



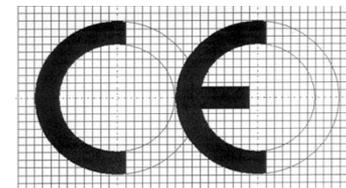
Qualité Sécurité Environnement

Risques électromagnétiques

4^{ème} année IR



Alexandre Boyer
alexandre.boyer@insa-toulouse.fr



- ✓ Quels risques encourent les personnes lorsqu'elles sont exposées aux champs électromagnétiques ?
- ✓ Quelles risques encourent les personnes lorsque des systèmes électroniques présentent des dysfonctionnement provoqués par des champs électromagnétiques ?

Des effets sur la santé ?

Paris suspend les nouvelles implantations d'antennes relais

Par LIBÉRATION.FR AVEC AFP

83 commentaires



Les antennes relais pour téléphones mobiles installées sur les toits de Paris, le 7 avril 2011. (AFP Jacques Demarthon)

Libération – Octobre 2011

QUE CHOISIR expert · indépendant · militant > Plan du site > Nous connaître > Nous contacter > Forum

Rechercher un test, un guide d'achat...
Ex: comparateur prix du gaz & électricité

LES TESTS LABO
LES COMPARETEURS

Télécom Multimédia Equipement de la maison Auto Argent Assurance Alimentation Santé Bien-être Environnement Energie Immobilier Logement Droits Justice Cor

Accueil > Environnement energie > Energie > Electricité gaz > Compteurs linky > Dangereux ou pas ?

Actualité 13 janvier 2016

Compteurs Linky

Dangereux ou pas ?

Experts d'ERDF qui rassurent d'un côté, associations Robin des toits et Next-up qui inquiètent de l'autre, le compteur Linky fait l'objet d'informations radicalement contradictoires quant à ses éventuels risques pour la santé et le logement. *Que Choisir* fait le point.

Que l'association Robin des toits déroule un argumentaire très alarmiste sur le compteur Linky n'a rien d'étonnant. Voir des dangers dans toutes les technologies sans fil, c'est sa raison d'être. Elle n'en est pas à son coup d'essai. Ses premières armes, elle les a faites sur les antennes-relais des [téléphones portables](#), dénonçant haut et fort une horreur sanitaire. L'exposition aux ondes

Que Choisir – Janvier 2016



Federal Aviation Administration

5G and Aviation Safety

The FAA is working to ensure that radio signals from newly activated wireless telecommunications systems can coexist safely with flight operations in the United States, with input from the aviation sector and telecommunications industry

www.faa.gov – Juin 2022

- ✓ Le risque est-il avéré dans des conditions « nominales » ?
- ✓ Quelles sont les exigences et les recommandations de la part des autorités ?
- ✓ Comment garantit-on le respect de ces recommandations ?

Des effets sur la sûreté des systèmes électriques/électroniques ?

The Jammed Wheelchair: A Case Study of EMC and Functional Safety



Figure 1. An ordinary street with cars and an electric wheelchair: one environment – different EMC requirements.

http://www.emcs.org/acstrial/newsletters/fall04/63_67.pdf

- ✓ Quelle est l'origine des problèmes d'interférences électromagnétiques ?
- ✓ Quelles sont les exigences liées à la Compatibilité Electromagnétique ?
- ✓ Comment garantit-on le respect des recommandations de CEM ?

Des effets sur les performances des systèmes radio ?



- ✓ Des problèmes d'interférences sur la bande ISM 2400-2483.5 MHz ?
- ✓ Les performances d'un réseau WiFi (IEEE 802.11) affectées par les interférences provenant de fours à micro-ondes, de téléphones sans fil, de dispositif Bluetooth, Zigbee... ?
- ✓ « La qualité d'un service de voix transmise sur un réseau WiFi se dégrade lorsqu'un téléphone, une caméra sans fil, un four à micro-onde, ou un autre dispositif WiFi se situe dans un rayon de 8 m » (Cisco, « 20 Myths of WiFi Interference », White Paper, 2008).

- I. Onde électromagnétique**
- II. Environnement électromagnétique**
- III. Interférences électromagnétiques**
- IV. Réglementation CEM**
- V. Exposition des personnes aux champs électromagnétiques**

I – Onde électromagnétique

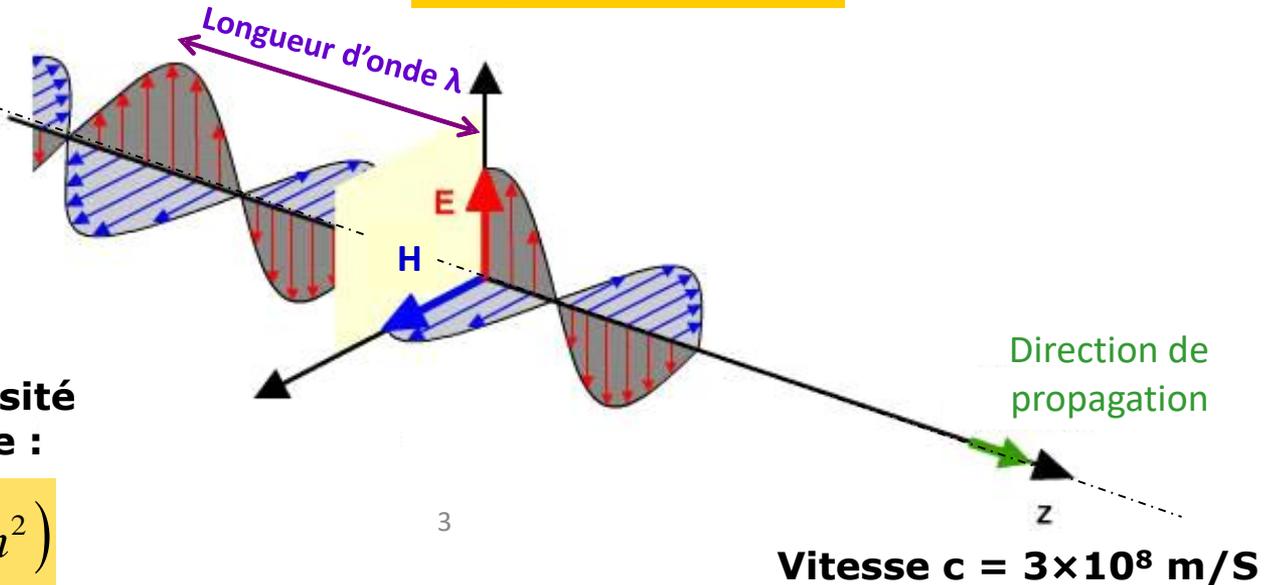
Onde électromagnétique

Source - antenne
(non) intentionnelle

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ (dans le vide)}$$

Transport d'une densité
de puissance active :

$$\vec{P} = \frac{1}{2} \vec{E} \wedge \vec{H}^* \text{ (W/m}^2\text{)}$$

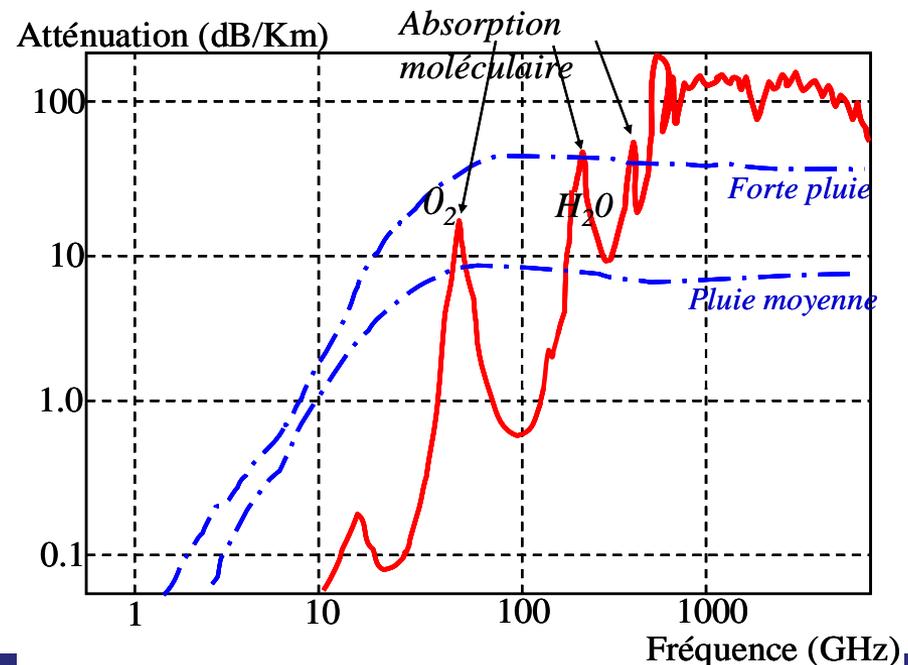
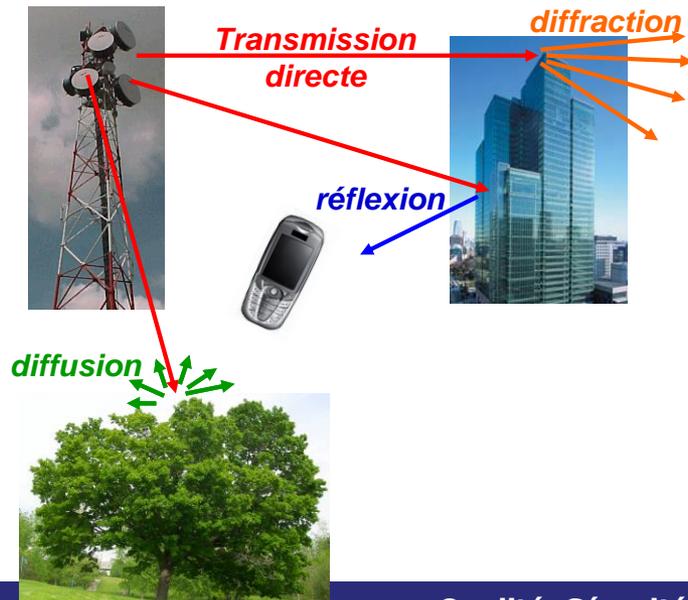


En espace libre et en champ lointain, décroissance en $1/r^2$ de la puissance transportée par l'onde.

Propagation des ondes électromagnétiques en environnement réel

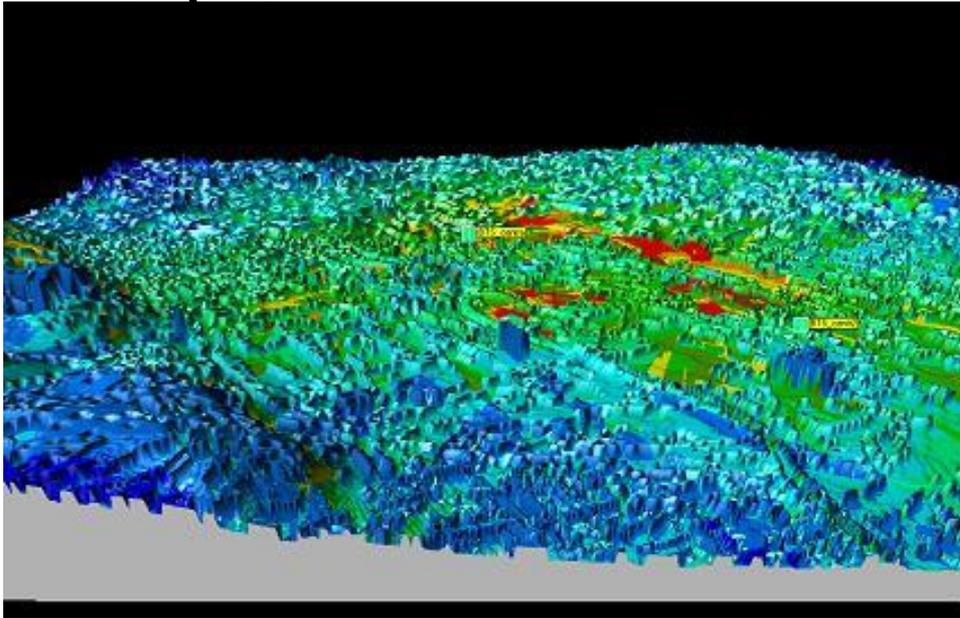
La propagation des ondes électromagnétiques subissent de très nombreuses perturbations qui la rendent complexe et difficilement maîtrisable :

- Rarement en visibilité directe
- Réflexions multiples dues aux obstacles, étalement temporel
- Diffusions, diffractions sur les arêtes des bâtiments
- Absorption atmosphérique



Propagation des ondes électromagnétiques en environnement réel

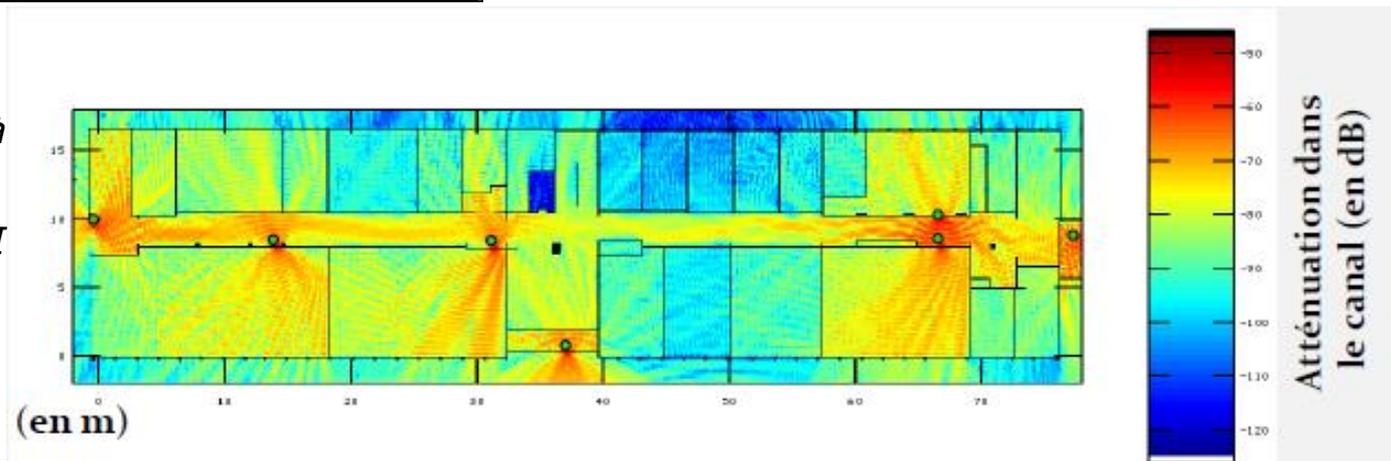
Exemples :



Projet 4IR : Calcul de couverture radio 3G sur le campus de Rangueil (ICS Telecom)

Couverture radio indoor à 434 MHz

*Rez de chaussée du DGEI
(C. Crémoux)*

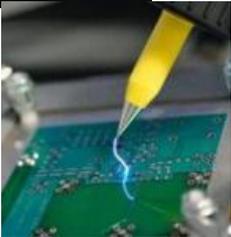
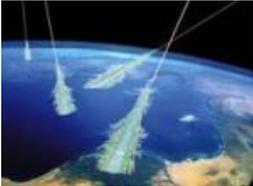


II – Environnement électromagnétique

Environnement électromagnétique

Source naturelle

Activité humaine



Décharge électrostatique



Emission compromettante



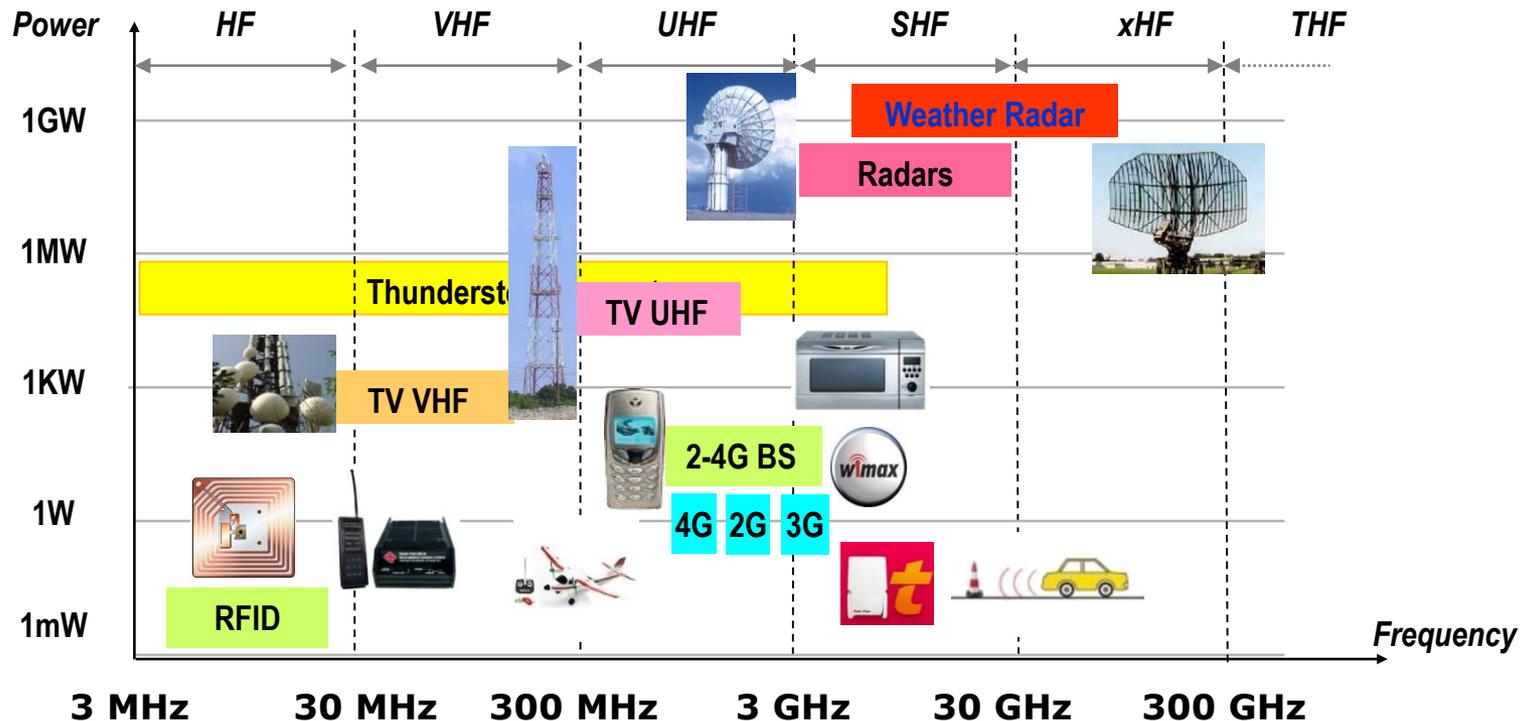
Emission intentionnelle, « bande étroite »



Emission non intentionnelle, « bande large »

Emission électromagnétique liée aux radiocommunications

- ✓ Forte occupation du spectre radiofréquence par des activités humaines (0 – 300 GHz)



Quelle autorité régule l'utilisation du spectre radiofréquence ?

Emission électromagnétique liée aux radiocommunications

- ✓ Régulation et planification du spectre radioélectrique par l'Union Internationale des Télécommunications (**ITU-R**) au niveau international.
- ✓ Coordination de la régulation du spectre radiofréquence par l'Electronic Communications Committee (**ECC**), comité appartenant à la conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (**CEPT**).
- ✓ Missions principales: Harmoniser et rendre efficace l'utilisation du spectre radiofréquence en Europe et les orbites satellites
- ✓ Délivrables et recommandations dont la **recommandation ERC/REC 70-03**, définissant les allocations spectrales pour les **Short Range Devices** dans les pays membres de la CEPT.

