

# Compatibilité ElectroMagnétique

*F6AIX*  
*mai 2009*

# Objectif

- 1-Comprendre la différence entre CEM et exposition des personnes aux champs électromagnétiques
- 2-Comprendre la notion de perturbation électromagnétique
  - +Pour un émetteur
  - +Pour un recepneur
- 3-Comprendre l'intérêt de la normalisation
- 4-Comprendre comment évaluer le champ rayonné par ses antennes
- 5-Savoir comment réagir face à un problème de CEM

# Sommaire

1-Historique

2-La problématique Santé et rayonnements

3-La compatibilité des équipements

- +Le phénomène physique

- +Les perturbations-mode d'action

- +Les mesures

- +Calculs de champs

- +La législation

- +Cas pratiques

- +Logiciels

4-Bibliographie /Sites internet

5-Annexes



# Historique

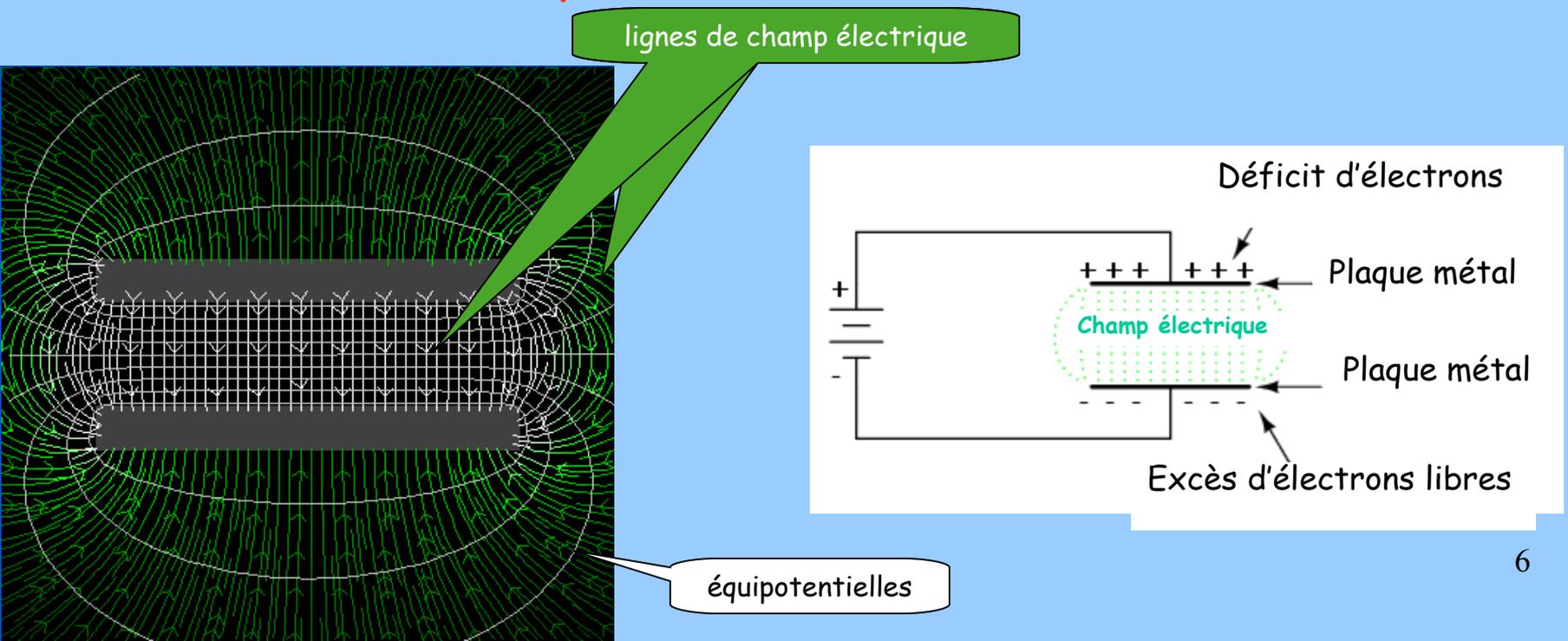
- La prise en compte de l'impact des rayonnements non ionisants sur la santé est récente
- Le problème de perturbation radio électrique le plus ancien a été la foudre
- Puis sont apparus les automobiles et les vélomoteurs.....
- Dans les années 50 sauf les militaires , personne ne s'occupait de CEM, à part mettre un fusible sur l'alimentation....
- En cas d'émissions radio de puissance (fours microonde....) les industriels échappaient aux contraintes en utilisant les bandes ISM
- A partir des années 80 ,la prolifération des circuits de plus en plus rapides et la diminution des tensions d'alimentation , a fait que la CEM est devenue un problème majeur
- La plupart des pays ont légiféré pour imposer des contraintes aux fabricants d'équipements électriques/électroniques pour assurer
  - +la compatibilité entre équipements
  - +la sécurité des personnes

**Petit rappel**

# Le phénomène physique

- Les champs électriques, magnétiques et électromagnétiques sont des rayonnements « **non ionisants** » : ils ne sont pas suffisamment énergétiques pour éjecter un électron d'un atome ou d'une molécule
- Un **champ électrique** statique apparaît dès lors qu'il y a une accumulation de charges électriques.

Exemple : champ électrique aux bornes d'un condensateur chargé  
Sa valeur  $E$  se mesure en **volts par mètre** (V/m).



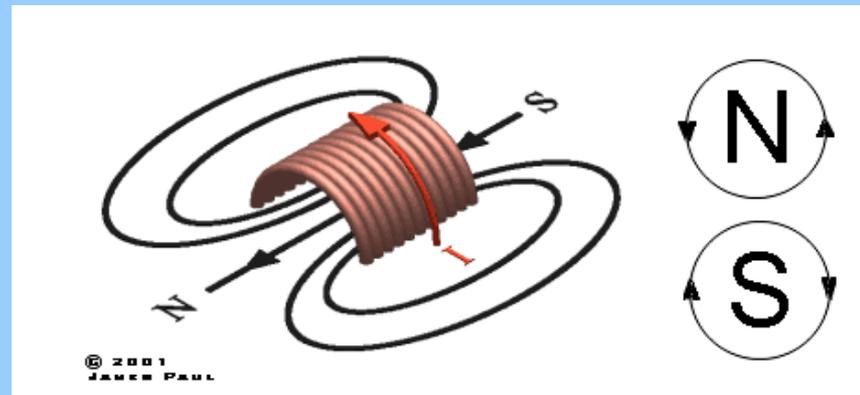
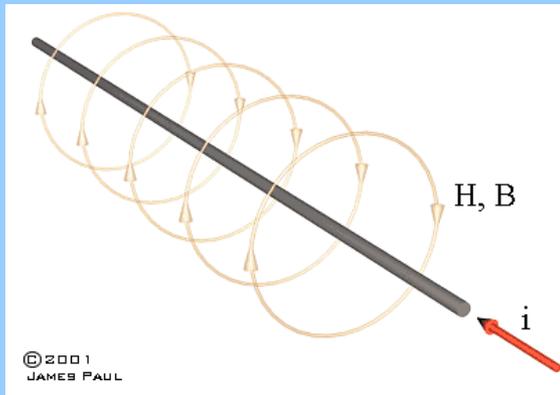
# Le phénomène physique

Un **champ magnétique** statique est présent autour des aimants permanents et autour des conducteurs parcourus par un courant continu.

Sa valeur  $H$  se mesure en **ampères par mètre** (A/m).

Tout milieu (solide, liquide ou gazeux) peut être caractérisé par sa perméabilité magnétique ( $\mu$ ) ou aptitude à réagir à la présence d'un champ magnétique.

L'induction magnétique  $B$  qui apparaît en présence d'un champ magnétique  $H$  est telle que :  
 $B = \mu \times H$  ( $B$  se mesure en teslas, T).

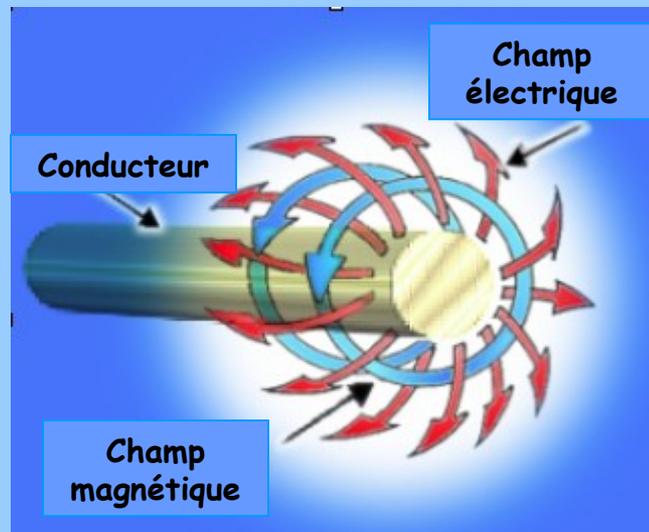


# Le phénomène physique

Des charges **électriques en mouvement**  créent un **champ électromagnétique** variable dans le temps.

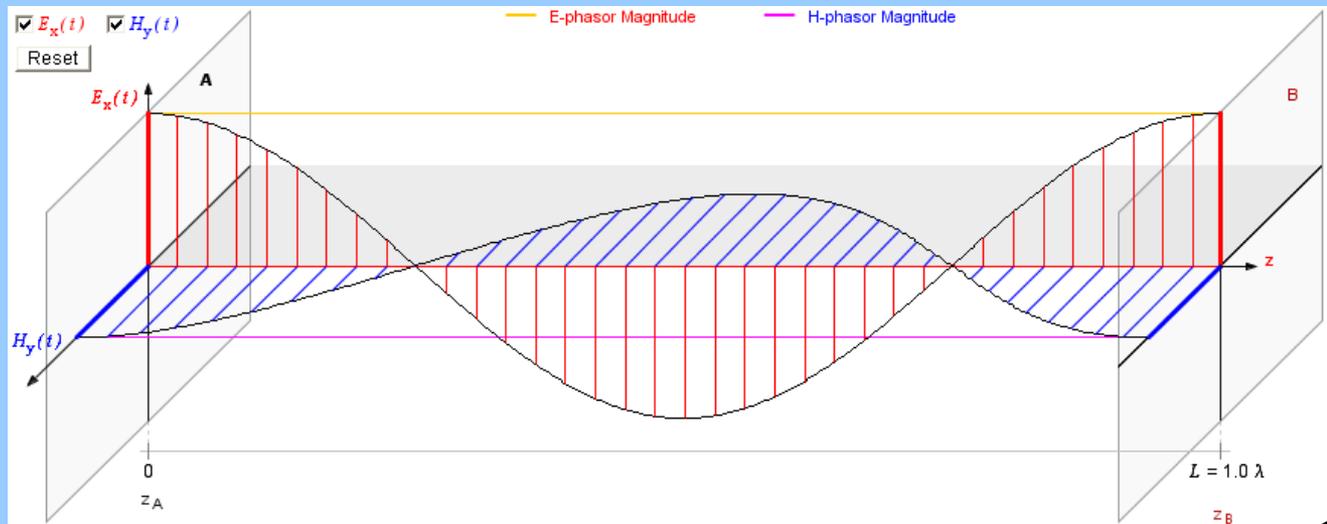
Ce phénomène est formé de 2 ondes liées (l'une électrique et l'autre magnétique) qui se propagent à la vitesse de la lumière.

Toute installation électrique crée dans son voisinage un champ électromagnétique.

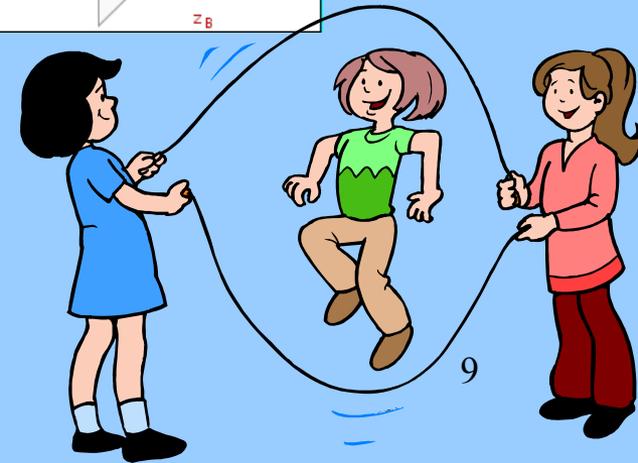


50% de l'énergie est dans le champ magnétique (courant)  
50% de l'énergie est dans le champ électrique (tension)

# Champ électromagnétique



Comme 2 cordes à sauter à  $90^\circ$ .....  
En phase



# Santé et rayonnements

# La vision ancienne...



Fluide pour bains électromagnétiques....



# La vision moderne...



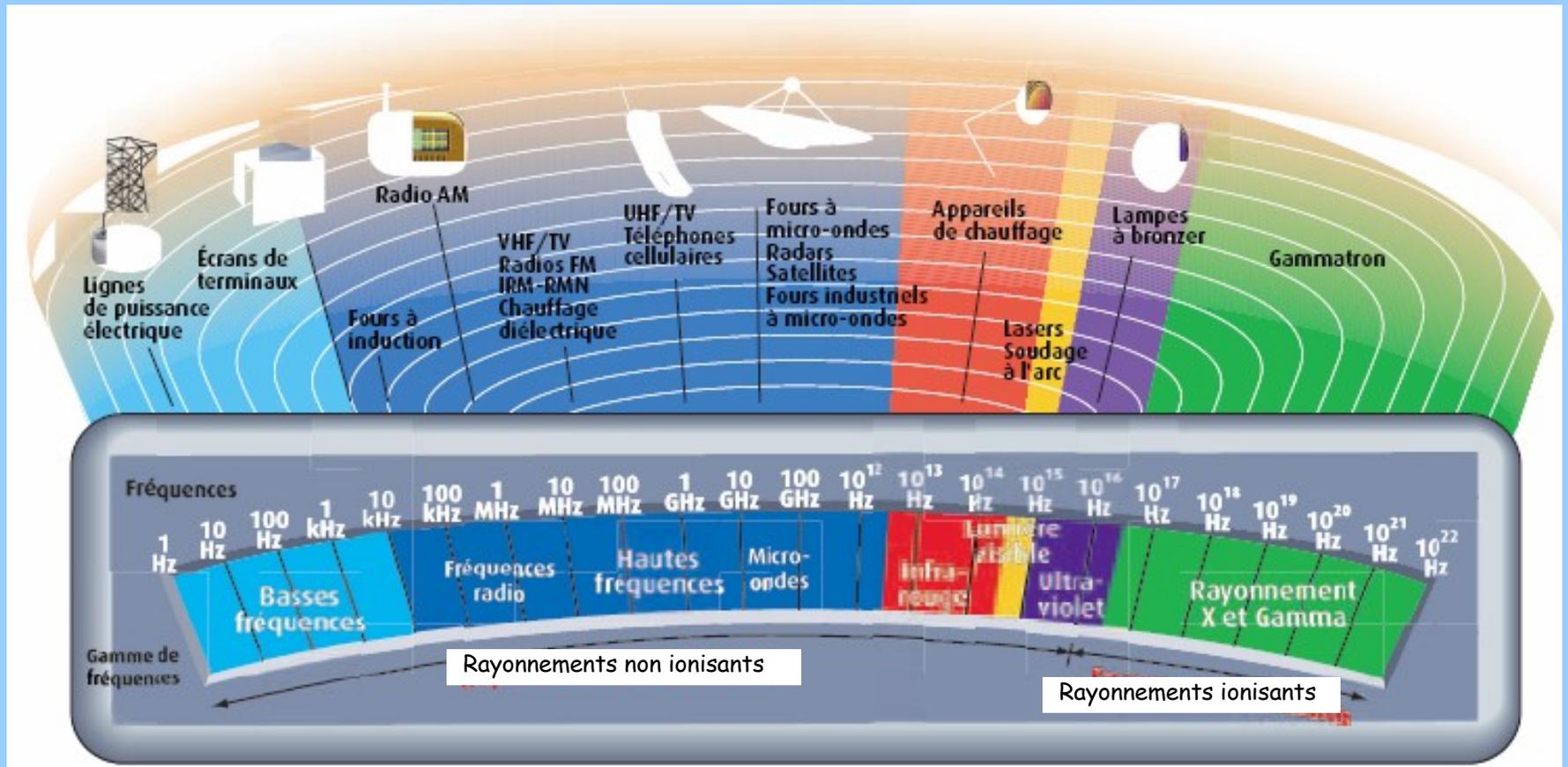
# L'exposition des personnes aux champs électromagnétiques

Problématique différente de celle des équipements

- L'exposition des personnes est l'objet d'une législation du travail (1)
  - +Directive européenne 2004/40/CE (transposition en France prévue en 2012)
  - +Préconisations de l' ICNIRP (2)
- Seuls les effets nocifs à court terme sont pris en compte
  - +Echauffement des tissus (>100kHz)
  - +Stimulation électrique du système nerveux (0-10MHz)
- Les effets à long terme sont méconnus et difficiles à évaluer scientifiquement

(1) En milieu professionnel les limites d'exposition sont 5 fois supérieures à celles du grand public  
(2) Commission Internationale pour la Protection Contre les Radiations non ionisantes

# Nous sommes soumis à tout ça...



# Directive 2004/40/CE<sup>(1)</sup>

➤ **Pas de réglementation française spécifique** sur l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques.

➤ **Recommandation de respecter** dès à présent les préconisations de la **directive 2004/40**

➤ **énonce les prescriptions minimales de sécurité,**

➤ **Basées sur les effets à court terme,** de l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques.

➤ **Reprend les recommandations** de limitation de l'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

# Décret du 3 mai 2002

- Fixe les niveaux limite du champ électromagnétique en un point et provenant de toutes les émissions radio reçues en ce point
- Transpose une recommandation européenne (1999/519/CE) qui a été précédée par les travaux de la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements non Ionisants (ICNIRP) rattachée à l'Organisation Mondiale de la Santé

**MAIS**

Les équipements de radioamateurs sont normalement conformes à ces limites via la conformité à la réglementation qui les régit

**MAIS**

Il est de notre intérêt de connaître les règles qui limitent les niveaux d'exposition aux champs rayonnés par toutes nos antennes en émission

+Pour notre propre sécurité

+Pour la sécurité d'un éventuel public (démonstrations, radio-clubs, expéditions.....)

# Décret du 3 mai 2002

- Pour **vérifier l'exposition électromagnétique du public** en des endroits précis, les mesures doivent couvrir **tout le spectre radioélectrique**.
- **Les limites** de champ électrique ou magnétique qui doivent s'appliquer à toute émission sur une fréquence donnée **dépendent également de celles qui sont présentes sur d'autres fréquences**.

L'effet indésirable auquel on pourrait être soumis est celui que provoque la **somme de tous les champs existants à l'emplacement considéré** (ex : station radioamateur à proximité d'un relais GSM)

- Les mesures correspondantes doivent être effectuées par des laboratoires agréés respectant un protocole précis défini par l'ART.

# Décret du 3 mai 2002

Basé sur la recommandation du conseil n° 1999/519/CE

Fréquence	E (V/m)	H (A/m)	B ( $\mu\text{T}$ )	Densité de puissance équivalente en onde plane ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	-
1-8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0,025-0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0,8-3 kHz	$250 / f$	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,2	10

Les valeurs du tableau sont les racines carrées de la moyenne des carrés des valeurs sur intervalles de 6 minutes

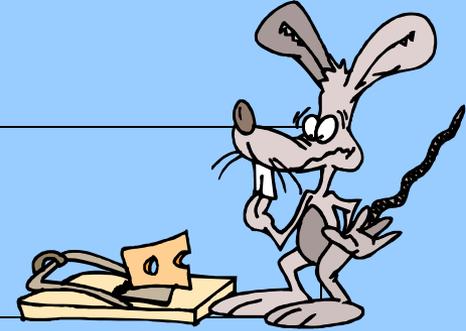
Exemple GSM 900MHz  $\rightarrow$  41V/m

Exemple DECT 1800MHz  $\rightarrow$  58V/m

Valeurs plus sévères en Belgique ??

$13.7 // 0.686 f^{1/2} // 30.7$  et seules fréquences définies

# Attention : Piège!



Le seuil admissible dépend de la fréquence!

