[entreprises@carnauto.fr](mailto:entreprises@carnauto.fr)



Carnauto



[@FiliereCarnauto](https://twitter.com/FiliereCarnauto)

# CARNAUTO

---

Compatibilité électromagnétique (CEM) des systèmes d'électronique de puissance



Plus d'innovations pour la compétitivité des PME de l'automobile et de la mobilité

# Innovation dans les transports

---

## Avancées technologiques pilotées généralement par:

Réduction de masse

Augmentation de la fiabilité / sécurité / disponibilité

Augmentation des performances (diminution de la consommation de carburant, ...)

Diminution des coûts (développement, fabrication, maintenance)

**Les systèmes électriques / électroniques embarqués dans les véhicules de transport y contribuent fortement**

# Domaine automobile

---

## Augmentation du nombre de dispositifs électriques et électroniques embarqués

Confort (guidage, portes électriques, climatisation, ...)

Sécurité (freinage, radar, ...)

Poids et encombrement

Rendement du moteur thermique

Propulsion électrique

...

## Petite Puissance - grande série

Contraintes associées: Fiabilité, Coût, ...

# Innovations technologiques nécessaires

---

## Besoin de puissance électrique change d'ordre de grandeur

Nouvelles générations d'actionneurs en fonction de la nature et de la puissance mise en jeu  
Contrôle de la qualité et robustesse du réseau électrique embarqué deviennent complexes

## Aspects CEM deviennent critiques:

Modélisation prédictive  
Modélisation systémique  
Exposition des personnes aux champs EM

## Maîtrise de l'intégration de systèmes hétérogènes: conducteurs, diélectriques et magnétiques

Semi-conducteurs: aspects matériaux/assemblages (modules)  
Maîtrise des aspects thermiques

## Maturation des technologies

Véhicules de test  
Caractérisation  
Essais d'endurance (fiabilité health monitoring ...)

# CEM en Electronique de Puissance

## Objectifs

Analyser et modéliser les effets parasites dans les convertisseurs

Caractériser leurs conséquences sur les environnements électriques proches et lointains (auto-perturbations, effets conduits dans les réseaux ou les charges, effets rayonnés)

Pouvoir simuler le comportement CEM d'un convertisseur en vue de la CAO avec a priori en vue du diagnostic et de l'optimisation de son fonctionnement

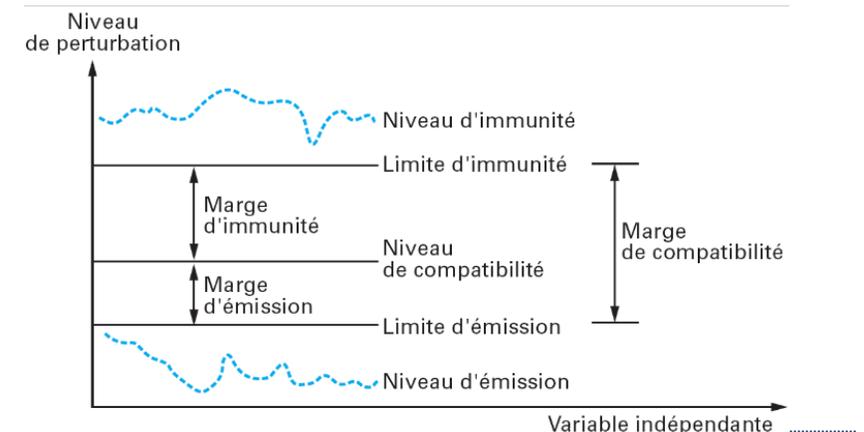
Optimiser les dispositifs de réduction des perturbations en volume et en coût

## Contraintes

Les normes d'émission et de susceptibilité qui assurent une cohabitation des systèmes entre eux (marge de compatibilité)

Le choix de conserver les méthodes de l'électronique de puissance

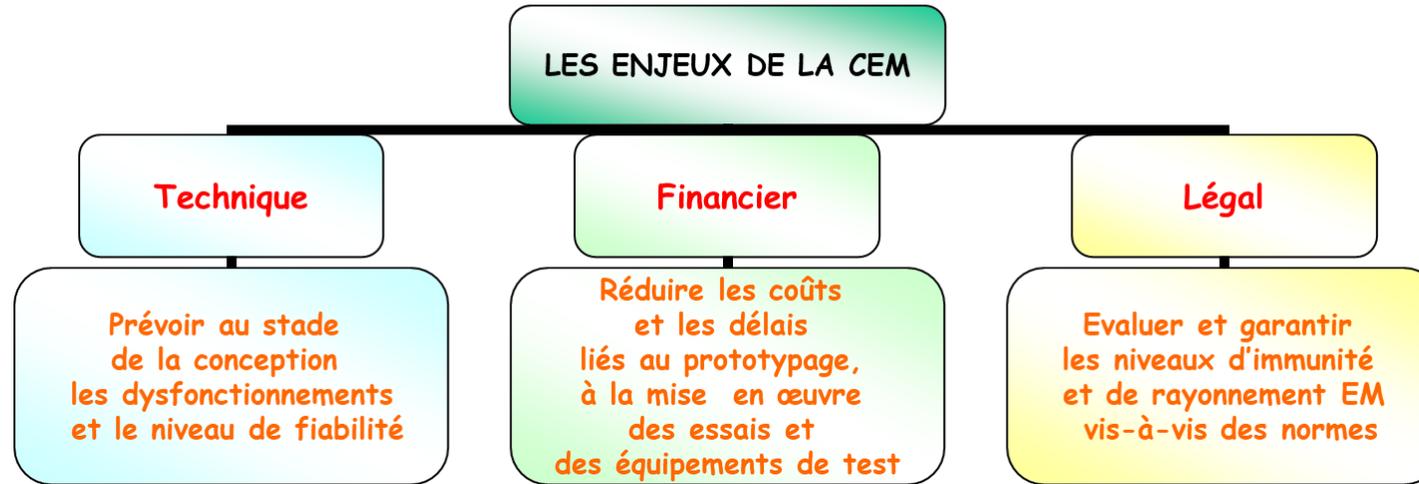
La complexité des dispositifs (3D, matériaux, dimensions, etc..)



05/07/2021

# CEM en Electronique de Puissance

Enjeux



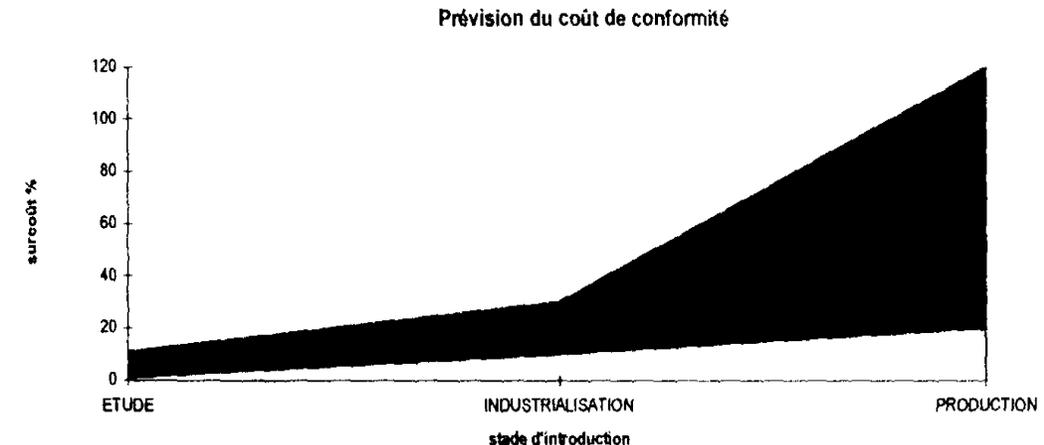
Attendre qu'un produit soit complètement développé pour le tester d'un point de vue CEM: mauvaise stratégie

Prise en compte de la CEM dès les phases de conception:

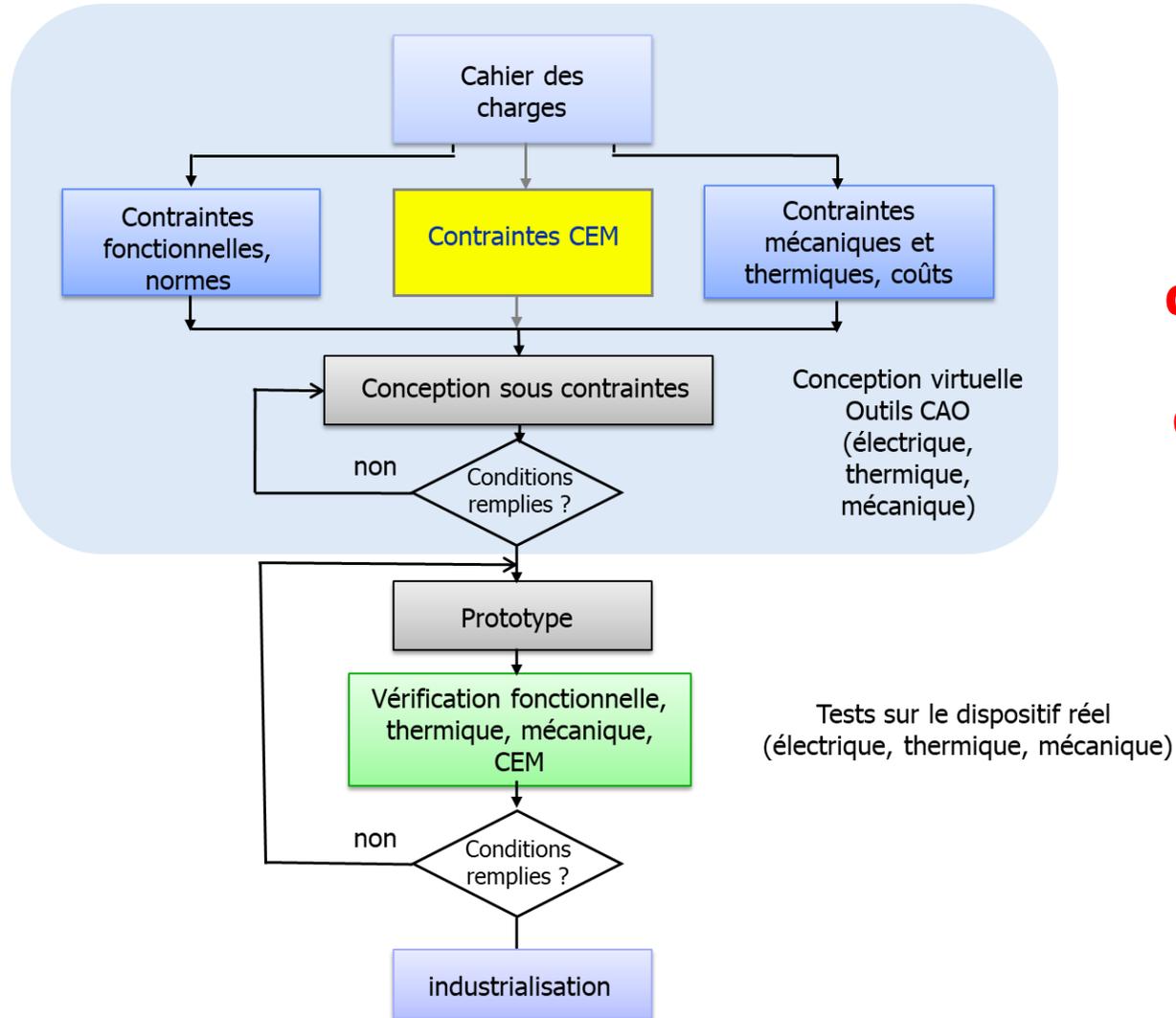
- routage des cartes électroniques,
- choix des technologies (semi-conducteurs, câbles, ...)
- placement géométrique des systèmes (dans une voiture par exemple)

Surcoût en cas de prise en compte dès la phase de conception: 1 à 5 %

Surcoût élevé en cas de rétrofit pour des problèmes de CEM



# CEM en Electronique de Puissance



**L'optimisation d'un dispositif doit inclure les aspects CEM dès les phases amont de dimensionnement (numérique)**

# CEM en Electronique de Puissance

## Etendue fréquentielle des perturbations générées et normes

### Harmoniques réseau

- Jusqu'au rang 40 soit 2kHz
- Niveaux absolus spécifiés ou enveloppe du courant
- Concerne tout appareil connecté à un réseau d'énergie