Regulatory parameters related to Annex 1

Frequency Band	Power / Magnetic Field	Spectrum access and mitigation requirement	Channel spacing	ECC/ERC Decision	Notes
a 6765-6795 kHz	42 dBμA/m at 10m	No requirement	No spacing		
b 13.553-13.567 MHz	42 dBμA/m at 10m	No requirement	No spacing		
c 26.957-27.283 MHz	42 dBμA/m at 10m 10 mW e.r.p.	No requirement	No spacing		
d 40.660-40.700 MHz	10 mW e.r.p.	No requirement	No spacing		
e 138.20-138.45 MHz	10 mW e.r.p.	< 1.0 % duty cycle (note 1)	No spacing		
f 433.050-434.790 MHz (note 4)	10 mW e.r.p.	< 10 % duty cycle (note 1)	No spacing		
f1 433.050-434.790 MHz (note 4bis)	1 mW e.r.p. -13 dBm/10 kHz	No requirement	No spacing		Power density limited to -13 dBm/10 kHz for wideband modulation with a bandwidth greater than 250 kHz

Emission électromagnétique liée aux radiocommunications

- ✓ Régulation et planification du spectre radioélectrique par l'agence nationale des fréquence (ANFR) au niveau national.
- ✓ Mission de l'ANFR : Planification, gestion, réglementation des fréquences, coordination de l'implantation des stations radio, contrôle de l'exposition du public aux champs électromagnétiques, études prospectives



Répartition des attributions de bandes de fréquences entre affectataires à titre primaire dans les principales gammes de fréquences

www.anfr.fr

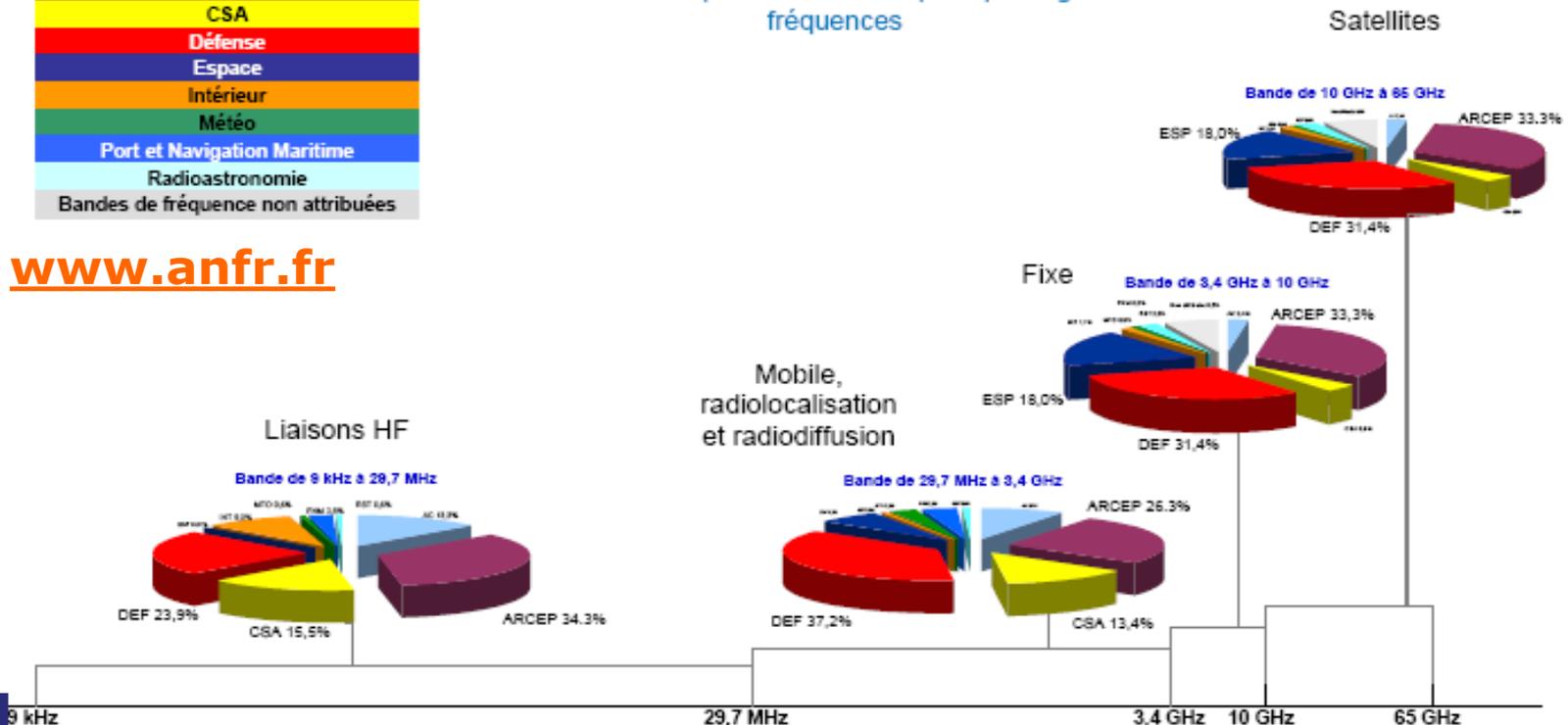


Tableau national de répartition des bandes de fréquences publié par l'ANFR

830,000-854,000 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	Gouv-ARCEP
854,000-862,000 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	Gouv-ARCEP
862,000-869,200 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	Gouv
869,200-869,700 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	ARCEP
869,700-880,000 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	Gouv
880,000-890,000 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	ARCEP
890,000-915,000 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	ARCEP
915,000-925,000 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	Gouv
915,000-925,000 MHz	secondaire	Radiolocalisation	Gouv
925,000-935,000 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	ARCEP
925,000-935,000 MHz	secondaire	Radiolocalisation	Gouv
935,000-960,000 MHz	Primaire	MOBILE sauf mobile aéronautique	ARCEP
960,000-1 164,000 MHz	Primaire	MOBILE AÉRONAUTIQUE (R)	Gouv
960,000-1 164,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION AÉRONAUTIQUE	Gouv
1 164,000-1 215,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION AÉRONAUTIQUE	Gouv
1 164,000-1 215,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION PAR SATELLITE (espace-espace)	Gouv
1 164,000-1 215,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION PAR SATELLITE (espace vers Terre)	Gouv
1 215,000-1 240,000 MHz	Primaire	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE	Gouv
1 215,000-1 240,000 MHz	Primaire	RADIOLOCALISATION	Gouv
1 215,000-1 240,000 MHz	Primaire	RECHERCHE SPATIALE	Gouv
1 215,000-1 240,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION AÉRONAUTIQUE	Gouv
1 215,000-1 240,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION PAR SATELLITE (espace-espace)	Gouv
1 215,000-1 240,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION PAR SATELLITE (espace vers Terre)	Gouv
1 240,000-1 300,000 MHz	Primaire	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE	Gouv
1 240,000-1 300,000 MHz	Primaire	RADIOLOCALISATION	Gouv
1 240,000-1 300,000 MHz	Primaire	RECHERCHE SPATIALE	Gouv
1 240,000-1 300,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION AÉRONAUTIQUE	Gouv
1 240,000-1 300,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION PAR SATELLITE (espace-espace)	Gouv
1 240,000-1 300,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION PAR SATELLITE (espace vers Terre)	Gouv
1 240,000-1 300,000 MHz	secondaire	Amateur	ARCEP
1 240,000-1 300,000 MHz	secondaire	Amateur par satellite (Terre vers espace)	ARCEP
1 300,000-1 350,000 MHz	Primaire	RADIOLOCALISATION	Gouv
1 300,000-1 350,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION AÉRONAUTIQUE	Gouv
1 300,000-1 350,000 MHz	Primaire	RADIONAVIGATION PAR SATELLITE (Terre vers espace)	Gouv
1 350,000-1 375,000 MHz	Primaire	RADIOLOCALISATION	Gouv
1 350,000-1 375,000 MHz	Primaire	MOBILE	ARCEP-Gouv
1 350,000-1 375,000 MHz	secondaire	Radioastronomie	Gouv

Fréquences utilisables pour certains matériels de faible puissance et de faible portée (publié par l'ANFR)

Equipements non spécifiques

Bande de fréquences ou fréquence centrale du canal	Puissance rayonnée / champ max.	Paramètres additionnels	Références / observations
6 765 à 6 795 kHz	42 dBμA/m à 10m	-	Décision 2006/771/CE modifiée
13 553 à 13 567 kHz	42 dBμA/m à 10m	-	
26 957 à 27 283 kHz	10 mW p.a.r. ou 42 dBμA/m à 10m	-	Décision 2006/771/CE modifiée Décisions ART n°02 -934 et 02-938
40,66 à 40,7 MHz	10 mW p.a.r.	-	Décision 2006/771/CE modifiée Décisions ARCEP 2007-0682 et 2010-0910
433,05 à 434,04 MHz	1 mW p.a.r. -13 dBm/10 kHz pour une largeur de bande de modulation supérieure à 250 kHz	-	
	10 mW p.a.r.	Avec un coefficient d'utilisation de 10%	
434,04 à 434,79 MHz	1 mW p.a.r. -13 dBm/10 kHz pour une largeur de bande de modulation supérieure à 250 kHz	-	Décision 2006/771/CE modifiée Décisions ARCEP 2007-0682 et 2010-0910
	10 mW p.a.r.	Avec un coefficient d'utilisation de 10% (ou un coefficient d'utilisation de 100 % sous réserve d'un espacement des canaux allant jusqu'à 25 kHz)	
863 à 868 MHz	25 mW p.a.r	-	Décision 2006/771/CE modifiée Décisions ARCEP 2010-0911 et 2010-0912

La bataille de la bande des 700 MHz

Téléphonie mobile et audiovisuel

16

Bataille des fréquences télécoms contre TV : le plan du gouvernement pour faire passer la pilule

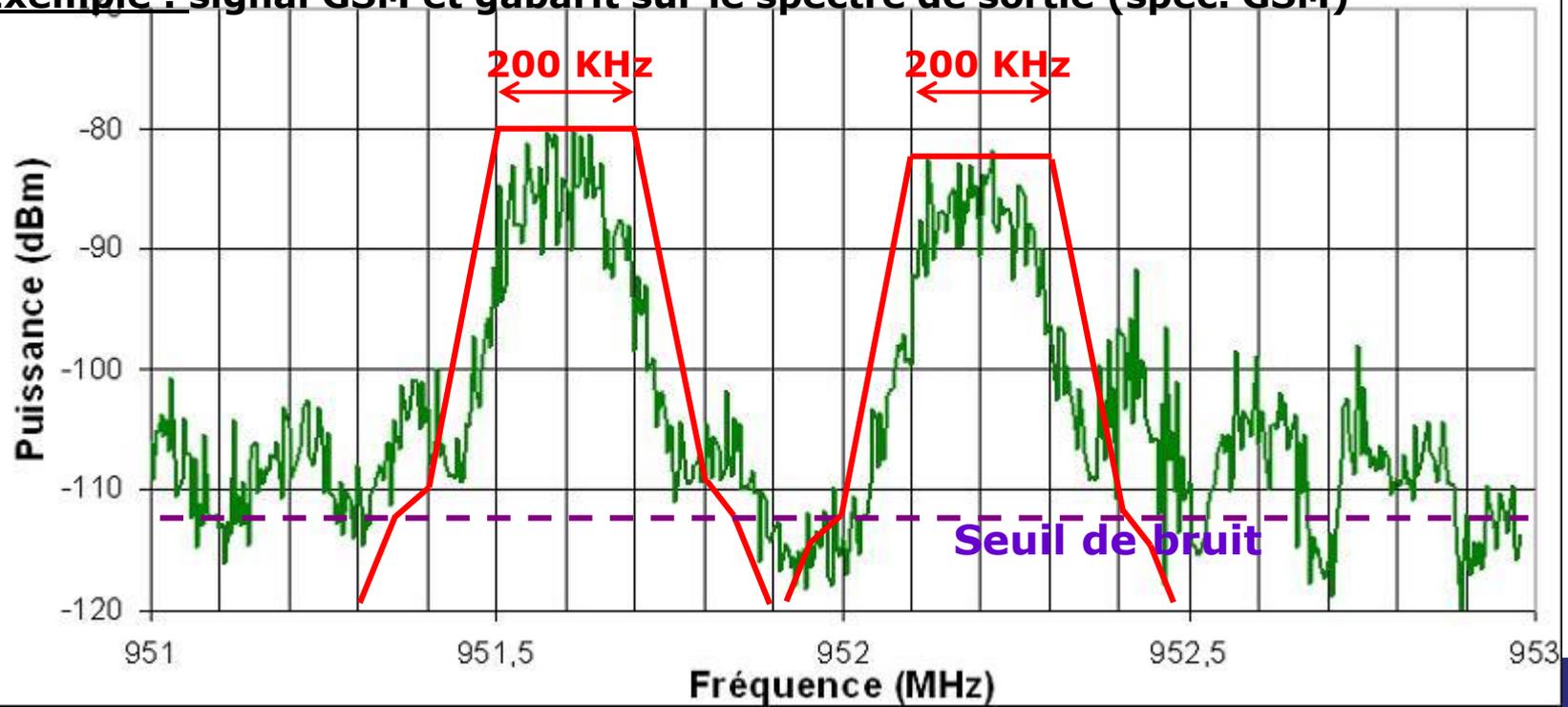


L'explosion des usages mobiles justifie le basculement des fréquences de la TV vers les télécoms selon le gouvernement. Copyright Reuters

La Tribune -21 juin 2013

Emission électromagnétique liée aux radiocommunications

- ✓ **Signaux « bandes étroites » et intermittents. Les caractéristiques du signal sont liées à la spécification technique de l'interface air :**
 - Bande passante, canaux, séparation
 - puissance d'émission, dynamique, spurious, ACLR...
 - Modulation, débit ... Plus le débit est important, plus la bande passante requise est importante.
- ✓ **Exemple : signal GSM et gabarit sur le spectre de sortie (spéc. GSM)**



Emission électromagnétique liée aux radiocommunications

- ✓ Atténuation du champ et de la puissance rayonnée en espace libre :

$$P = \frac{PIRE}{4\pi d^2}$$

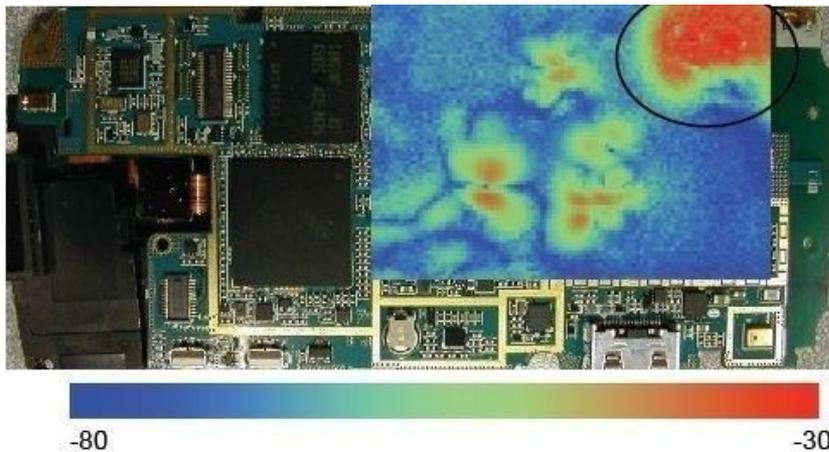
$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot PIRE}}{d}$$

- ✓ Exemples :

- **Emetteur radio FM (PIRE = 50 KW), à 1 km : E = 1.22 V/m, P = 0.12 W/m²**
- **Station de base GSM (P = 20 W, G = 17 dB), à 100 m : E = 1.7 V/m, P = 8 mW/m²**
- **Téléphone portable (PIRE = 600 mW), à 1 m: E = 4.24 V/m, P = 47 mW/m²**
- **Limites d'exposition du public (10 MHz – 10 GHz) : 28 – 61 V/m ou 2 – 10 W/m²**

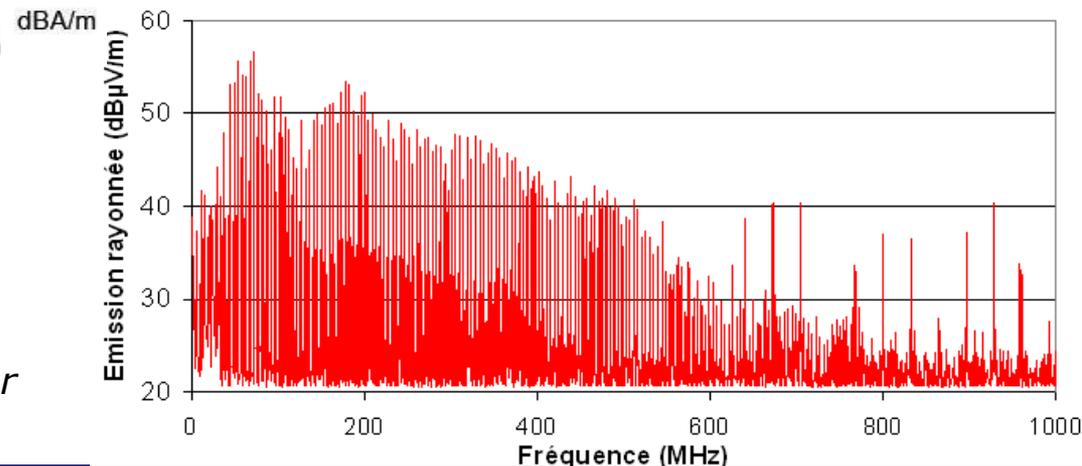
Emission électromagnétique non intentionnelle

- ✓ Bruit parasite lié à l'activité des équipements électriques et électroniques (machines électriques, lignes électriques, composants électroniques).
- ✓ Bruit impulsionnel large bande.

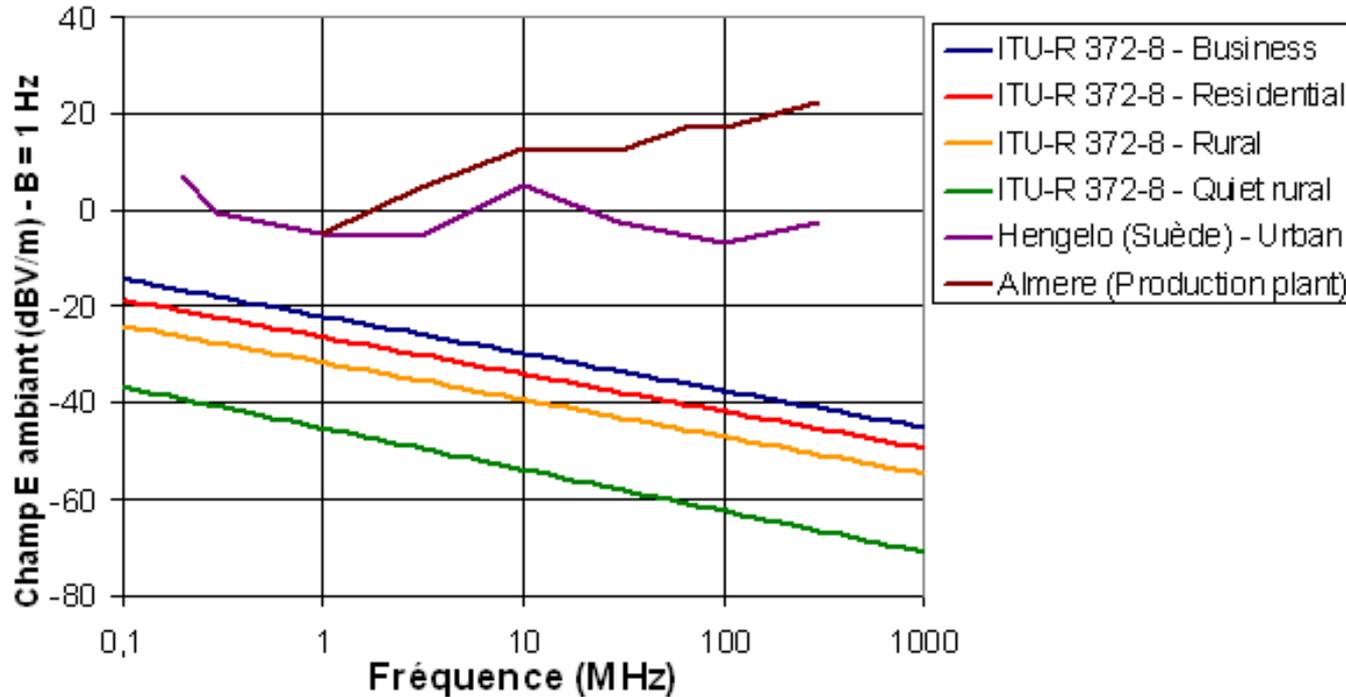


Champ magnétique produit au-dessus d'une plateforme de téléphonie mobile ($F = 910$ MHz)

Emission rayonnée d'un microprocesseur



Recommandation ITU-R 372-8



- ✓ Niveaux définis dans les années 70.
- ✓ Augmentation de 20 à 40 dB dans les milieux semi-fermés.
- ✓ Exemple: Surveillance du niveau moyen au Canada en 1990 en milieu urbain et sub-urbain : le champ E maximal varie entre 1 et 20 V/m.