Pour nos bandes cela correspond pour le champ électrique:

Fréquence MHz	Champ V/m
1,8	65
3,5	47
7	33
10	28
14	28
18	28
21	28
24	28
28	28
50	28
144	28
432	29
1240	48
2300	61

# Réglementation champs 50Hz

Limites 50Hz >5000V/m & 100μT

Tension	Sous les conducteurs	A 300 m	A 100 m
Très Haute Tension 400 kV	6000	200	250
Très Haute Tension 225 kV	4000	400	40
Haute Tension 90 kV	1000	100	10
Moyenne Tension 20 kV	250	10	ε
Basse Tension 220 V	1,2	ε	ε

Tableau des champs électriques à proximité des lignes électriques, en V/m

Tension	Sous les conducteurs	A 300 m	A 100 m
Très Haute Tension 400 kV	30	12	1
Très Haute Tension 225 kV	20	3	0,3
Haute Tension 90 kV	10	1	0,1
Moyenne Tension 20 kV	6	0.2	ε
Basse Tension 220 V	1,3	ε	ε

Tableau des champs magnétiques à proximité des lignes électriques, en microteslas (μT)

# Contradictions?

La recommandation du conseil n° 1999/519/CE est très directement inspirées des conclusions de l'ICNIRP (Commission Internationale sur les rayonnements non ionisants). et détermine les valeurs limites de champ électromagnétique à ne pas dépasser dans les lieux où séjourne le public .La réglementation française est basée sur cette recommandation

Les valeurs limites de l'ICNIRP sont parfois comparées à des valeurs plus faibles (autour de 4 / 6 V/m) qui figurent dans les réglementations de certains pays voisins de la France. Sont généralement citées la Suisse, l'Italie ou la Belgique

En France, les niveaux d'exposition du public aux rayonnements électromagnétiques doivent être inférieurs aux niveaux spécifiés par le décret du 3 mai 2002, y compris à proximité immédiate d'un émetteur : cela concerne tous les lieux accessibles au public, et donc, entre autres, les toitures des bâtiments, y compris celles sur lesquelles un émetteur est installé, dès lors que l'on se trouve en dehors des limites d'un périmètre de protection balisé.

La différence entre les valeurs ICNIRP et les valeurs limites plus basses tient à l'introduction de limites spécifiques pour l'exposition du public dans des « lieux de vie », et/ou de limites spécifiques pour la seule téléphonie mobile.

L'apparente contradiction tient à la définition de ce qu'on appelle valeur limite.

En effet, la Suisse, distingue la notion **d'émissions** (rayonnements émis par une seule installation) et **d'immissions** (ensemble des rayonnements présents en un emplacement de mesure).

Les valeurs limites d'immission sont celles de la recommandation n°1999/519/CE

**A situation identique → limites identiques**

# DAS<sub>(1)</sub>

(1) Débit d'absorption spécifique

Débit d'énergie thermique déposée sur une masse de matière biologique (poids corporel) du fait de l'atténuation de l'énergie électromagnétique lorsqu'elle traverse les tissus. Le Débit d'Absorption Spécifique (DAS), est exprimé en watts par kilo (W/kg).

Les limitations en DAS introduites par la directive 2004/40/CE :

**En basses fréquences (de 0 Hz à 10 MHz),** afin d'éviter toute stimulation électrique du système nerveux central

Prévention des effets sur le système nerveux central selon la fréquence	
Domaine de fréquence	VLE : Valeur efficace de la densité de courant induit (dans la tête et le tronc) (mA/m <sup>2</sup> )
< 1 Hz	40
1-4 Hz	40/f
4-1 000 Hz	10
1-100 kHz	f/100
100 kHz-10 MHz	f/100
10 MHz-10 GHz	-

**En hautes fréquences (100 kHz à 10 GHz),** afin d'éviter tout échauffement excessif des tissus (<1°C)  
Le DAS moyen sur le corps entier : 4 W/kg.

Limitation des effets thermiques selon la zone exposée	
Débit d'absorption spécifique (DAS)	Limitation
DAS moyen corps entier	0,4 W/kg (soit 4 mW/10 g)
DAS local (tête et tronc)	10 W/kg (soit 100 mW/10 g)
DAS local (membres)	20 W/kg (soit 200 mW/10 g)



# SAR



Notion de limite introduite pour les GSM. Mesures au niveau de la tête exclusivement

**Basée sur un constat de lésion avérée et irréversible** sur le corps humain.

Définie par un taux d'absorption dit "spécifique" (en anglais **Specific Absorption Rate** ou SAR) dont la limite est fixée au 1/20<sup>ème</sup> du seuil d'apparition de ces lésions avérées.

**Les mesures pour quantifier ce SAR sont extrêmement délicates**

Elles consistent à déduire des élévations locales de température, à partir de mesures de tension aux bornes de trois dipôles sur les axes x, y et z placés dans une tête artificielle remplie d'un liquide spécifique et soumise à un rayonnement en champ proche.

Cette méthode n'est évidemment pas applicable par des radioamateurs

Suivant l'arrêté du 8 octobre 2003, le DAS local dans la tête doit figurer de façon lisible et visible dans la notice d'emploi des téléphones mobiles. Cette information peut également se trouver sur les catalogues en ligne des fabricants ou sur le forum des fabricants de mobiles  
<http://www.mmfaï.org/public/index.cfm?lang=fr>

**La recommandation du Conseil de l'Union européenne indique que le DAS doit être, au maximum, de 0,08 W/kg. Or sur le site d'un constructeur, les DAS des mobiles ont des valeurs entre 0,3 et 0,8 W/kg. Comment comprendre cette différence ?**

Les valeurs sont différentes selon que le DAS concerne le corps entier (0,08 W/kg) ou seulement la tête (2 W/kg). C'est cette dernière valeur qui doit être prise en considération par les fabricants de téléphones mobiles. Ces seuils ont été évalués en considérant le niveau à partir duquel était constaté un effet nocif, de nature thermique, et en appliquant à ce niveau un facteur 50 de sécurité.

# Modelisation champs station GSM

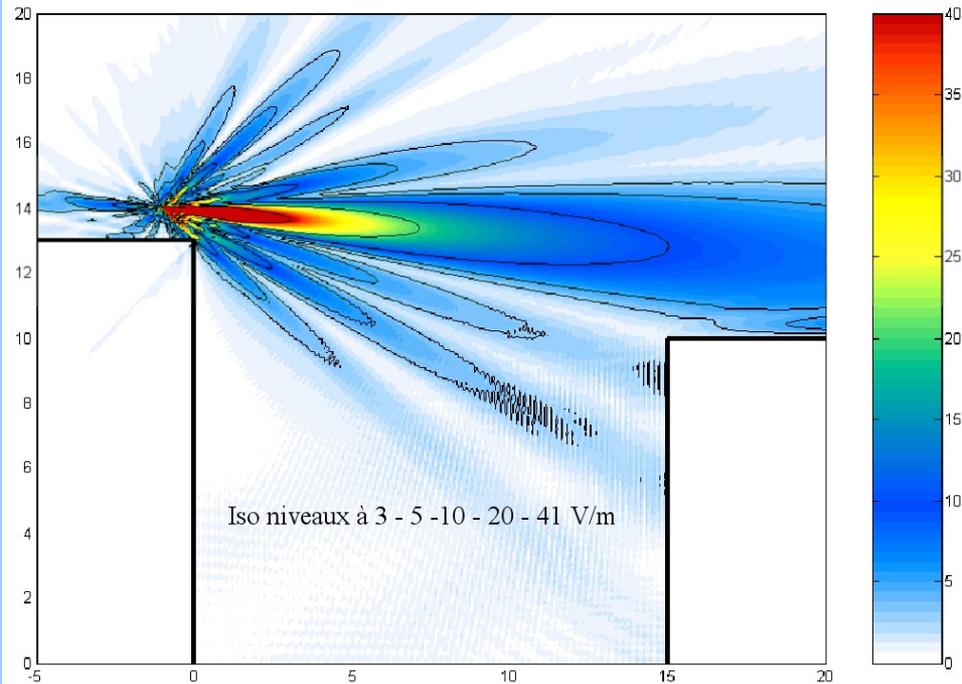
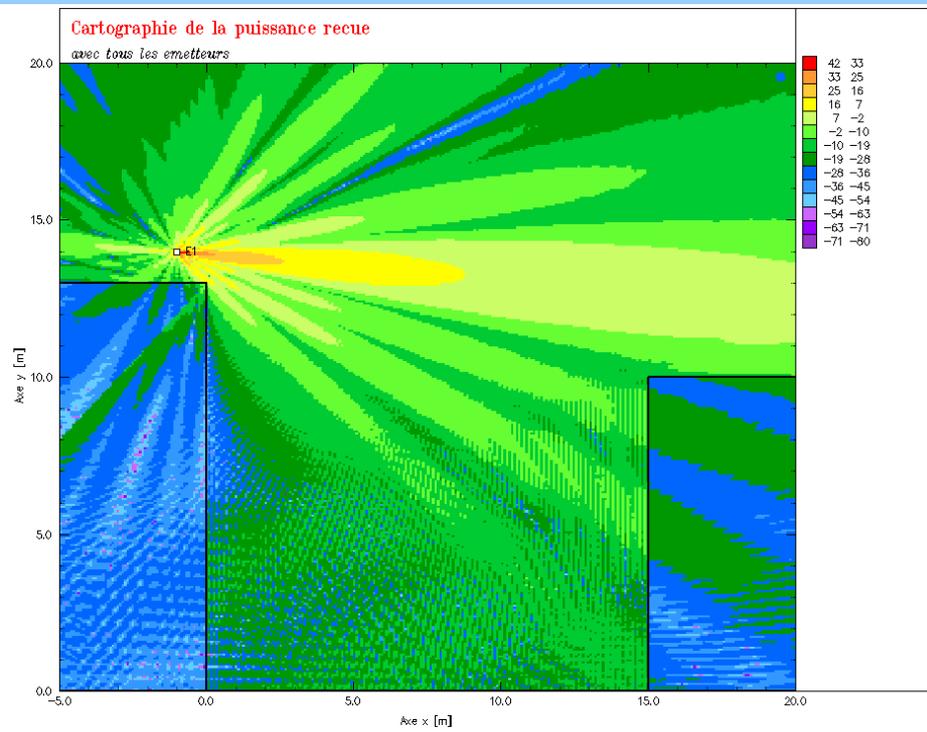
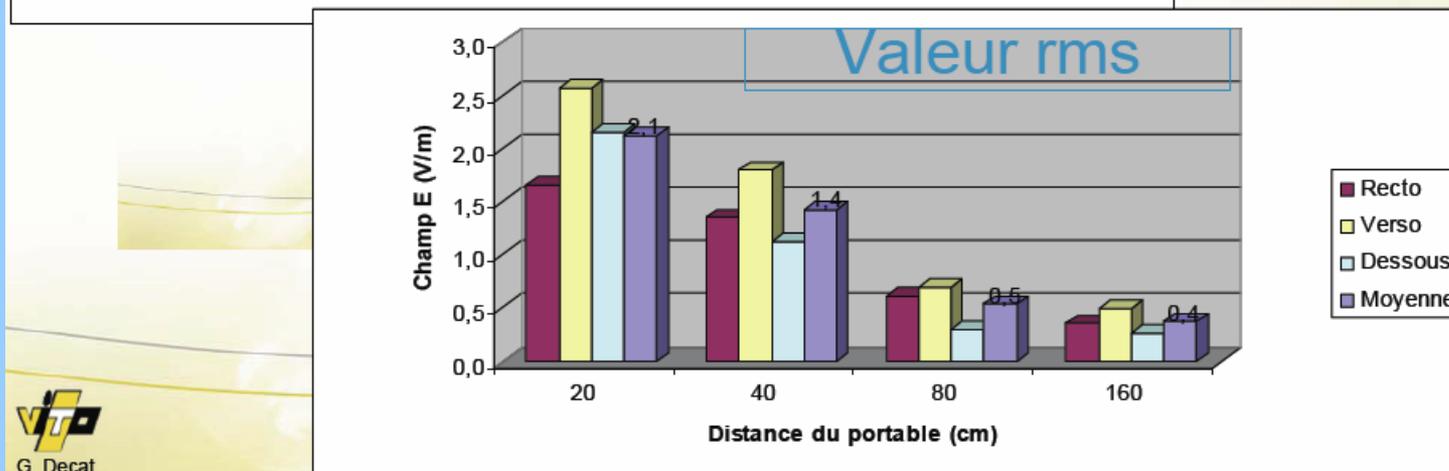
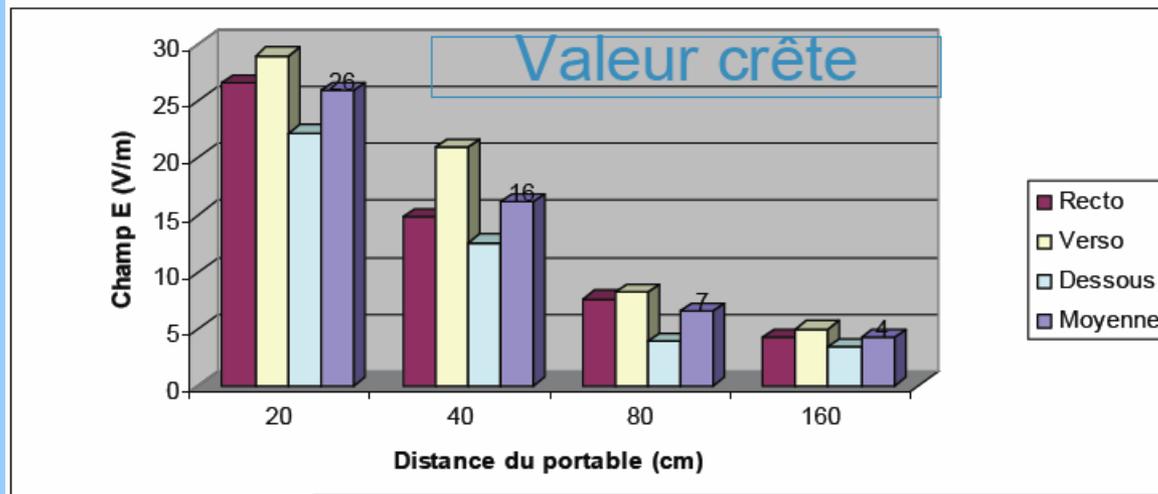


Figure B.2-2 Champs E sur antenne isolée sur toit terrasse en fonction de la position

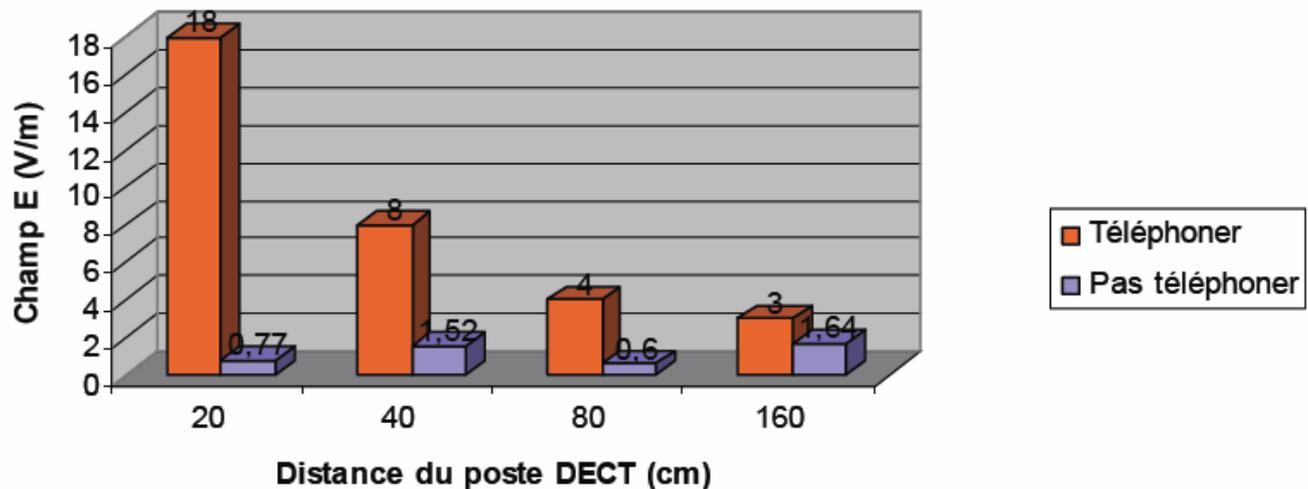
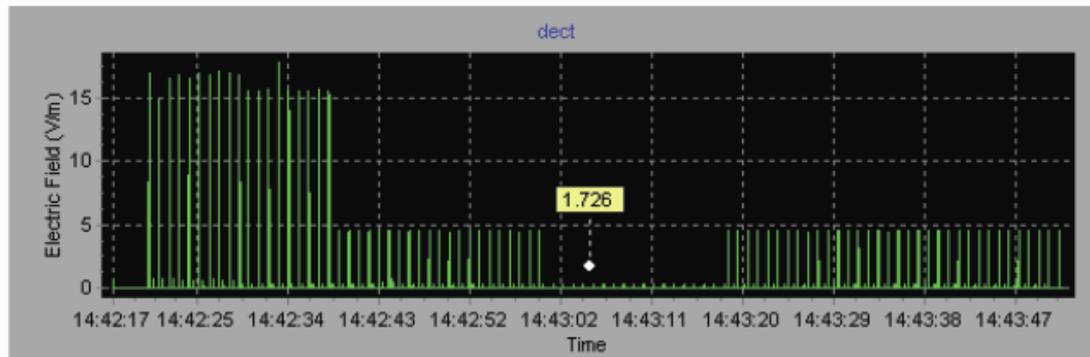
# Résultat étude belge

## Exposition passive des enfants due au poste portable



# Résultat étude belge

## Exposition passive des enfants due au poste DECT

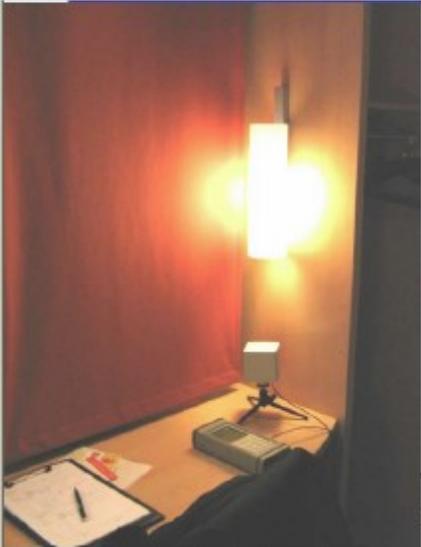


# Résultat étude Supelec/SFRP

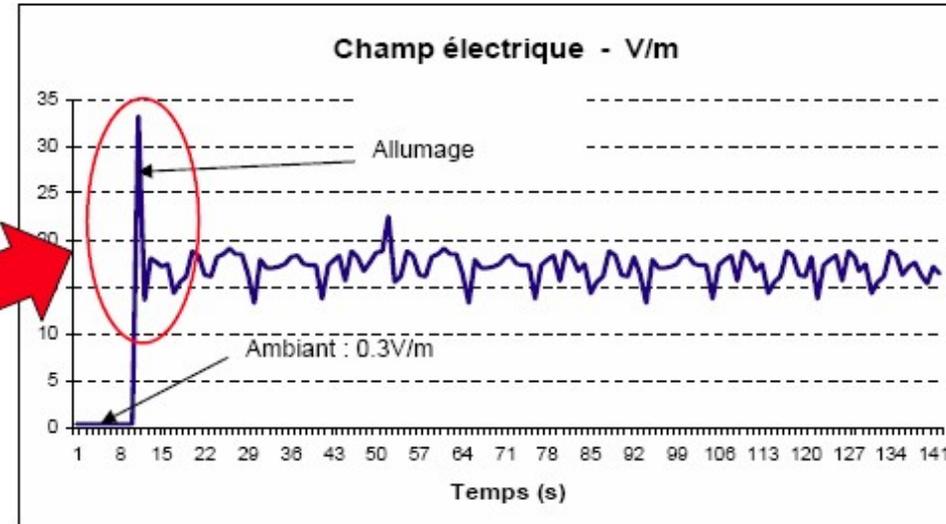
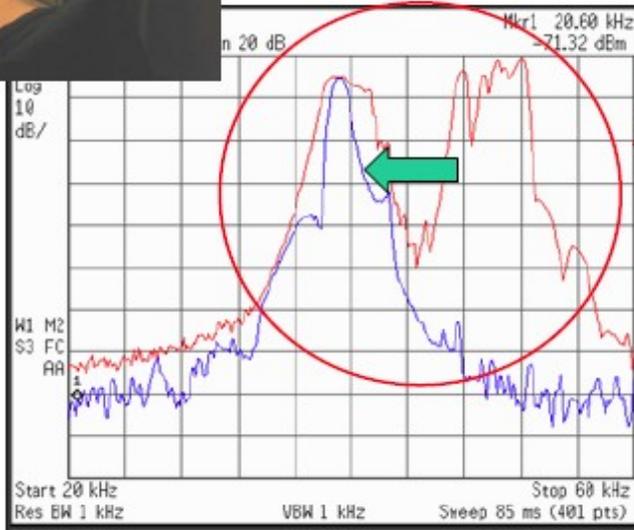
Lampes basse consommation

SFRP: Société Française de Radio Protection

## Etude de la variation du rayonnement (champ électrique) émis en fonction du temps



Sur le bureau, sous le luminaire, à 30cm du bas de la lampe (cf. photo)		
Niveau moyen relevé 5kHz – 100kHz		Valeur limite d'exposition
lampe fluo compacte en fonctionnement		
Champ électrique – E	17.7 V/m	87 V/m
Induction magnétique - B	0.2 $\mu$ T	6.25 $\mu$ T



# **CEM des matériels électriques & électroniques**

# Définitions

**Compatibilité électromagnétique:** c'est l'aptitude d'équipements à fonctionner dans leur environnement électromagnétique, de façon satisfaisante et sans produire eux-mêmes de perturbations électromagnétiques intolérables pour d'autres équipements dans cet environnement."