### Perturbations RF conduites

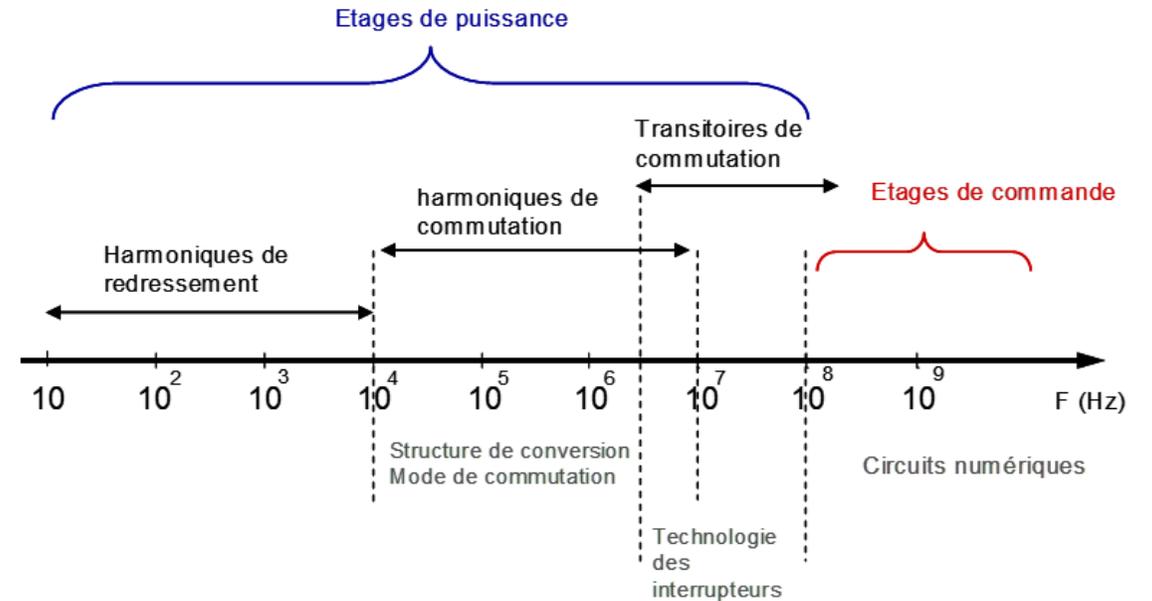
- De 150kHz à 30MHz
- Niveaux d'émissions définis par des normes selon les applications

### Perturbations RF rayonnées

- De 150kHz à 3GHz
- Niveaux d'émissions définis par des normes selon les applications

### Les normes

- Spécifient le protocole de mesure, la métrologie à mettre en œuvre selon les applications : exemple norme EN55022 niveaux d'émission pour les appareils de traitement de l'information
- Définissent les niveaux d'émission maximaux (dB $\mu$ V, dB $\mu$ V/m)



En électronique de puissance, le spectre s'étale sur 7 décades !!

# Sources de bruit en Electronique de Puissance

## La cellule de commutation

Structure élémentaire des convertisseurs d'EdP

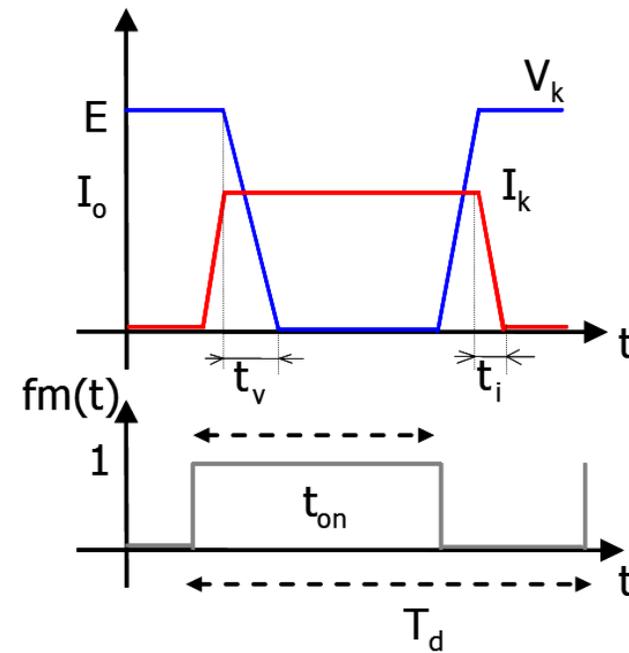
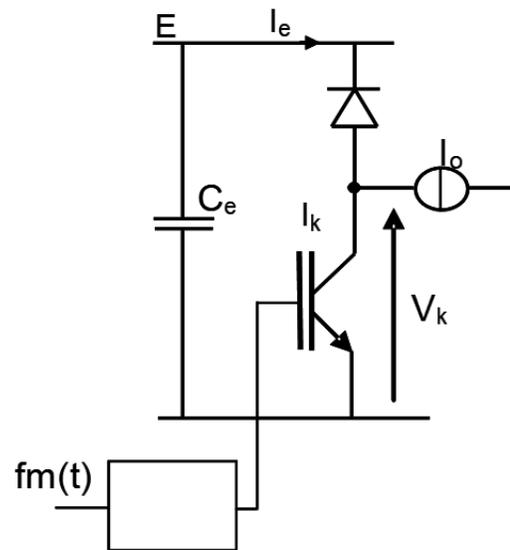
Association de 2 interrupteurs : gestion du transfert d'énergie entre sources

Grandeurs externes à la cellule sont constantes ( $E, I_o$ ), les internes variables ( $I_e, V_k$ ) modulées par la fonction  $fm(t)$

$$v_k(t) = fm(t) \cdot E$$

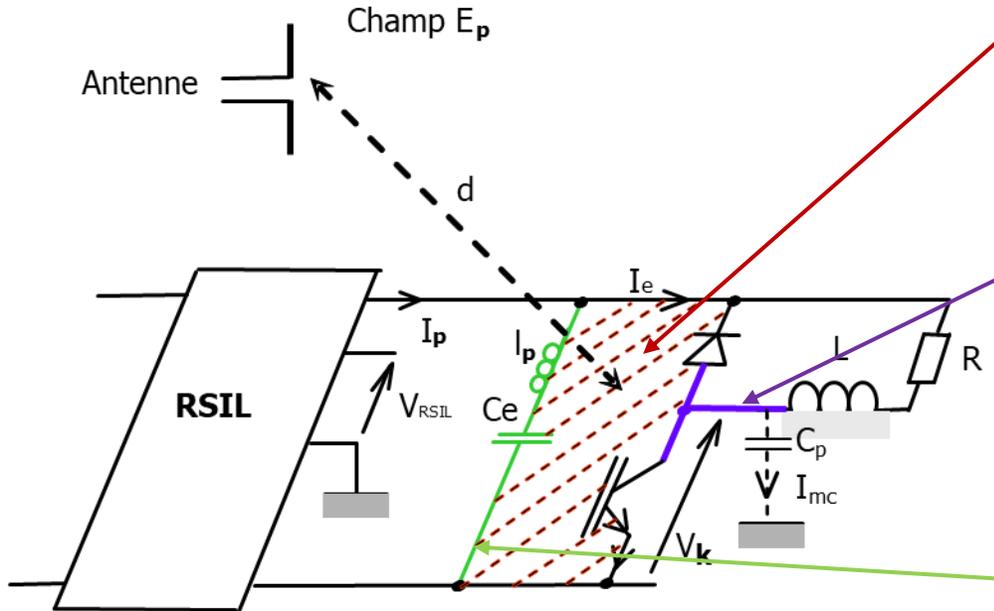
$$i_e(t) = fm(t) \cdot I_o$$

$$P_s = \langle v_k \rangle \cdot I_o = \alpha \cdot E I_o$$



# Sources de bruit en Electronique de Puissance

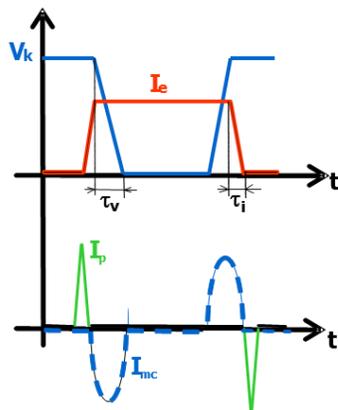
## Exemple d'un hacheur avec RSIL



Maille (zone hachurée)  $I_e$  subit des variations très rapides à haute fréquence  
 ⇒ Boucle = dipôle rayonnant magnétique

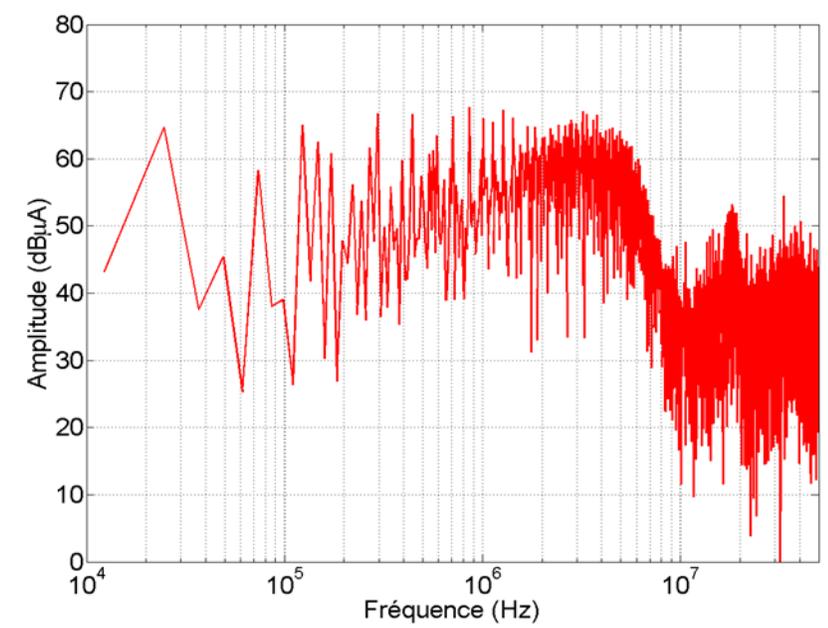
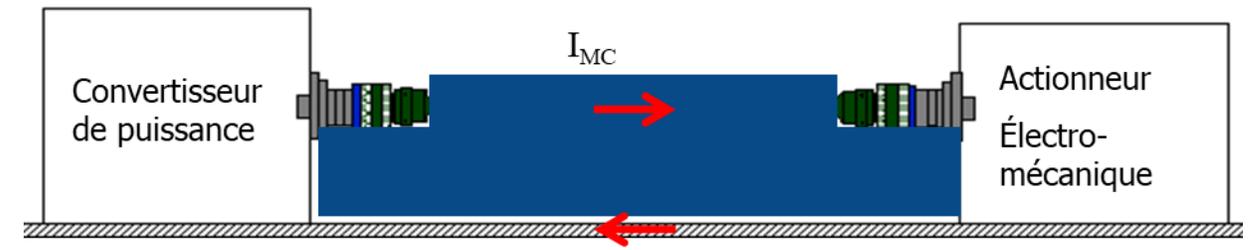
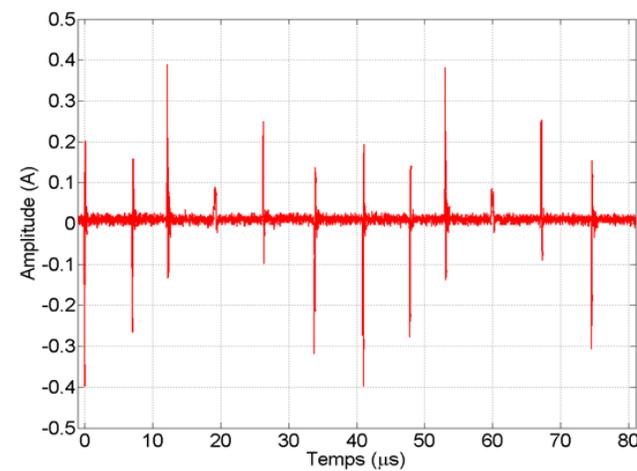
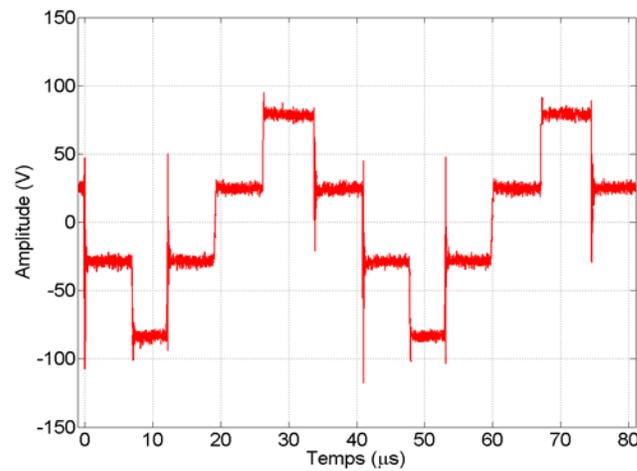
Conducteurs subissant de fortes variations de tension ( $V_k$ ): dipôle rayonnant électrique + transmission à la terre de courants impulsionnels  $I_{mc}$  via  $C_p$

Condensateur de découplage  $C_e$  (imperfections : résistance et inductance série  $l_p$ ), n'empêche pas la propagation sur le réseau d'alimentation d'un courant parasite impulsionnel  $I_p$ .