Mesure en environnement urbain

- ✓ Site Agence Nationale des Fréquences (ANFR) – outil Cartoradio.



Identification de la station

N° d'identification : 354918

Exploitant : ORANGE

Adresse : Allée des Sciences Appliquées

Code Postal / Nom Commune : 31000 / TOULOUSE

Accord ANFR pour l'implantation : 01/10/04

Accord ANFR dernière modification :

Caractéristiques radioélectriques

Hauteur max. des antennes / sol : 17 m

Système	Bande de fréquences
GSM 900/GSM 1800	1713.1 à 1736.9 MHz
GSM 900/GSM 1800	935.1 à 947.5 MHz
GSM 900/GSM 1800	890.1 à 902.5 MHz
GSM 900/GSM 1800	1808.1 à 1831.9 MHz

Identification de la station

N° d'identification : 354922

Exploitant : ORANGE

Adresse : Allée des Sciences Appliquées

Code Postal / Nom Commune : 31000 / TOULOUSE

Accord ANFR pour l'implantation : 01/10/04

Accord ANFR dernière modification :

Caractéristiques radioélectriques

Hauteur max. des antennes / sol : 19 m

Système	Bande de fréquences
UMTS	2154.9 à 2169.7 MHz
UMTS	1910.1 à 1915.1 MHz
UMTS	1964.9 à 1979.7 MHz

Mesure en environnement urbain

- ✓ Site Agence Nationale des Fréquences (ANFR) – outil Cartoradio.

Lieu : TOULOUSE (31)

Référence du point de mesure : 7101

Date de la mesure : 19/10/2005

Situation et caractéristiques du point de mesure

Localisation précise du point de mesure

N°: 16 Rue : Claude de Forbin

Place/Autre :

Code postal : 31400

Ville : TOULOUSE

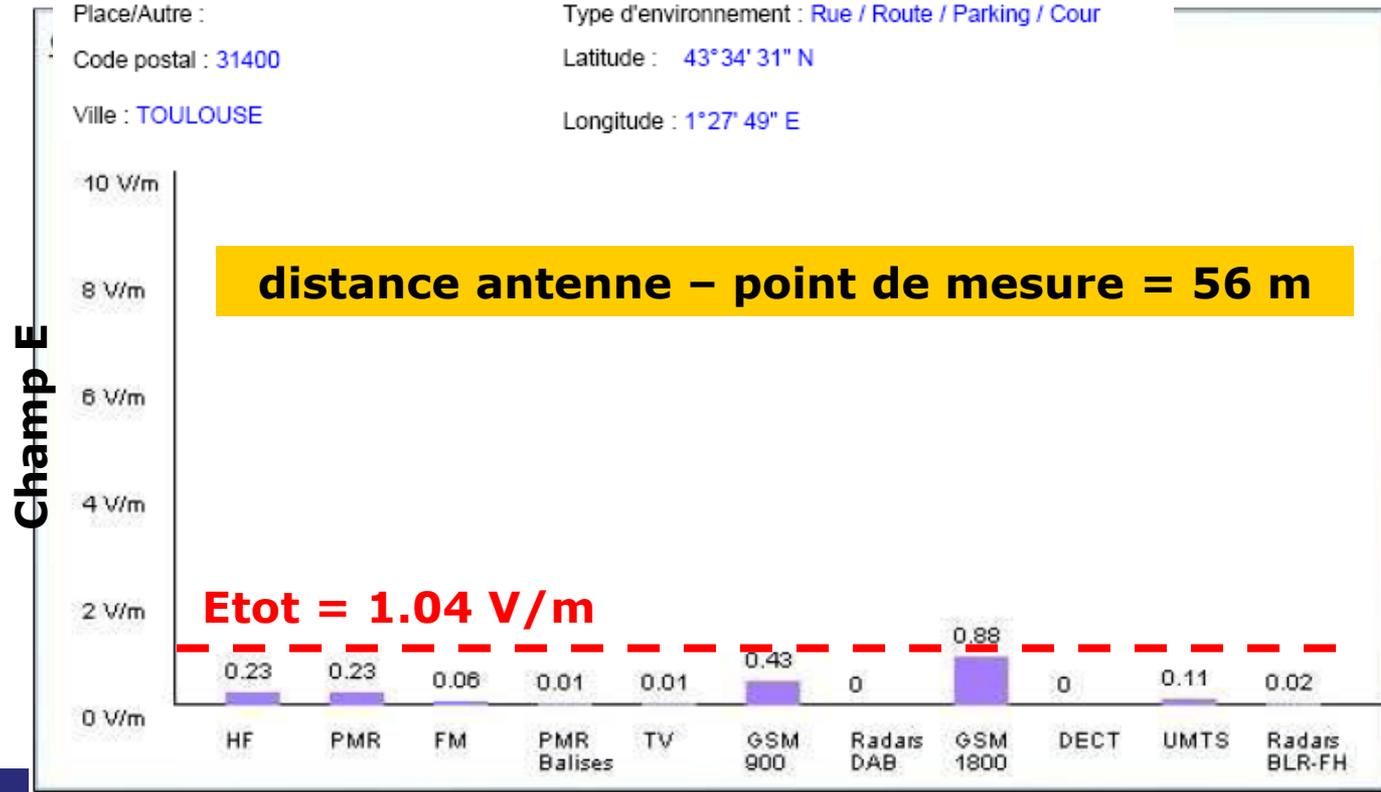
Caractéristiques du point de mesure

Mesure effectuée à l'extérieur

Type d'environnement : Rue / Route / Parking / Cour

Latitude : 43° 34' 31" N

Longitude : 1° 27' 49" E



Mesure en environnement urbain

- ✓ Site Agence Nationale des Fréquences (ANFR) – outil Cartoradio.

Lieu : TOULOUSE (31)

Référence du point de mesure : 15247

Date de la mesure : 09/01/2009

Situation et caractéristiques du point de mesure

Localisation précise du point de mesure

N°: 24 Rue : Emile Guyou

Place/Autre :

Code postal : 31400

Ville : TOULOUSE

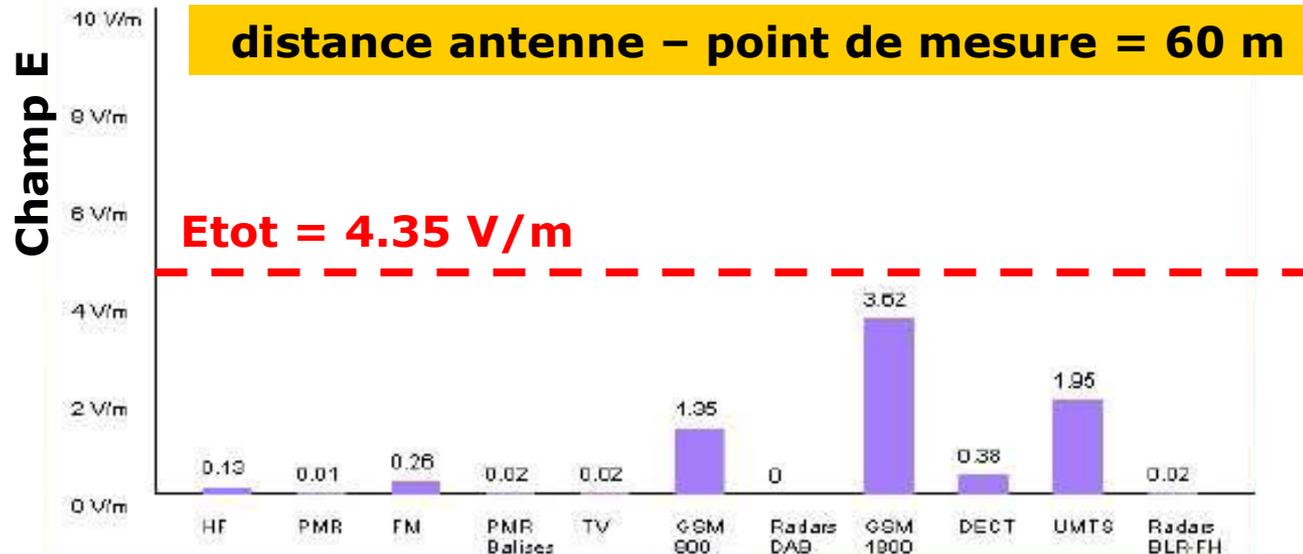
Caractéristiques du point de mesure

Mesure effectuée à l'intérieur

Type d'environnement : Appartement / Pavillon / Bureau

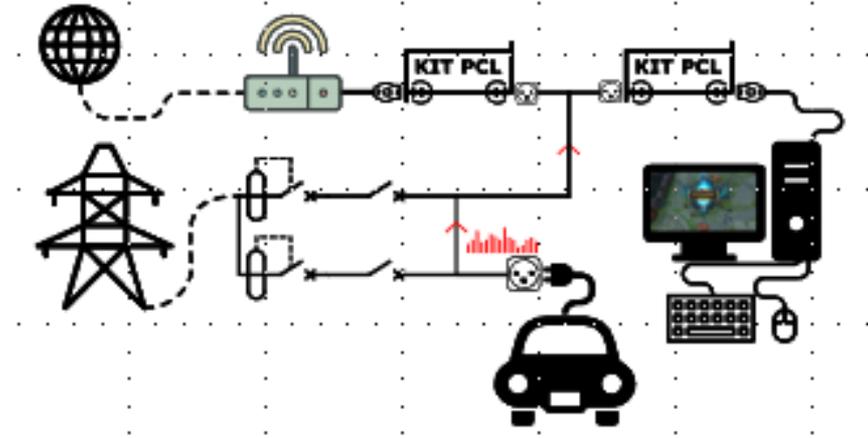
Latitude : 43°34'30" N

Longitude : 1°27'43" E



Nouveaux environnements électromagnétiques : Exemple de la recharge des véhicules électriques

Perturbation d'une connexion internet passant par une liaison CPL :



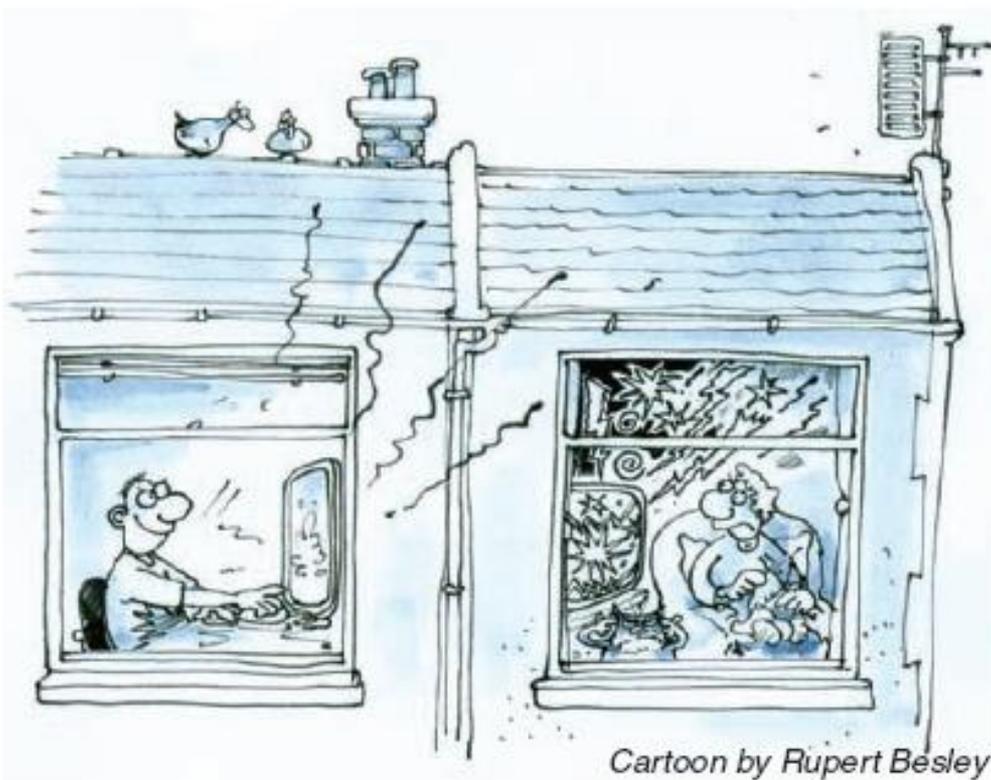
Champ magnétique à proximité d'un poste de recharge sans fil :



- ✓ Recharge par induction
- ✓ 85 kHz
- ✓ 3 – 22 kWh
- ✓ 1 – 10 A/m entre 0 et 1 m
- ✓ Recommandation pour l'exposition aux champ H (3 – 150 kHz) < 5 A/m

III – Interférences électromagnétiques

Un environnement électromagnétique typique ...



Des interférences à l'origine du crash d'un drone

Des interférences à l'origine du crash du drone

Ski alpin Selon un premier rapport d'expertise, l'accident lors du slalom de Madonna di Campiglio mardi soir a été causé par un «dysfonctionnement» dû à de «fortes interférences».



Tribune de Genève – 23/12/2015

Interférences électromagnétiques sur des dispositifs médicaux

- Problèmes rapportés par la FDA entre 1979 et 1993

Types	Cas rapportés	Equipements
Interférences conduites	20 (1 mort)	Cardiac monitor, infusion device, defibrillator..
Interférences rayonnées	55 (4 morts)	Pacemaker, ventilator, cardiac monitor
Champ magnétique BF	6 (1 mort)	Respirator, pacemaker
ESD	10	Respirator, infusion pump

The Jammed Wheelchair: A Case Study of EMC and Functional Safety



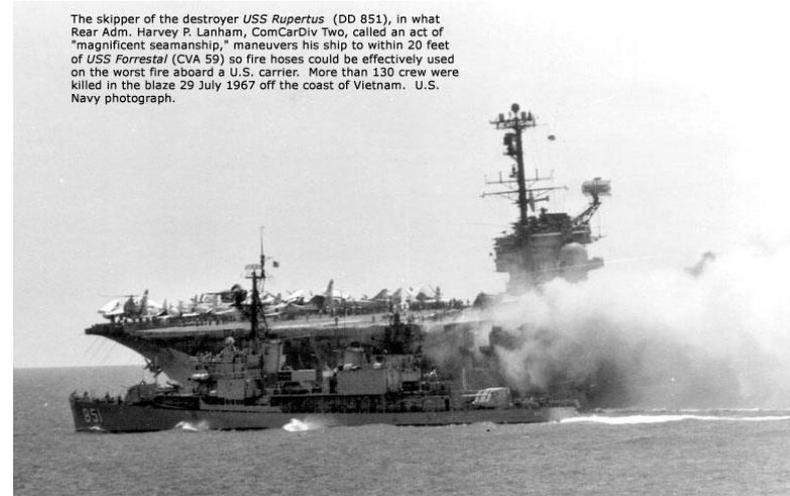
Figure 1. An ordinary street with cars and an electric wheelchair – one environment – different EMC requirements.

http://www.emcs.org/acstrial/newsletters/fall04/63_67.pdf

- Entre 1994 et 2005, la FDA suspectent 405 cas de problèmes liés à des interférences électromagnétiques, conduisant à 6 décès, 170 blessures et 167 dysfonctionnements. 72% des cas concernent des dispositifs portables.

Interférences électromagnétiques dans le domaine militaire

29 juillet 1967 : accident du porte avions américain USS Forrestal. Le lancement accidentel d'un missile fit exploser un réservoir de carburants et un stock de munitions, tuant 135 personnes et causant des dommages qui nécessitèrent 7 mois de réparation. L'enquête montra qu'un radar avait induit une tension parasite sur le câblage d'un avion suffisant pour déclencher le lancement d'un missile.



The skipper of the destroyer *USS Rupertus* (DD 851), in what Rear Adm. Harvey P. Lanham, ComCarDiv Two, called an act of "magnificent seamanship," maneuvers his ship to within 20 feet of *USS Forrestal* (CVA 59) so fire hoses could be effectively used on the worst fire aboard a U.S. carrier. More than 130 crew were killed in the blaze 29 July 1967 off the coast of Vietnam. U.S. Navy photograph.



H.M.S. Sheffield catastrophe: "During the Falklands War, the British Ship H.M.S Sheffield sank after being hit by an Exocet missile. Despite the Sheffield having the most sophisticated antimissile defense system available, the system created EMI to radiocommunications to and among the contingent of Harrier jets assigned to the ship. While the Harriers took off, the missile defense was disengaged to allow communications with the jets and provided a window of opportunity for the Exocet missile."

Interférences électromagnétiques dans l'automobile

Mercedes-Benz case: "During the early years of ABS, Mercedes-Benz automobiles equipped with ABS had severe braking problems along a certain stretch of the German autobahn. The brakes were affected by a near-by-radio transmitter as drivers applied them on the curved section of highway. The near-term solution was to erect a mesh screen along the roadway to attenuate the EMI. This enabled the brakes to function properly when drivers applied them.... Eventually, automobile ABS was qualified by EMI testing prior to procurement."



Interférences électromagnétiques dans l'automobile

"I got in, shut the door, went to press the start button and a message came up saying 'key not identified'," Amanda Stevens, from Noosa, Queensland, told The Sidney Morning Herald. "All the doors locked themselves. I thought, 'That's not good' ... I tried to wind the windows down and open the doors. When that didn't work I started to panic. I was trapped. Within a couple of minutes I was struggling to breathe inside the car, because it was parked in the sun."

Audi to Investigate After Woman Becomes Trapped in Vehicle



Janvier 2014

Interférences électromagnétiques dans l'aviation

« Des perturbations des instruments de bord causant des déviations de trajectoire apparaissent lorsqu'un ou plusieurs passagers allument leurs appareils électroniques. » (Air et Cosmos, Avril 1993)



FAA still searching for cause of ILS interference at the Lubbock Airport

Recommander Soyez le premier de vos amis à recommander ça.

Posted: Feb 12, 2010 6:43 PM

LUBBOCK, TX (KCBD) - Federal Officials continue the hunt for whatever is causing the interference with the safety equipment at the Lubbock airport.