**Perturbation électromagnétique:** c'est tout phénomène électromagnétique susceptible de créer des troubles de fonctionnement d'un équipement  
Par exemple, bruit électromagnétique, signal non désiré ou modification du milieu de propagation

**Immunité:** c'est l'aptitude d'équipements à fonctionner comme prévu, sans dégradation en la présence de perturbations électromagnétiques

**EMI ou RFI :** Electromagnetic Interference ou Radio Frequency Interference : c'est le type de CEM provoquée par rayonnement

Les niveaux sont données par les normes correspondant à chaque type de matériel

# Simplifions....

Le principe est qu'un équipement doit limiter ses radiations en dessous d'un seuil spécifié et également être capable de résister à un certain niveau d'énergie radio incidente

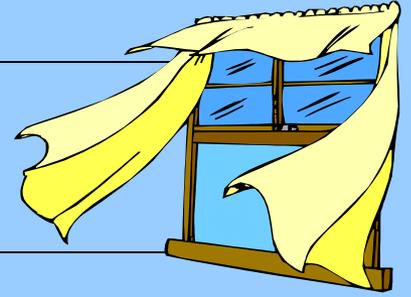
En bref c'est le fait que la conception des produits doit être réalisée en respectant certaines règles pour que votre TV, magnétoscope, DVD, ordinateur, perceuse électrique, GSM, aspirateur, etc puissent fonctionner simultanément sans se perturber mutuellement.

## Exemples de perturbations:

Blocage de portes de véhicules par radars d'aéroport (clés radio)  
Interférences par GSM sur lecteurs de CD,DVD, équipements d'avions  
Radar trans-horizon sur récepteur (woodpicker russe)  
Chauffage électrique par le sol sur les moniteurs PC  
Foudre  
Impulsion électromagnétique par bombe atomique

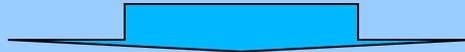


# Simplifions....



## L'IMMUNITE

- Vous construisez au sommet d'une colline venteuse.....
- Le maçon vous sabote la pose des fenêtres.....
- L' « immunité » de votre maison aux vents coulis sera très mauvaise
- Vous devez ajouter des joints spéciaux (pouvez pas supprimer le vent....)
- Le mieux serait que le fabricant le fasse en usine

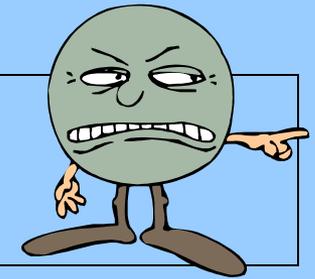


## L'IMMUNITE

- L'environnement radioélectrique est comme le climat
- Radio broadcast, TV, Taxi, Pompiers, appareillages électriques, amateurs....
- Variable selon l'emplacement et le moment
- Si l'un de ces équipements a une faible immunité, il sera perturbé dès que le « climat » est un peu « chaud » ou dès que vous émettez
- L'équipement perturbé devra être équipé de filtres = joints de fenêtre.....



# Victime ou agresseur?



- L'agresseur perturbe le fonctionnement d'un appareil dans son environnement.
- La victime subit les perturbations de son fonctionnement

Tout équipement électrique est à la fois

- source de perturbations (aspect émission)
- victime de perturbations (aspect immunité)



# Les perturbations

# Sources potentielles

## ➤ Naturelles

- Foudre (25-100kA)
- Bruit galactique
- Rayons ionisants (rayons cosmiques)
- Désintégration atomique naturelle

## ➤ Electrostatiques

- Friction de matériaux (matériaux&corps humain en mouvement)

## ➤ Electrochimiques ou thermoélectriques (électrolyse/thermocouple)

## ➤ Technologiques (appareils électriques/électroniques en fonctionnement)

# Le mode d'action:cheminement

Toute source de perturbation est caractérisée par:

+Puissance

+Champs générés

+Durée

+Mode de couplage

+Spectre

+Victime

Il y a toujours:

Une source d'énergie électromagnétique

Un appareil qui répond à cette énergie

Un mode de couplage

3 types de couplage:

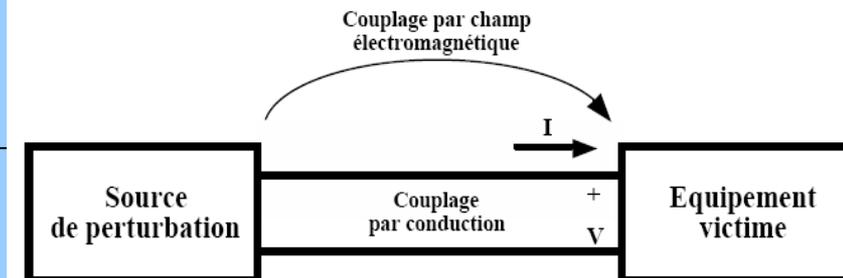
RADIATION → radiation électromagnétique

CONDUCTION → fils connectés entre source et victime

INDUCTION → circuits couplés magnétiquement

ou combinaison

rayonnement + pickup par fils



Se rappeler

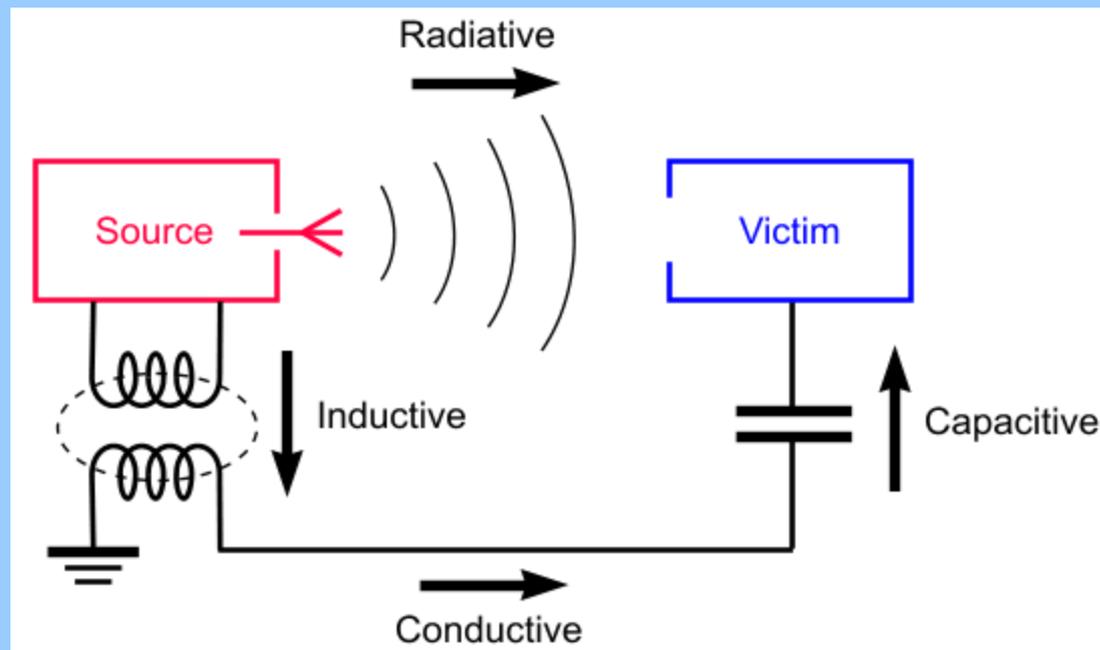
Le signal d'entrée d'un amplificateur différentiel : 100nV

Le cordon secteur véhicule 380 V crête

Soit un rapport de 3 800 000 000

Même avec un couplage faible, le signal couplé peut être significatif!!

# Le mode d'action:cheminement

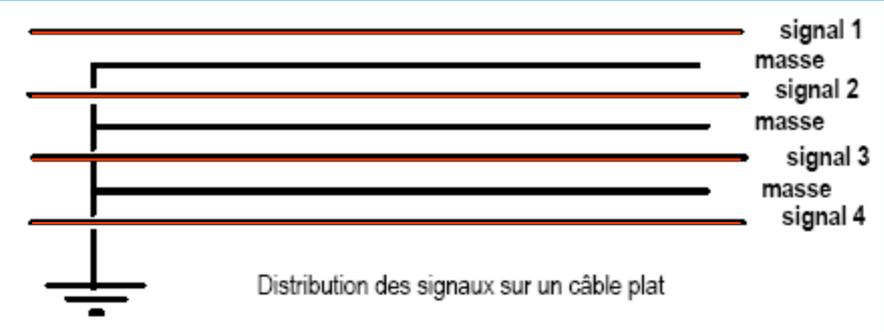
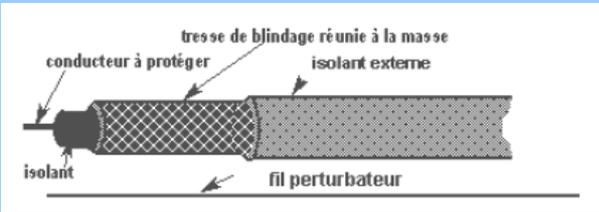


Rem: Le couplage magnétique est rarement rencontré dans le milieu amateur (nécessite un couplage serré: téléphone, CRT, alims à découpage)

# Les modes de couplage

## Capacitif: variations de tensions

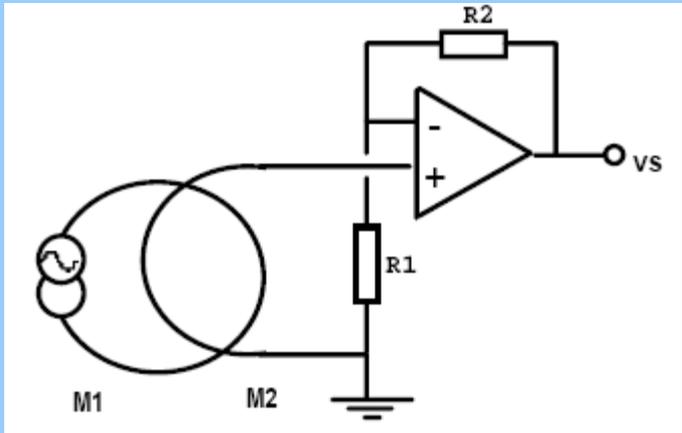
Contre mesure : écran à potentiel fixe



## Inductif: variations de courant

Rem: exploité dans les antennes Yagi

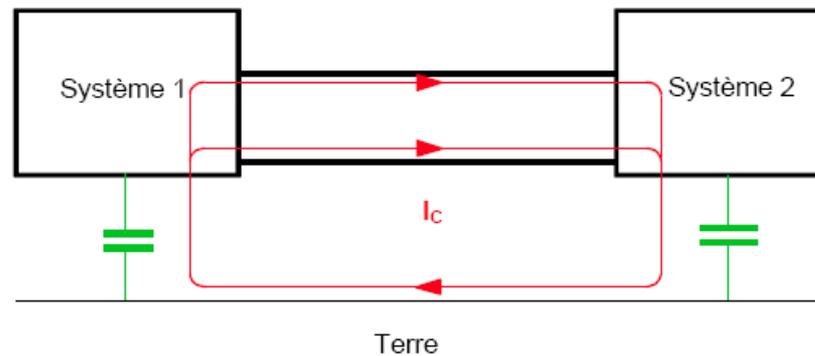
Contre mesure : paire torsadée/Blindage



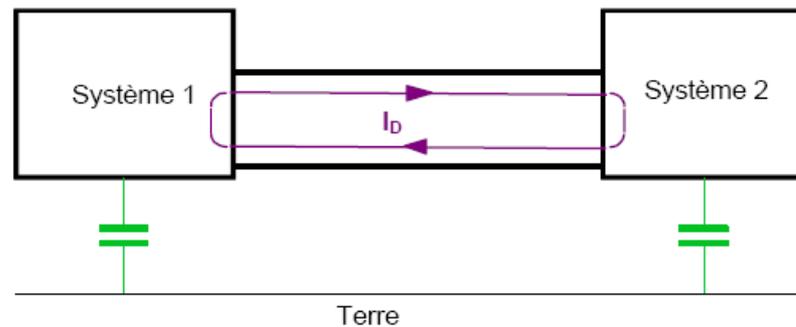
# Les modes de couplage suite

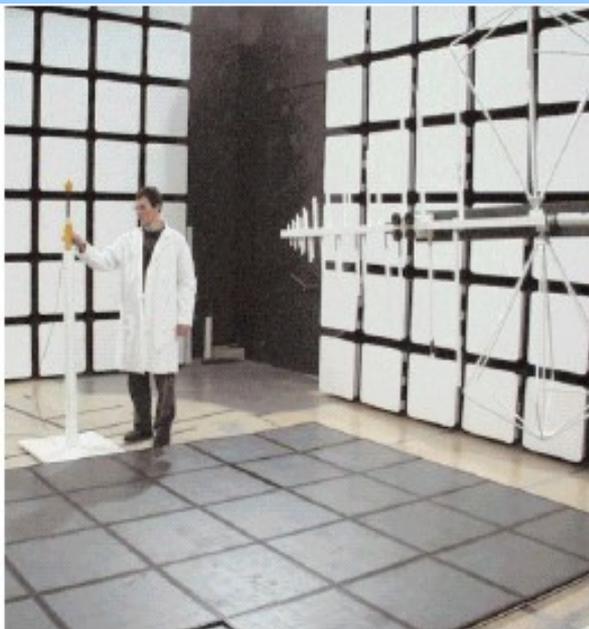
## Conduction

Mode commun



Mode différentiel



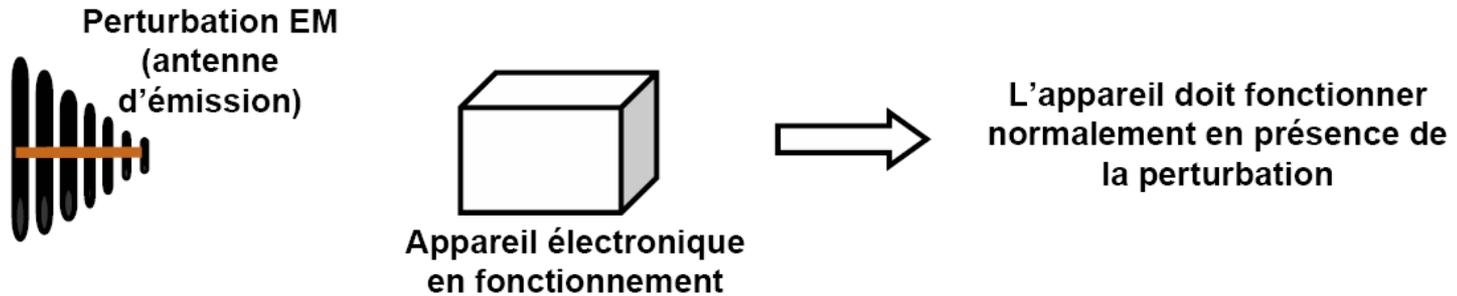


# Les tests normalisés

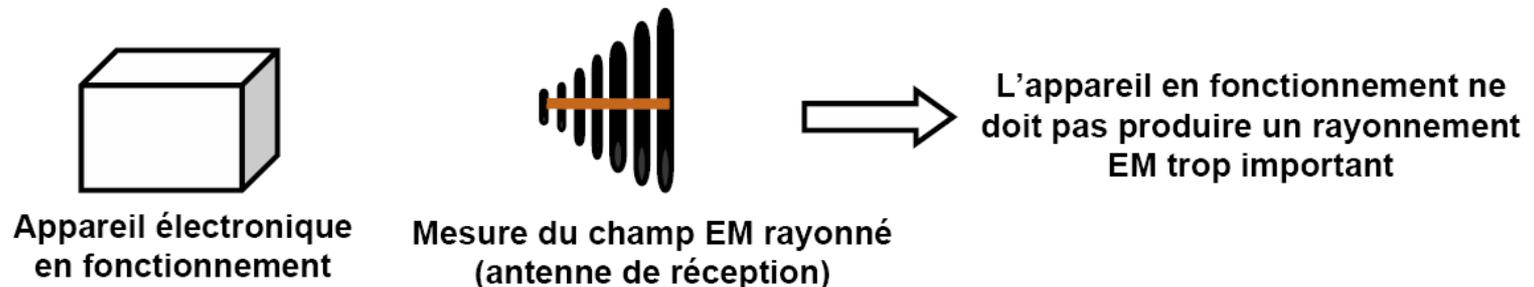


# Rayonnement: Les tests normalisés

## Principe général des essais en immunité



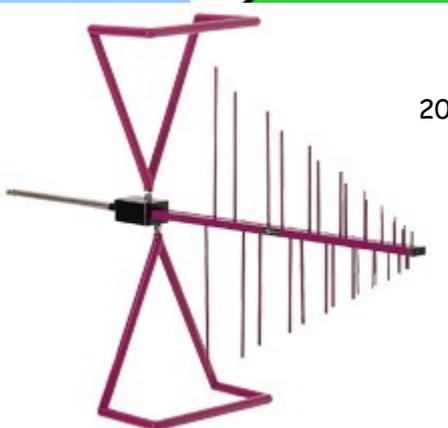
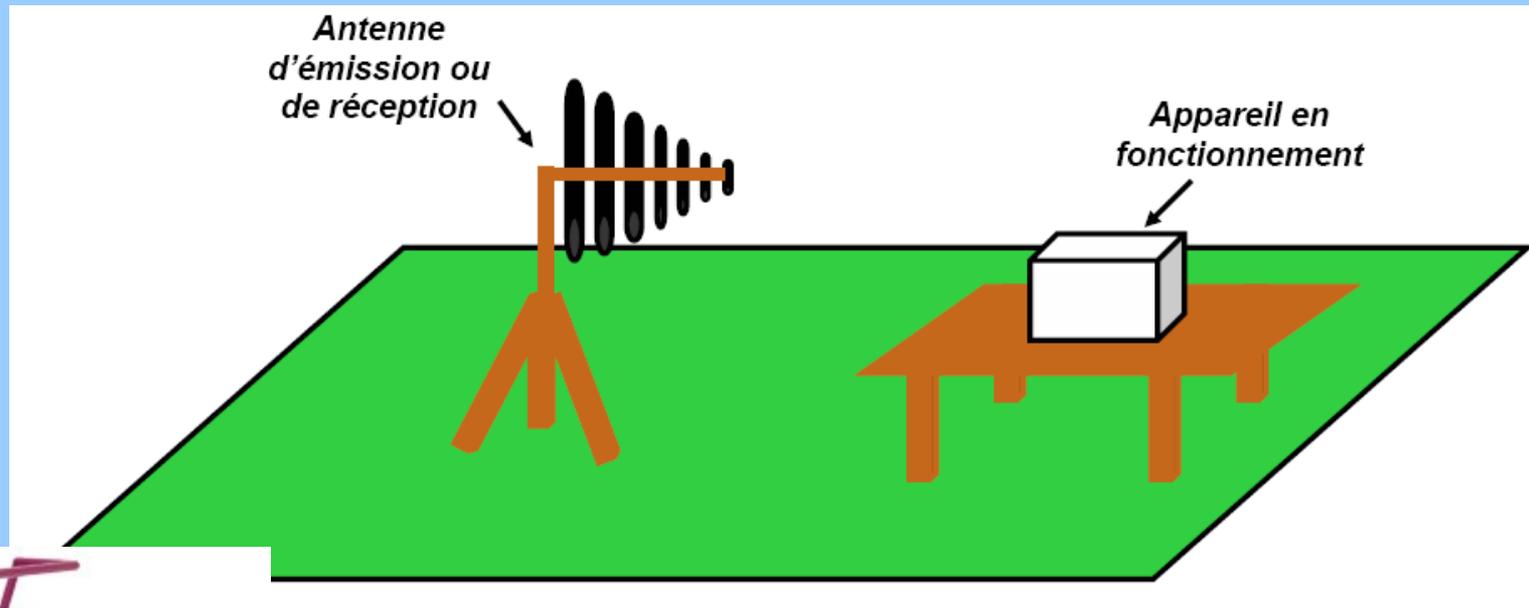
## Principe général des essais en émission