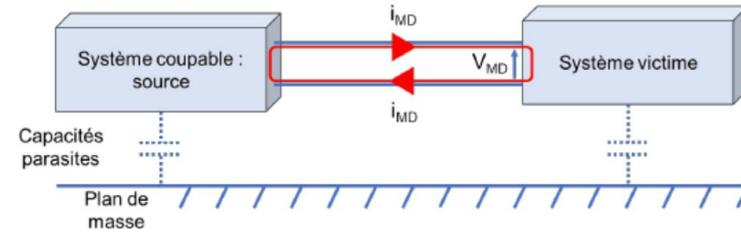
# Sources de bruit en Electronique de Puissance

## Tension de Mode Commun

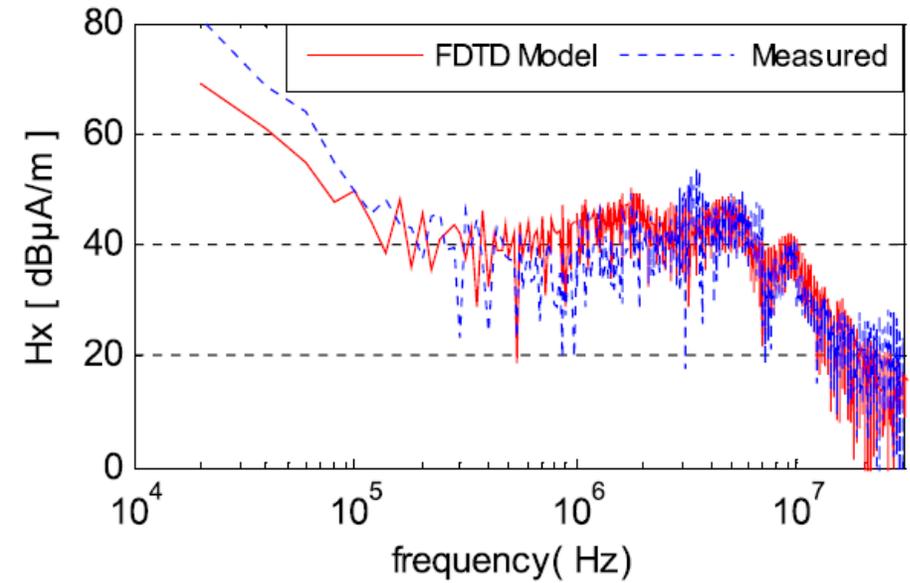
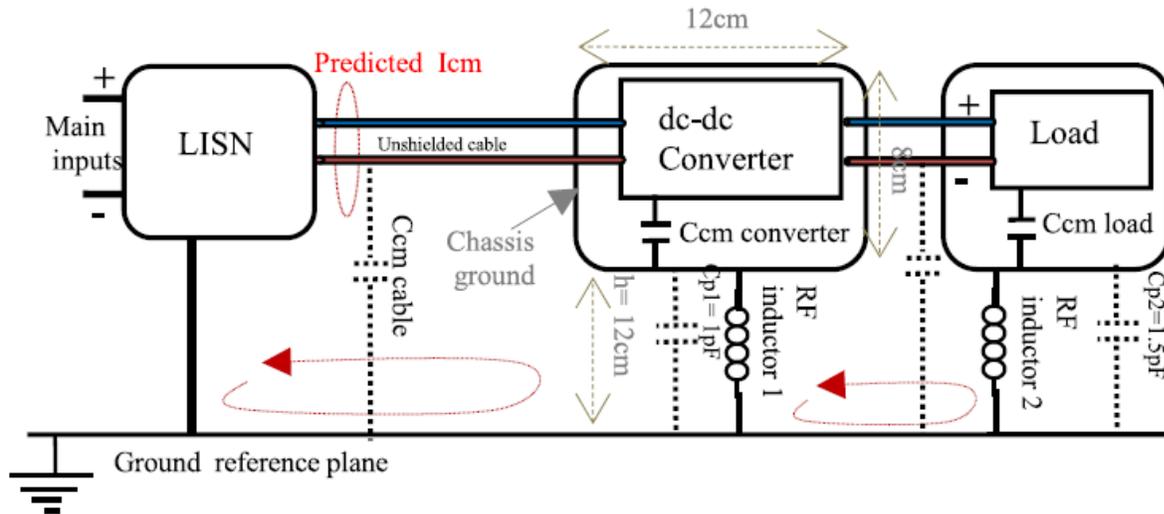
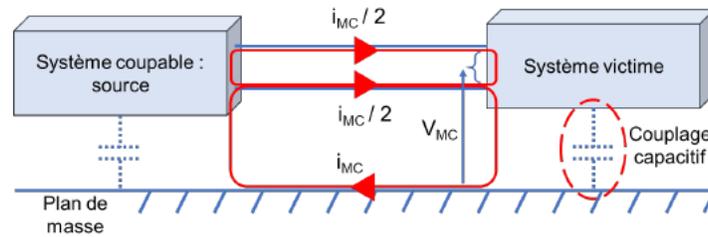


# Les modes de propagation

## Mode Différentiel



## Mode Commun



# Champs électromagnétiques et santé humaine

## Effets des champs sur la santé

Ce qu'on sait

Ce qu'on ne sait pas (encore)

Pourquoi l'OMS a classé les champs électromagnétiques dans la catégorie 2B ?

## La réglementation

Qui fait quoi ? ICNIRP, IEEE

Qu'est-ce que est pris en compte dans la définition des limites ?

Les principes de la réglementation en basse fréquence

- Two tiers = distinction entre exposition dans le cadre grand public et professionnel
- Distinction entre exposition corps entier et localisée (tête seule, membres seuls)

Dosimétrie numérique



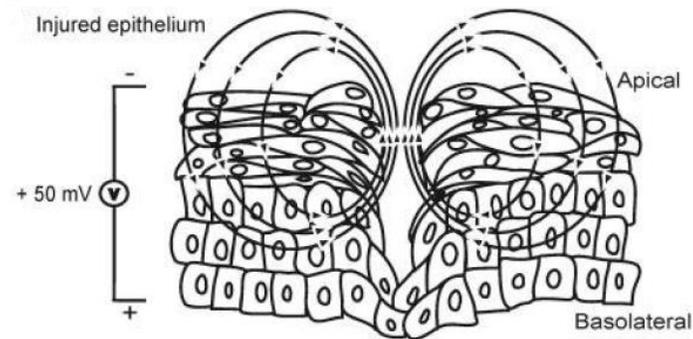
# Champs électromagnétiques et santé humaine

## Que sait-on sur les champs électromagnétiques en relation avec le corps humain ?

Des champs électromagnétiques sont naturellement présents dans le corps humain :

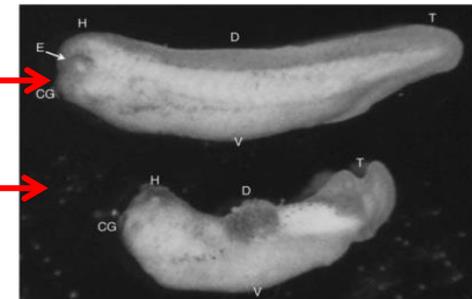
- Régime de c.c. : **potentiel transmembranaire** (TMP): 40 – 80 mV ( $E = 10 \text{ MV/m}$ ), **Potentiel trans-épithéliale** (TEP)
- Régime impulsionnel : **potentiels d'action**

Chez les vertébrés, les cellules migrent (**electrotaxis**), s'alignent ou poussent dans une direction particulière, suite à l'action d'un champ électrique



*Normal embryo*

*endogenous DCEF has been modified by injecting currents through microelectrodes*



*DC currents are “not just physiological signs of standard metabolism or classical membrane potential, but specific and instructive signals” (Funck et al.).*

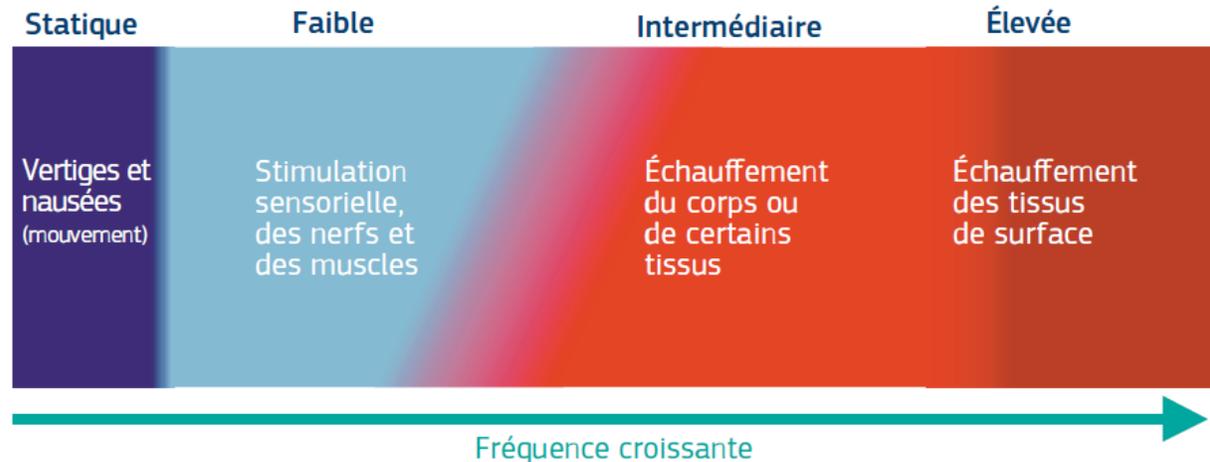
# Effets nuisibles avérés à court terme

**Effets directs** : changements qui se produisent chez une personne du fait de son exposition à un champ électromagnétique

Vertiges, nausées

Effets sensoriels (magnétosphènes, ...)

Echauffement, brûlures



**Effets indirects** : effets indésirables peuvent se produire en raison de la présence d'objets dans le champ entraînant un risque

:

Interférence avec des équipements et dispositifs médicaux électroniques,

Projection d'objets ferromagnétiques

Interférence avec des implants passifs (articulations artificielles, plaques métalliques ...)

# Effets nuisibles potentiels à plus long terme

## Champs électromagnétiques et cancer ?

Un travail de Wertheimer et Leeper de 1979 publié dans American journal of epidemiology (109.3 (1979):273-284) suggère qu'il pourrait exister un lien entre l'exposition à des champs électromagnétiques et certains types de cancers

AMERICAN JOURNAL OF EPIDEMIOLOGY  
Copyright © 1979 by The Johns Hopkins University School of Hygiene and Public Health  
All rights reserved.

Vol. 109, No. 3  
Printed in U.S.A.

**Original Contributions**

**ELECTRICAL WIRING CONFIGURATIONS AND CHILDHOOD CANCER**

NANCY WERTHEIMER<sup>1</sup> AND ED LEEPER

Wertheimer, N. (Dept. of Preventive Medicine, U. of Colorado Medical Center, Box C-245, Denver, CO 80262), and E. Leeper. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 109:273-284, 1979.