Click image to enlarge

The FAA has a test plane that is circling Lubbock that is looking for the source of the interference that has rendered the ILS inoperable.

The ILS is used for landing planes safely when there is bad weather.

Without it, planes cannot land in low visibility and that has caused flight delays and cancellations for the last 10 days.

Click Image to enlarge

The FAA tells NewsChannel 11 that all of their tests seem to indicate the system is working. Yet, when pilots have to use it, problems have been reported.

The interference could come from old power lines or local businesses. It could even come from trucks going up and down the interstate.

NASA publication 1374 (1986 – 1995)

Victim Equipment

Suspected Cause	Navigation Aids	Communications	VOR	Totals
Cellular Phone	4	1	3	8
Laptop Computer	3	0	2	5
Radio	3	1	0	4
Electronic Game	1	0	2	3
CD Player	0	1	1	2
Tape Player	2	0	0	2
AM-FM Recorder	0	0	1	1
AM-FM Walkman	0	0	1	1
Dictaphone	0	0	1	1
Heart Monitor	0	1	0	2
Television	1	0	0	1
Totals	14	4	11	29

Depuis 2002, l'aviation civile américaine (FAA) rapporte 12 cas avérés de défaillances liées à des interférences électromagnétiques produites pas des appareils électroniques apportés par des passagers.

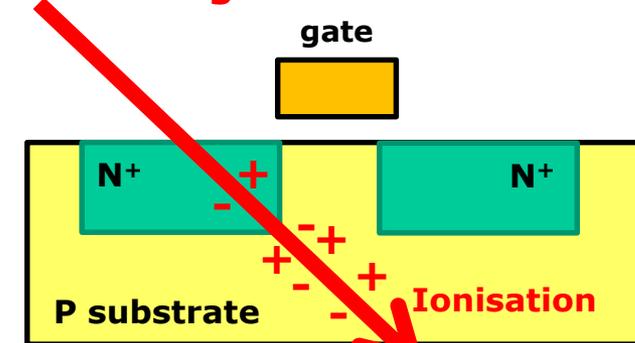
Interférences électromagnétiques dans l'aviation

Vol 72 Qantas – 7 octobre 2008 :

- Anomalie du fonctionnement du pilotage automatique, qui a entraîné une montée puis une descente de 200 m
- Problème liée à une corruption des données envoyées par l' Air Data Inertial Reference Unit.
- Bien que la cause du problème n'ait pas pu être parfaitement identifiée, la cause la plus probable est liée aux Single Event Effects (SEE)



Particule de forte énergie



Circuit CMOS

- ✓ **Risque de changement d'état logique, corruption données mémoire, latch-up**
- ✓ **Avec la réduction de la finesse de gravure des circuits intégrés, la sensibilité aux SEE s'accroît**
- ✓ **Le risque de collision avec une particule à haute énergie s'accroît avec l'altitude**

Interférences électromagnétiques dans le domaine spatial

Russian Satellite Crash May Have Been Caused By EMI

03/09/11 02:16 PM



A Russian Geo-IK-2 satellite launch failed "because of possible external electromagnetic interference from a sea-, land- or air-based source." The satellite was launched by a rocket converted from a SS-19 intercontinental ballistic missile that apparently did its job sufficiently well, but an additional Briz-KM booster malfunctioned. Finally, the Geo-IK-2 was boosted to an abnormal 370 to 1,020 km elliptical orbit. The satellite's solar batteries unfolded and contact

was established, but it could not function properly.

Vacuum cleaner incident: "During a Spacelab mission in 1985, the crew decided to use the middeck vacuum cleaner instead of the one in the lab. Switching the middeck vacuum on caused the voltage to drop and the Remote Acquisition Unit to shut off. In preflight EMI tests, the vacuum cleaner had not been tested and should not have been used in the lab. This case shows how careful and attentive one must be when dealing with EMC." [Nasa Publication 1374]

Interférences électromagnétiques des systèmes radio

NEWS

Giant Radio Telescope Prevents Use of Wi-Fi, Digital Textbooks, Online Standardized Testing at Nearby Public School

04/04/2013

*Interference
Technology, April 2013*



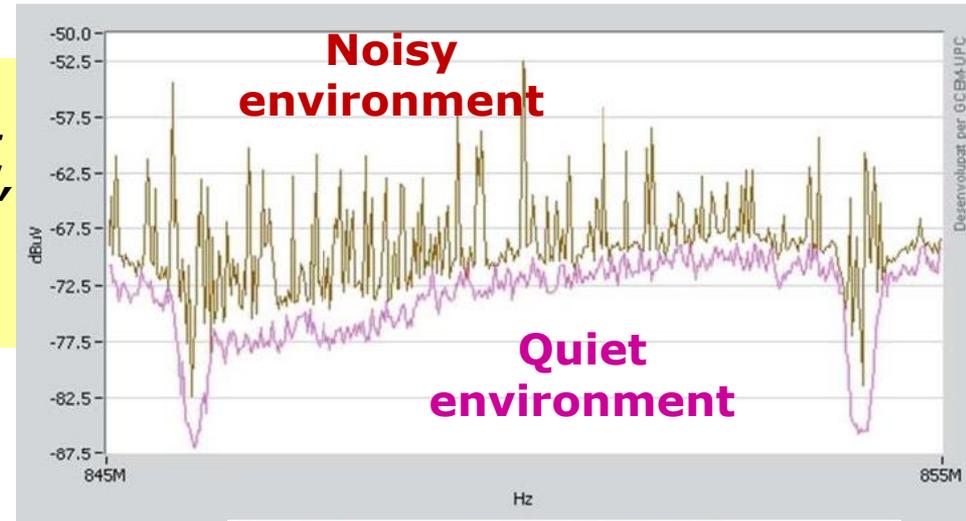
“Students at a small public school in West Virginia are unable to use Wi-Fi because it could interfere with a giant radio telescope located nearby...

If there was no dirt between us and the transmitter, a typical access point would have to be on the order of 1,000,000 km distant to not interfere ...

a standard Wi-Fi access point placed nearby would render a significant range of frequencies unusable for the observatory.”

Interférences électromagnétiques des systèmes radio

F. Leferink, F. Silva, J. Catrysse, S. Batterman, V. Beauvois, A. Roc'h, "Man-Made Noise in our Living Environments", International Union of Radio Science (URSI), Radio Science Bulletin no 334, September 2010

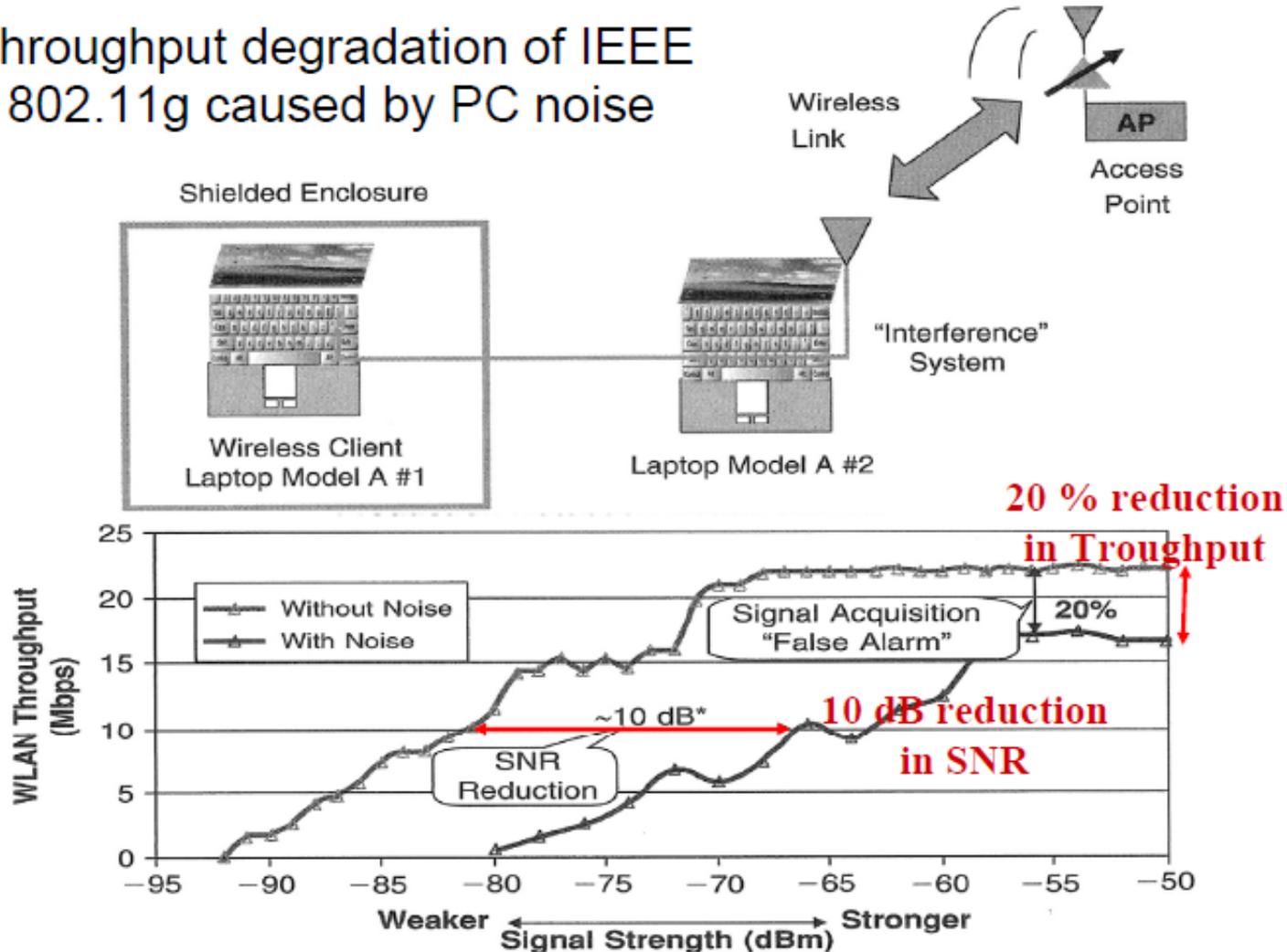


Effet du bruit électromagnétique produit par le passage d'un train sur un récepteur DVB-T placé à proximité d'une voie de chemin de fer



Interférences électromagnétiques des systèmes radio

Throughput degradation of IEEE 802.11g caused by PC noise



K. Slattery and H. Skinner, *Platform Interference in Wireless Systems*, Elsevier (2008)

Définition:

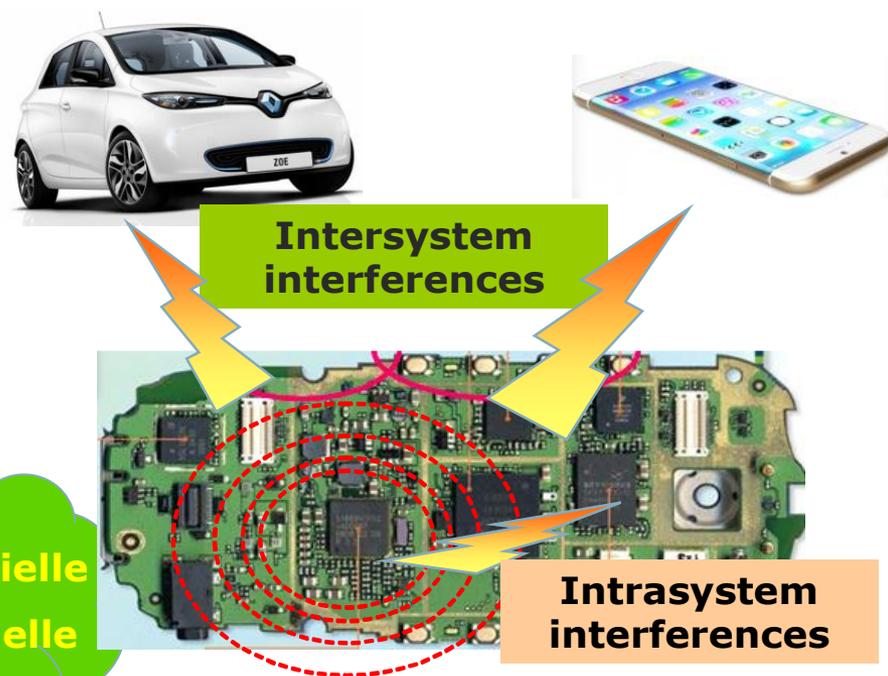
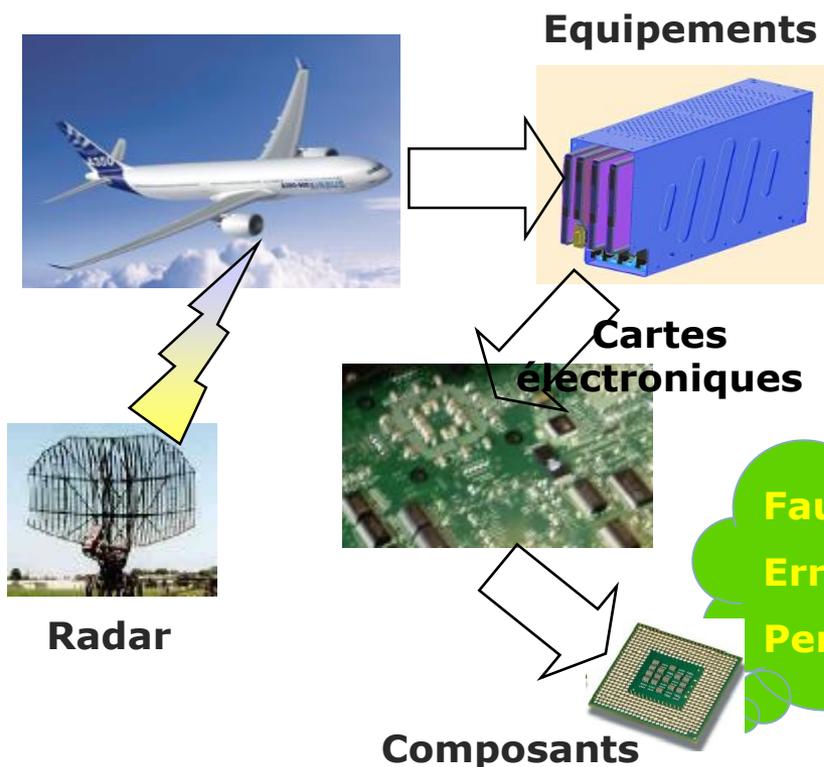
« La capacité d'un composant, équipement ou système à fonctionner de manière satisfaisante dans un environnement électromagnétique donné, sans introduire de perturbations électromagnétiques intolérables pour tout système présent dans cet environnement. »

- ✓ Aspect essentiel pour la sûreté fonctionnelle des applications électroniques
- ✓ Garantir le fonctionnement simultanée de tous les équipements électriques et électroniques dans un environnement électromagnétique donné
- ✓ Réduire l'**émission électromagnétique** parasite et la sensibilité ou **susceptibilité** aux interférences électromagnétiques

Emission et susceptibilité

Susceptibilité aux interférences électromagnétiques

Emission électromagnétique



Faute matérielle
Erreur logicielle
Pertes fonction

Présentation générale d'un problème de CEM

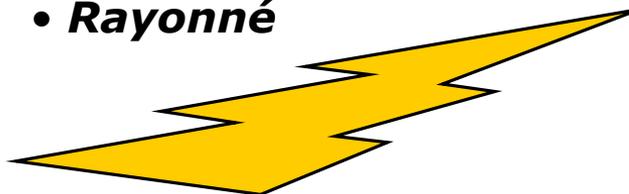
Agresseur



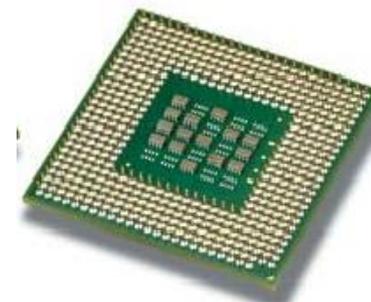
**Emission
électromagnétique
(intentionnelle ou
non)**