L'amplitude de la perturbation EM en immunité  
et le niveau de perturbation rayonnée tolérable  
en émission sont fixés par des normes

La réussite des tests permettent  
la mise en vente de l'appareil  
électronique

# Site extérieur ou bien....

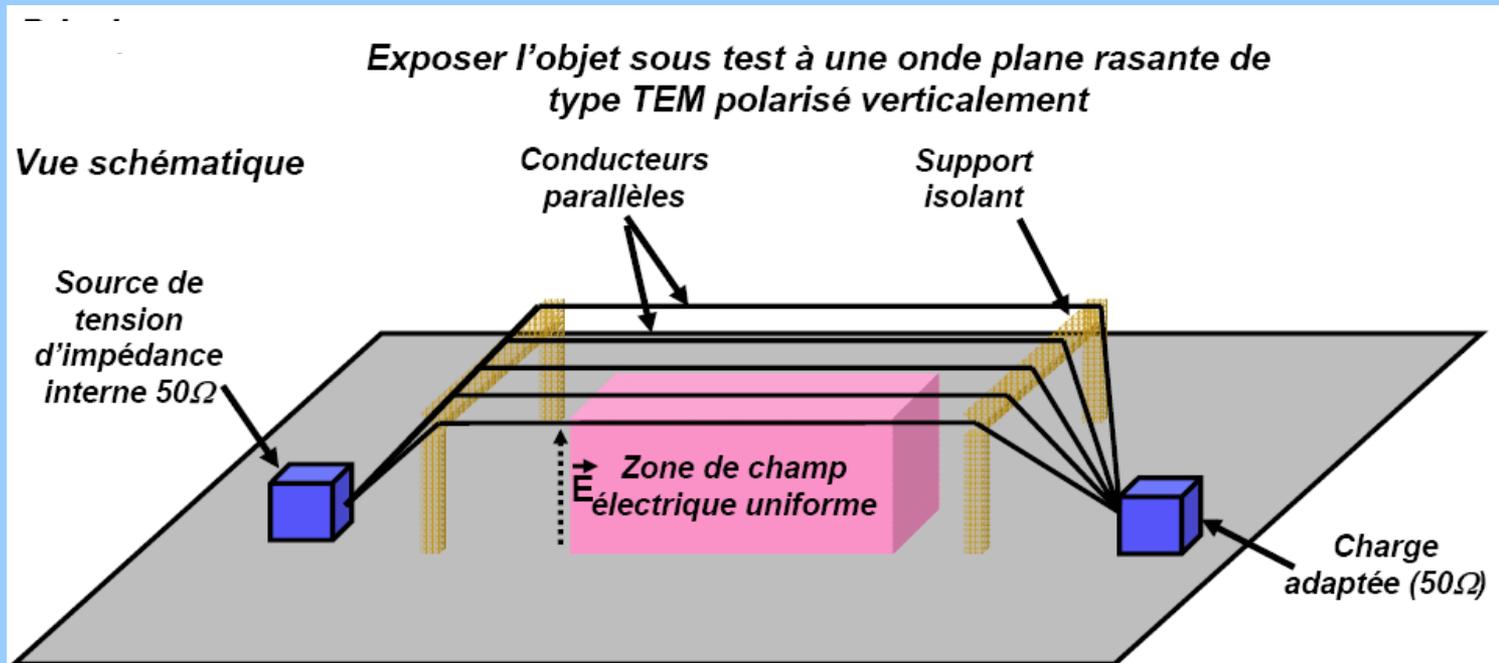


200MHZ-2GHz



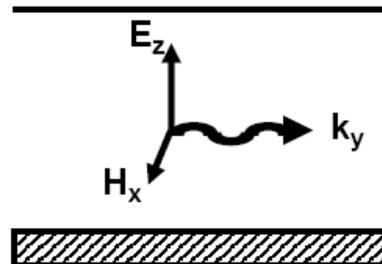
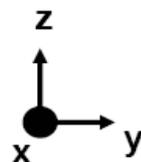
200MHZ-1GHz

# La cellule Stripline



## Rappel sur le mode de type TEM

Mode n'ayant pas de composantes E ou H dans la direction de propagation

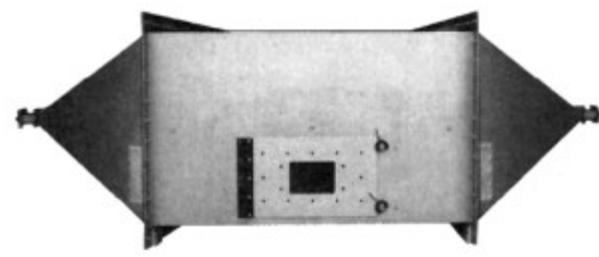


$$E_x = E_y = 0$$

$$H_y = H_z = 0$$

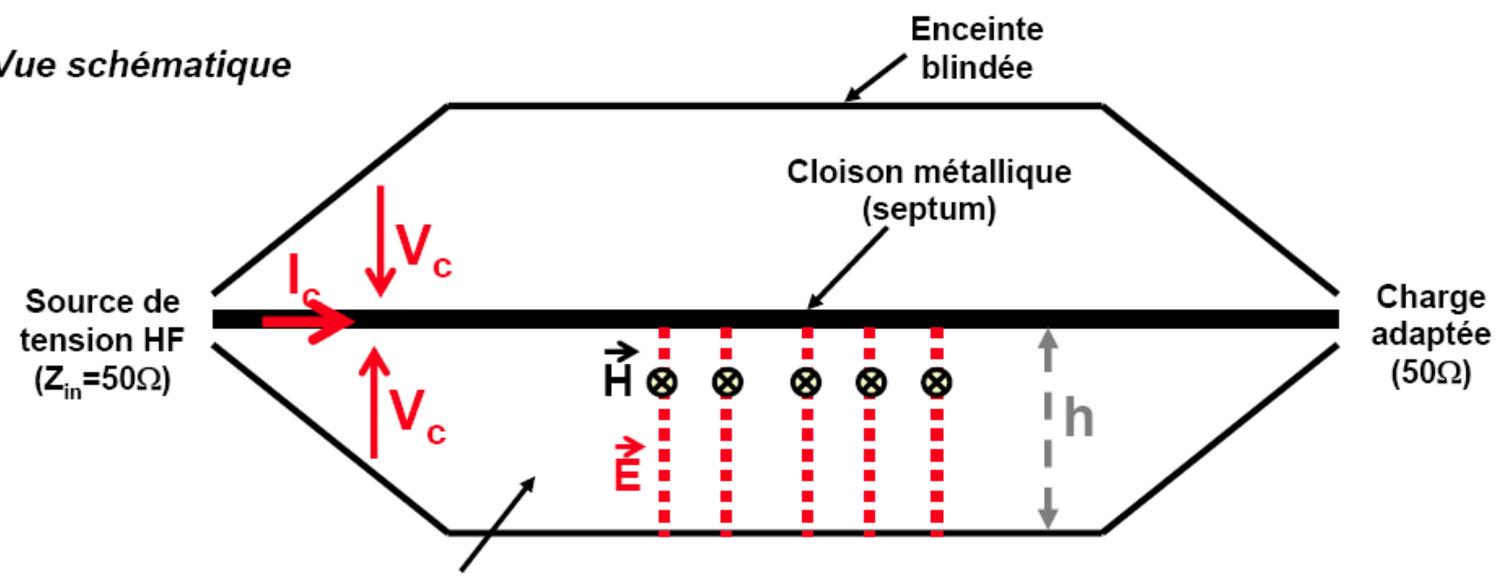


# La cellule TEM

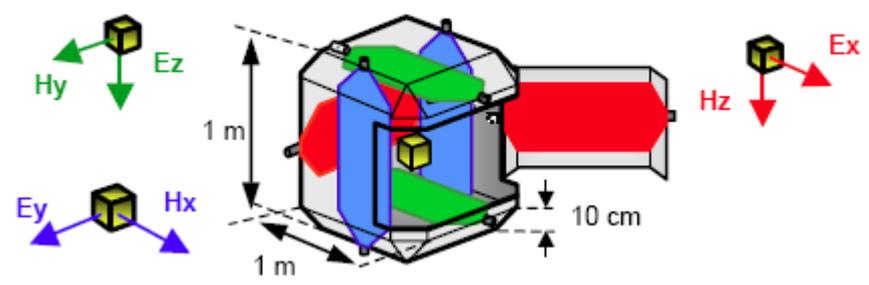


**Principe**  $\Rightarrow$  Exposer un objet protégé de l'environnement extérieur à une onde plane rasante de type TEM

**Vue schématique**



Valeur du champ incident :  $E(V)$

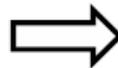


# La cellule GTEM (GigaTEM)

**Objectif** Augmenter la fréquence maximale d'utilisation / cellule TEM

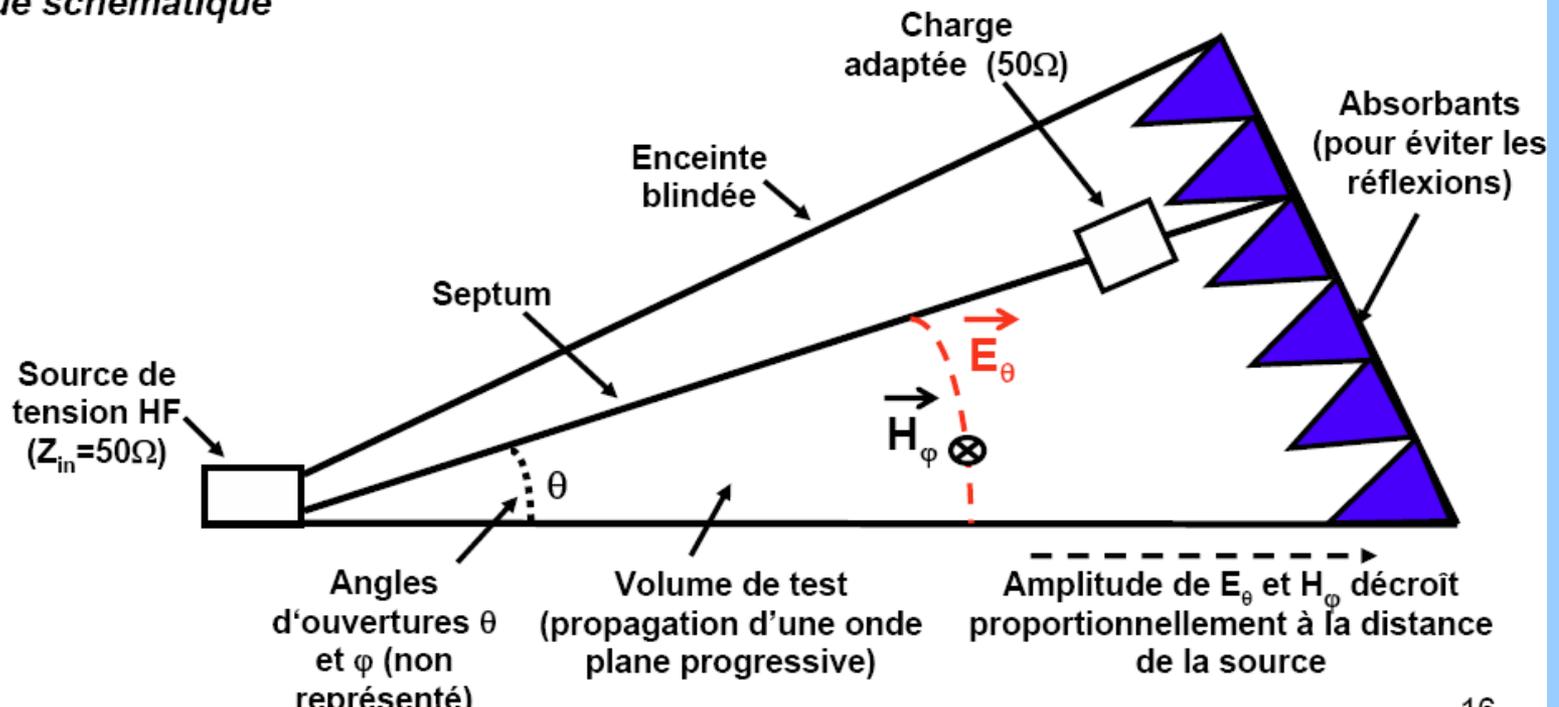
**Comment ?**

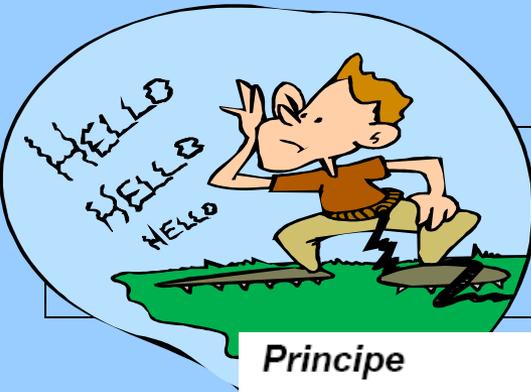
$f_{\max}$  d'une cellule TEM  
fixée par sa largeur



Augmentation progressive de  
la largeur de la cellule GTEM

**Vue schématique**



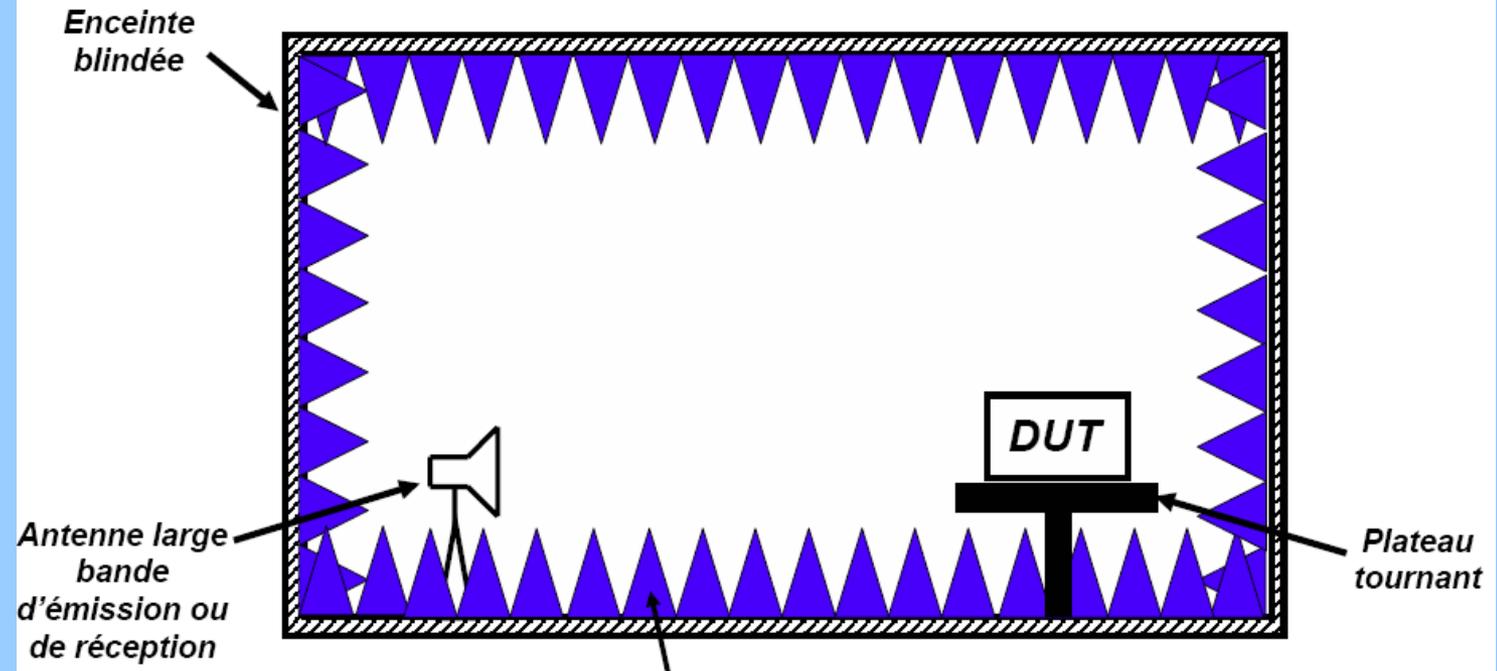


# Chambre anéchoïde

## Principe

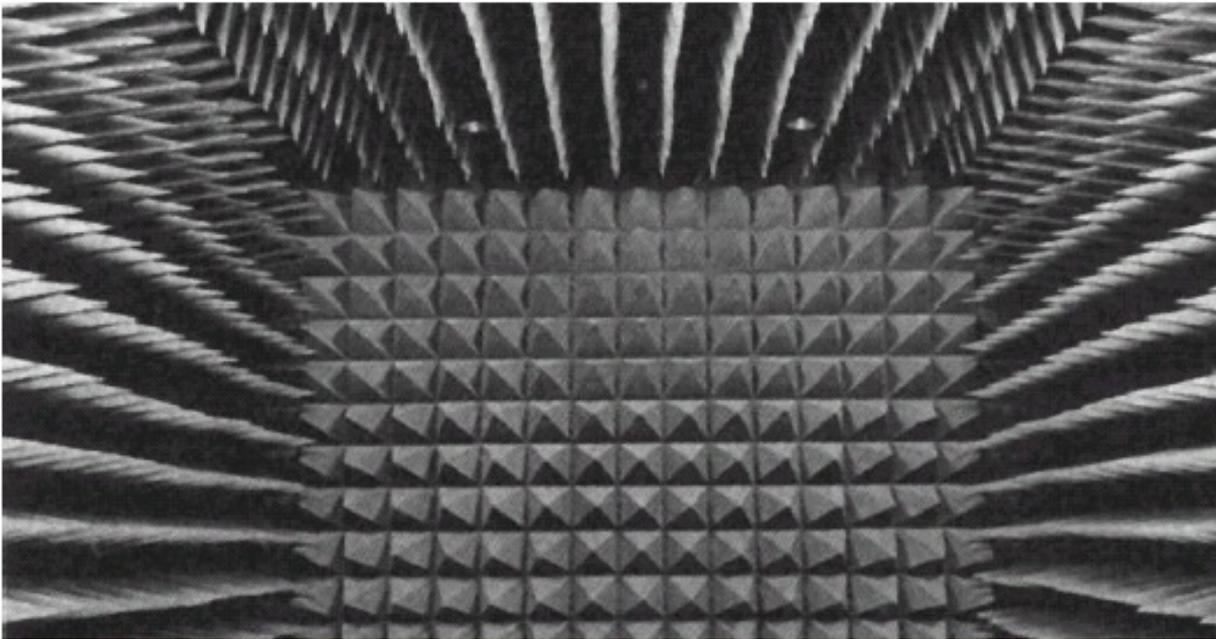
Enceinte blindée dont toutes les parois sont recouvertes de matériaux absorbants pour limiter les réflexions internes et se rapprocher du comportement en espace libre

## Vue schématique



En l'absence d'absorbants sur le plancher, on parle de chambre semi-anéchoïque

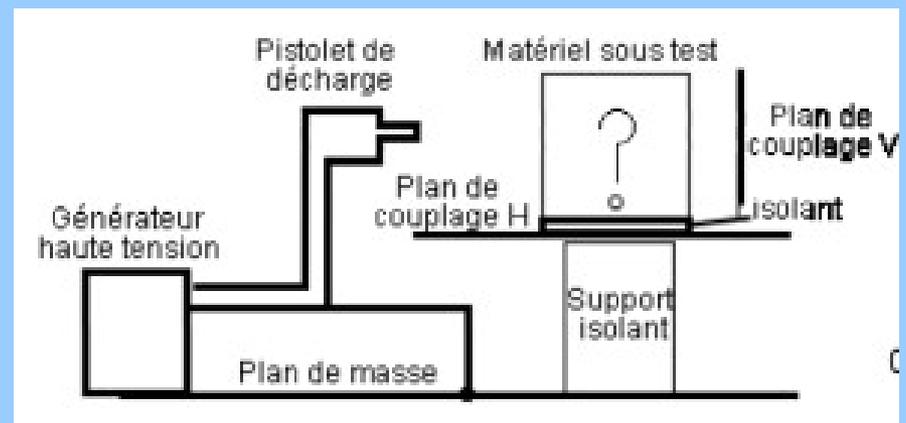
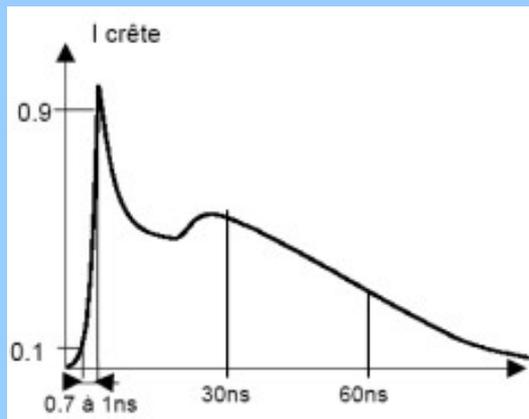
# Chambres anéchoïdes