An excess of electrical wiring configurations suggestive of high current-flow was noted in Colorado in 1976-1977 near the homes of children who developed cancer, as compared to the homes of control children. The finding was strongest for children who had spent their entire lives at the same address, and it appeared to be dose-related. It did not seem to be an artifact of neighborhood, street congestion, social class, or family structure. The reason for the correlation is uncertain; possible effects of current in the water pipes or of AC magnetic fields are suggested.

electricity; electromagnetic fields; leukemia; neoplasms

1.15 € Edition de Paris

**le Parisien**

YVES ROBERT / AGF / 2018

LIGNES A HAUTE TENSION

**Attention danger**

ENQUETE. Les personnes habitant près des lignes à haute et très haute tension sont davantage atteintes de maladies graves, selon une étude indépendante. Voici le plan du gouvernement. Pages 3 et 8

**BÉZIERS** Antennes relais : l'inquiétude se propage

Le mouvement de contestation engagé contre une antenne de 42 mètres de hauteur installée à l'impasse prend de l'ampleur

D'autres conseils de quartiers ont vu

ANTENNE DE TÉLÉPHONIE MOBILE DE CHATEAUNEUF-DU-PAPE

**Le juge ordonne la destruction**

le dauphiné

HERCULES 18 (Édition 2009) Le grand Valença

LES ANTENNES-RELAIS MONTREES DU DOIGT

**Psychose en Drôme-Ardèche ?**

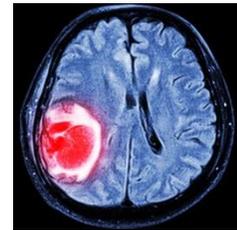
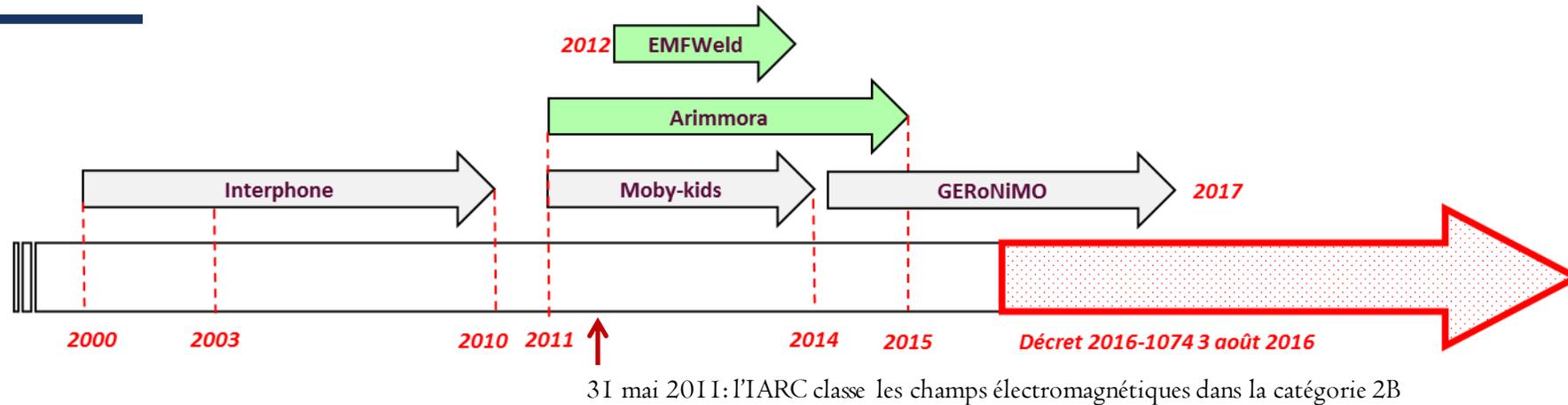


Il existe un problème de **reproductibilité** des résultats expérimentaux : des expériences en apparence similaires conduisent parfois à des résultats opposés. De plus, il n'y a **pas de mécanisme physique** connu qui pourrait expliquer les effets biologiques observés.

Depuis il n'existe toujours **pas de consensus scientifique** sur les effets sanitaires de l'exposition aux champs électromagnétiques

- Attention au raccourcis : **pas de consensus ≠ pas d'effets**

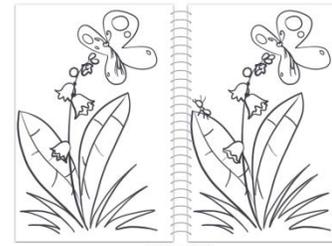
# Etudes épidémiologiques sur l'exposition aux champs électromagnétiques



## L'étude Interphone

La première étude importante de type **cas-témoin** sur la relation entre **exposition aux ondes électromagnétiques** et **cancer**

- Risque de gliome accru (+40%) pour les forts utilisateurs de téléphones portables, mais ...
- ... résultats mitigés : difficulté dans l'analyse des données, biais potentiels.



## L'IARC a classé les champs électromagnétiques dans la catégorie 2B (potentiellement cancérigènes)

Attention: le classement de l'IARC est représentatif de l'état des connaissances scientifiques, pas de la dangerosité

- *"There is some evidence that it can cause cancer in humans but at present it is far from conclusive"*
- Encore un exemple de raccourci: « C'est dans la même catégorie que le café, donc c'est qu'il n'y a pas de danger! »



# Règlementation sur l'exposition aux champs électromagnétiques (Europe)

## La recommandation 1999/519/CE concerne le grand public

Elle est basée sur les recommandations ICNIRP 1998

Partiellement implémentée dans le Décret français n° 2002-775 du 3 mai 2002

Toutefois, les états peuvent imposer des limites plus faibles



## La directive 2013/35/UE concerne les travailleurs

Elle est basée sur les recommandations ICNIRP 2010

Elle est **entièrement** transposée dans le droit français.



Reconnue par



## Différences entre recommandations et directives :

Les directives sont des actes législatifs qui **fixent des objectifs** à tous les pays de l'Union Européenne. Toutefois, chaque pays est libre d'élaborer ses propres mesures pour les atteindre.

Les recommandations ne sont **pas contraignantes**, mais indiquent la direction vers laquelle la réglementation est susceptible d'évoluer.

# Règlementation sur l'exposition aux champs électromagnétiques (USA)



## Aux USA la réglementation est basée le standard IEEE

1966 : premier standard IEEE Std C95.1

2001 : définition des objectifs des Technical Committees IEEE ICES TC34 et TC95 :

- TC34 : méthode pour établir la conformité à la réglementation,
- TC95 : limites d'exposition

2002 : standard IEEE Std C95.6 (3 kHz – 300 GHz)

2005 : standard IEEE Std C95.1 (0 – 3 kHz)

2019 : dernier standard IEEE Std C95.1 (0 – 300 GHz), qui englobe les deux standards précédents



## Un peu (trop) de terminologie

| IEEE Std C95.1                     | ICNIRP 2010                        | ICNIRP 1998        |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Dosimetric reference limites (DRL) | valeurs limites d'exposition (VLE) | Basic restrictions |
| Exposure reference levels (ERL)    | valeurs déclenchant l'action (VA)  | Reference levels   |

# Qui fait quoi ? Qui n'est pas d'accord ?

---

## OMS : Organisation mondiale pour la santé

Maintient le site <http://www.who.int/peh-emf/en/>

## ICNIRP : Commission internationale pour la protection contre les radiations non-ionisantes

Réalise un travail de **veille scientifique**, émet périodiquement des **recommandations** pour limiter l'exposition humaine

L'ICNIRP est **reconnue** par l'OMS

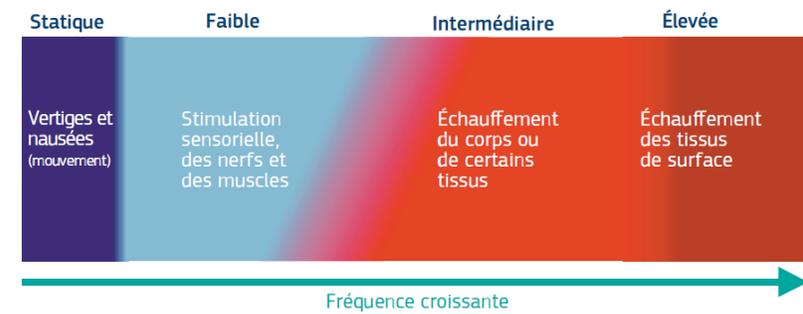
La plupart des réglementations nationales et européennes sont basées sur les recommandations formulées par l'ICNIRP

## L'ICNIRP est considérée comme non indépendante (= pro-champs) par les organisations citoyennes qui prônent une limitation de l'utilisation des champs électromagnétiques

Le rapport **Bioinitiative** (2012) conteste les conclusions de l'ICNIRP et de l'OMS (<https://www.bioinitiative.org>)



# Sur quoi se base la réglementation ?



## Les standards ne prennent en compte que les effets avérés à court terme

*“The **weight-of-evidence** provides no credible indication of adverse effects caused by chronic exposures below levels specified in IEEE Std C95.1 – 2019”.*

*“No biophysical mechanism have been **scientifically validated** that would link chronic exposures below levels specified in IEEE Std C95.1 – 2019 to adverse health effects”.*



## Les standards prévoient des limites différents selon que l'exposition ait lieu dans le cadre professionnel ou grand public (*two tiers*)

Les limites pour le grand public sont plus bas d'un **facteur 5** (**arbitraire**) par rapport aux travailleurs

- Les travailleurs sont **suivi médicalement** et **informés** au sujet de leur exposition.

## Les standards définissent des valeurs limites d'exposition et des valeurs déclenchent l'action



Valeurs limites d'exposition (VLE) : ne doivent pas être dépassé en aucun cas, mais basés sur des grandeurs **non mesurables**

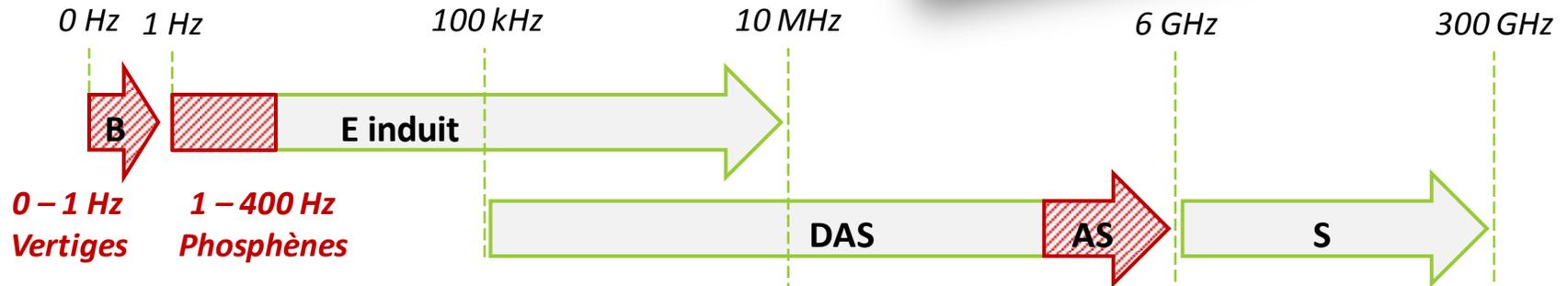
- Si les VA sont dépassées, l'exposition peut être acceptable, à la condition de démontrer le respect des VLE

Valeurs déclenchant l'action (VA) : grandeurs **mesurables**, utiles pour garantir le respect des VLE

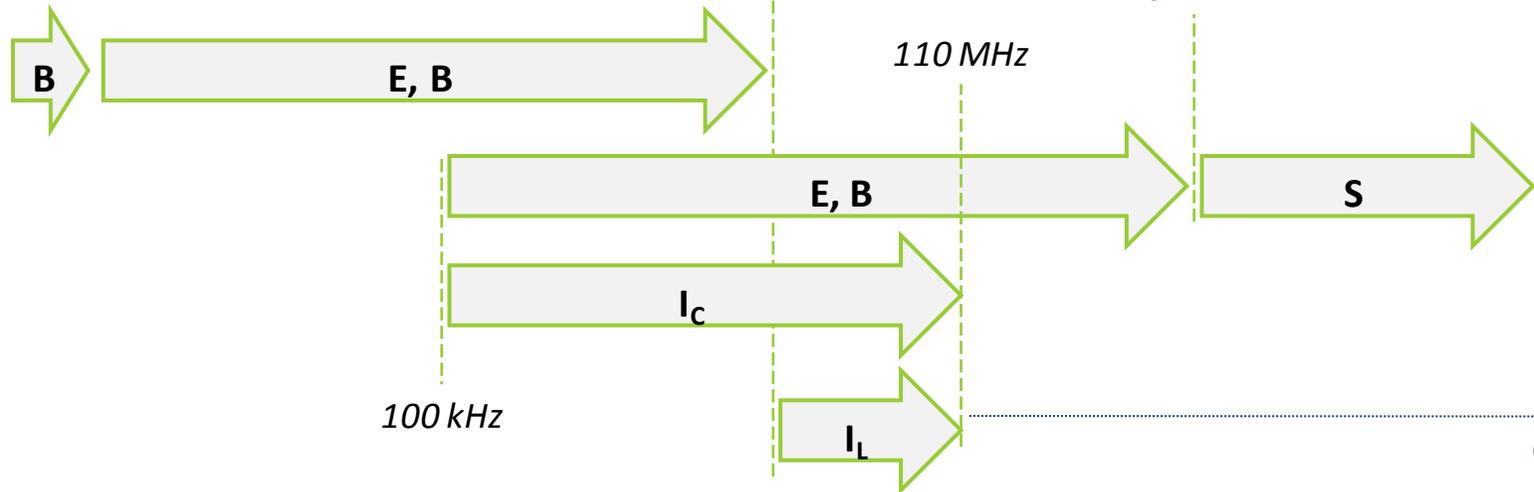
# Vu d'ensemble (compliquée) des VLE et des VA

**Microwave Weapons Are Prime Suspect in Ills of U.S. Embassy Workers**  
 Doctors and scientists say microwave strikes may have caused sonic delusions and very real brain damage among embassy staff and family members.