Chemin de couplage

- **Conduit**
- **Diaphonie**
- **Rayonné**



Victime

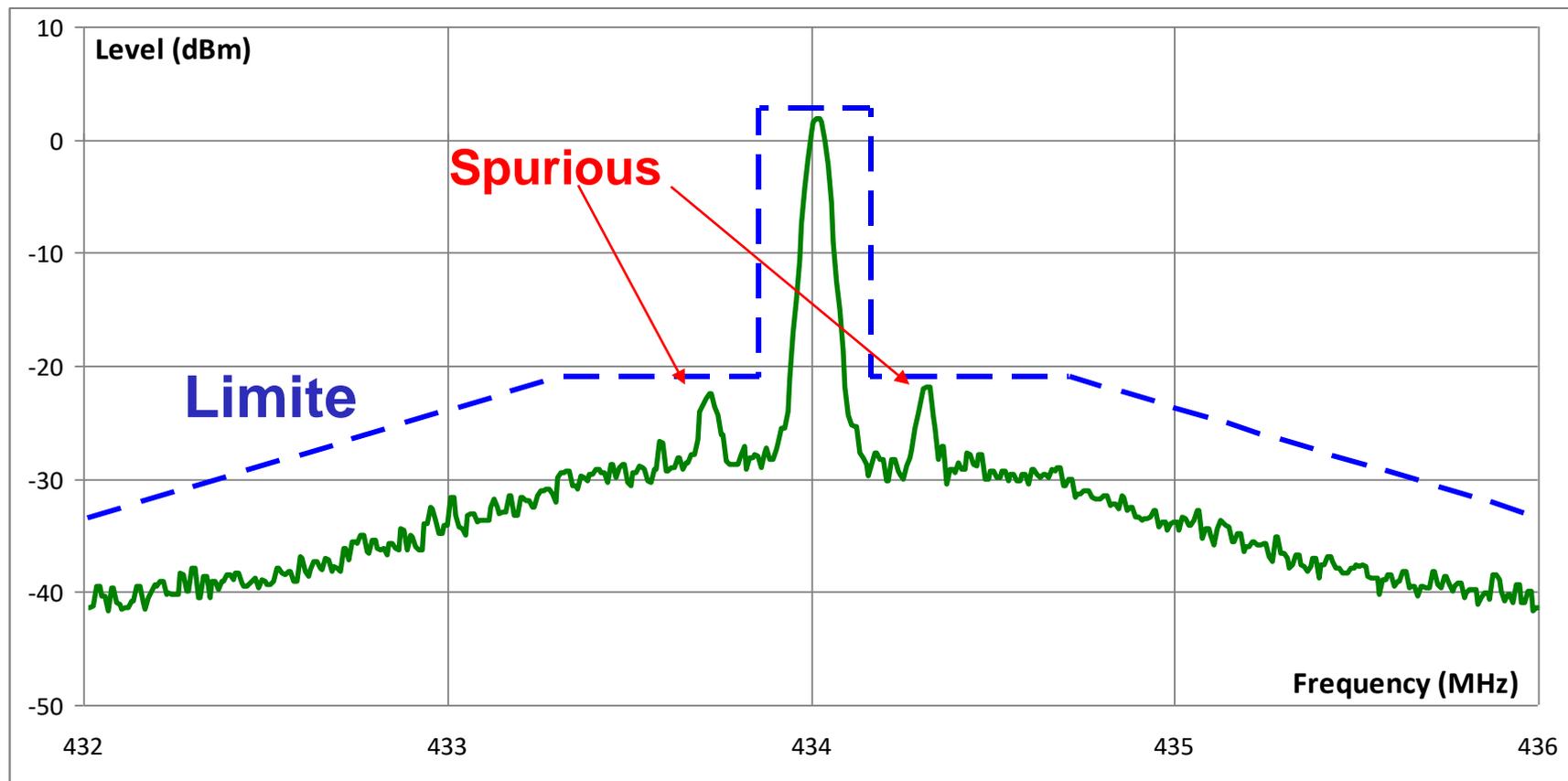


**Susceptibilité
électromagnétique
(perturbation,
défaillance)**

**Résoudre un problème de CEM
consiste à agir sur ces 3
éléments.**

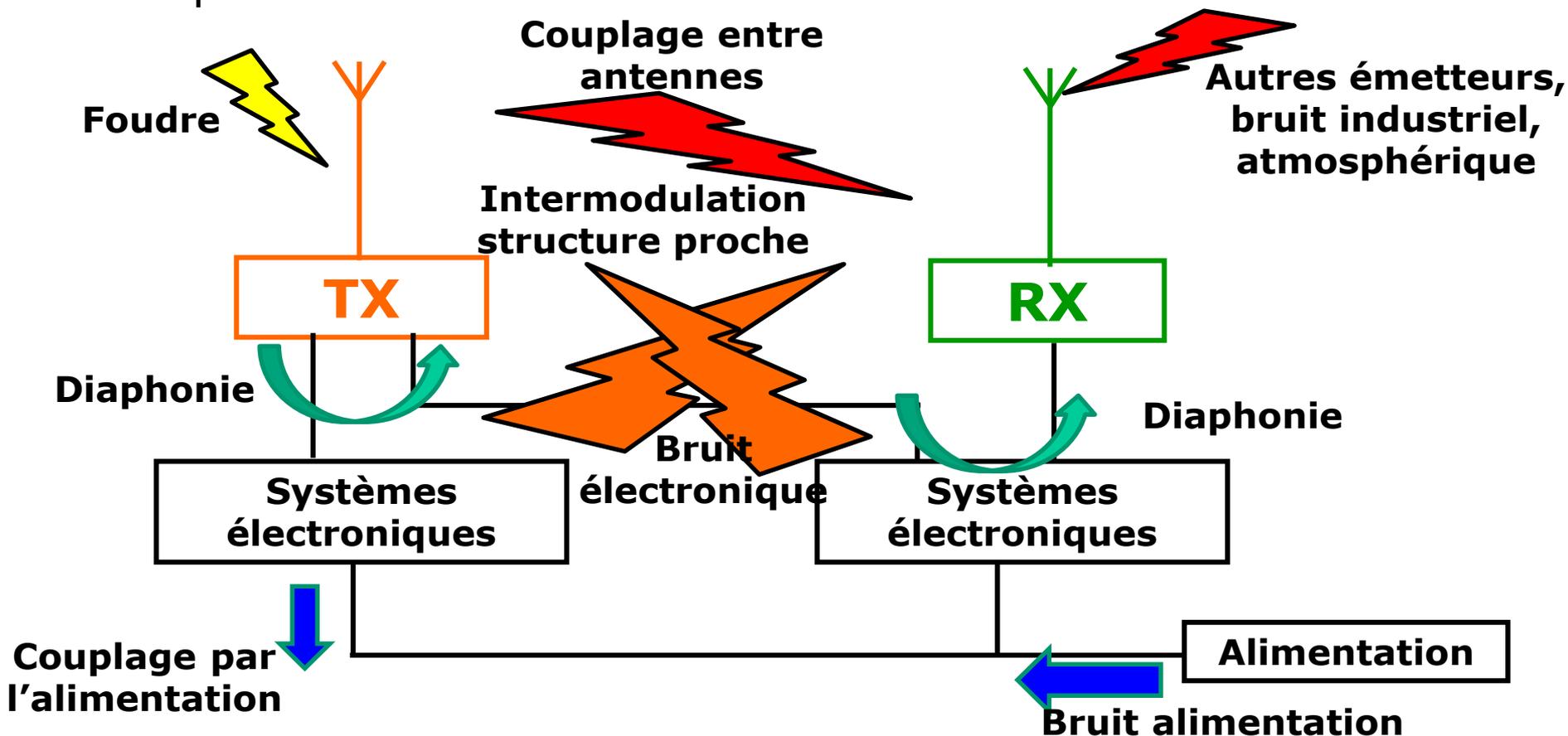
CEM appliquée aux radiocommunications

- ✓ Emission de spurious.
- ✓ Exemple : émetteur à 434 MHz.



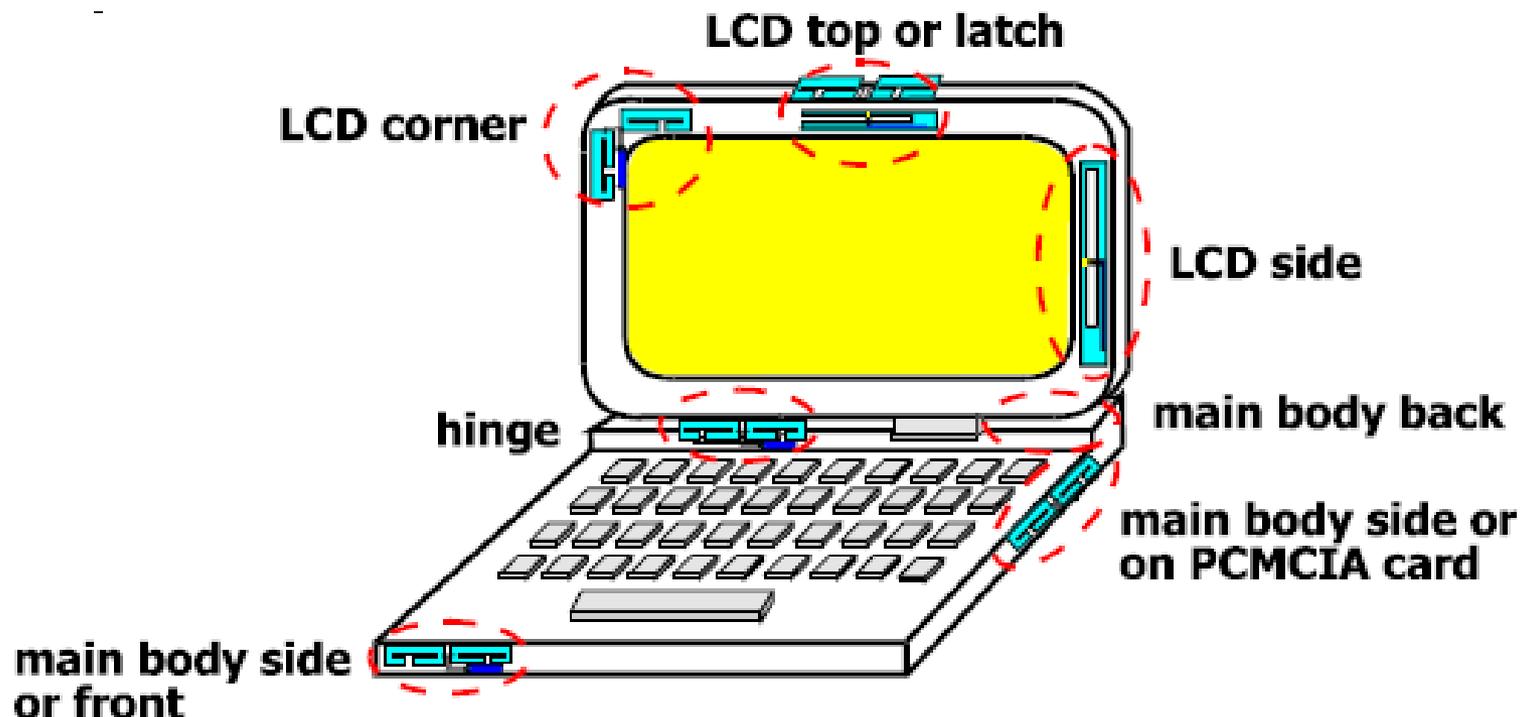
CEM appliquée aux radiocommunications

- ✓ Les problèmes de CEM peuvent exister au sein d'un même site. Les chemins de couplage et les sources de perturbation sont multiples.



CEM appliquée aux radiocommunications

- ✓ Couplage entre antennes au sein d'une application sans fil embarqué.
- ✓ Exemple : ordinateur portable :

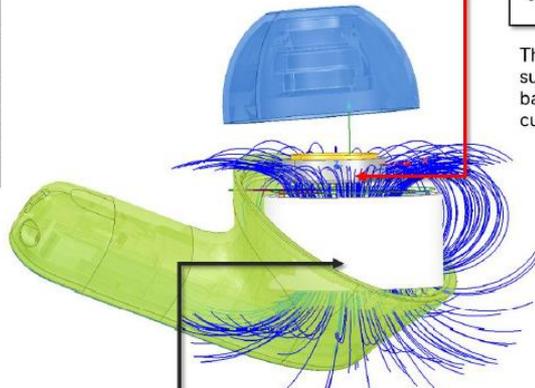


CEM appliquée aux radiocommunications

✓ Exemple : écouteurs sans fil (wireless earbuds)

1

Ampère's circuital law



Due to the battery's internal rolling structure, this magnetic field is superimposed around the core.

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left(I_{enc} + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} \right)$$

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

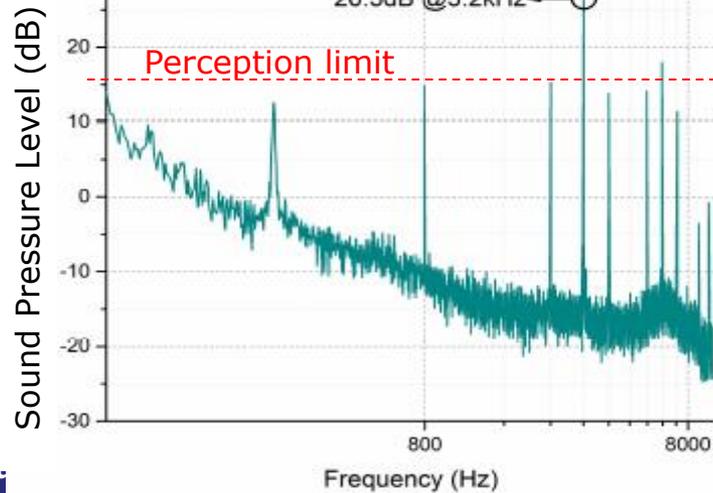
The changing flux superimposed around the battery core generates a current on the coil.

Faraday's law

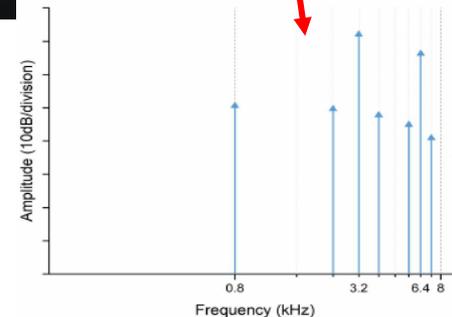


Current Noise at Peak current of 70 mA

26.5dB @3.2kHz



Dégradation du son perçu par l'oreille humaine !



X. Yue, "An Investigation of Lithium-ion Battery Induced Near Field Electromagnetic Interference in Wearable Audio Devices", EMC Europe 2023, Sept. 2023.

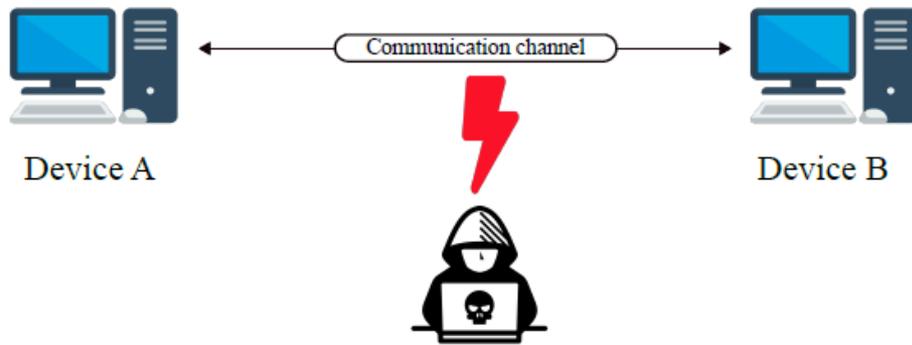
CEM appliquée aux radiocommunications

- ✓ Risques pour les récepteurs :
 - ✓ Désensibilisation (augmentation du seuil de bruit)
 - ✓ Réduction de la portée
 - ✓ Brouillage
 - ✓ Augmentation des temps de latence, réduction des débits
 - ✓ Blocage d'un ou plusieurs canaux de communications

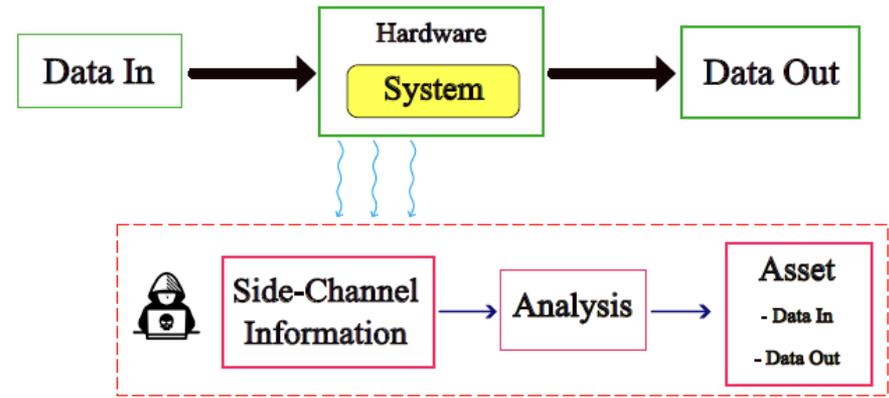
Quelle conséquence pour l'utilisateur ?

Exploitation des émissions électromagnétiques compromettantes

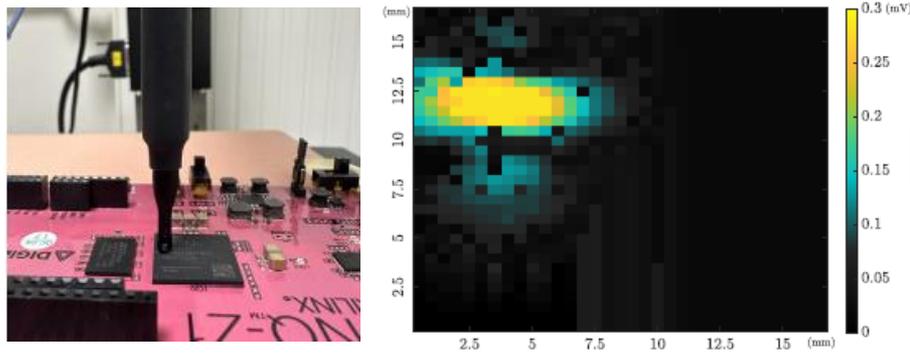
Eavesdropping



Side channel attack (SCA)



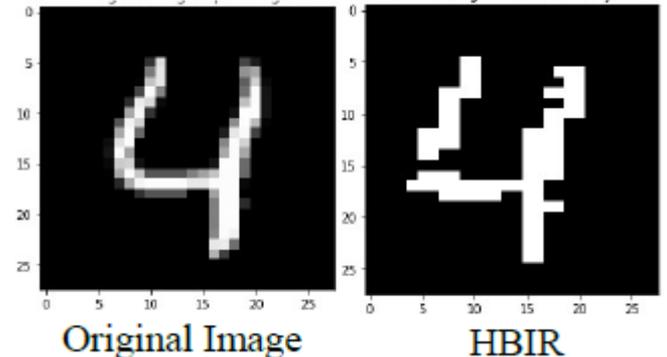
Near-field scan



processing



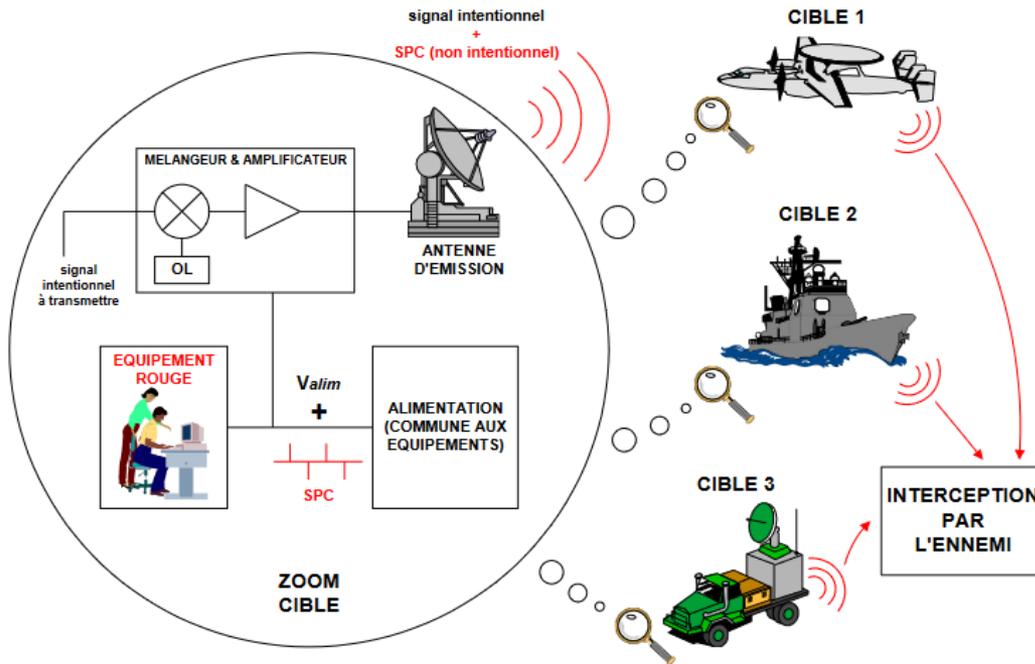
Image, message, encryption key extraction



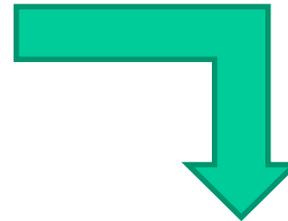
M. M. Thu, « Exploitation of EM Emanations of a SoC-FPGA Bus to Eavesdrop the Internally Processed Images of a Deep Learning Accelerator », Jan. 2025, IETR Rennes.

Emission compromettante (eavesdropping) – Exemple : TEMPEST

- ✓ Problématique TEMPEST liée aux **Signaux Parasites Compromettants**.



Réglementation TEMPEST (OTAN SDIP27) → règles de conception, d'installation et tests.



Source : THALES

IV– Réglementation CEM

Les directives européennes pour les produits électroniques

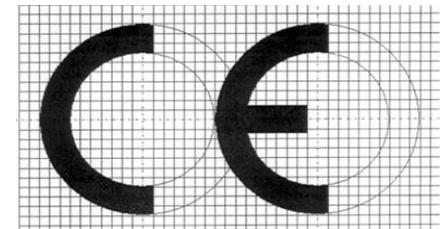
- ✓ Directive européenne RED 2014/53/UE : concerne les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications
- ✓ Directive européenne CEM 2014/30/UE : compatibilité électromagnétique des produits électroniques
- ✓ Directive européenne basse tension BT 2014/35/UE : sécurité électrique des produits fonctionnant de 0 à 1000 volt AC et 1500 DC
- ✓ Directive européenne RoHS 2011/65/UE : limitation de six substances dangereuses dont le plomb
- ✓ Directive européenne DEEE 2012/19/UE : relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques

Directive européenne CEM

- ✓ La directive européenne 2014/30/UE (2016) exige que tout « appareil électrique » placé sur le marché européen :
 - Ne génère pas d'interférences électromagnétiques capables de perturber les équipements radio ou télécom, ainsi que le fonctionnement de tout équipement
 - Ait un niveau d'immunité aux interférences électromagnétiques tels qu'il n'y ait pas de dégradation de son fonctionnement.