# Conduction: Tests électrostatiques

## Norme CEI 61000-4-2

- Risque : transferts de charge par personnel ou objet chargé
- Surtension très rapide → temps de montée < 1ns
- Tests par contact direct (2-8kV) ou décharge dans l'air (2-15kV)

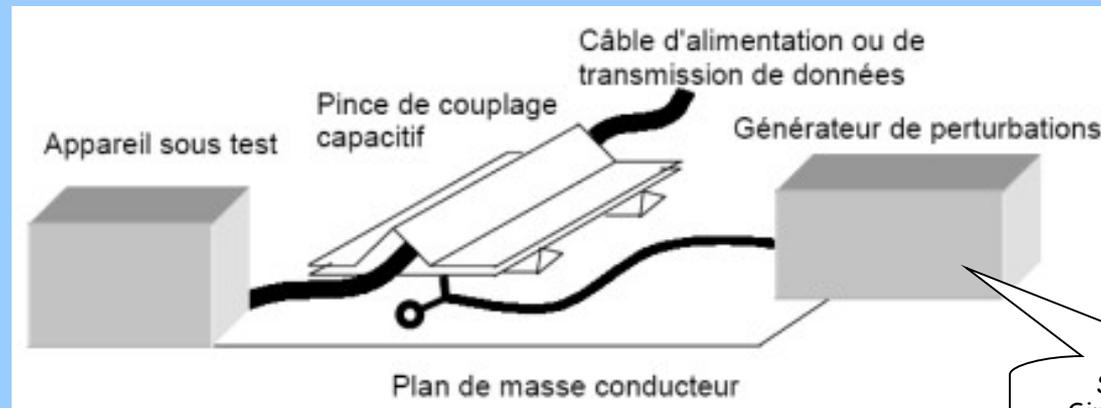


# Immunité perturbations conduites



## Norme CEI 61000-4-4/5/6

- Risque : perturbation via les câbles pénétrants dans l'appareil
- Perturbations d'origine industrielle, rayonnements couplés, foudre, micro coupures réseau
- Tests par pince de couplage formant avec le câble un condensateur de valeur connue



Salves de fronts 4kV  
Sinus AM 150kHz-80MHz  
Font 4kV (foudre)

Les tests de micro coupures réseau sont réalisées avec un simulateur qui superpose la perturbation contrôlée à la tension d'alimentation

# Perturbations émises rayonnées

Normes EN 50081-1/2 & Normes EN 55011/13/14/15/22

- +Chambre anéchoïde
- +Antennes calibrées
- +Analyseur large bande
- +30MHz-1GHz

Procédure totalement satisfaisante pour qualifier des champs importants afin de vérifier le respect des limites admises sur les rayonnements essentiels, mais ne permet pas toujours de quantifier des brouillages de réception de faible amplitude particulièrement dans les bandes HF.

La mesure CEM est basée sur une réception de signal capté par une antenne aux performances connues sur une large gamme de fréquence.

MAIS en radiocommunication, on cherche à obtenir le maximum de rayonnement en émission et à récupérer la plus forte amplitude possible du signal en réception

Pour cela les antennes utilisées ont une efficacité bien supérieure et des bandes passantes bien plus étroites que les antennes de mesure CEM.

**DONC, les rayonnements parasites ne sont jamais mesurés en qualification CEM dans les conditions correspondant à la configuration réelle des équipements qu'ils pourraient perturber.**

# Les calculs

# Expression des puissances

2 façons d'exprimer une puissance

Le **Watt** ou sous multiples (mW,  $\mu$ W)

UNIVERSEL !

Le **dBm** qui exprime un niveau de puissance relatif à une référence de 1mW

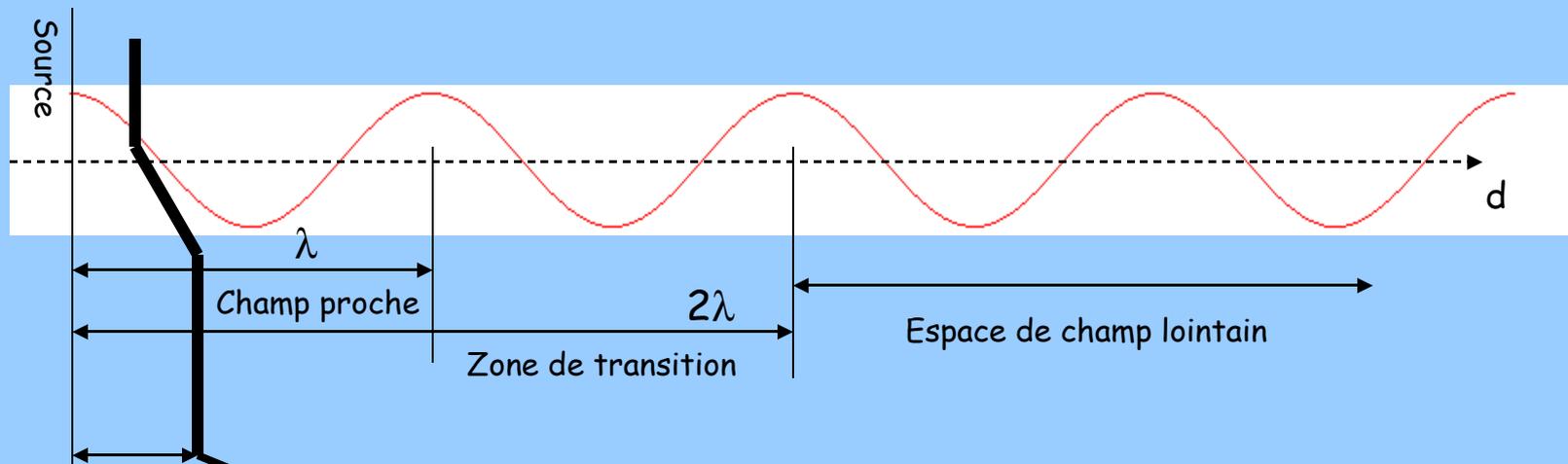
$$\text{dBm} = 10 \log P/1\text{mW} \quad \text{-----} \rightarrow \quad \text{dBm} = 10 \log P \quad P \text{ en mW}$$

Exemple: Emission 100W --> 50 dBm

Réception S9 correspond à 5  $\mu$ W sur l'antenne ou -73 dBm

# Champ proche - Champ lointain

Rayonnement: champ électromagnétique

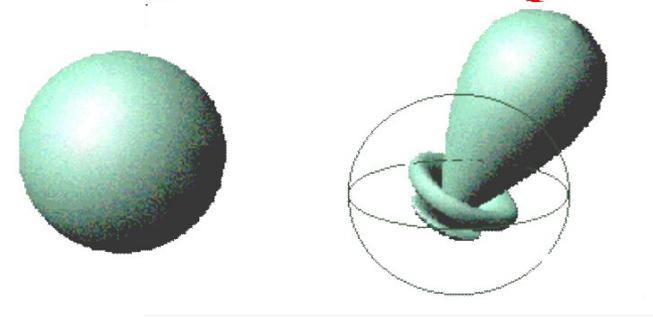


$\lambda/2\pi$

A partir de  $2D^2 / \lambda$   
D dimension de l'antenne

On mesure le champ électrique ET le champ magnétique indépendamment

Onde plane  
Mesure de E seul  
Les relations entre champs E et H et la densité de puissance sont fixes



# PAR-PIRE

## PAR:Puissance Apparente Rayonnée

→On remplace l'antenne par un dipole et...

->Puissance équivalente rayonnée par une antenne dipole pour un signal de réception identique

->Exprimée en dBd

## PIRE:Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente

→On remplace l'antenne par une antenne isotropique et ...

->Puissance équivalente rayonnée par une antenne isotropique pour un signal de réception identique

->Exprimée en dBi

Isotrope: équivalent dans toutes les directions de l'espace (rayonnement avec front d'onde sphérique)

le gain d'un dipole par rapport à l'antenne isotropique est de 2.14 dBi



$$\text{PAR} = \text{PIRE} - 2.14$$

Autre expression: Gain en dBd = Gain en dBi - 2.14

# Calculs de champs



- Calculs en considérant simultanément des émissions
- Si émissions simultanées +3dB pour 2, 5dB pour 3 etc...
- Si pas d'émetteur puissant à proximité appliquer une marge de 6dB sur les calculs
- Attention le calcul est pessimiste en champ proche (champ surévalué) en dessous de 30MHz

Expressions de champs électriques rayonnés et de puissance en réception, avec les puissances d'émission  $P_e$  et de réception  $P_r$  en **dBm**, Les champs électriques  $E$  en **dB $\mu$ V/m**, les champs magnétiques  $H$  en **dB $\mu$ A/m**, les fréquences  $F$  en **MHz**, les distances  $d$  en **mètre** et les gains d'antenne  $G_i$  en **dB*i*** :

$$E = P_e - 20 \cdot \text{Log}(d) + 104,77 + G_i$$

$$H = P_e - 20 \cdot \text{Log}(d) + 53,24 + G_i$$

$$P_r = E - 20 \cdot \text{Log}(F) - 77,21 + G_i$$

la correction à appliquer en dB est de :

$$4 \cdot \text{Log}(d/30) \text{ entre } 10\text{m et } 30\text{m} \\ \text{et de} \\ 8 \cdot \text{Log}(d/10) - 1,91 \text{ entre } 3\text{m et } 10\text{m (d=distance en m)}$$

Cas d'une émission de **350w PeP à 7 MHz en BLU compressée**, sur une **antenne dipôle** (2,1 dBi) alimentée par une **ligne ayant 0,7 dB de pertes**.

Le champ maximum à **12 mètres** de distance sera

Le calcul de base donne un champ moyen de **7,1 V/m soit 137 dB $\mu$ V/m**.

La correction à appliquer sur le résultat calculé correspond à  $4 \cdot \text{Log}(12/30) = -1,6$  dB qui détermine une valeur de champ de **135,4 dB $\mu$ V/m soit 5,89 V/m**

Ce résultat correspond à 0,18 x la limite normalisée à 7 MHz (32,8  $\mu$ V/m ou 150,3 dB $\mu$ V/m) ce qui correspond à une marge de 14,9 dB bien supérieure aux 6 dB préconisés par précaution

# Logiciels de calcul

$$\text{Gain en dBd} = \text{Gain en dBi} - 2.14$$

# IcnirpCalc (DL9KCE)

- Attention gain d'antenne en dBisotrope
- Attention au coefficient « intermittent factor » spécifique à ce logiciel

**Input**

Ham-Band: 2m  
Freq. [MHz]: 144.00 - 146.00  
Antenna: 20089  
Power (PEP): 10  
Mode: SSB  
Antenna Gain (dBi): 12.45  
Cable Attenuation: 0.77

**Antenna Mode**

Mode: CW, FM, DTX, SSB, TV, All, AM, GSM

**Factors**

Modulation Factor: 0.50  
Intermittent Factor: 0.50  
Resulting Factor: 0.25

**Intermittent Operation**

TX6 RX0, TX4 RX2, TX2 RX4, TX5 RX1, TX3 RX3, TX1 RX5

**Output**

E-Field Limit [V/m]: 27.50  
Modulation Factor: 0.50  
Intermittent Factor: 0.50  
Ant. Input Power: 8.37  
EIRP: 147.13

**Safety Distance**

Distance [m]: 1.21  
Nearfield Conds [m]: 0.33

*When the safety distance is calculated used powered is averaged over period of 6 minutes. If only 3 minutes in a 6 minutes interval is used for transmitting (TX3 RX3) mean power is decreased and safety distance as well. Since typical ham radio transmissions are simplex intermittent, declaring half the time as RX time is feasible.*

Which Modulation Factors to use?  
 FCC  
 Allways use 1  
 BNetzA (Germany)

FCC Values are in compliance with scientific literature  
BNetzA Values are in compliance with German law

**Input**

Ham-Band: 2m  
Freq. [MHz]: 144.00 - 146.00  
Antenna: 20089  
Power (PEP): 10  
Mode: SSB  
Antenna Gain (dBi): 12.45  
Cable Attenuation: 0.77

**Antenna Mode**

Aircom plus, Aircell 7, H100, H2000, RG58, RG174, **RG213**, RG220, EcoFlex 10, EcoFlex 15

Frequency [MHz]: 144.00  
Attenuation [dB/100m]: 7.73  
Cable Length [m]: 10.00  
Cable Attenuation [dB]: 0.77  
Other Attenuations [dB]: 0.00

Set All Attenuations to Zero =

Combined Attenuation between TX Output and Antenna Input [dB]: 0.77

**Output**

E-Field Limit [V/m]: 27.50  
Modulation Factor: 0.50  
Intermittent Factor: 0.50  
Ant. Input Power: 8.37  
EIRP: 147.13

**Safety Distance**

Distance [m]: 1.21  
Nearfield Conds [m]: 0.33

**Input**

Ham-Band: 2m  
Freq. [MHz]: 144.00 - 146.00  
Antenna: 20804  
Power (PEP): 100  
Mode: SSB  
Antenna Gain (dBi): 8.92  
Cable Attenuation: 0.77

**Antenna Mode**

manufacturer, Name of Antenna, Data

manufacturer	Name of Antenna	Freq.	Gain	#	Elemente
Fritzfel	20505				
FTE	20804	144,00	8,920	4	
GSRV	20808				
G&P	20809				
Grundmann	20089				
H&RC	20818				
HyGain	20813				
Jaybeam	20817				
Kaeferlein	20817-4				
Konni	20817-8				
M*	20909				
Maspro	20919				
Mosley	20438				
Mühlau	20921				
Optibeam	20922				
SHF	20623				
Sommer	20624				
SteppIR	20635				
Telex High	20636				
Titanex	20650				
Tonna	20655				
Värgärda	20725				
W3DZ2					
Wimo					
Wisi					

**Output**

E-Field Limit [V/m]: 27.50  
Modulation Factor: 0.50  
Intermittent Factor: 0.50  
Ant. Input Power: 83.70  
EIRP: 652.68

**Safety Distance**

Distance [m]: 2.54  
Nearfield Conds [m]: 0.33

**Chosen Antenna**

Name: Yagi  
Type: 20804  
Gain: 8.92

Angle Data available

Take Antenna

# Logiciel de calcul REF-Union Chelmag1.xls

Attention : Ne modifier que les chiffres en bleu sur fond jaune				F2MM 27/01/05	
<b>CALCUL DE CHAMP EN ESPACE LIBRE :</b>					
Puissance crête Em. (W) :	100	( soit =	50,00	dBm )	
Pertes cable & connect :	0,77	dB			
Gain d'antenne Em. (dBi) :	8,9	PIRE =	58,13	dBm soit =	650,13 Watts
Coeff SSB/CW/FM :	0,5	(SSB:0,3 ; SSB compressée: 0,5 ; CW :0,5 ; FM :1)			
Champ (espace libre) à	10	m => E =	9,8752	V/m	ou = 139,89 dBµV/m
		ou H =	0,0262	A/m	ou = 88,36 dBµA/m
		ou W =	0,2587	W/m <sup>2</sup>	ou = 24,13 dBm/m <sup>2</sup>
<b>Distances de sécurité :</b>					
<b>Distance de sécurité par rapport aux limites du décret 775-2002 :</b>					
Fréquence utilisée :	144	MHz			
Limite du décret :	28,00	V/m			
Distance Sécurité :	3,53	m			
<b>Distance de sécurité par rapport à des limites fixées :</b>					
Limite de champ fixée	12	V/m est à =	8,23	m	
ou	0,03	A/m est à =	8,73	m	
ou	0,3	W/m <sup>2</sup> est à :	9,29	m	
<b>Affaiblissements à 144 MHz :</b>					
Affaibl. d'espace libre =	35,6	dB			
Gain d'antenne Rec (dBi) :	2,1	dBi			
Pertes cable & connect :	0,5	dB			
Puissance du signal recu :	21,1	dBm			
Affaibl. global Em/Rec =	25,9	dB			

Attention gain d'antenne en dBisotrope

Gain en dBd = Gain en dBi -2.14

$$E = (P_{tx} \cdot T_{aux} \cdot \text{modul} \cdot G_i \cdot 30)^{1/2} / d$$

Attention gain d'antenne en dBdipole

$$\text{Gain en dBd} = \text{Gain en dBi} - 2.14$$

# Logiciel de calcul Rohde&Schwarz

**Field Strength and Power Estimator**

File Help

**Field Strength and Power Estimator** Formulas <<

*Persistent Data*

Frequency:  $f = 144,000$  MHz

Antenna Gain Transmitter:  $G_t = 8,9$  dBd

Antenna Gain Receiver:  $G_r = 8,9$  dBd

Distance:  $R = 10,000$  m

*Transmitter Power*

Transmitted Power:  $P_{tx} = 83,700$  W

*Receiver Power*

Received Power:  $P_{rx} = 3,723$  W

*Field Strength*

Electric Field Strength:  $E = 17,879$  V/m

Magnetic Field Strength:  $H = 47,426$  A/m

Power Flux Density:  $S = 847,929$  W/m<sup>2</sup>

**Calculation Formulas:**

$$P_{rx} = A_e \cdot S$$
$$P_{tx} = S \cdot 4\pi R^2 / G_t$$
$$f = c_0 / \lambda$$
$$E = Z_0 \cdot H$$
$$S = E^2 / Z_0 = Z_0 \cdot H^2$$
$$A_e = G \cdot \lambda^2 / 4\pi$$
$$c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$
$$Z_0 = 120 \cdot \pi = 377 \Omega$$
$$R = \text{Distance } R_x - T_x$$

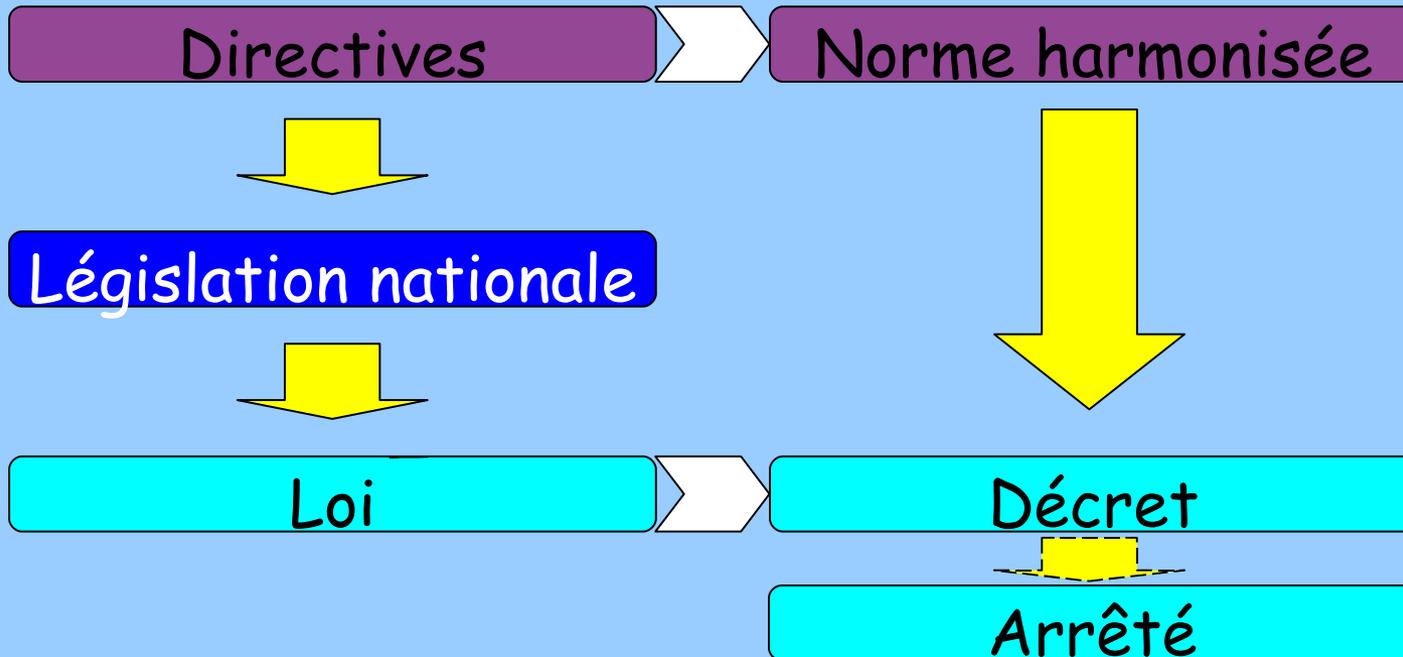
Created by Rohde&Schwarz GmbH&CoKG

# La législation préventive



# La législation CEM européenne

Ne concerne pas la sécurité!!