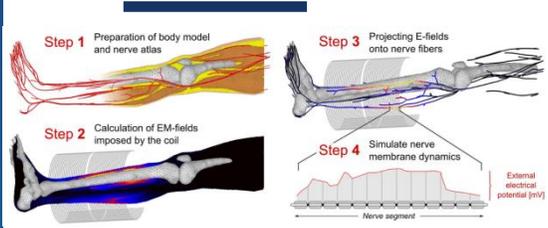
## Valeurs limites d'exposition



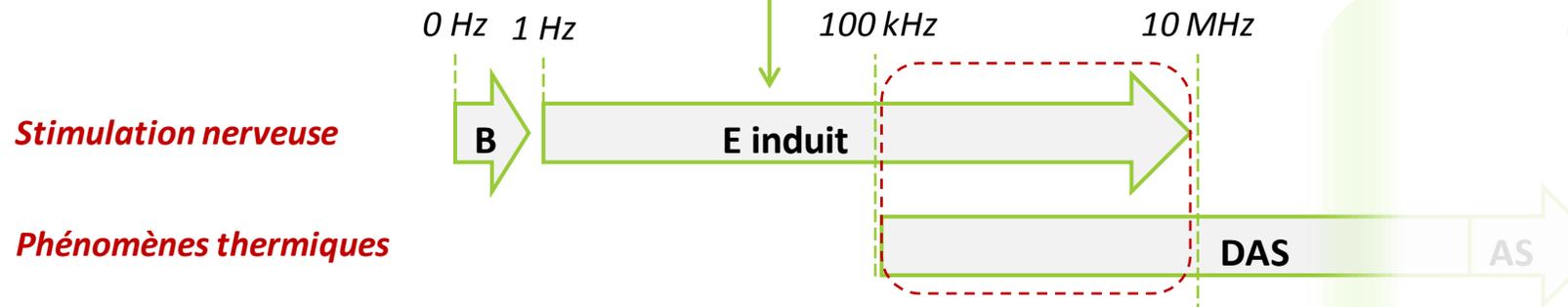
## Valeurs déclenchant l'action



# Vu d'ensemble (simplifiée) des VLE et des VA



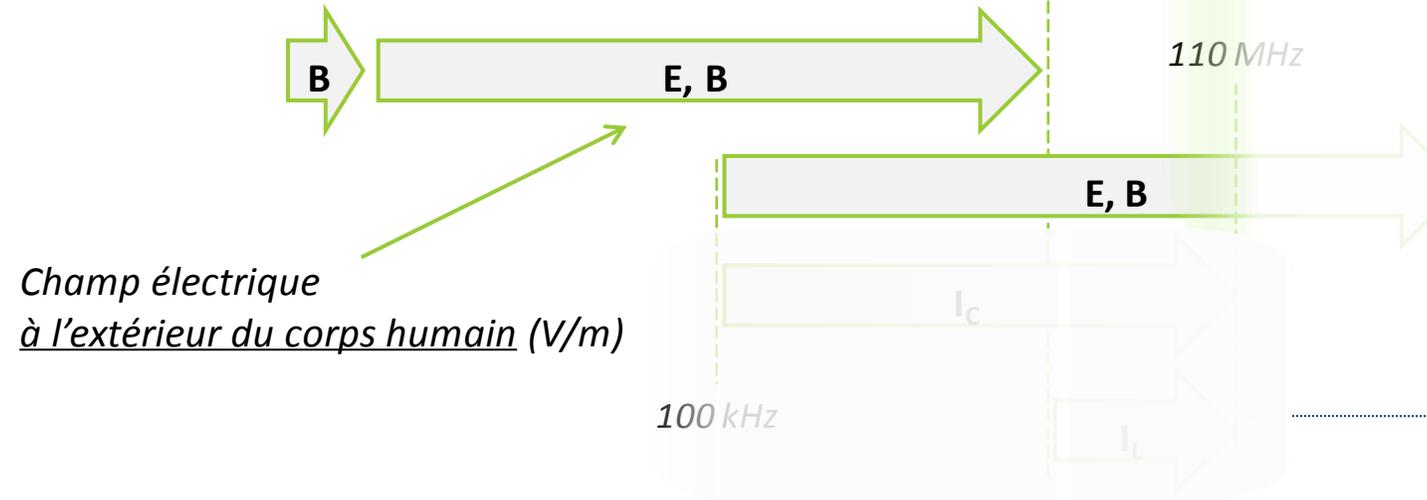
## Valeurs limites d'exposition



Stimulation nerveuse

Phénomènes thermiques

## Valeurs déclenchant l'action



Champ électrique à l'extérieur du corps humain (V/m)

Champ électrique dans le corps humain (V/m)

$$\max DAS = 2 \text{ W/kg} = \frac{10 \text{ W/kg}}{5}$$



Champ électrique dans le corps humain (V/m)

Conductivité électrique (S/m)

$$DAS = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>)

| Partie du corps | DAS max (W/kg) |
|-----------------|----------------|
| Membres         | 20             |
| Tête et tronc   | 10             |
| Corps entier    | 0.4            |

# Les standards distinguent entre exposition corps entier ou localisée

Il est admis que les parties périphériques du corps (*limbs*) soient plus exposées que le reste du corps

Entre 1 et 10 MHz les VLE sont définies en termes de **champ électrique** (avant 2010 : densité de courant) :

Les VLE relatives aux **effets sensoriels** (0 – 400 Hz uniquement)

- Protègent contre des troubles passagers (principalement magnéto-phosphènes)
- S'appliquent au niveau de la **tête seule**

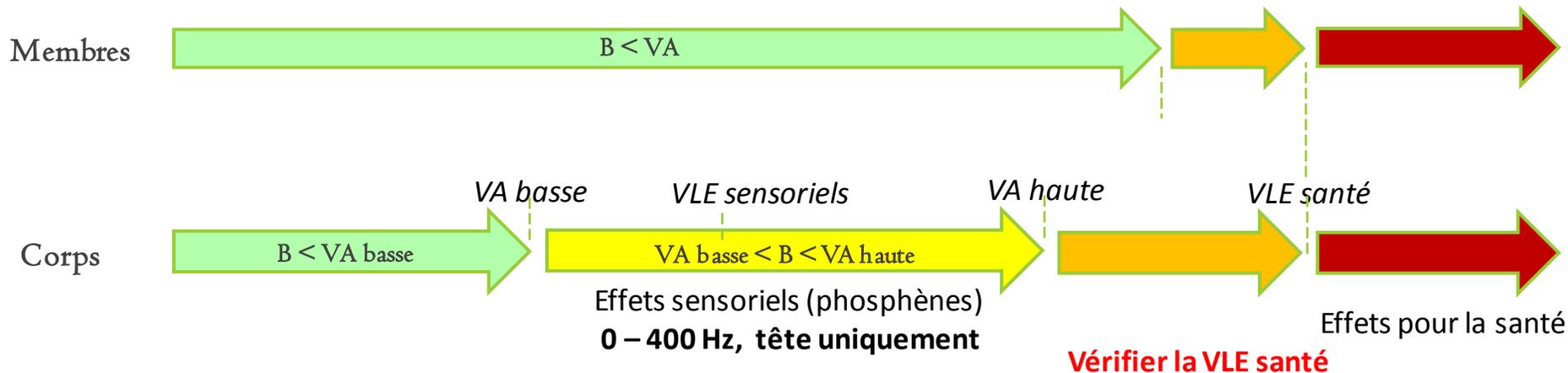
Les VLE relatives à la **santé**

- Protègent contre une **stimulation des tissus nerveux et musculaires**
- S'appliquent au **corps entier** (y compris la tête)

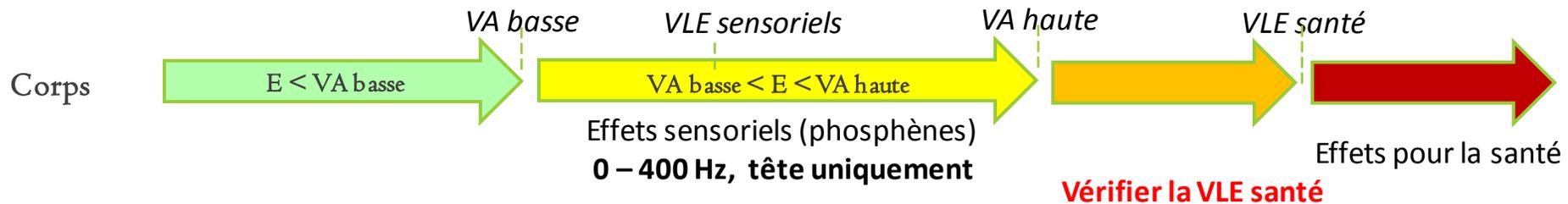
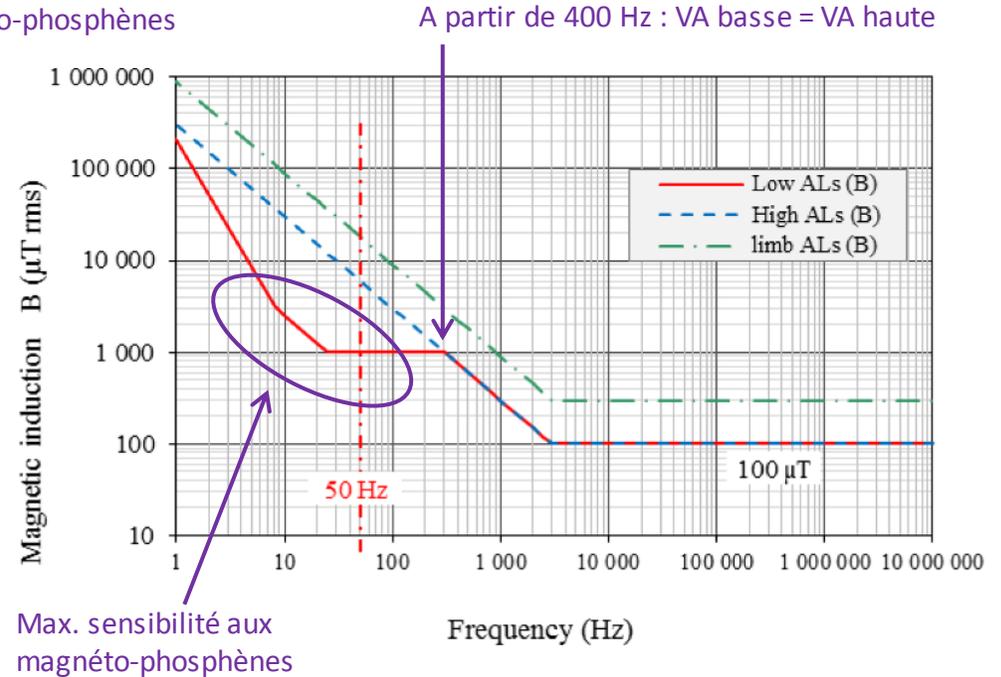
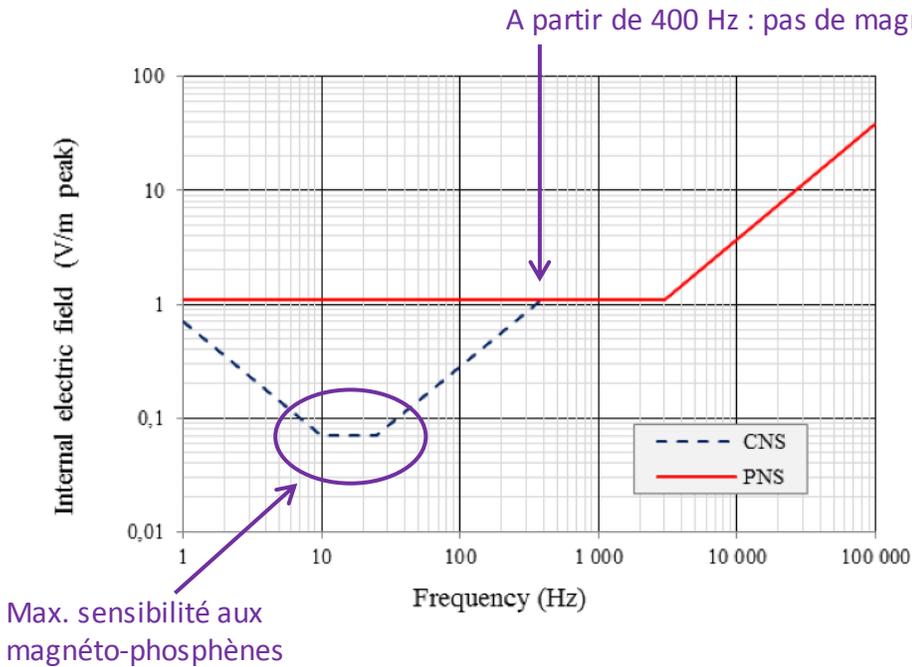
VLE < E<sub>int</sub>