- ✓ Tout fabricant « d'appareil électrique » doit attester que cette directive est **supposée** respectée, en délivrant une déclaration de conformité, un rapport de conformité et en apposant un marquage CE sur le produit.

- ✓ Il est recommandé d'utiliser le ou les **standards harmonisés** (limites+ méthodes de test) adaptés au produit et à son environnement pour vérifier la supposition de conformité à la directive CEM.



Marquage CE (Conformité Européenne)

Directive européenne RED

- ✓ La directive européenne 2014/53/UE (1999) Radio Equipment Directive s'appliquant à tout équipement radioélectrique émettant sur la bande 0 Hz – 3000 GHz remplace la directive CE (ainsi que la directive Low voltage sur les risques pour la sécurité et la santé des utilisateurs).
- ✓ Elle exige que les équipements radioélectriques placés sur le marché européen :
 - Respecte les contraintes de sécurité pour les personnes imposées par la directive Low Voltage (**2014/35/UE**) (notamment les limites de rayonnement EM) et les contraintes de protection CEM imposées par la directive **2014/30/UE**.
 - Les équipements radio utilise les ressources spectrales allouées pour les communications terrestres et spatiales de manière à éviter toute interférence

✓ Marquage prévu :

Obligatoire pour tous les équipements concernés par la directive RED



Signe d'alerte obligatoire pour les équipements classe 2

Directive CEM hors d'Europe ?

- Etats Unis : Federal Communications Commission (FCC)
- Canada : Industrie Canada (IC)
- Japon : Voluntary Control Council for Interference by Information Technology Equipment (VCCI)
- Chine : China Compulsory Product Certification (CCC)
- Australie – Nouvelle-Zélande : Australian Communications Authority (ACA)
- Taïwan : Bureau of Standards, Metrology and Inspection (BSMI) et National Communications Commission (NCC)
- Russie : GOST (State Committee for Quality Control and Standardization ...)



Des approches réglementaires de la CEM et des standards pas forcément harmonisés entre pays.

Cependant des accords de reconnaissance mutuelle (Mutual Recognition Agreements (MRA)) existent entre différents pays pour faciliter l'accès au marché.

Organismes de standardisation CEM

International

International Electrotechnical Commission (IEC)

TC77

Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR)

IEC 61000-X

CISPR-XX

Européen

European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)

European Telecommunication Standards Institute (ETSI)

Standards Harmonisés

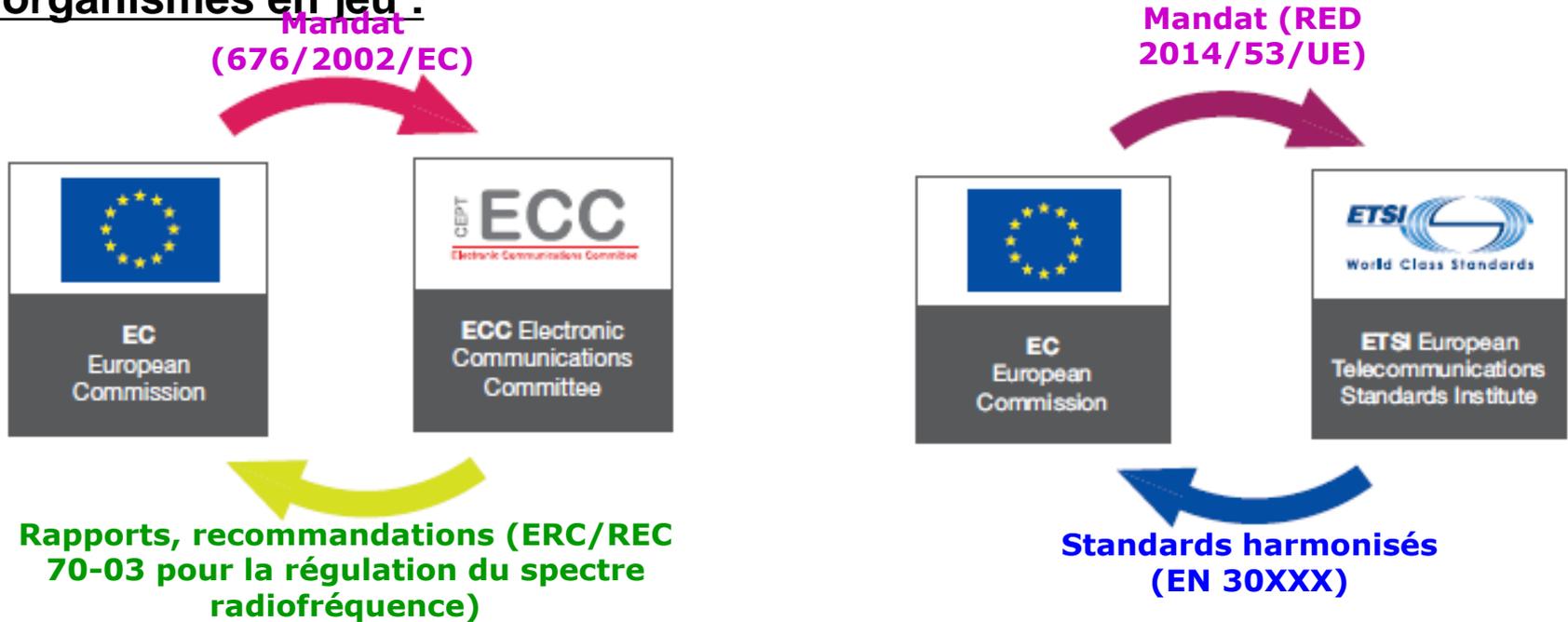
EN 50XXX
EN 55XXX
EN 6XXXX

EN 300XX



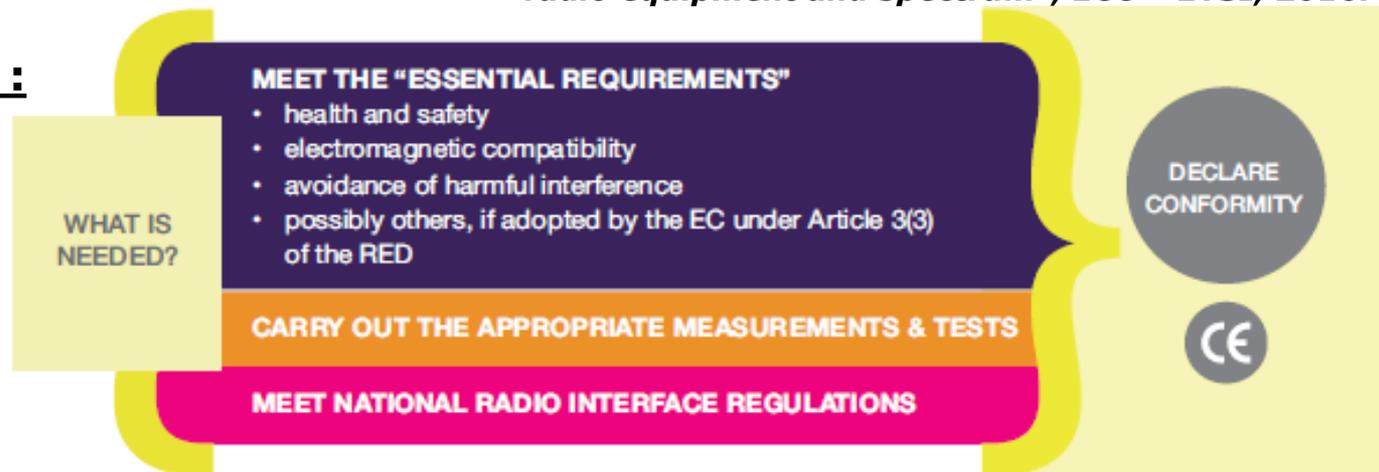
Réglementation CEM et radio au niveau européen

Les organismes en jeu :



Brochure « The European regulatory environment for radio equipment and spectrum », ECC – ETSI, 2016.

Les responsabilités :



Standards commerciaux harmonisés EN XXXXX (liste non exhaustive)

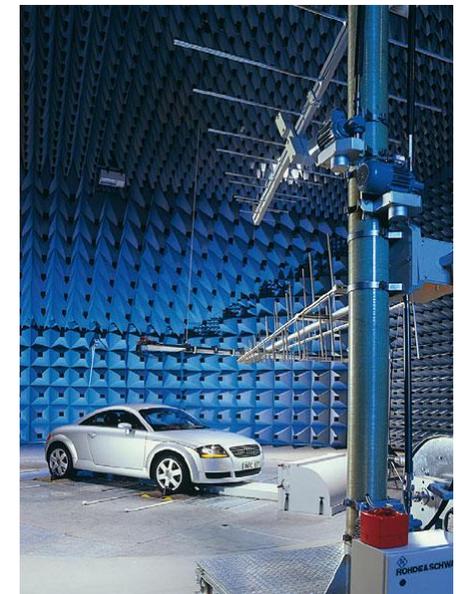
Basic standard (general and fundamental rules)	<i>EN 61000-4-x</i> (IEC61000-4-x)	EMC – Testing and measurement techniques
Generic standard (for equipments in a specific environment)	EN 61000-6-3 (IEC61000-6-3)	Generic Emission Standard, for residential, commercial and light industrial environment
	EN 61000-6-1 (IEC61000-6-1)	Generic Immunity Standard, for residential, commercial and industrial environment
Product standard (for a specific product family)	EN 55022 (CISPR22)	Information technology equipment (ITE)
	EN 55014 (CISPR14)	Household appliances, electric tools and similar apparatus
	EN 55012 (CISPR12)	Vehicles, boats and internal combustion engines
	EN 330220 (ETSI 330 220)	Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW;
	EN 330330 (ETSI 300330-1)	Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Short Range devices (SRD); Radio equipment to be used in the frequency range 9 KHz to 25 MHz and inductive loop systems in the frequency range 9 KHz to 30 MHz

Autres standards

- ✓ Les secteurs automobiles, militaires, aéronautiques, ferroviaires ont des standards CEM propres.
- ✓ Raisons historiques ou propres au secteur.



Applications	Références de standard
Automobile	ISO 7637, ISO 11451, ISO 11452, ISO 10605, CISPR 25, SAE J1113
Aéronautique	DO-160, ED-14
Militaire	MIL-STD-461D, MIL-STD-462D, MIL-STD-461E



Rohde&Schwarz

Cas d'étude n° 1

- Vous souhaitez vendre sur le marché européen un ordinateur portable type « Notebook ».
- Etes-vous soumis à la directive européenne CEM 2004/108/EC ?
- Si oui, quel(s) standard(s) harmonisés devriez-vous suivre ? Quels sont les tests que vous devriez mener pour assurer la certification CEM ?



Cas d'étude n° 1

- Application des standards harmonisés EN55022 : “Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement” et EN55024 : « Information technology equipment – Immunity characteristics – Limits and methods of measurement » :
 - Tout équipement dont la fonction principale est le traitement, le stockage, l’affichage, le contrôle de données, avec au moins un terminal pour le transfert d’information et une tension d’alimentation < 600 V.
 - Exception de tout équipement ou module de l’équipement ayant pour fonction l’émission ou la réception radio.



Cas d'étude n° 1

■ Tests d'émission suggérés :

Conducted emission	150 KHz – 30 MHz on power supply mains
	150 KHz – 30 MHz on telecommunication ports
Radiated emission	30 MHz – 6 GHz @ 3 or 10 m

■ Tests d'immunité suggérés :

ESD	+/- 4 KV contact, +/- 8 KV air
EFT / burst	5/50 ns, 1 KV, 5 KHz repetition
Conducted immunity	150 KHz – 80 MHz, 3 V rms
Radiated immunity	80 – 1000 MHz, 3 V/m, modulation AM 1 KHz 80%
Surge	1 KV 1.2/50 μ s pulse on power
Voltage dips and interruptions	40 % variations of the power supply, repeated 5x



Cas d'étude n° 2

- Vous souhaitez vendre sur le marché européen un émetteur/récepteur radio pour une application de télécommande dans un environnement résidentiel. L'émetteur fonctionne sur une des bandes ISM (434 MHz). Sa puissance d'émission est limitée à 500 mW. Il s'agit d'un équipement portable
- Etes-vous soumis à la directive européenne CEM 2004/108/EC ?
- Si oui, quel(s) standards harmonisés devriez-vous suivre ? Quels sont les tests que vous devriez mener pour assurer la certification CEM ?

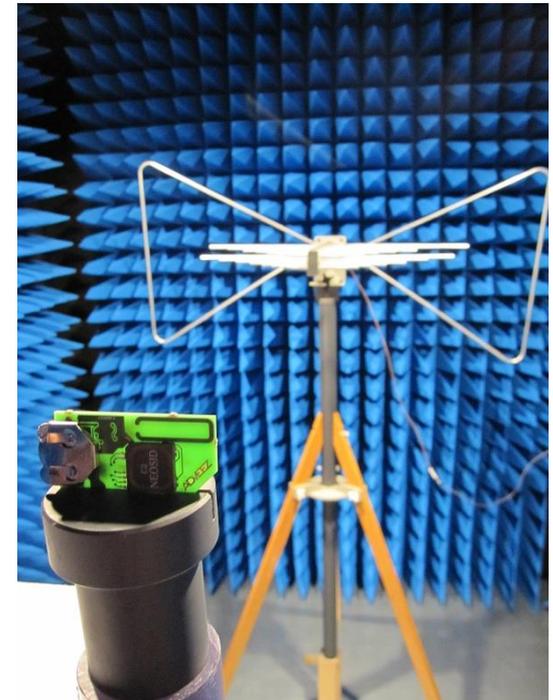
Cas d'étude n° 2

- Pas directement concerné par la directive CEM 2004/108/EC, mais par la directive RED 2014/53/UE.
- Le standard harmonisé EN 300220: “Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Short Range devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW” est adapté aux équipements radio de faible portée fonctionnant entre 25 et 1000 MHz :
 - Présentant une sortie radiofréquence avec une antenne intégrée ou non;
 - Pour des alarmes, de l'identification, des télécommandes, télémétrie...
 - Stations fixes, mobiles et portables;
 - Pas de limitations vis à vis du type de modulation.

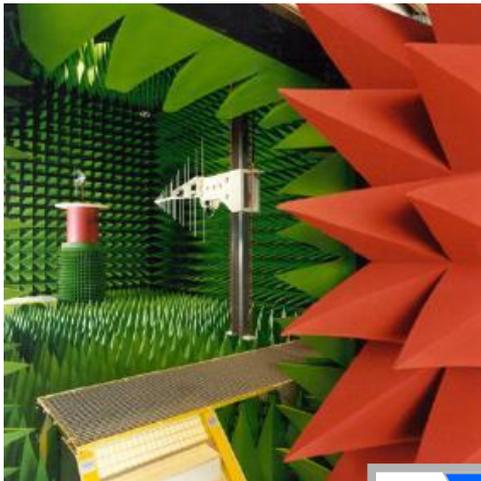
Cas d'étude n° 2

■ Tests suggérés :

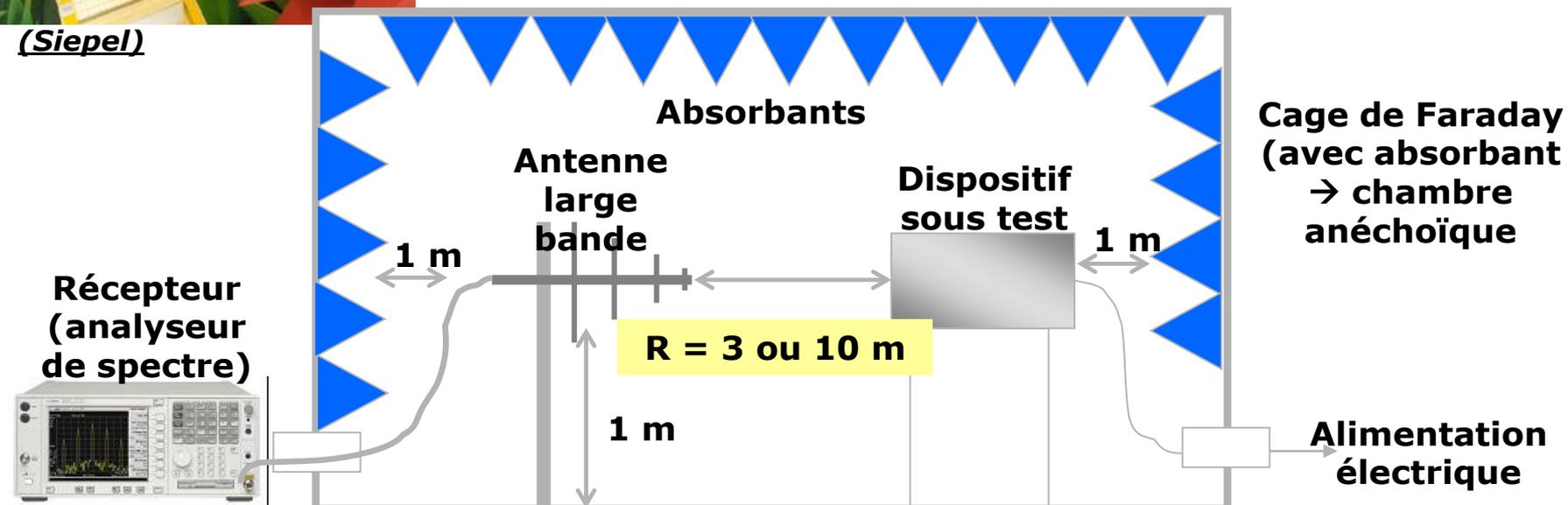
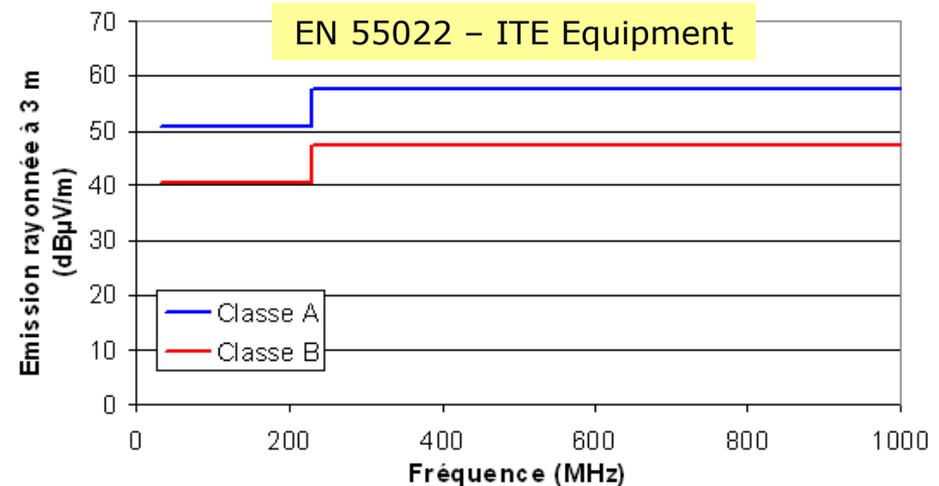
Frequency error or drift	Does the carrier frequency remains stable?
Effective radiated power	The radiated power must not exceed a max. level (< 500 mW)
Transient power	The switching of the transmitter produces interferences in adjacent spectrum
Adjacent channel power	The power transmitted in adjacent band must be limited.
Spurious emissions	Parasitic emissions from the emitter and receiver between 9 KHz and ?? Must be limited.
Frequency stability under low voltage conditions	The emission from the transmitter must remain stable even in extreme low power conditions.
Duty cycle	The manufacturer must indicate the duty cycle of the equipment
Blocking or desensitization	Capability of the receiver to receive a wanted signal in presence of unwanted signal
Electrostatic Discharge	Does the equipment withstand a given level of ESD (1 – 8 KV)?