# Les directives CEM européennes

4/1992  
Directive 92/31/CEE  
Fixe le 1/1/1996  
pour application  
obligatoire



1/1996  
Règlementation  
**OBLIGATOIRE**



5/1989  
Directive 89/336/CEE  
Premières définitions  
**INCITATIVE**



7/1993  
Directive 93/68/CEE  
Défini le marquage CE



2004  
Directive 2004/108/EC  
Mise à jour



# La directive 2004/108/EC

## Objectif:

Gérer la compatibilité électromagnétique des équipements et créer un environnement électromagnétique acceptable dans la communauté

## Exclusions explicites:

Equipements radio et terminaux de télécommunications(directive 1999/5/EC dite RTTE)

Equipements aéronautiques

Equipements radio utilisés par les **radioamateurs**

## Radioamateurs:

Exclusion sauf si l'équipement est disponible commercialement (soumis à la RTTE)

Clause liée au caractère expérimental des activités

Les équipements commerciaux modifiés ou les kits montés par les radioamateurs ne sont pas considérés comme disponibles commercialement, donc exclus des directives

# La directive RTTE<sup>(1)</sup>

Radio Telecommunication Terminal Equipment

## Objectif:

Etablir un cadre réglementaire pour la mise sur le marché , la libre circulation , et la mise en service dans la communauté des équipements radio et des terminaux de télécommunication

## Exclusions explicites:

- Sécurité publique, défense, sécurité de l'état
- Equipement marins
- Récepteurs Radio et TV broadcast
- Equipements pour l'aviation civile et le trafic aérien

## +Radioamateurs

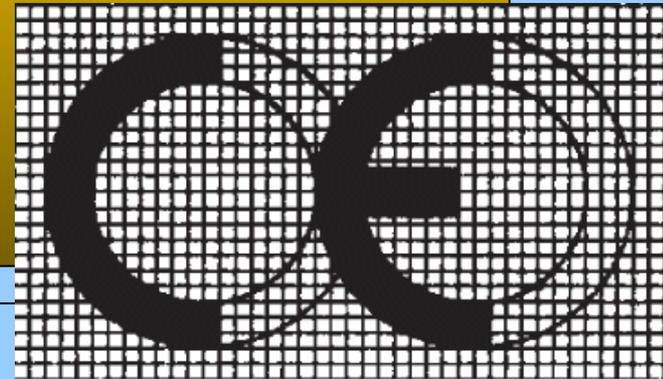
- Equipements hertziens utilisés par les radioamateurs à moins qu'il ne s'agisse d'équipements disponibles dans le commerce
- Les kits et équipements commerciaux modifiés par les radioamateurs ne sont pas considérés comme disponibles dans le commerce

# La directive RTTE

Radio Telecommunication Terminal Equipment

## Exigences essentielles:

- Protection de la santé de l'utilisateur
- Exigences de protection CEM
- Les appareils ne perturbent pas le réseau auquel ils sont connectés
- Utilisation efficace du spectre attribué
- Assurer la protection des données personnelles
- Facilité d'utilisation par les personnes handicapées
- Dispositifs empêchant la fraude



## Restrictions par un état:

Les états membres ne peuvent limiter la mise en service d'équipements que pour des raisons liées à l'utilisation efficace et appropriée du spectre, à la nécessité d'éviter des interférences dommageables ou à des questions liées à la santé publique

## Marquage de conformité

Marquage CE sous la responsabilité du fabricant, du mandataire ou de la personne responsable de la mise sur le marché

# Normes: différents types

## Norme Harmonisée

Une norme est dite harmonisée lorsqu'elle est introduite dans le cadre réglementaire national des pays de la CEE. On en distingue trois grandes catégories :

- Les normes fondamentales
- Les normes génériques
- Les normes produits ou familles de produits.

## Normes fondamentales

Elles comportent :

- la description des phénomènes électromagnétiques
- les caractéristiques des appareils de mesure et de génération de signaux de test
- la mise en œuvre des tests
- les recommandations de niveaux de sévérité
- les critères généraux de bon fonctionnement.

## Normes génériques

Elles définissent :

- l'environnement (résidentiel, industriel...)
- les essais à effectuer
- les niveaux de sévérité des tests
- les critères de bon fonctionnement

Elles font appel aux normes fondamentales.

## Normes produits

Elles sont considérées **en priorité** chaque fois qu'un appareil entre dans une catégorie déterminée.

Elles définissent :

- les essais à effectuer
- les niveaux de sévérité des tests
- les critères de bon fonctionnement

Elles font appel aux normes fondamentales.

## Normes de test

Elles précisent les conditions d'essai de matériels spécifiés.

# Norme harmonisée ETS 300 684

## ETS 300 684

- +Norme harmonisée au niveau européen
- +Spécifie les tests CEM applicables , les méthodes de mesure, les limites et les critères de performance minimale
- +Pour les équipements radioamateur produits commercialement
- +Edité en 1997
- +Basée sur les normes EN 50081-1 et EN 50082-1 et la directive 89/336/EC

## ETSI EN 301 783

- +Norme technique
- +Spécifie les caractéristiques techniques et les méthodes de mesure pour les émissions parasites conduites et rayonnées, et pour les tests d'immunité conduite
- +Edité en 2000

# ETSI EN 301 783

## Limites des perturbations émises autorisées pour des équipements radioamateurs

Perturbations Conduites en emission			Perturbations Rayonnées en emission		
Fréquence	Limites de test(la plus haute)		Fréquence	Limites de test(la plus haute)	
0,15MHz à 1,7MHz	-36dBm ou -60dBc		30MHz à 35MHz	-36dBm ou -40dBc	
1,7MHz à 35MHz	-36dBm ou -40dBc		35MHz à 50MHz	-40dBm à -60dBc ou -36dBm	
35MHz à 50MHz	-40dBm ou -60dBc		50MHz à 1000MHz	-36dBm ou -60dBc	
50MHz à 1000MHz	-36dBm ou -60dBc		>1000MHz	-30dBm ou -50dBc	
>1000MHz	-30dBm ou -50dBc				
Perturbations Conduites en standby			Perturbations Rayonnées en standby		
Fréquence	Limites de test(la plus haute)		Fréquence	Limites de test(la plus haute)	
0,15MHz à 1000MHz	-57dBm		30MHz à 1000MHz	-57dBm	
>1000MHz	-47dBm		>1000MHz	-47dBm	
Immunité aux perturbations conduites					
Fréquence	Valeur signal parasite	Unité			
<30MHz	90	dBμ emf			
	80	%AM			
	0,15-1000	MHz			
>30MHz	80	dBμ emf			
	80	%AM			
	0,15-1000	MHz			

# Les organismes officiels

Correspondants  
nationaux

SEV

VDE

FCC

VCCI

Coordination  
internationale

ISO

ITU

IEC

CISPR

Normes

ETSI

CENELEC

UTE

ANSI

**IEC** International Electrotechnical Commission (Responsable du respect des normes EMC internationales dans le monde)

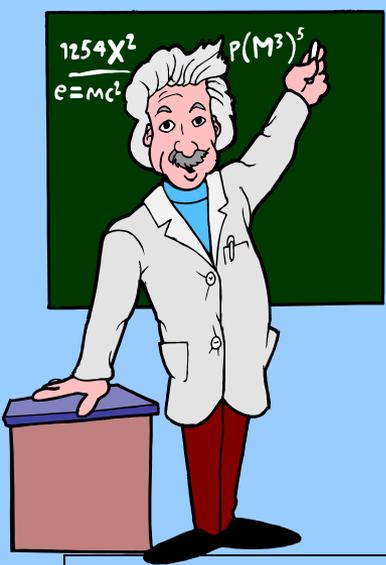
**CISPR** Comité international spécial sur les interférences radio

**ETSI** European Telecommunication Standards Institute

**CENELEC** Comité européen de normalisation en électronique et électrotechnique

**UTE** Union Technique de l'Electricité

**ANSI** American National Standard Institute



La théorie c'est très bien mais...



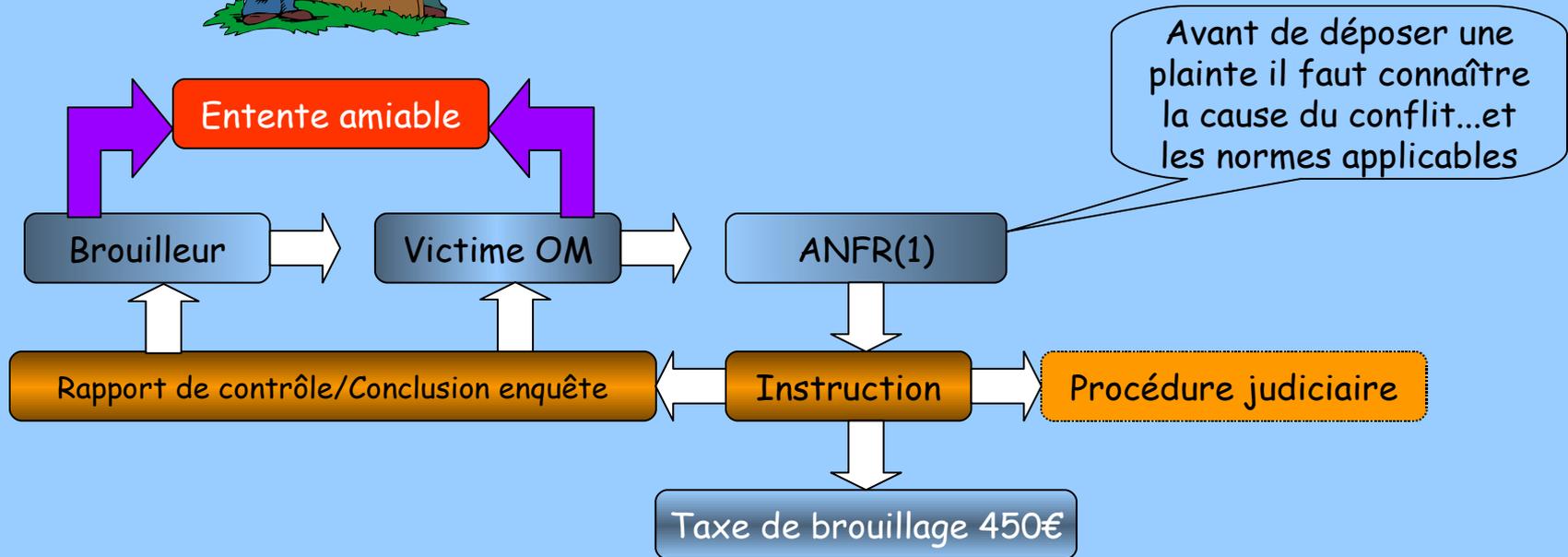
**Vous êtes la victime**

Dans beaucoup de cas, les normes applicables sont respectées malgré l'existence d'un problème  
Il est difficile d'identifier quelle norme pour quel appareil et il faut les acheter.....

# La législation



Si un OM est perturbé(1)



## Les références réglementaires

- Article L. 36-7 (6°) du code des postes et télécommunications :  
ARCEP affectataire des ressources en fréquences aux utilisateurs et opérateurs

- Article R. 52-2-1 (10°) du code des postes et télécommunications :  
ANFR, instruction et transmission de son rapport à l'autorité affectataire des ressources en fréquences

- Article 40 de la loi de finances rectificative pour 1991 modifié (n° 91-1323 du 30 décembre 1991) et article 36 de la loi de finances pour 1997 (n° 96-1181 du 30 décembre 1996) : taxe de brouillage de 450 € par intervention

(1)ANFR Service régional ou central 78 avenue du Général de Gaulle 94704 Maisons-Alfort Cedex

# Rechercher la cause...

## Caractéristiques de la perturbation

Large bande (amplitude cte)  
Large bande avec pics importants  
Large bande avec pics étroits  
Bande étroite  
Dérive thermique  
Type de modulation

## Causes potentielles

Balayage TV  
Alimentation de magnétoscope  
Décodeurs Canal+  
Régulateurs (lampes, soudure)  
Lampes basse consommation  
Néons & enseignes  
Alimentations de PC  
Moteurs électriques  
Thermostats  
PC  
Systèmes d'alarme  
Modems  
Téléphone  
Internet  
Allumage véhicules  
Télémessures compteurs électriques  
Commandes de lampes par contact  
Radio commandes de portes  
Dispositifs anti calcaire  
Clotures électriques  
Lignes haute tension  
CPL

Extraits du document RSGB



## Interference to Amateur Radio Reception



### Purpose of this leaflet

The RSGB EMC Committee receives many enquiries from members about interference to reception of amateur radio signals. This information sheet gives advice to members about identifying and locating sources of Radio Frequency Interference (RFI) that affect reception of signals in amateur radio bands.



# CPL (1)

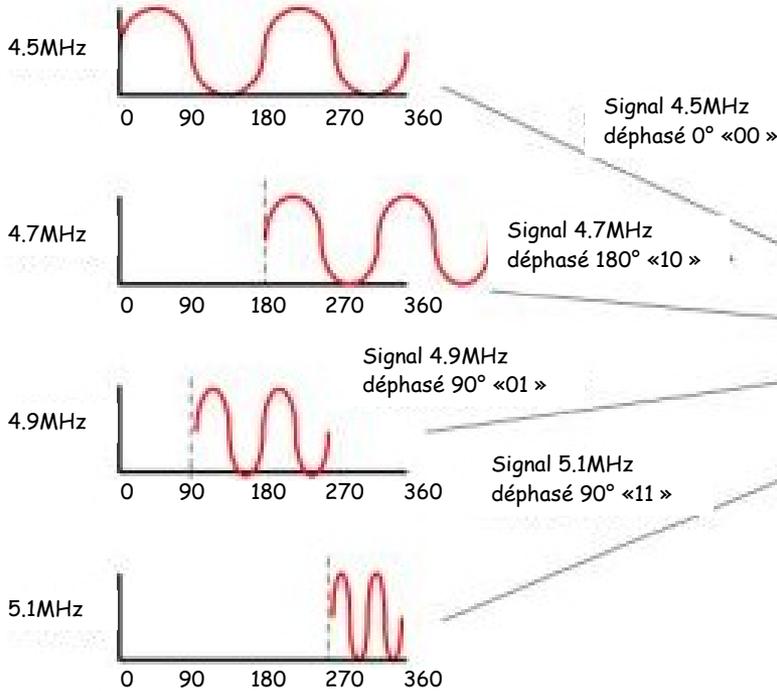
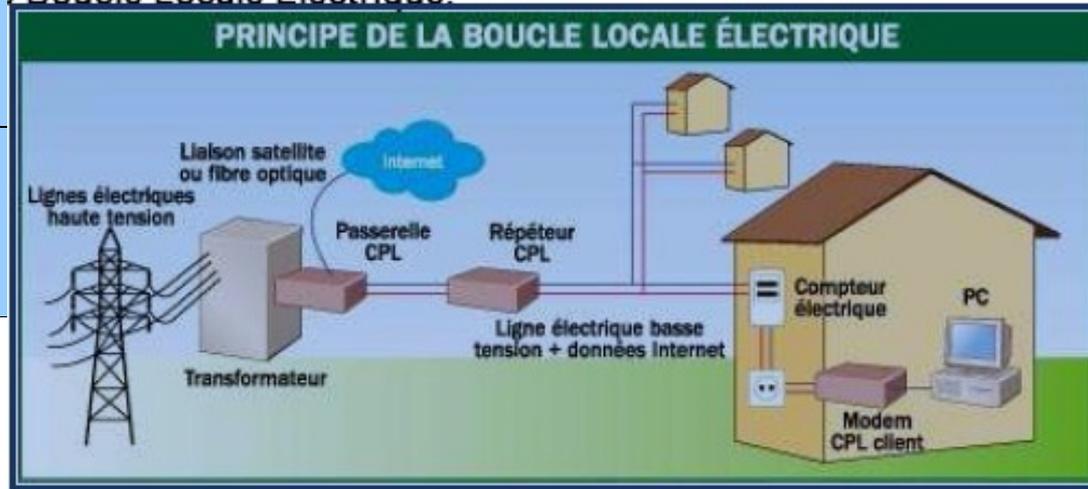
(1) PLT ou BPL en anglais

- Transmission de données informatiques sur lignes EDF ou réseau local domestique (=ethernet/Wifi)
  - >Bas débit 1 porteuse en FM 9-150kHz ->domotique 2.4-20kbits/s Norme EN50065-1
  - >Haut débit in-house Norme Homeplug ou DS2 incompatibles
- Débit annoncé 14-200Mbits , le réel semble bien plus faible
- Puissances utilisées ~50mW
- Champs de 1mV/m pour une norme à 30μV/m

## PROBLEMES

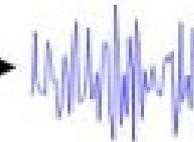
- Rayonnement sur plusieurs centaines de mètres par des cables non prévus pour véhiculer de la HF
- Faille de sécurité (portée jusqu'à 1000m en extérieur). Non crypté entre adaptateur et PC
- Impact sur la santé? (24h/24)
- Spectre large bande qui doit être équipé de notch sur les bandes amateurs
- Réciproquement perturbation par les rayonnements extérieurs
- Pas de normes définitives

# CPL: principe

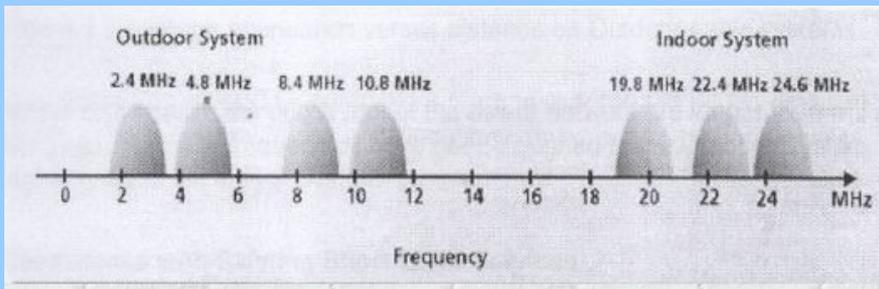
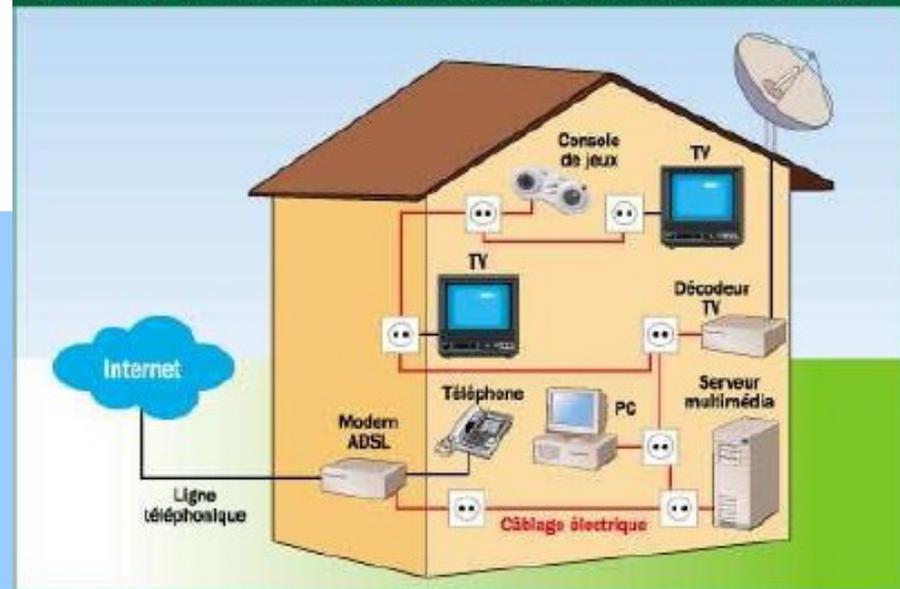


Power packet Engine

"00100111...."