VA < B mais E<sub>int</sub> < VLE

B < VA ⇒ E<sub>int</sub> < VLE



# Comment ont été choisies les limites de champ (0 - 10 MHz)



# Personnes à risques particuliers

## Le standard prend en compte les personnes à risques particuliers

Femmes enceintes

Porteurs d'implants médicaux actifs (pacemaker, pompe à insuline) ou passif (prothèse de la hanche)

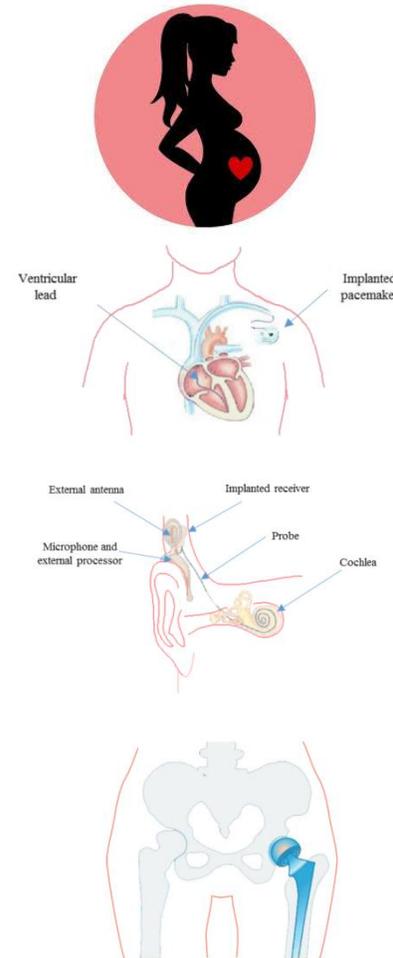
## Implants actifs : le Standard EN 60601-1-2 définit le niveau d'immunité minimale

Pacemakers et d'autres implants vitaux :  $10 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  entre 80 MHz et 2.5 GHz

Pour les implants non vitaux (ex: implants cochléaires) :  $3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  entre 80 MHz et 2.5 GHz

Champ magnétique :  $3,76 \mu\text{T}$  à 50 Hz

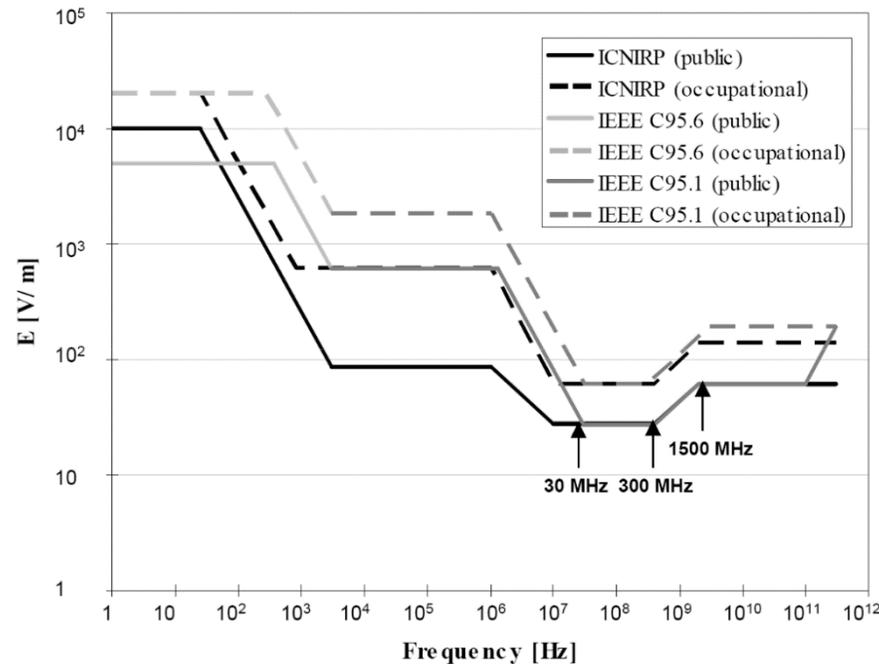
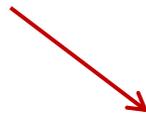
Les niveaux d'exposition pour les personnes à risque sont basés sur les recommandations ICNIRP 1999/519/EC



# Différences entre la réglementation aux USA et en Europe

Le standard IEEE et les recommandations ICNIRP sont très proches (situation en 2009)

Champ électrique  
extérieur au corps humain



Le standard IEEE Std C65.1 (2019) se rapproche considérablement des recommandations ICNIRP. Toutefois, des différences entre les deux standards persistent.

# Dosimétrie des champs électromagnétiques dans le corps humain

## Résumé :



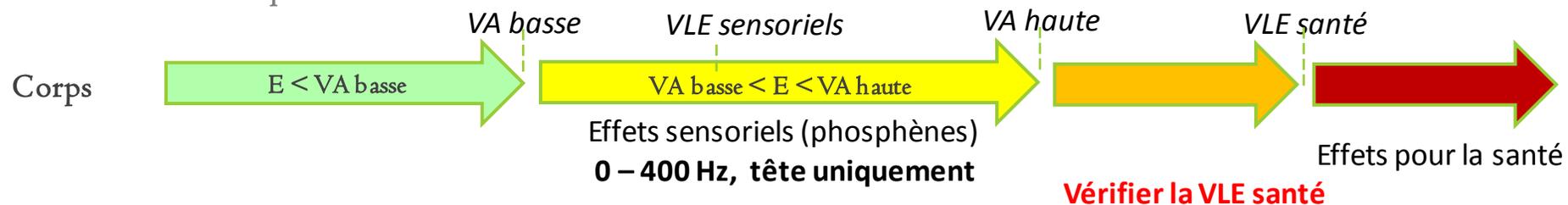
Dans la « zone rouge » :  $VA < B$  et les VLE ne sont pas respectées !

Dans la « zone orange » :  $VA < B$  mais peut-être les VLE sont encore respectées

Dans la « zone verte » :  $B < VA \Rightarrow$  VLE certainement respectées

} En pratique, comment savoir si les VLE sont respectées ?

- Cas particulier : si  $f < 400$  Hz il faut prendre en compte aussi des phénomènes sensoriels (magnéto-phosphènes) dans la tête uniquement



## La dosimétrie numérique permet d'estimer les valeurs de champ électrique à l'intérieur du corps

Il est nécessaire de disposer d'un modèle géométrique 3D (**fantôme**) et « électrique » du corps humain.

Il y a des grandes **incertitudes** et **variabilités** sur les propriétés électriques des tissus, et aussi sur la morphologie du corps.

Malheureusement, **aucune validation expérimentale** n'est praticable (possible ?) à ce jour (**validation inter-laboratoire**)

- La dosimétrie est utilisée pour établir les VA sous **hypothèse de couplage maximale** (= cas le plus défavorable)

# Exemples de simulations dosimétriques (1)

338

IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, VOL. 62, NO. 2, APRIL 2020

## Assessing Human Exposure With Medical Implants to Electromagnetic Fields From a Wireless Power Transmission System in an Electric Vehicle

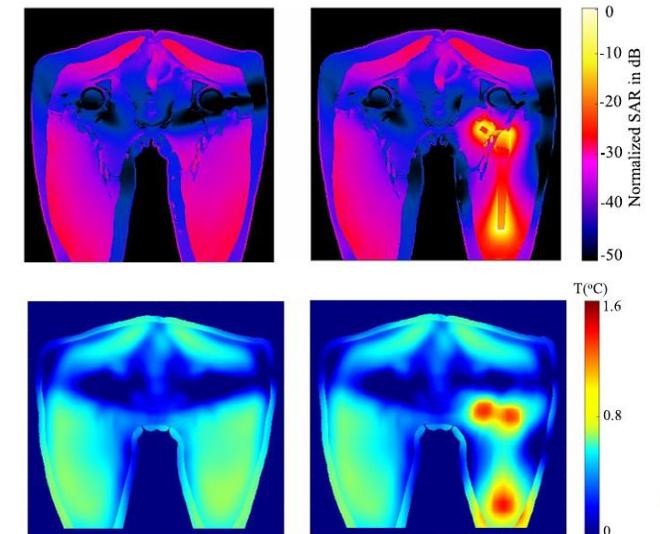
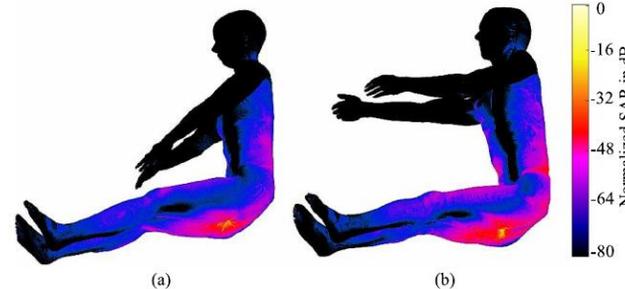
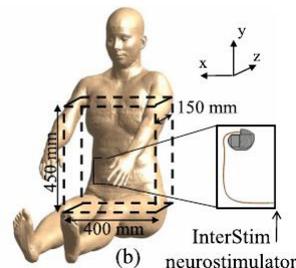
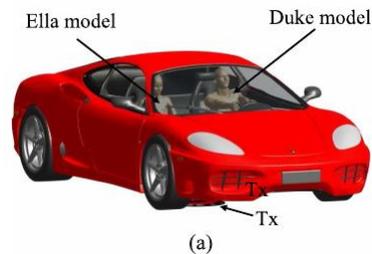
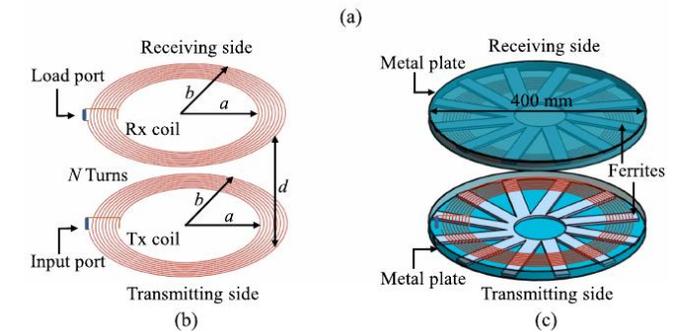
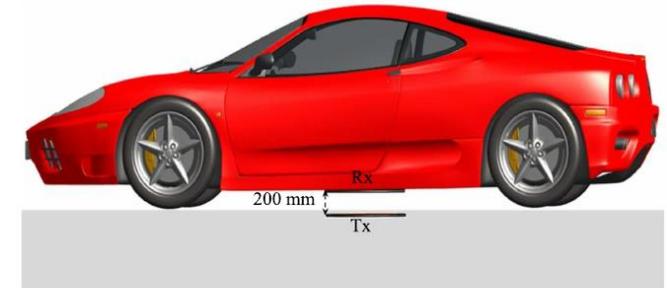
Izaz Ali Shah <sup>1</sup> and Hyongsuk Yoo <sup>1</sup>, Member, IEEE

### Modélisation d'un système de recharge sans fil 5.3 kW, 13.56 MHz

Fantômes Duke, Ella posturés (résolution = 1.5 mm), software Sim4Life

Prise en compte de la présence d'implants actifs ou passifs

Calcul du DAS et de l'élévation de la température



# Exemples de simulations dosimétriques (2)



Article

## Assessment of Exposure to Electric Vehicle Inductive Power Transfer Systems: Experimental Measurements and Numerical Dosimetry

Ilaria Liorni <sup>1</sup>, Oriano Bottauscio <sup>2,\*</sup>, Roberta Guilizzoni <sup>3</sup>, Peter Ankarson <sup>4</sup>, Jorge Bruna <sup>5</sup>, Arya Fallahi <sup>1</sup>, Stuart Harmon <sup>3</sup> and Mauro Zucca <sup>2</sup>