## PRINCIPE DU RÉSEAU RÉSIDENTIEL SUR CÂBLAGE ÉLECTRIQUE

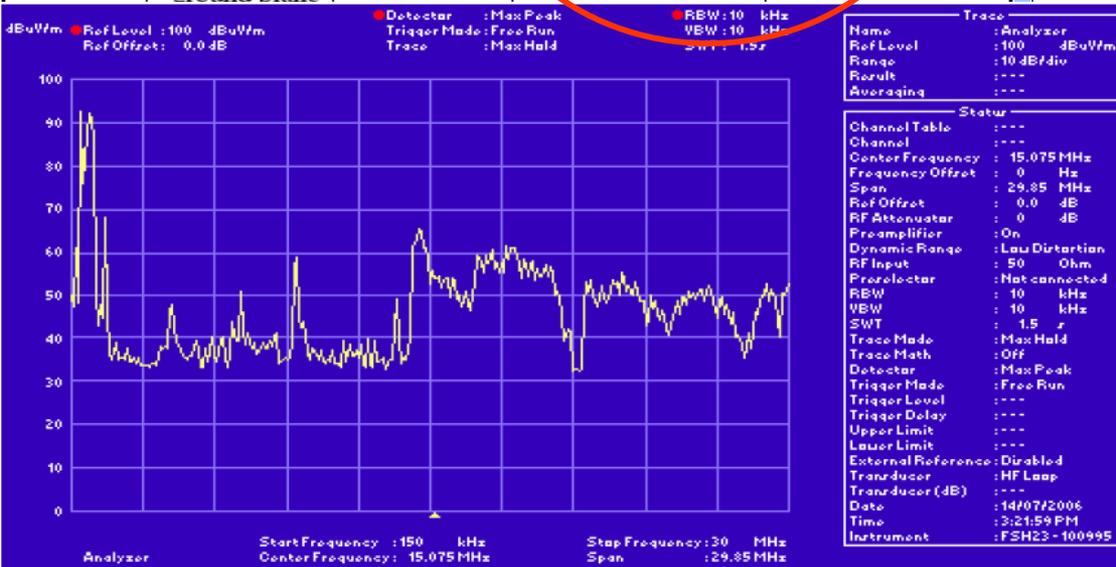
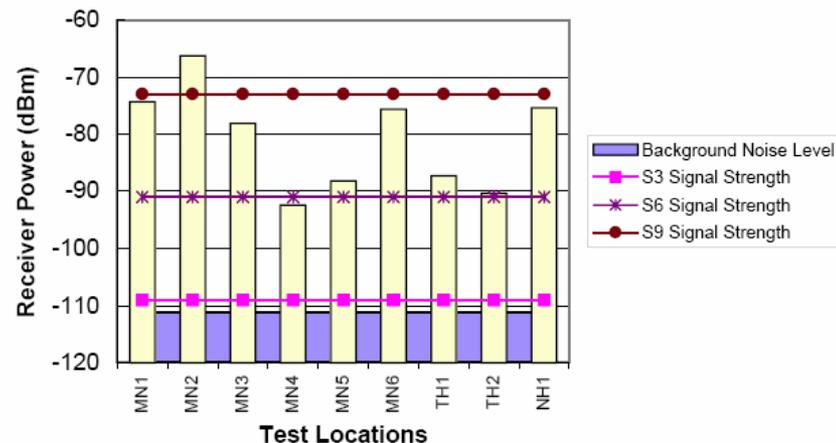


# CPL: mesures de perturbations

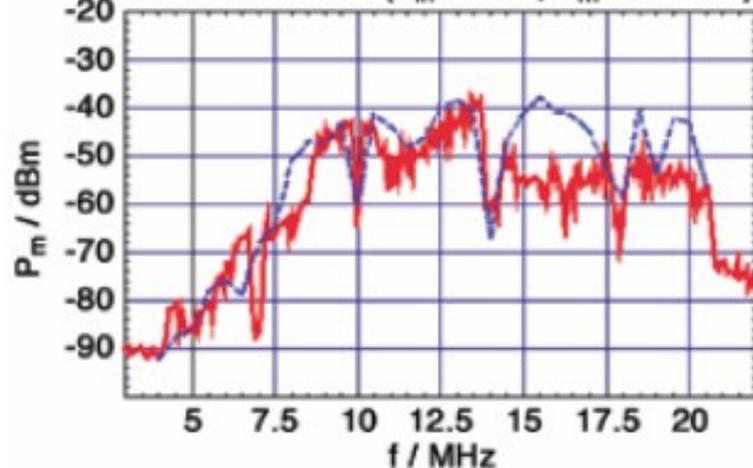
Niveau au dessus  
du bruit ambiant  
à 30 et 10 mètres

Frequency	Antenna type	Receive system ambient <sup>12</sup>	BPL RSL dB level relative to ambient, 30 meters distance	BPL RSL dB level relative to ambient, 10 meters distance
3.5 MHz	Half-wave dipole	-135 dBW	43 dB	52.5 dB
3.5 MHz	Array	-135 dBW	48.9 dB	58.4 dB
14 MHz	3-element Yagi	-145 dBW	46.9 dB	56.4 dB
14 MHz	Stacked array	-149 dBW	55.9 dB	65.4 dB
50 MHz	5-element Yagi	-160 dBW	32.3 dB	41.8 dB
50 MHz	¼-wave ground plane	-152 dBW	24.2 dB	33.7 dB

BPL Emission Measurement (20m Band)



Received Power ( $Z_{in} = 50\Omega$ ,  $B_m = 10$  kHz)



# Action du REF-Union

**Les domaines d'action du Groupe CEM sont :**

- Les réglementations relatives à la mise sur le marché des équipements soumis à la compatibilité électromagnétique ;
- Les réglementations relatives à l'exposition du public aux rayonnements électromagnétiques ;
- Les réponses pratiques aux interrogations et incertitudes les plus importantes ou les plus courantes des radioamateurs
- La défense des intérêts des radioamateurs dans un environnement d'équipements électriques et électroniques très variés ;
- L'analyse de la cohérence des normalisations auxquelles se réfèrent tous les équipements en cause avec la réglementation du service amateur.

Le groupe CEM est actuellement constitué des personnes suivantes :

Jacques Mézan de Malartic (**F2MM**) : Coordination nationale et internationale

Pierre Louis Cassot (**F5NED**) : Communication externe et relation avec le DARC

Serge Naudin (**F5SN**) : CEM et santé publique

Rémy Jentges (**F6ABJ**) : CEM et distribution d'énergie

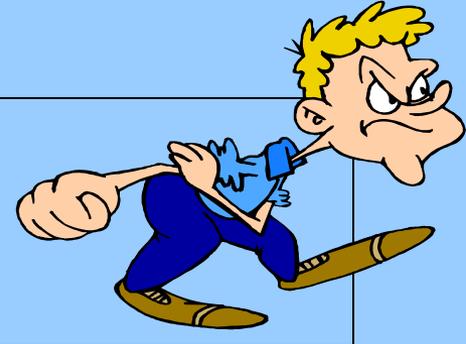
Francis Feron : (**F6AWN**) : Conseils techniques

Christian Longuet (**F8DZE**) : Conseils techniques



**Vous êtes l'agresseur**

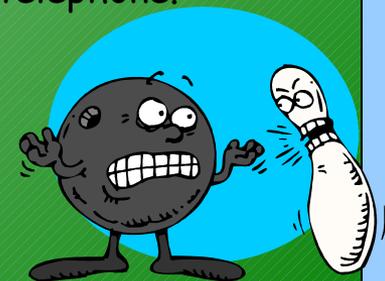
Si vous perturbez un appareil qui est antérieur à la loi de normalisation, le fabricant n'est pas responsable



# Comment réagir

Il est recommandé de

- **REAGIR IMMEDIATEMENT= NE PAS LAISSER "POURRIR"**
- faire preuve de **diplomatie**
- Aller jeter un coup d'œil sur le champ/se rendre compte de la situation.
- Si problème de détection, dites à votre voisin que l'achat du filtre se fait à votre compte.
- Après solution du problème, contrôlez régulièrement avec votre voisin, si tout est en ordre.
- Il est souhaitable que vous informiez votre voisin des bases de notre hobby et que vous lui montriez alors que chez vous il n'y a pas de dérangements dans la TV, la HI-FI et le téléphone.
  
- N'intervenez pas directement sur les appareils de votre voisin
- **Demandez de l'aide si le problème ne peut se résoudre.**



Contactez le groupe EMC du REF-Union. Son objectif est de vous aider à savoir comment faire face au problème.

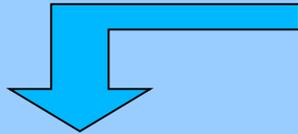
Si votre installation est conforme techniquement, c'est au "perturbé" de faire mettre son équipement en conformité....

# Méthodologie de résolution de problème de brouillage

## 1-Identifier le problème

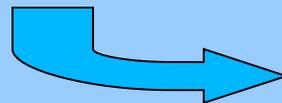
Confirmer si il s'agit bien de brouillage radio

- +Opérer sur chaque bande / mode / Puissance
- +Noter les conditions qui produisent le brouillage
  - +Le jour
  - +L'heure
  - +Quelle station est perturbée
  - +Quels étaient les autres équipements en fonctionnement?
  - +Elements météo
- +Reproduire ces conditions lors des essais
- +Si aucune de ces situation ne produit de brouillage la cause est autre



## 2-Diagnostiquer la cause

- +Observer chez vous et chez la personne brouillée
  - +Les défauts d'installation
  - +Les connections desserrées
  - +Les blindages interrompus
  - +Les contacts corrodés
- +Observer l'évident ET l'inattendu
- +Tenir un journal des perturbation (personne brouillée)  
à comparer à votre log



## 3-Plan d'action pour éliminer la cause

- +Identifier la cause primaire
  - +La source d'émission
  - +L'équipement sensible
  - +Le mécanisme d'interférence doit être compris
- +Simplifier le problème en segmentant
  - +Débrancher tout sauf l'équipement brouillé et rebrancher un à un
    - +tester les solutions les plus simples en premier
    - +Suspecter les accessoires (ROS mètre, relais, moniteur, oscilloscope...)
- +Sélectionner la solution corrective
- +Implanter la solution
- +Vérifier que ça marche....

**La prévention....**

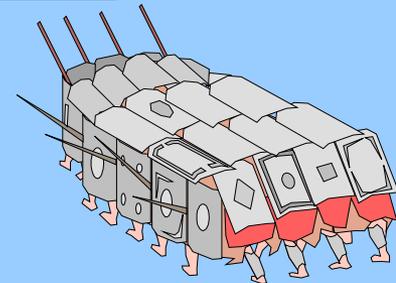
# Améliorer la compatibilité

Réduire  
les perturbations émises

Mieux se protéger  
des  
influences extérieures

Techniques similaires  
de découplage

Prise en compte de la CEM  
dès la conception



# Améliorer la compatibilité

## Identification

Circuits selon signaux & niveaux  
Interconnexions  
Fréquences & rayonnements  
Couplages possibles

## Placements

Eloigner les circuits critiques  
Sensibles  
Forts  
Rayonnants

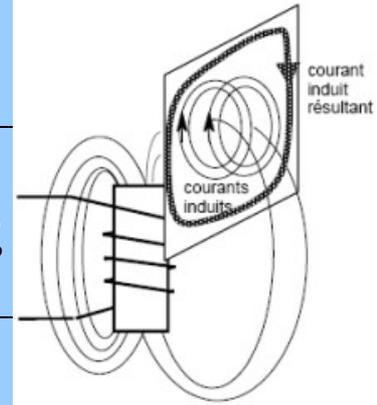
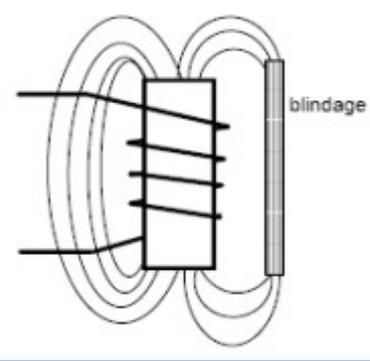
## Alimentation

Abaisser l'impédance interne  
Temps de réponse aux transitoires  
Maximum de plan de masse  
Qualité des capacités de découplage

## Cablage

Eviter les tronçons communs  
Raccourcir les connections  
Espacer les conducteurs/masse  
Pas de circuits en boucle  
Utiliser la symétrie

# Améliorer la compatibilité

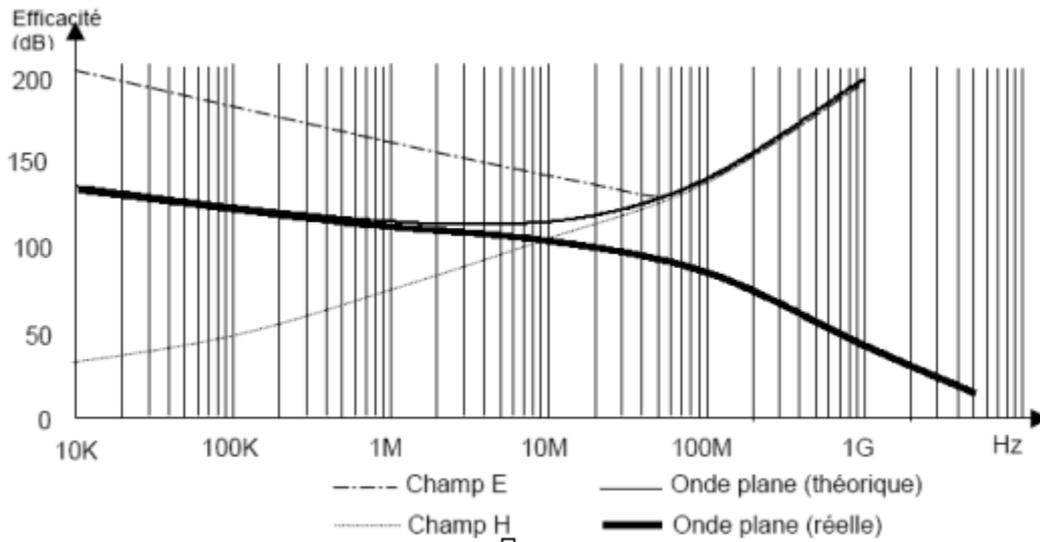


## Blindages magnétiques

Offre un chemin faible « impédance »  
aux lignes de champ magnétique  
Acier ou mumétal en BF

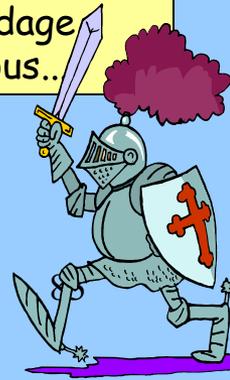
## Blindages amagnétiques

Bon conducteur (Cu / Al)  
Cage de Faraday pour les champs  
électriques (évite couplage capacitif)  
Isole le champ magnétique par  
contre-champ induit par courants  
induits



## RF

Peinture conductrice  
Revêtements absorbants  
Efficacité réelle fonction des  
ouvertures dans le blindage  
Privilégier les petits trous..

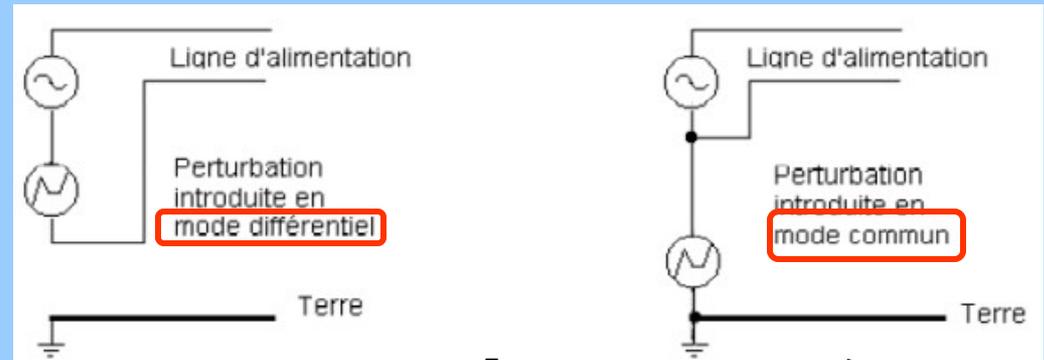


# Améliorer la compatibilité

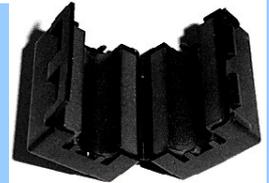
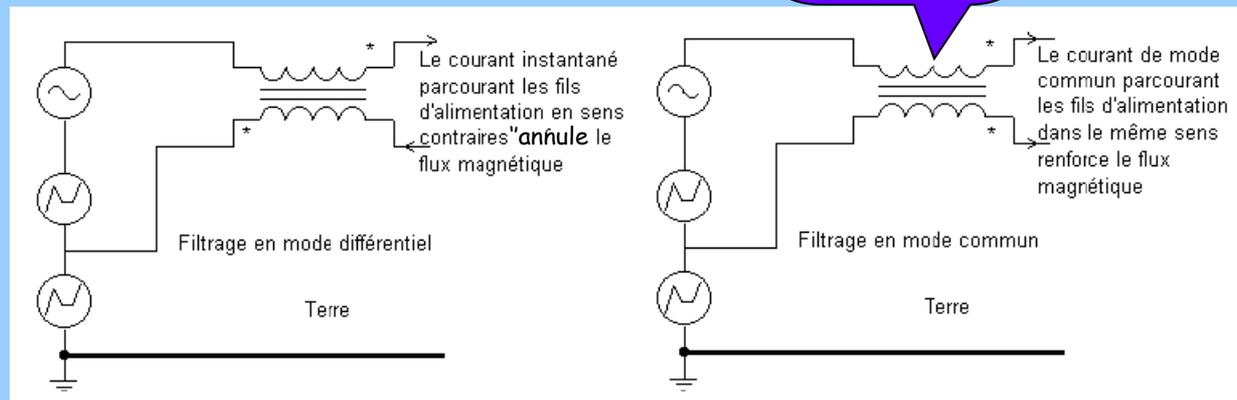
## Filtrage

Conduit  
Secteur -> 40<sup>ème</sup> harmonique  
150kHz->30MHz  
Rayonné  
30MHz->1GHz

Selfs de choc  
Modes commun/différentiel



Systemes exclusifs à chaque mode



# Sommes nous "clean"?

## ->Antennes

- le plus haut possible
  - le plus loin possible des voisins (« compactes »)
  - éviter polarisation verticale (couplage descentes TV...)
  - utiliser des descentes symétriques ou des baluns
  - en VHF/UHF les champs sont importants (gains ~20dB)
- éloigner les antennes des voisins!!! ( $100w+20dB=36V/m$  à 15m)

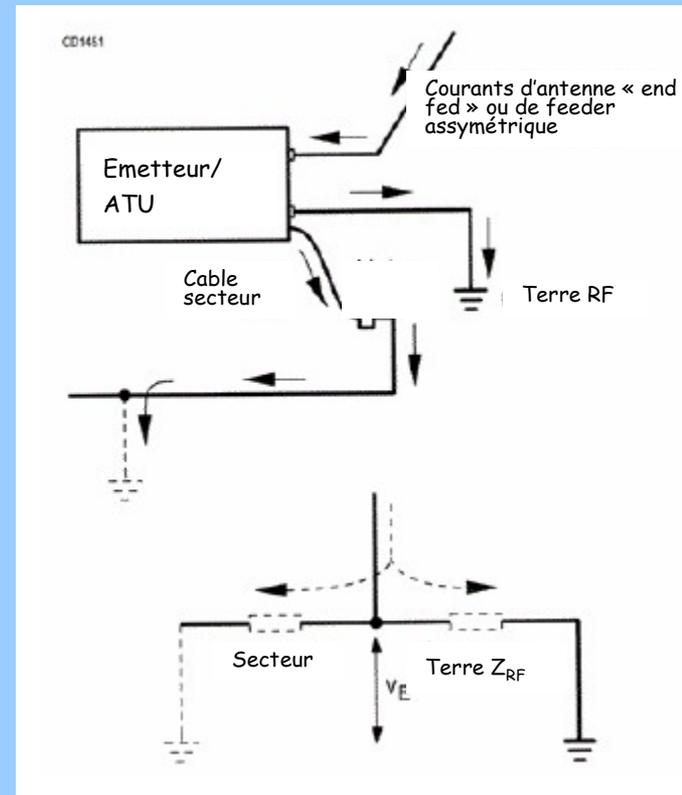
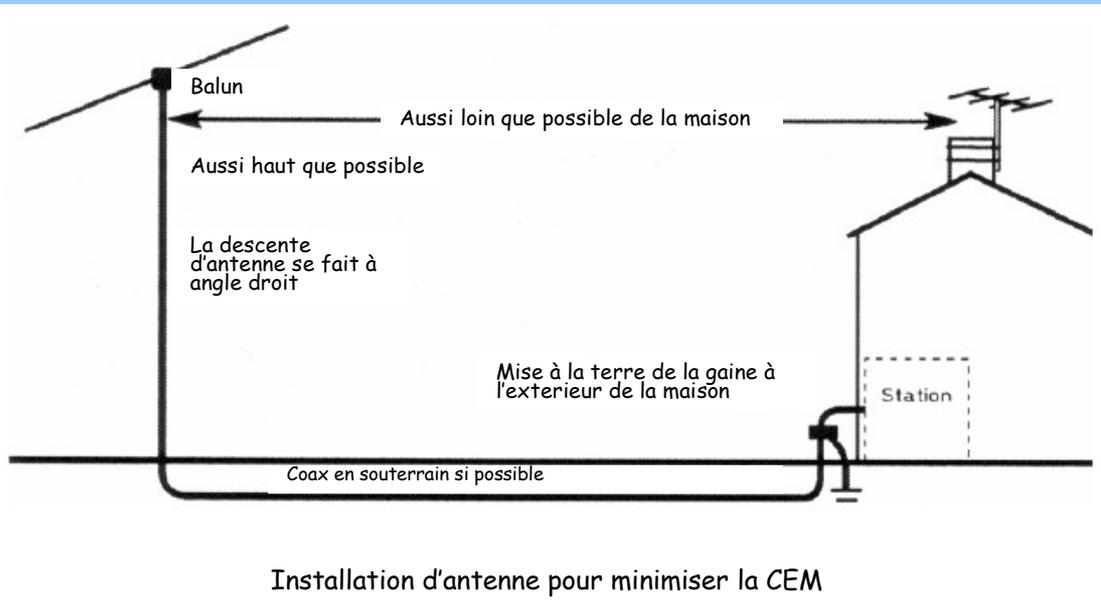
## ->Si pas possible

- réduire la puissance en fonction du mode surtout en SSB (audio)
- FM pas de problème (porteuse continue)
- CW peu de problèmes si fronts lents ~10ms
- modes digitaux : favoriser le PSK31 qui permet des DX en QRP

## ->Terre

- éviter les antennes « end fed » avec forts courants de terre
- « bonne » terre = piquets cuivre à 1m et reliés+liaison TX courte
- si liaison « longue » ne pas connecter de terre (ant. symétrique)

# Sommes nous "clean"?



Connaissez les distances limites de sécurité de vos antennes

# Un bon design...

## 1-Séparer physiquement

La variation en  $1/d^2$  réduit le signal par 4 si on double la distance

## 2-Blinder

Les champs RF sont réfléchis par les surface métalliques  
Enceintes ou gainage de cables (coaxiaux)

## 3-Filtrer

Pour limiter la propagation de l'interférence le long d'un cable  
Passe bas ou passe bande  
Dégradation du signal utile (atténuation, distorsion par BW limitée)

## 4-Limiter les ouvertures

Une fente largeur  $L$  rayonne les signaux avec  
longueur d'onde  $\ll L/2$

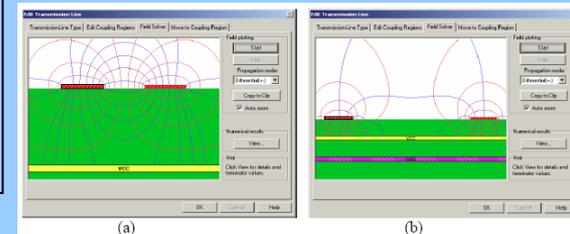


Figure 5: This field view from HyperLynx shows electric and magnetic field lines between two traces. Here are two extremes: (a) traces very close together and far away from the underlying plane, (b) traces far apart and close to the underlying plane. The difference in coupling is obvious.

# Enfin, pour résumer

- Les champs électromagnétiques nous cernent!
- Notre réception est polluée par des émissions diverses
- Nos bandes sont convoitées.....
- Nous courrons le risque de conflits de voisinage: soyons avisés de la conduite à tenir
- La législation tente de limiter les émissions parasites mais le cas des CPL montre que les intérêts économiques sont de plus en plus influants
- Nos émissions peuvent présenter des dangers par proximité
- Nous devons au minimum savoir (déterminer) quelles sont les distances de sécurité à respecter par rapport à nos antennes pour notre propre santé, celle de nos proches et celles de tiers éventuels



# Bibliographie

The ARRL RFI book 2004

Cours EMC IUT de Nantes

Compatibilité électromagnétiques des systèmes BPL

CEM Modes de couplage et méthodes d'analyse

Pages CEM site REF-Union

ANSI/IEEE C95.1-1992 guidelines

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks

J Cuvillier

Ana Vukicevic Ecole Polytechnique Lausanne

F Rachidi Ecole Polytechnique Lausanne

SAR norme américaine

Health Effects of Exposure to EMF

## Les textes de référence

- Décision n° 97-452 en date du 17 décembre 1997 attribuant des bandes de fréquences pour le fonctionnement des installations de radioamateurs.
- Décision n° 00-1364 en date du 22 décembre 2000 précisant les conditions d'utilisation des installations de radioamateurs.
- Décision n° 00-389 en date du 21 avril 2000 modifiant la décision n° 97-452 du 17 décembre 1997 attribuant des bandes de fréquences pour le fonctionnement des installations de radioamateurs.
- Décision n° 04-316 en date du 30 mars 2004 modifiant la décision n° 00-1364 en date du 22 décembre 2000 précisant les conditions d'utilisation des installations de radioamateurs.

# Logiciels de calcul ou simulation

IcnirpCalc de DK9KCE

Disponible sur le site du DARC

Calculs de champs et distances de sécurité. Dispose d'une bibliothèque d'antennes commerciales  
En Anglais

<http://www.darc.de/ausland/new/englisch/download.html>

Chelmag1.xls du REF-UNION

Disponible sur le site du REF-Union

<http://www.ref-union.org/>

ARH de ON4UN

Logiciel conçu pour établir le dossier officiel belge de déclaration.

Les valeurs limites sont spécifiques à la Belgique

En anglais, français, neerlandais, allemand

<http://arh.uba.be/downloads/ARH-Install.exe>

Field strength & power estimator

Logiciel de Rohde & Schwarz en anglais

Seulement calculs de champs sans notion de limite légale

[http://www2.rohde-schwarz.com/en/service\\_and\\_support/Downloads/Application\\_Notes/?downid=1479&id=7](http://www2.rohde-schwarz.com/en/service_and_support/Downloads/Application_Notes/?downid=1479&id=7)

# Sites infos

## Santé et rayonnements

[www.inrs.fr/dossiers/rni.html](http://www.inrs.fr/dossiers/rni.html)

Dossier de l'Institut national recherche et sécurité

[www.who.int/peh-emf/fr/](http://www.who.int/peh-emf/fr/)

Dossier champs électromagnétiques de l'OMS

[www.icnirp.org](http://www.icnirp.org)

Site du comité international des rayonnements non ionisants

[www.criirem.org](http://www.criirem.org)

Centre de recherche et d'information indépendantes sur les rayonnements électromagnétiques

<http://mesures.anfr.fr/>

ANFR cartes des champs électriques par commune

<http://www.sfrp.asso.fr>

Société française de Radio protection

<http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Worldmap5.htm> Accès à toutes les réglementations étrangères (en anglais)

[http://www.anfr.fr/index.php?cat=sante&page=val\\_1\\_2](http://www.anfr.fr/index.php?cat=sante&page=val_1_2) ANFR pages dédiées "santé"

[http://www.anfr.fr/index.php?cat=sante&page=faq#sante\\_1](http://www.anfr.fr/index.php?cat=sante&page=faq#sante_1)

<http://www.cartoradio.fr/netenmap.php?cmd=zoomfull> Cartes d'implantation d'émetteurs en France (Cartoradio)

<http://www.ineris.fr/ondes-info/>

# Sites infos

## Associations nationales

<http://www.darc.de/ausland/new/englisch/index.html>

<http://www.ref-union.org/>

<http://uba.be/fr.html>

<http://www.rsgb.org/>

## Législation européenne/française

<http://eur-lex.europa.eu/fr/index.htm>

<http://www.anfr.fr/index.php?cat=radioamateur>

<http://www.arcep.fr/index.php?id=8138>

<http://www.arcep.fr/index.php?id=8137&L=1%2F%2Findex.php%3F%3Dhttp%3A%2F%252#7938> (plaintes brouillage)

<http://www.etsi.org/WebSite/Standards/StandardsDownload.aspx>

## CPL

<http://plc.radioamateur.ch/>

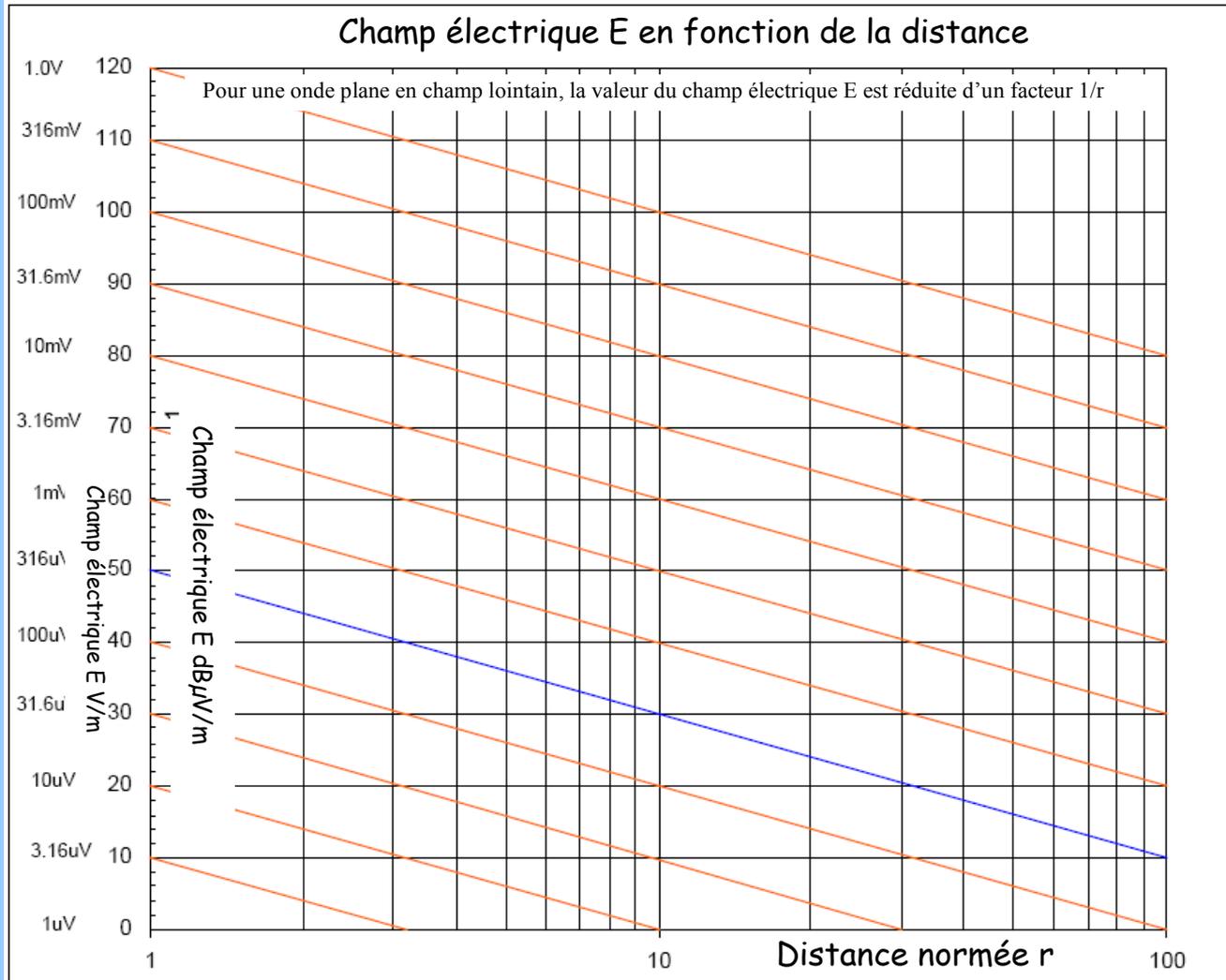
<http://www.rsgb.org/emc/plt.php>

# *Annexes*

# Bandes ISM

6,765 - 6,795 MHz	(soit 6,78 MHz $\pm$ 15,0 kHz)
13,553 - 13,567 MHz	(soit 13,56 MHz $\pm$ 7,0 kHz)
26,957 - 27,283 MHz	(soit 27,12 MHz $\pm$ 163,0 kHz)
40,660 - 40,700 MHz	(soit 40,68 MHz $\pm$ 20,0 kHz)
433,05 - 434,79 MHz	(soit 433,920 MHz $\pm$ 0.2%)
868 - 870 MHz	(soit 869,000 MHz $\pm$ 1,0 MHz)
902 - 928 MHz	(soit 915 MHz $\pm$ 13,0 MHz)
2,4 - 2,5 GHz	(soit 2,450 GHz $\pm$ 50,0 MHz)
5,725 - 5,875 GHz	(soit 5,800 GHz $\pm$ 75,0 MHz)
24 - 24,25 GHz	(soit 24,125 GHz $\pm$ 125,0 MHz)
61 - 61,5 GHz	(soit 61,25 GHz $\pm$ 250,0 MHz)
122 - 123 GHz	(soit 122,50 GHz $\pm$ 500,0 MHz)
244 - 246 GHz	(soit 245,00 GHz $\pm$ 1,0 GHz)

# Champ électrique



# Les normes CEM européennes

Les normes IEC sur la CEM appartiennent pour la plupart au groupe IEC 61000

## **Normes européennes sur les émissions électriques non désirées**

- EN 50 081 part1 European Generic emission standard, part1: Domestic, commercial and light industry environment, remplacée par EN61000-6-3
- EN 50 081 part2 European Generic emission standard, part2: industrial environment, replaced by EN61000-6-4
- EN 55 011 European limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics for scientific and medical equipment
- EN 55 013 European limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of broadcast receivers
- EN 55 014 European limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of household appliances and power tools, replaced by EN55014-1, and immunity part is covered by EN55014-2
- EN 55 015 European limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of fluorescent lamps
- EN 55 022 European limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of information technology equipment
- EN 60 555 part 2 and 3 Disturbances of power supply network (part 2) and power fluctuations (part 3) caused by of household appliances and power tools, remplacée par EN61000-3-2 and EN61000-3-3
- EN 13309 Construction Machinery - Electromagnetic compatibility of machines with internal electrical power supplies
- VDE 0875 German EMC directive for broadband interference generated by household appliances
- VDE 0871 German EMC directive for broadband and narrowband interference generated by information technology equipment

## **Normes européennes sur l'immunité aux émissions électriques**

- EN 50 082 part1 European immunity standard, part1: Domestic, commercial and light industry environment, remplacée par EN61000-6-1
- EN 50 082 part2 European immunity standard, part2: industrial environment, remplacée par EN61000-6-2
- EN 50 093 European, immunity to short dips in the power supply (brownouts)
- EN 55 020 European, immunity from radio interference of broadcast receivers
- EN 55 024 European immunity requirements for information technology equipment
- EN 55 101 older draft of immunity requirements for information technology equipment, remplacée par EN 55 024
- EN 50 081 part1 European Generic emission standard, part1: Domestic, commercial and light industry environment, remplacée par EN61000-6-3
- EN 50 081 part2 European immunity requirements for information technology equipment, remplacée par EN61000-6-4

# Pourcentage de temps d'émission

Facteur de correction selon type d'émission pour les logiciels de calculs d'exposition aux rayonnements

Mode	Facteur de correction	in %	in dB
SSB	0.2	20	-6.99
processed SSB	0.5	50	-3.01
AM (m=0%)	1.0	100	0.00
AM (m=50%)	0.5	50	-3.01
AM (m=100%)	0.3	30	-5.23
CW	0.4	40	-3.97
ATV (AM)	0.6	60	-2.22
ATV(FM)	1.0	100	0.00
FM	1.0	100	0.00
RTTY	1.0	100	0.00
digital modes	1.0	100	0.00
SSTV	1.0	100	0.00
Tune (Full carrier)	1.0	100	0.00

# Expression des champs E & H

Le champ électromagnétique à une fréquence donnée et en un lieu précis est donné soit

+par son expression électrique **E** en Volts/mètre ou V/m

+soit par son expression magnétique **H** en Ampère/mètre ou A/m.

(dans les bandes HF →30MHz)

(au delà de 30MHz)

Le rapport entre le champ électrique et le champ magnétique est constant et égal à 377 Ohms.  
En espace libre, les champs électriques et magnétiques sont inversement proportionnels à la distance.

à distance (d) d'un point d'émission avec une puissance rayonnée  $P_e$  :

$$E = (30 \cdot P_e)^{1/2} / d \quad E \text{ en V/m, } P_e \text{ en Watts, } d \text{ en mètres}$$
$$H = E / 377 \quad \text{en A/m}$$

densité surfacique de puissance :

$$W = E \cdot H = E^2 / 377 = 30 \cdot P_e / (377 \cdot d^2) \text{ en W /m}^2$$

L'unité de champ électrique la plus courante en radioélectricité est le  $\text{dB}\mu\text{V/m}$ .

On passera des  $\text{dBV/m}$  aux  $\text{dB}\mu\text{V/m}$  en y ajoutant 120 dB.

$$E = P_e - 20 \cdot \text{Log}(d) + 104,7$$

$P_e$  en dBm et  $E$  en  $\text{dB}\mu\text{V/m}$

$$H = E - 51,53.$$

$H$  en  $\text{dB}\mu\text{A/m}$

# Formulaire

L'expression du champ électrique en un lieu à distance (d) d'un point d'émission avec une puissance rayonnée  $P_e$  ne dépend pas de la fréquence

$$E = (30 \cdot P_e)^{1/2} / d \text{ avec } E \text{ en V/m, } P_e \text{ en Watts et } d \text{ en mètres; ainsi } H = E/377 \text{ en A/m}$$

Et l'expression de densité surfacique de puissance :

$$W = E \cdot H = E^2 / 377 = 30 \cdot P_e / (377 \cdot d^2) \text{ en W /m}^2$$

La conversion en réception d'un champ électrique E en signal HF de puissance  $P_r$  par une **antenne isotropique** répond à l'équation suivante :

$$P_r = A_o \cdot (E^2 / 120p) \quad \text{avec } A_o = \lambda^2 / 4p, \lambda \text{ représentant la longueur d'onde en m soit } \lambda = 300/F \text{ (F en MHz)}$$

En se ramenant aux unités logarithmiques, on obtient une expression simplifiée :

$$P_r(\text{dBm}) = E(\text{dB}\mu\text{V/m}) - 20 \cdot \text{Log}(F) - 77,21$$

Les expressions de champs électriques rayonnés et de puissance en réception deviennent, en définissant les puissances d'émission  $P_e$  et de réception  $P_r$  en dBm, Les champs électriques E en dB $\mu$ V/m, les champs magnétiques H en dB $\mu$ A/m, les fréquences F en MHz, les distances d en mètre et les gains d'antenne  $G_i$  en dBi :

$$E = P_e - 20 \cdot \text{Log}(d) + 104,77 + G_i ;$$

$$H = P_e - 20 \cdot \text{Log}(d) + 53,24 + G_i \text{ et}$$

$$P_r = E - 20 \cdot \text{Log}(F) - 77,21 + G_i$$

(E ou H) à distance annoncée = (E ou H) à distance de référence +  $n \cdot 20 \cdot \text{Log}(\text{distance annoncée} / \text{distance de référence})$  avec  $n=1$  au-delà de 30m (distance de référence),  $n=0,8$  de 10m à 30m et  $n=0,6$  de 3m à 10m

Cette formule revient à dire qu'au-delà de 30m, les conditions de propagation en espace libre sont respectées et elle suggère des corrections en deçà de cette distance. La correction à appliquer en dB est de :

$$4 \cdot \text{Log}(d/30) \text{ entre 10m et 30m}$$

et de

$$8 \cdot \text{Log}(d/10) - 1,91 \text{ entre 3m et 10m (d=distance en m)}$$

**C'est fini!**

**Merci de votre attention !**