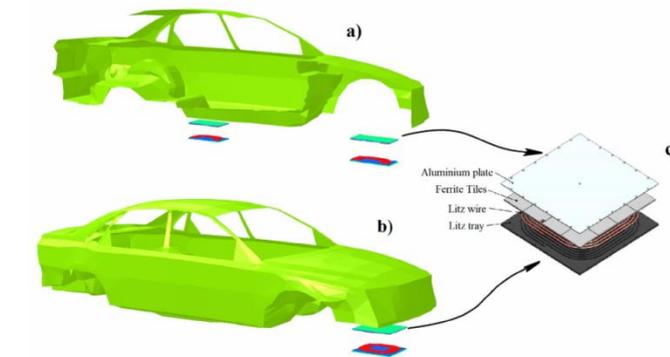
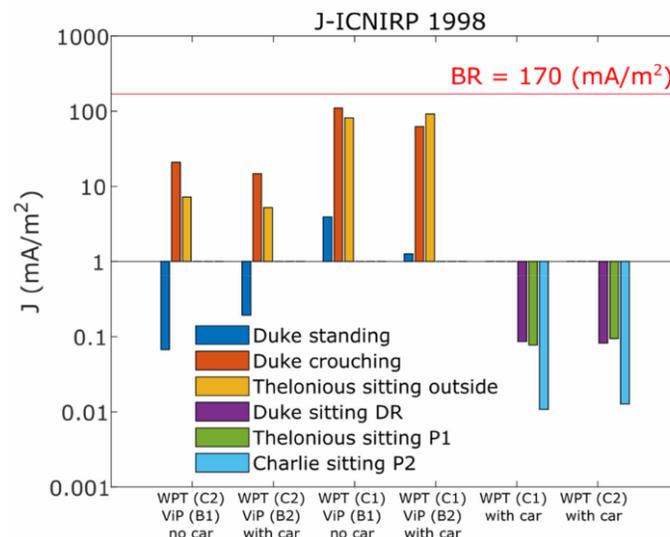
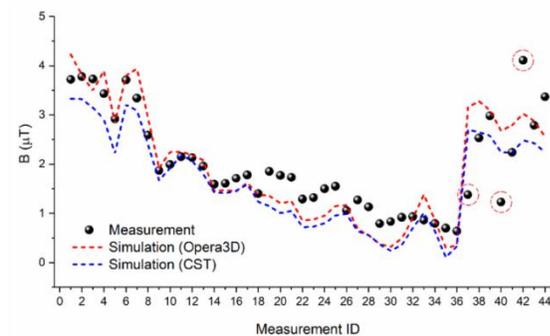
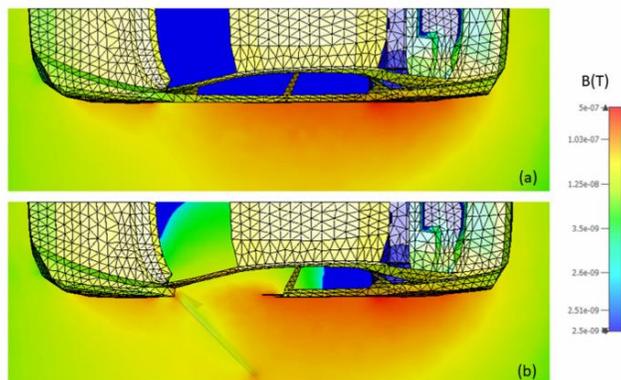
<sup>1</sup> IT'IS Foundation, 8004 Zürich, Switzerland; liorni@itis.swiss (I.L.); afallahi@itis.swiss (A.F.)

### Modélisation d'un système de recharge par induction

Fantômes Charlie, Thelonious, Duke *posturés* (résolution = 1.5 mm), software Sim4Life

Deux modèles : 50 kW , 27.8 kHz (minibus) et 7.7 kW , 85 kHz (voiture)

Comparaison avec les standards IEEE C95.1 et ICNIRP



# Contre mesures

---

## Géométrie des circuits :

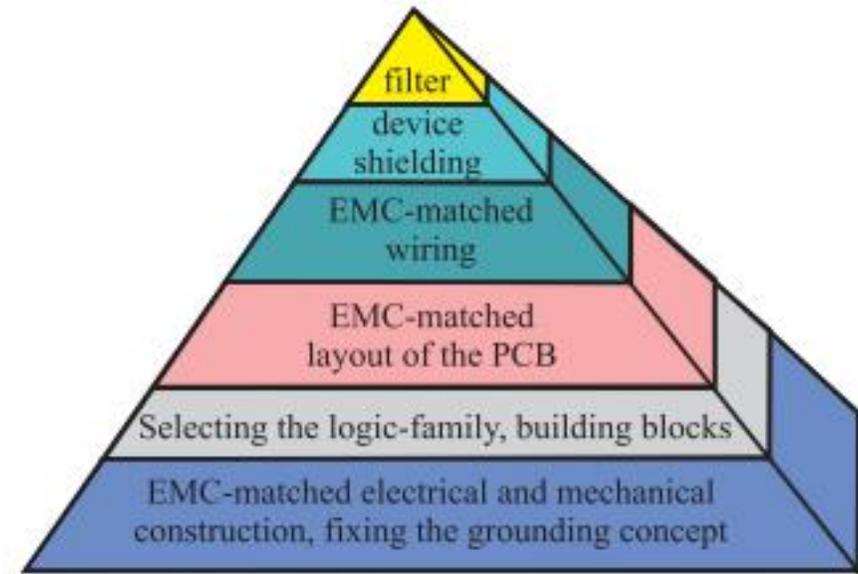
aire des boucles  
longueur des fils

## Disposition des éléments :

composants, circuits, plans de masse et connexions  
orientation spatiale: boucles, fils, plans/enveloppes

## Choix et qualité des liaisons :

impédances d'entrée/sortie  
masses, connectique  
transmissions optiques

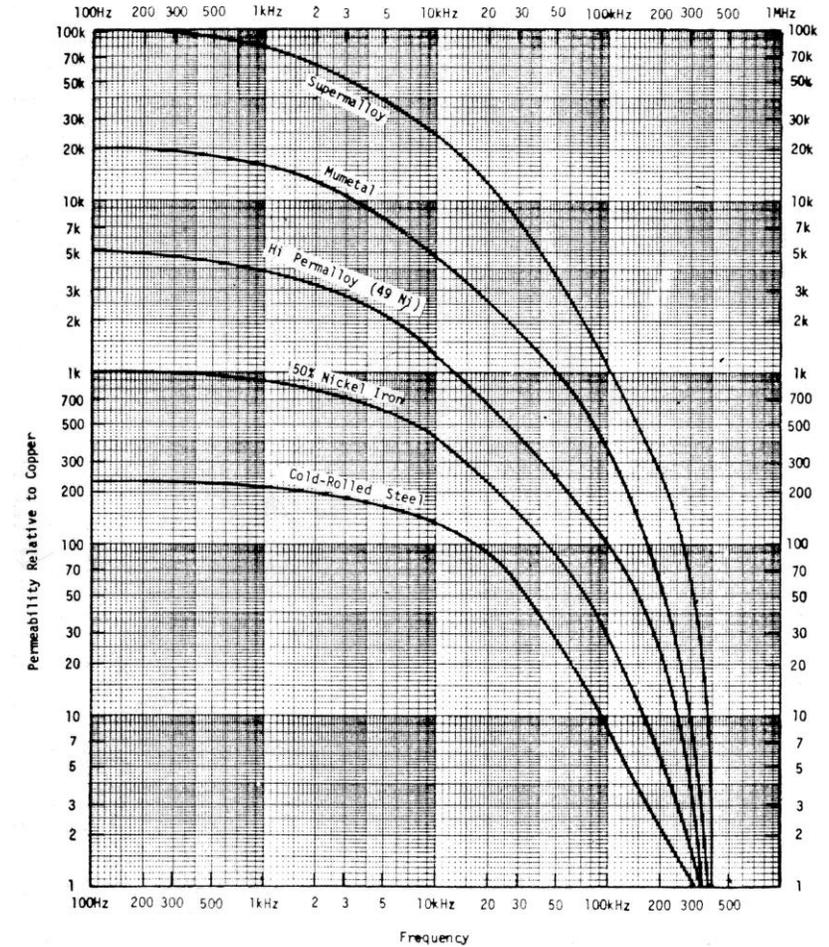
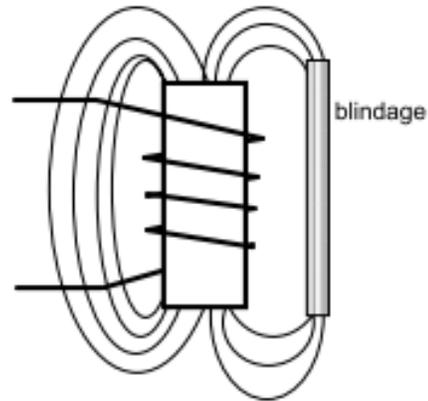


# Contre Mesures

## Blindages en champ H en DC ou très basse fréquence

matériau magnétique  $\Rightarrow$  guidage du flux

limites des matériaux magnétiques: fréquence, saturation

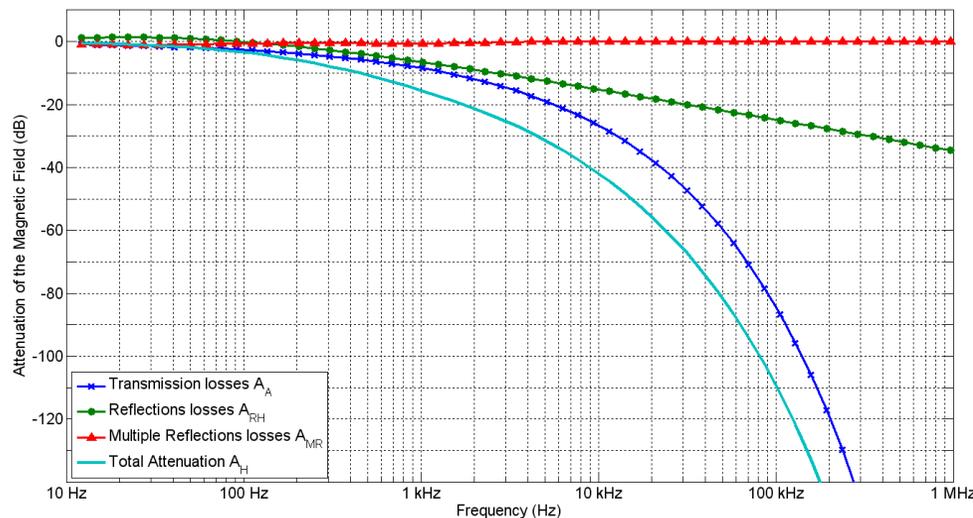


# Contre Mesures

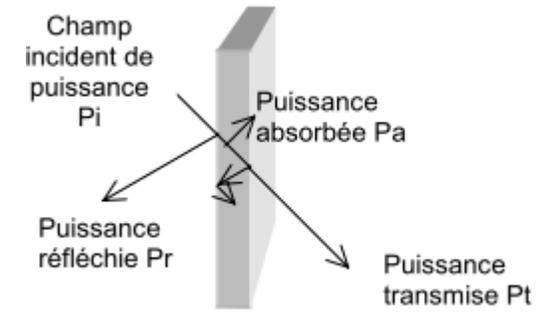
## Blindages en champ E ou H en haute fréquence (magnétodynamique ou propagation)

Courants induits (effet de peau)

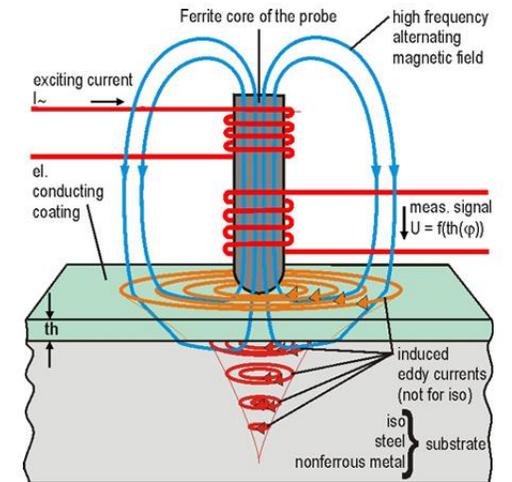
- Réflexion:  $A_R = -20 \log \left| \frac{4Z_0 Z_S}{(Z_0 + Z_S)^2} \right|$
- Transmission:  $A_A = -20 \log \left[ \exp \left( -\frac{t}{\delta} \right) \right]$
- Réflexions multiples:  $A_{MR} = -20 \log \left[ 1 - \frac{(Z_0 - Z_S)^2}{(Z_0 + Z_S)^2} \exp \left( - (1 + j) \frac{2t}{\delta} \right) \right]$
- Nature de la source (magnétique):  $A_{RH} = -20 \log \left| \frac{4Z_H Z_S}{(Z_H + Z_S)^2} \right| \approx 20 \log \left( \frac{\omega \mu_0 r \sigma \delta}{4\sqrt{2}} \right)$



Atténuations: plaque de 2 mm de cuivre à 10 mm d'une antenne boucle



En « HF »  
Champ lointain



En « BF »  
(champ proche magnétique)

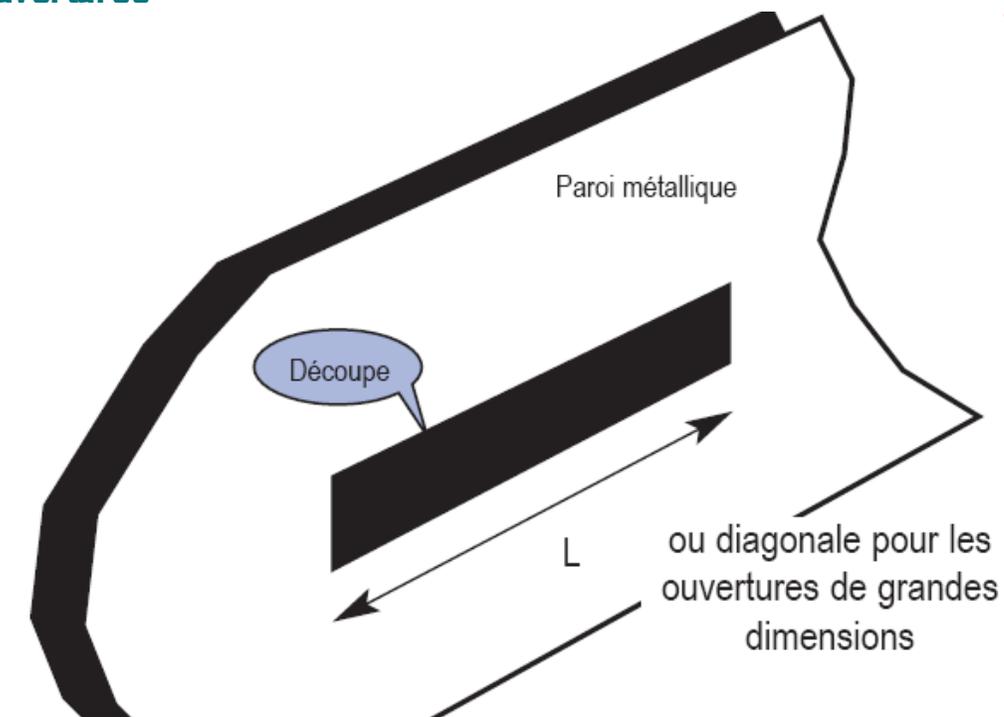
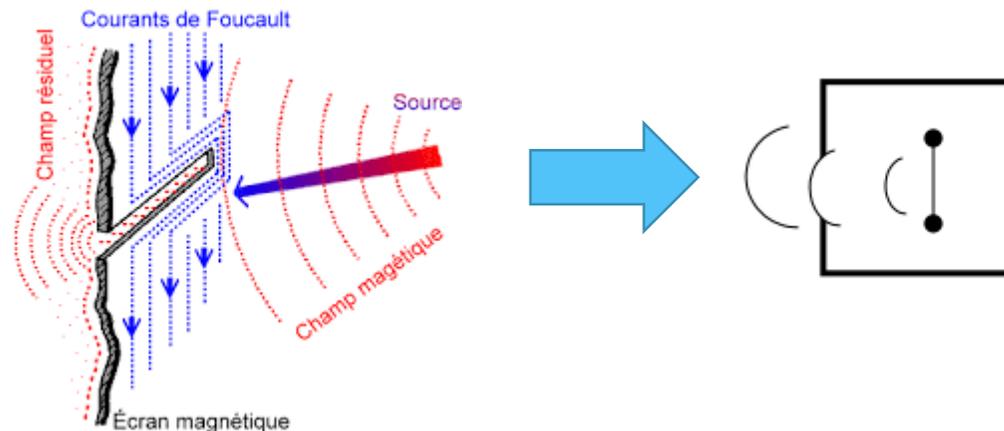
$$\text{Rapport des champs E (dB)} = 20 \log \frac{E(\text{sans})}{E(\text{avec})}$$

$$\text{Rapport des champs H (dB)} = 20 \log \frac{H(\text{sans})}{H(\text{avec})}$$

$$\text{Rapport des puissances (dB)} = 10 \log \frac{P_i}{P_t}$$

# Contre Mesures

## Ouvertures



Efficacité de blindage d'une fente :

$$E \text{ (dB)} = -20 \cdot \log \left( \frac{L \cdot F}{150\,000} \right)$$

I = La plus grande dimension de la fente en mm  
 F = La fréquence considérée en MHz

| I = 40 mm | f (MHz) | E(dB) |
|-----------|---------|-------|
|           | 1       | -71   |
|           | 10      | -51   |
|           | 100     | -31   |
|           | 1000    | -11   |

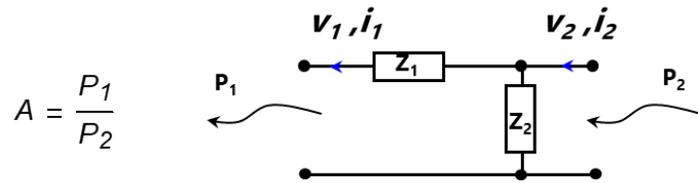
# Contre Mesures

## Filtrage

Atténuation la plus grande avec le minimum de composants

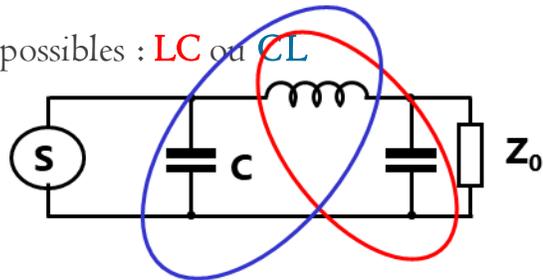
Volume minimal

Les composants doivent être réactifs (pas de pertes)



$$P_i = (V_i, i_i)$$

2 structures possibles : LC ou CL



S : source de tension → structure LC : 2ème ordre

S : source de courant → structure CL : 2ème ordre

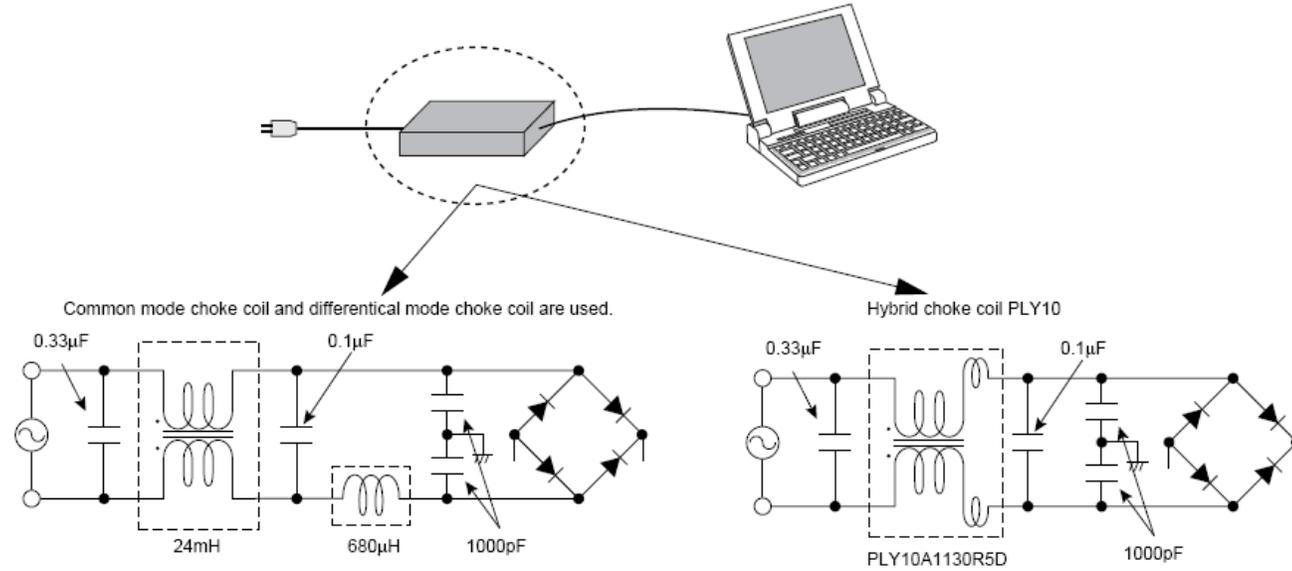
Dans les autres cas : filtre du 1er ordre → pas intéressant : **volume** ↗

| Impédance de la source | structure typique du filtre | impédance de la charge | filtrage différentiel | filtrage de mode commun |
|------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| élevée                 |                             | élevée                 |                       |                         |
| élevée                 |                             | élevée                 |                       |                         |
| faible                 |                             | faible                 |                       |                         |
| faible                 |                             | faible                 |                       |                         |
| faible                 |                             | élevée                 |                       |                         |
| élevée                 |                             | faible                 |                       |                         |

Règle : le composant d'entrée du filtre doit avoir le comportement dual de celui de la source

# Contre Mesures

## Exemple d'un filtre d'alimentation de PC portable



# Conclusions / perspectives

---

## Conversion statique d'énergie électrique

Génération de perturbations EM

Niveaux considérables: sources de forte puissance

## Applications embarquées

Promiscuité avec les sources

Contre mesures: poids, cout, encombrement

## Besoin de solutions innovantes

Réduire le niveau de pollution des sources de puissance

Matériaux innovants (méta matériaux)

Prise en compte dès la phase de conception



### Conclusions de l'étude Interphone

Un odds ratio (OR) en dessous de 1,0 lié au fait d'avoir jamais été un utilisateur régulier de téléphone portable a été observé pour les gliomes (OR = 0,81; IC (intervalle de confiance) à 95%, 0,70–0,94) et pour les méningiomes (OR = 0,79; IC à 95%, 0,68–0,91), reflétant peut-être un biais de participation ou d'autres limites méthodologiques.

Aucune augmentation d'OR n'a été observée  $\geq 10$  années après la première utilisation de téléphone portable (gliome : OR = 0,98; IC à 95%, 0,76–1,26; méningiome : OR = 0,83; IC à 95%, 0,61–1,14). Les OR étaient  $< 1,0$  pour tous les déciles du nombre total d'appels téléphoniques au cours d'une vie et pour neuf déciles du temps d'appel cumulé.

Dans le dixième décile (le plus élevé) du temps d'appel cumulé rapporté par les sujets de l'étude,  $\geq 1640$  heures, l'OR était de 1,40 (IC à 95%, 1,03–1,89) pour les gliomes, et de 1,15 (IC à 95%, 0,81–1,62) pour les méningiomes, mais il y a dans ce groupe des valeurs non plausibles d'utilisation déclarée. Les OR pour les gliomes tendaient à être plus élevés dans le lobe temporal que dans les autres lobes du cerveau, mais les IC autour des estimations pour les différents lobes spécifiques étaient larges. Les OR pour les gliomes tendaient à être plus élevés, chez les sujets ayant signalé une utilisation habituelle du téléphone du même côté de la tête que celui de leur tumeur, plutôt que du côté opposé.

Un OR plus faible pour les gliomes et les méningiomes lié au fait d'avoir jamais été un utilisateur régulier de téléphone portable peut refléter un biais de participation ou d'autres limitations méthodologiques. [...] Les biais et les erreurs limitent la force des conclusions que l'on peut tirer de ces analyses et empêchent d'établir une interprétation causale.



## Communiqué de presse de l'IARC du 31 mai 2011 (Lyon):

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) de l'OMS a classé les champs électromagnétiques de radiofréquences comme peut-être cancérogènes pour l'homme (Groupe 2B), sur la base d'un risque accru de gliome, un type de cancer malin du cerveau, associé à l'utilisation du téléphone sans fil. Les biais et les erreurs limitent la force des conclusions que l'on peut tirer de ces analyses et empêchent d'établir une interprétation causale.

Les données ont été passées en revue de façon critique, et évaluées dans leur ensemble comme étant limitées chez les utilisateurs de téléphones sans fil pour le gliome et le neurinome de l'acoustique, et insuffisantes pour être concluantes pour les autres types de cancers. Les données des expositions professionnelles et environnementales mentionnées plus haut ont également été jugées insuffisantes. Le Groupe de Travail n'a pas quantifié ce risque; cependant, une étude rétrospective de l'utilisation du téléphone portable (jusqu'en 2004), a montré un risque accru de 40% de gliome chez les plus grands utilisateurs (moyenne rapportée: 30 minutes par jour sur une période de 10ans).

[...] Les données, qui ne cessent de s'accumuler, sont suffisantes pour conclure à la classification en 2B. Cette classification signifie qu'il pourrait y avoir un risque, et qu'il faut donc surveiller de près le lien possible entre les téléphones portables et le risque de cancer.