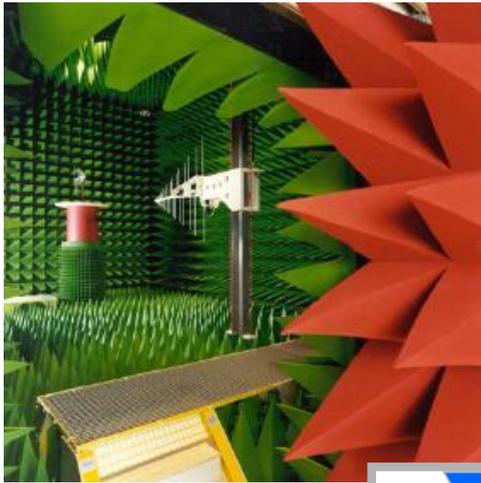
Exemple de test d'émission : émission rayonnée en chambre anéchoïque (30-1000 MHz)



(Siepel)



Exemple de test d'immunité : immunité rayonnée en chambre anéchoïque (30-1000 MHz)



(Siepel)

Niveau RI typique (harmonique) :

Produit commercial : 3 – 10 V/m

Automobile (ISO-11452-2): 25 – 200 V/m

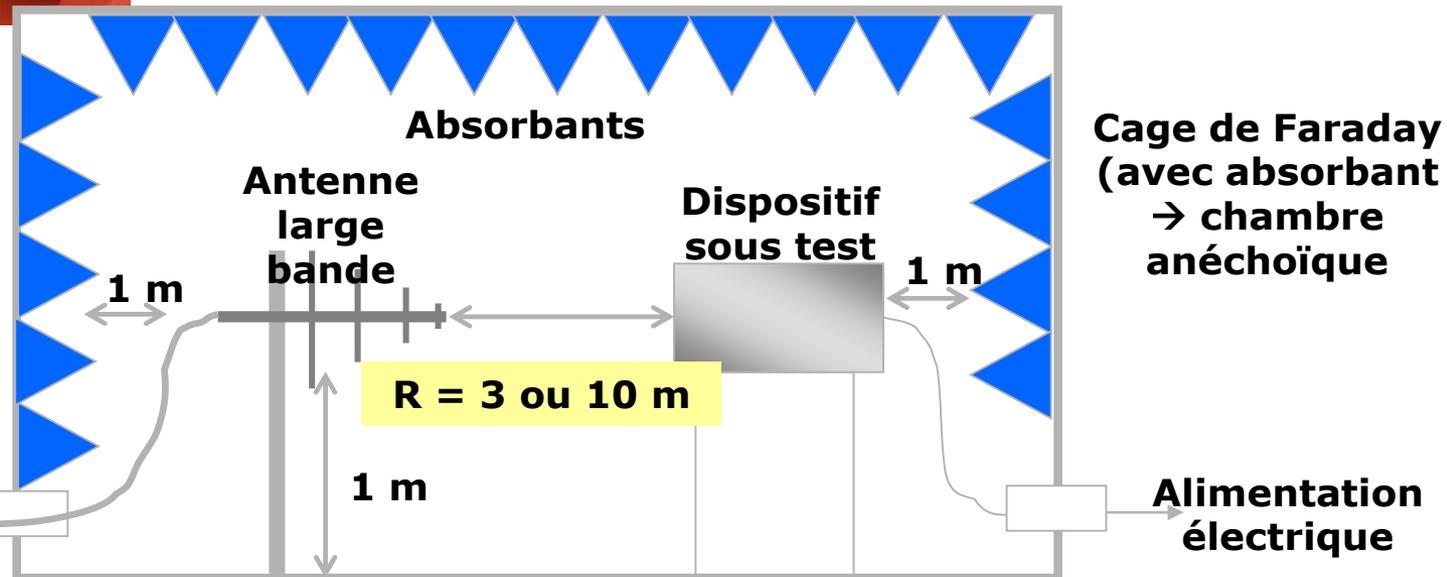
Militaire (MIL-STD461E): 20 – 200 V/m

Aviation civile (DO160-D): 8 – 800 V/m

Synthétiseur de signal



Amplificateur RF (> 100W)



Les équipements suivants sont-ils soumis à une directive CEM ?

✓ Une clé USB WiFi fonctionnant sur une bande dite ISM (libre de droit)



✓ Une carte mère d'un serveur informatique



✓ Une antenne passive pour application RFID



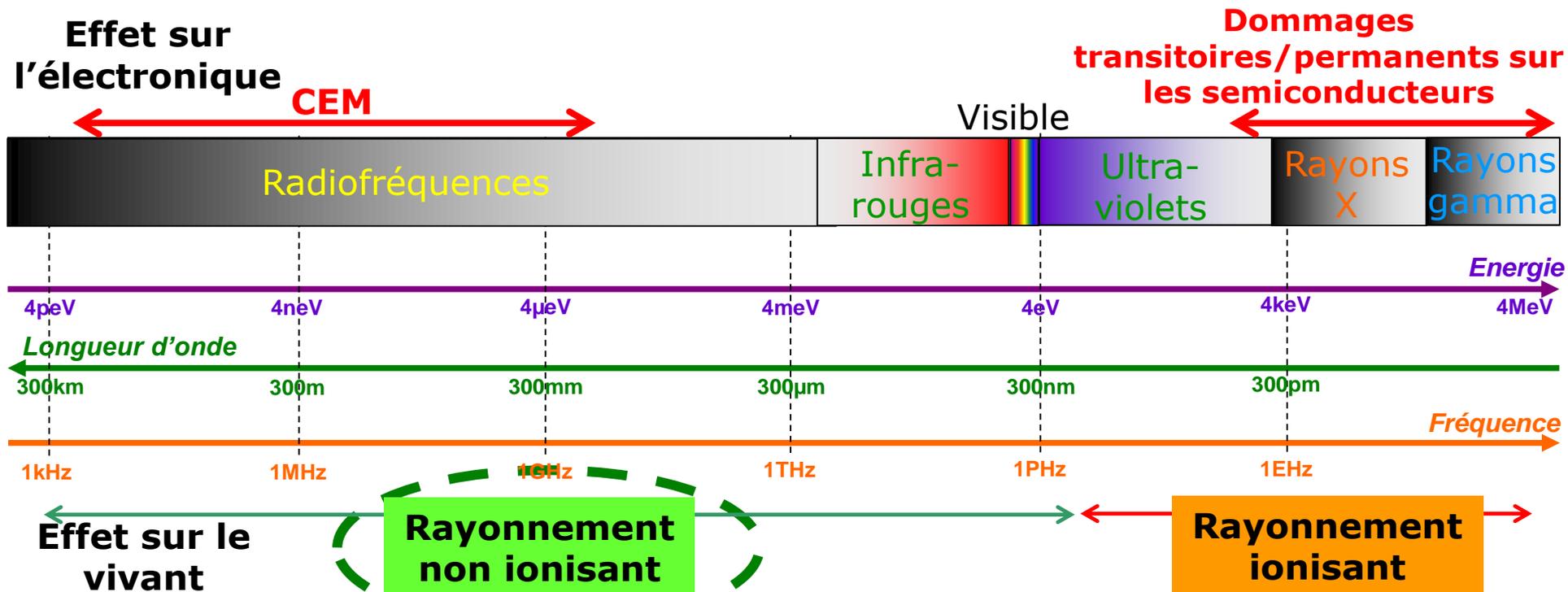
✓ Un casque audio sans fil



V – Exposition des personnes aux champs électromagnétiques

Rayonnement ionisant vs. Non ionisant

- ✓ Quelque soit la fréquence, les propriétés des champs électromagnétiques sont les mêmes.
- ✓ Seule l'énergie change !
- ✓ Un rayonnement ionisant présente suffisamment d'énergie (par photon) pour ioniser la matière → dommages dans les tissus vivants pouvant être nocifs à forte dose.



Études sur les effets biologiques des champs radiofréquences**Tableau II** – Études sur les effets biologiques des RF (téléphonie mobile et Wi-Fi) répertoriées par l’OMS en mai 2009.

<i>Type d'étude</i>	<i>En cours</i>	<i>Non encore publiées</i>	<i>Publiées</i>
<i>Physique</i>	67	12	425
<i>Épidémiologie</i>	33	10	147
<i>Études humaines</i>	42	14	189
<i>Études animales</i>	37	18	203
<i>Études in vitro*</i>	52	24	192
Total	231	78	1 156

A. Perrin, M. Souques, "Champs électromagnétiques, environnement et santé", Springer, 2010.

Champ magnétique statique

Champ magnétique terrestre	50 μT
Aimants pour les produits commerciaux	0.5 mT
Electroaimant	10 – 100 mT
Imagerie par résonance magnétique	0.15 – 3 T
IRM imagerie du cerveau	10 T

$$1 \mu\text{T} = 1.257 \text{ A/m}$$

- ✓ Etude in vitro : effet biologique au-delà de qq T
- ✓ Etude animale : effet cardiovasculaire et neurologique significatif au-delà de 8 T.
- ✓ Etude humain : pas d'effets clairs sur les fonctions cardiovasculaires et neurologiques à 8 T. Effets transitoires (nausée, vertige, goût métallique, phosphènes) à 2 – 3 T.

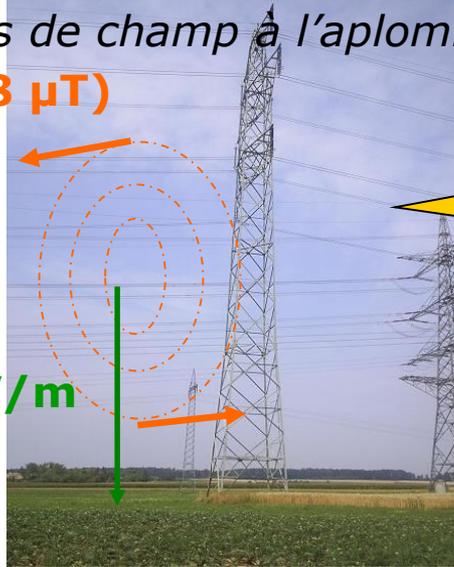
Champ magnétique basse fréquence (1 – 100 KHz)

Ligne très haute tension (400 kV)

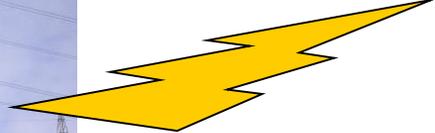
(valeurs de champ à l'aplomb des lignes)

$H < 10 \text{ A/m}$ ($8 \mu\text{T}$)

$E \approx 5 \text{ KV/m}$



Effet indirect



Pièce métallique



Courant induit

Effet direct sur l'humain



Apparition de courant (bon conducteur en BF)

- ✓ Effets indirects: induction de courant sur les pièces métalliques, pouvant créer une gêne chez les humains et les animaux en cas de contact. Pas de risque sanitaire avec niveaux de champs usuels.
- ✓ Champ électrique : pas de pénétration dans le corps humain (« cage de Faraday »), dans les bâtiments, uniquement apparition de charges superficielles et courant de décharge.
- ✓ Seule réaction biologique observée : gêne liée au courant de fuite (2 à 5 KV/m @ 50/60 Hz)

Champ magnétique basse fréquence (1 – 100 KHz)

- ✓ Champ magnétique : pénétration dans le corps humain, induction de courant.
- ✓ Réactions biologiques observées :
 - Si très intenses : contraction musculaire, troubles rythmes cardiaques
 - Effets transitoires tels qu'une affectation de la coordination motrice à 1 – 2 mT @ $f = 1-20$ Hz. Phosphènes à 5 mT @ 20 Hz.
- ✓ Pas d'augmentation du risque de cancers et d'affections neurodégénératives
- ✓ Léger accroissement du risque de leucémie chez l'enfant à long terme (0.4 μ T) :
 - Corrélation statistique, mais causalité non démontrée
 - 1 cas supplémentaire pour une population de 35 millions de personnes
 - Passage du champ H ELF dans catégorie 2B (potentiellement cancérigènes) par le CIRC.

Champ magnétique basse fréquence (1 – 100 KHz)

- ✓ Valeurs de champ magnétique à proximité d'appareils d'électroménagers (alimentés par réseau secteur à 50 Hz)

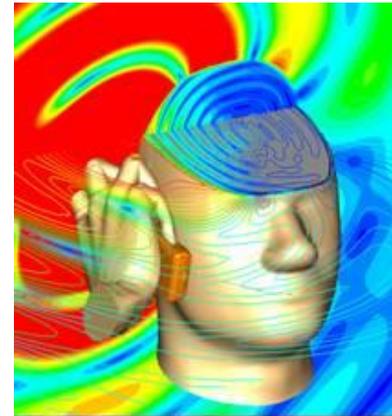
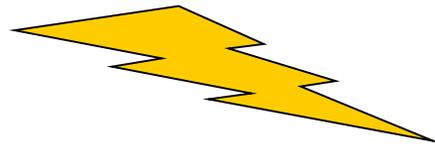
<i>Applications domestiques</i>	<i>Champ magnétique (μT)</i>		
	<i>3 cm</i>	<i>30 cm</i>	<i>1 m</i>
Télévision	30	2	0,1
Batteur électrique	50	1	0,05
Perceuse électrique	800	3	0,1
Rasoir électrique	1 000	6	0,2
Couverture chauffante électrique	10 à 20	3,6	
Micro-ordinateur		2	
Four à micro-ondes		1,60	
Lave-vaisselle		0,8	

A. Perrin, M. Souques, "Champs électromagnétiques, environnement et santé", Springer, 2010.

Expositions aux ondes radiofréquences (100 KHz – 300 GHz)



Onde
électromagnétique



**Absorption et
échauffement**

- ✓ Effets thermiques : absorption du champ électromagnétique qui provoque une élévation de température locale ou globale.
- ✓ Une augmentation de température $> 1^{\circ}\text{C}$ peut conduire à un dérèglement de la régulation thermique \rightarrow effet sur la santé.
- ✓ Effet direct sur la santé : les études in-vitro, animale et épidémiologiques convergent en faveur d'une absence d'effet direct.
- ✓ Effet du portable : résultat plutôt négatif, mais études épidémiologiques faites sur des durées courtes (10 ans).
- ✓ Passage des champs RF dans la catégorie 2B par le CIRC.

Définition des niveaux de référence - Organismes de normalisation



ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)

Recommandations

Institution politique, agence gouvernementale

Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Centre international de recherche sur le cancer (CIRC)

Union Européenne



Recommandation 1999/519/EC : limitation à l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0 Hz à 300 GHz)



Directive 2004/40/EC : limitation à l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques (0 Hz à 300 GHz)

Limites d'exposition aux champs statiques

✓ Niveaux de référence recommandés par l'ICNIRP :

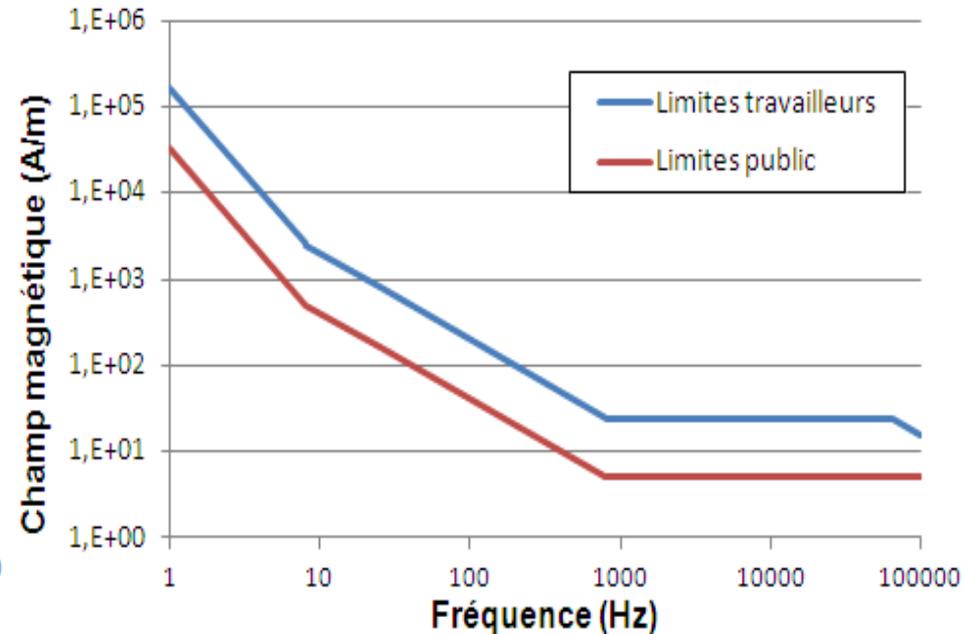
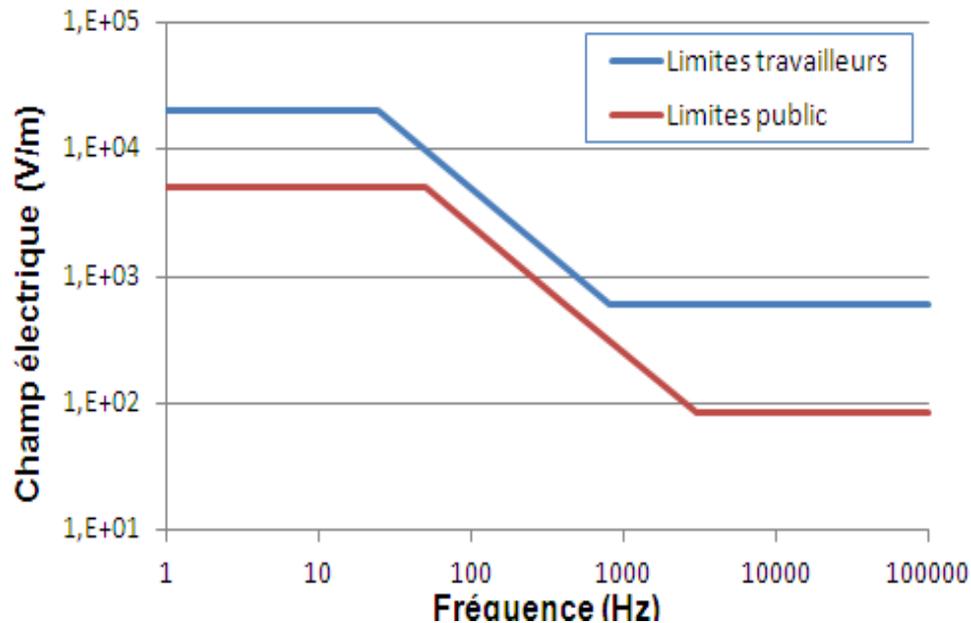
Exposition	Caractéristiques	Flux magnétique max.
Travailleurs (environnement contrôlé + pratiques de travail appropriées)	Tête et tronc	2 T
	Autres membres	8 T
Public		400 mT

✓ Niveaux de référence définie par l'UE :

Exposition	Flux magnétique max.
Travailleurs	200 mT
Public	40 mT

Niveaux de référence pour les champs basses fréquences

- ✓ Entre 1 Hz et 1 MHz, les limites basées sur la densité de courant induite minimum pour induire des effets sur le système nerveux ($J_{max} = 10 \text{ mA/m}^2$).
- ✓ Exposition des travailleurs et du public aux champs E et H :



Effets thermiques – Dose maximum (100 KHz – 10 GHz)

- On caractérise la capacité du corps à absorber l'énergie véhiculée par le champ RF produit par un appareil radioélectrique par : *Specific Absorption Rate (SAR)* ou *Taux d'Absorption Spécifique (TAS)*:

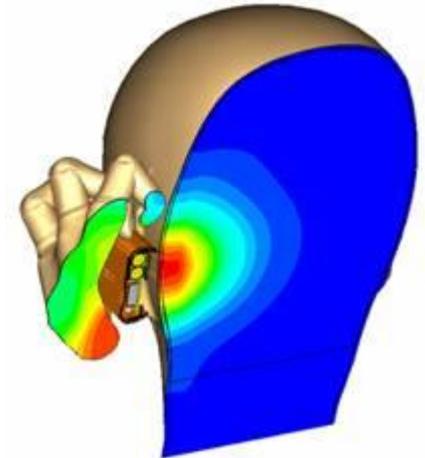
$$SAR (W / kg) = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dt} \frac{dW}{\rho dV} = \frac{\sigma E_{rms}^2}{\rho}$$

- Avec :
- W : énergie absorbée
 - M : masse
 - P: masse volumique

- Augmentation de température :

$$\Delta T = \frac{SAR \times t}{C_{th}}$$

- Avec :
- t : durée d'exposition
 - Cth : capacité calorifique du corps (J/(kg.°c))



Champ E et SAR à 1.8 GHz
[CST]

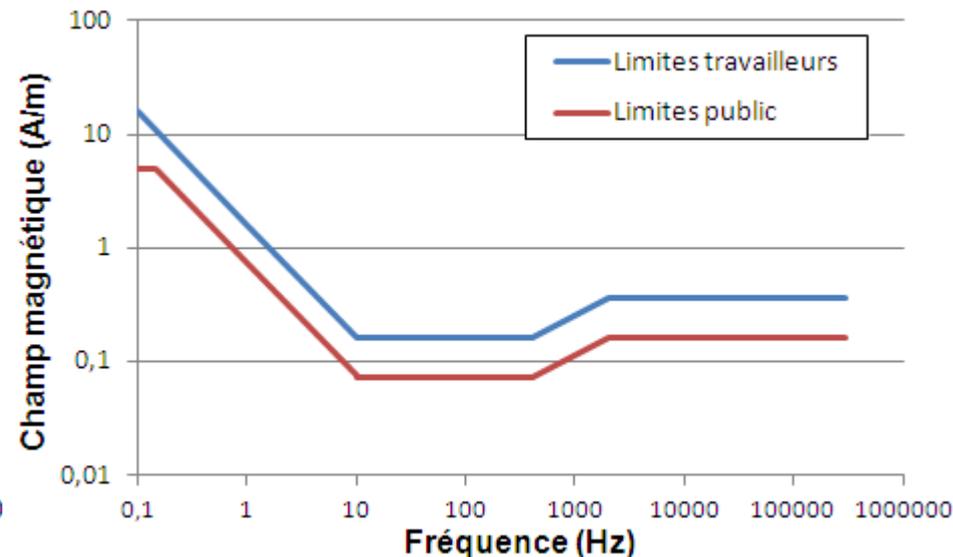
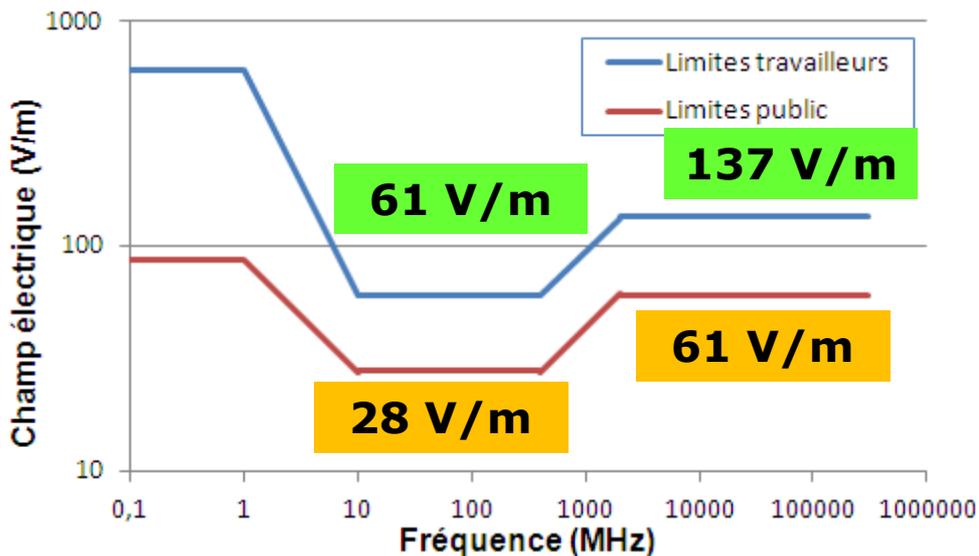
Effets thermiques – Dose maximum (100 KHz – 10 GHz)

- ✓ Le calcul de l'absorption est complexe. Il dépend de la fréquence, de la polarisation de l'onde incidente, des tissus considérés, des vêtements, de la conduction vers la terre ...
- ✓ Un être humain moyen soumis à un champ électrique vertical présente un maximum d'absorption entre 60 et 100 MHz (en fonction de sa taille). Certains membres ont des fréquences de résonance particulières.
- ✓ Législation européenne: avec un SAR de 4 W/kg, une exposition de 30 minutes conduit à une élévation de température de 1 °C.

Exposition	SAR max - Corps complet	SAR local max (tête et tronc)	SAR local (autres membres)
Travailleur	0.4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
Public	0.08 W/kg	2 W/kg	4 W/kg

Niveaux de référence pour les champs radiofréquences

- ✓ Entre 100 KHz et 10 GHz, les limites sont basées sur la restriction des SAR moyen et localisés, ainsi que sur le courant induit.
- ✓ Au dessus de 10 GHz, les restrictions portent sur la densité de puissance transportée par l'onde et son effet à la surface du corps (10 – 50 W/m²).
- ✓ Exposition des travailleurs et du public aux champs E et H :



Niveaux de référence pour les champs radiofréquences

- ✓ Limites d'exposition du public pour les systèmes radiofréquences suivants :

Systemes	Fréquence	Limite d'exposition – Champ E (V/m)
Radiodiffusion FM		
Télévision Numérique Terrestre		
GSM 900		
UMTS		
4G		
WiFi		

Exposition simultanée à des champs de fréquences différentes

- ✓ Est-ce que les effets d'expositions à des champs de fréquences différentes s'additionnent ?
- ✓ Principe recommandé par l'ICNIRCP :

Courant induit :

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{J_i}{J_{Li}} \leq 1$$

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{Li}} \leq 1$$

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{H_i}{H_{Li}} \leq 1$$

**Effet thermique
(exposure ratio) :**

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{10\text{GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_{Li}} + \sum_{i=10\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \frac{S_i}{S_{Li}} \leq 1$$

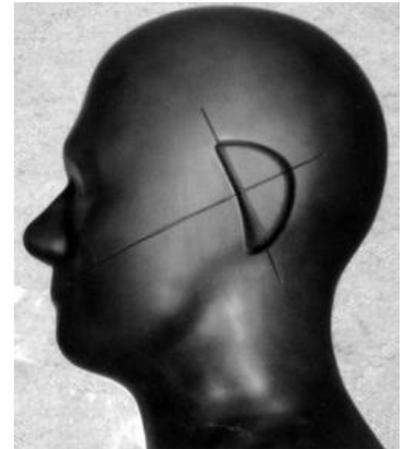
$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{Li}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_i}{H_{Li}} \right)^2 \leq 1$$

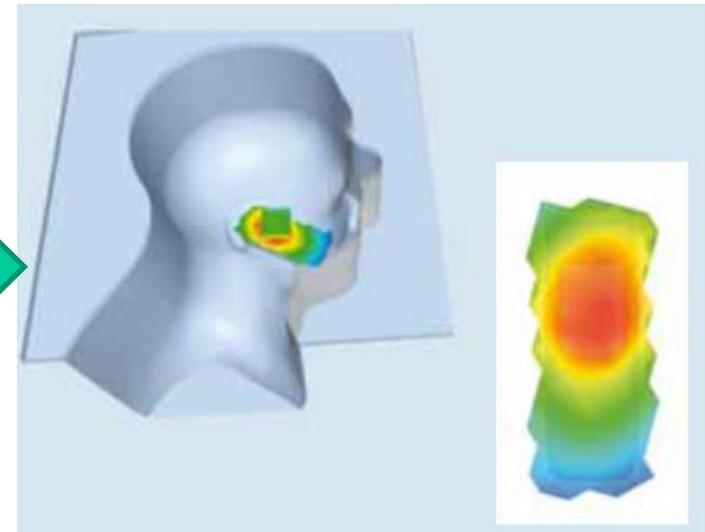
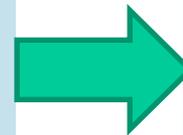
Contrôle de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques

Contrôle du DAS

- ✓ Normes européennes sur les protocoles de mesures du SAR des dispositifs RF (EN 50360 et 50361 pour les « handheld devices » et 50383 pour les stations de base RF).
- ✓ Utilisation Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) pour les mesures de DAS.



MCL-Technology

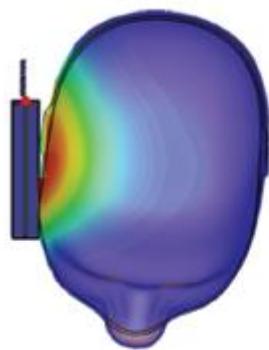
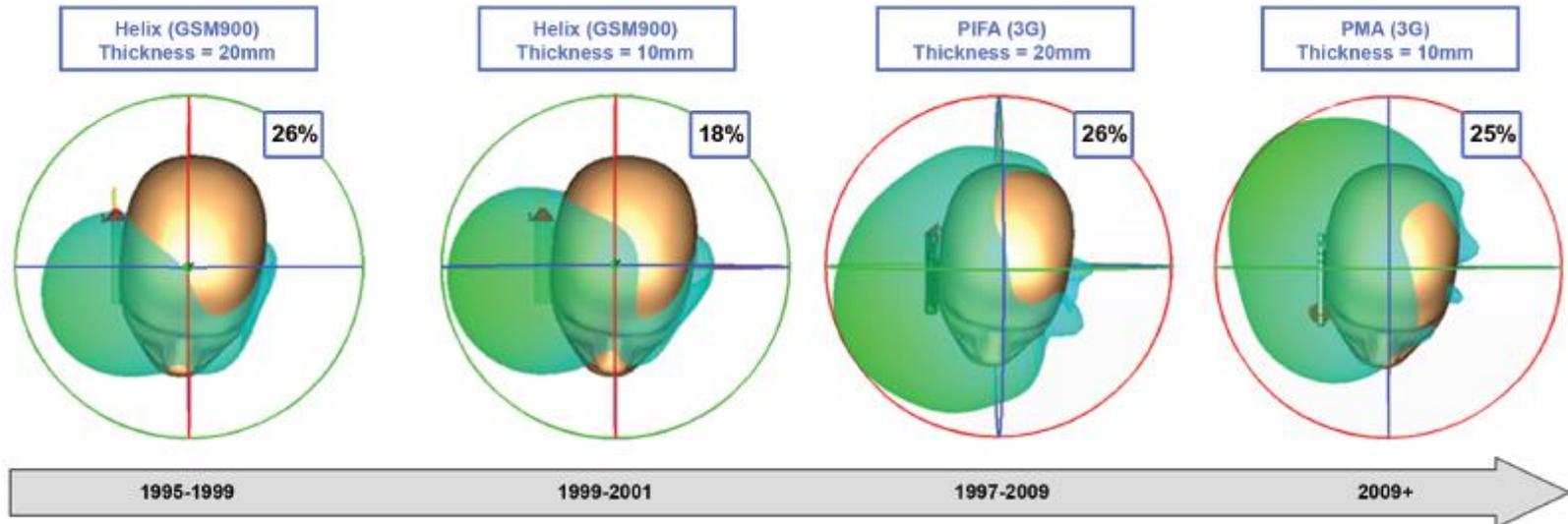


Satimo (www.microwavevision.com)

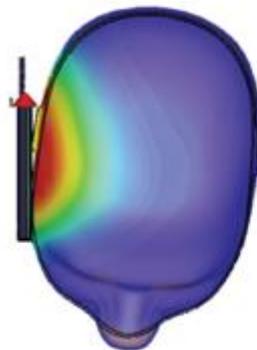
Contrôle de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques

Contrôle du DAS – Influence du design des antennes

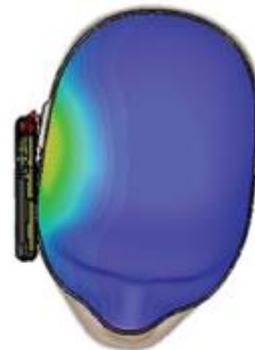
✓ C. Rowell, E. Y. Lam, « Mobile-Phone Antenna Design », *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 54, no 4, August 2012.



Peak 1g SAR: 1.68 mW/g



Peak 1g SAR: 2.26 mW/g



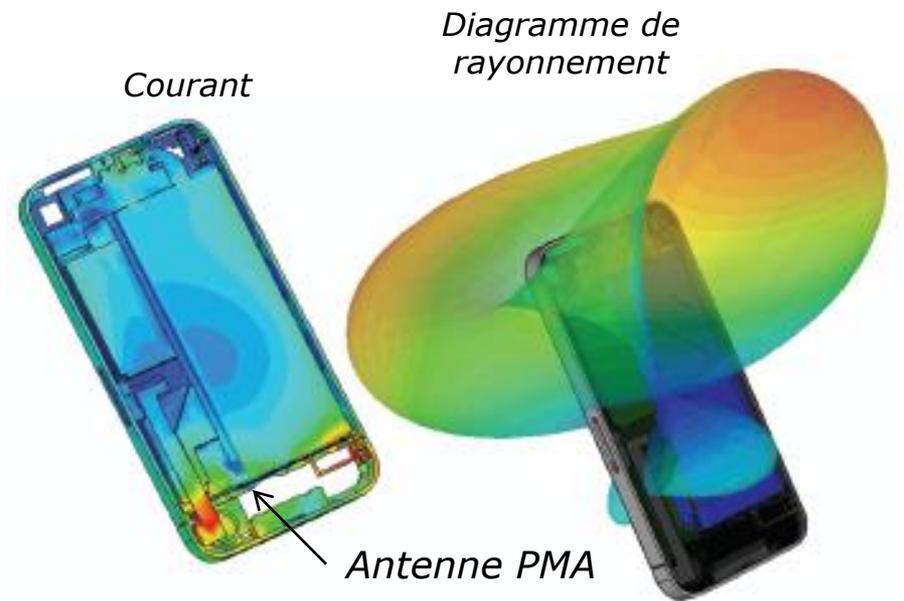
Peak 1g SAR: 0.50 mW/g



Peak 1g SAR: 2.0 mW/g

Contrôle du DAS – Comparaison entre différents mobiles

- ✓ SAR max dans l'UE : 2 W/kg (1.6 W/kg aux USA).
- ✓ Données fournisseurs :
 - Samsung Galaxy Note 2 : 0.171 W/kg
 - Samsung Galaxy S6 Edge+ : 0.216 W/kg
 - Wiko Highway 4G : 0.256 W/kg
 - LG C3 : 0.291 W/kg
 - BlackBerry Passport : 0.330 W/kg
 - HTC Desire 620 : 0.362 W/kg
 - Samsung Galaxy S6 : 0.382 W/kg
 - Motorola Moto G : 0.675 W/kg
 - Apple iPhone 5s : 0.979 W/Kg
 - Apple iPhone 6 : 0.972 W/Kg
 - Sony Xperia Z3 Compact: 0.862 W/Kg
 - Huawei P8: 1,72 W/Kg

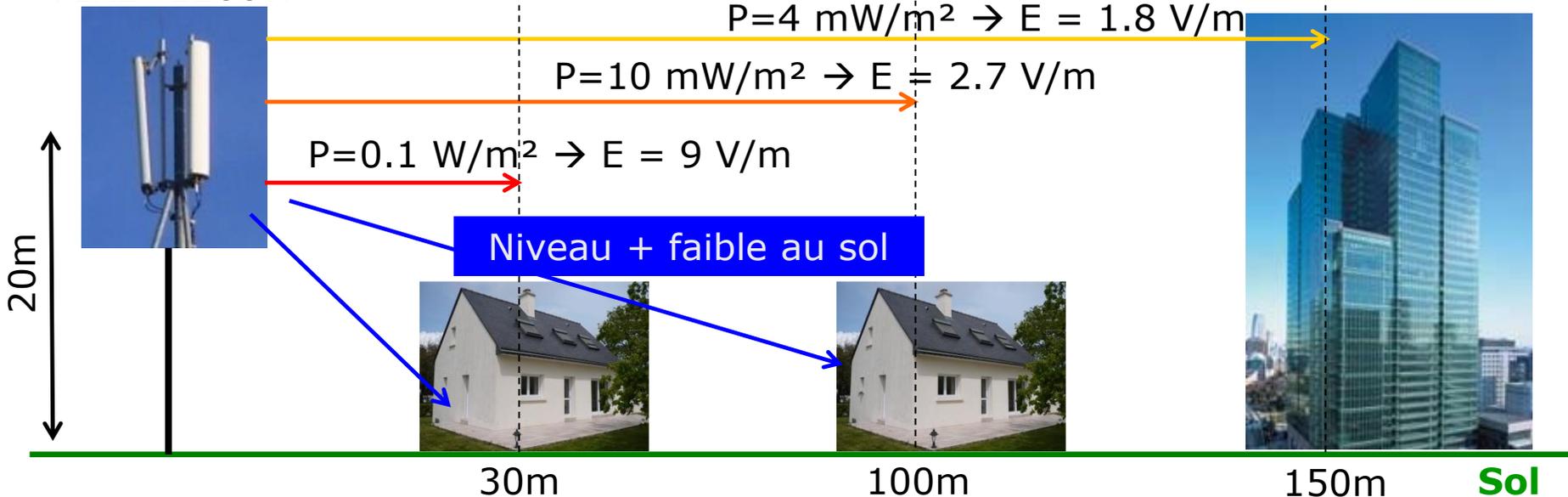


**Diagramme de rayonnement iPhone4
[Rowell 2012]**

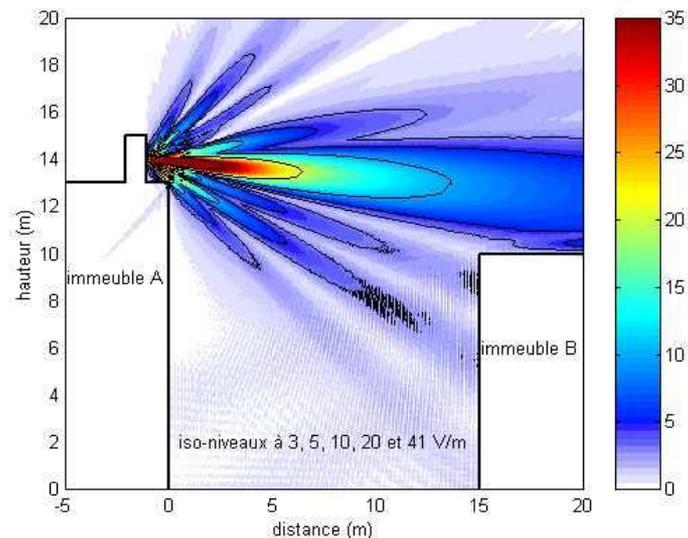
Contrôle de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques

Champ électromagnétique autour d'une station de base

PIRE=1200W



- ✓ Exemple : exposition d'un immeuble face à une station de base GSM (www.anfr.fr) (Limite ICNIRP : 42 V/m)



Contrôle de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques

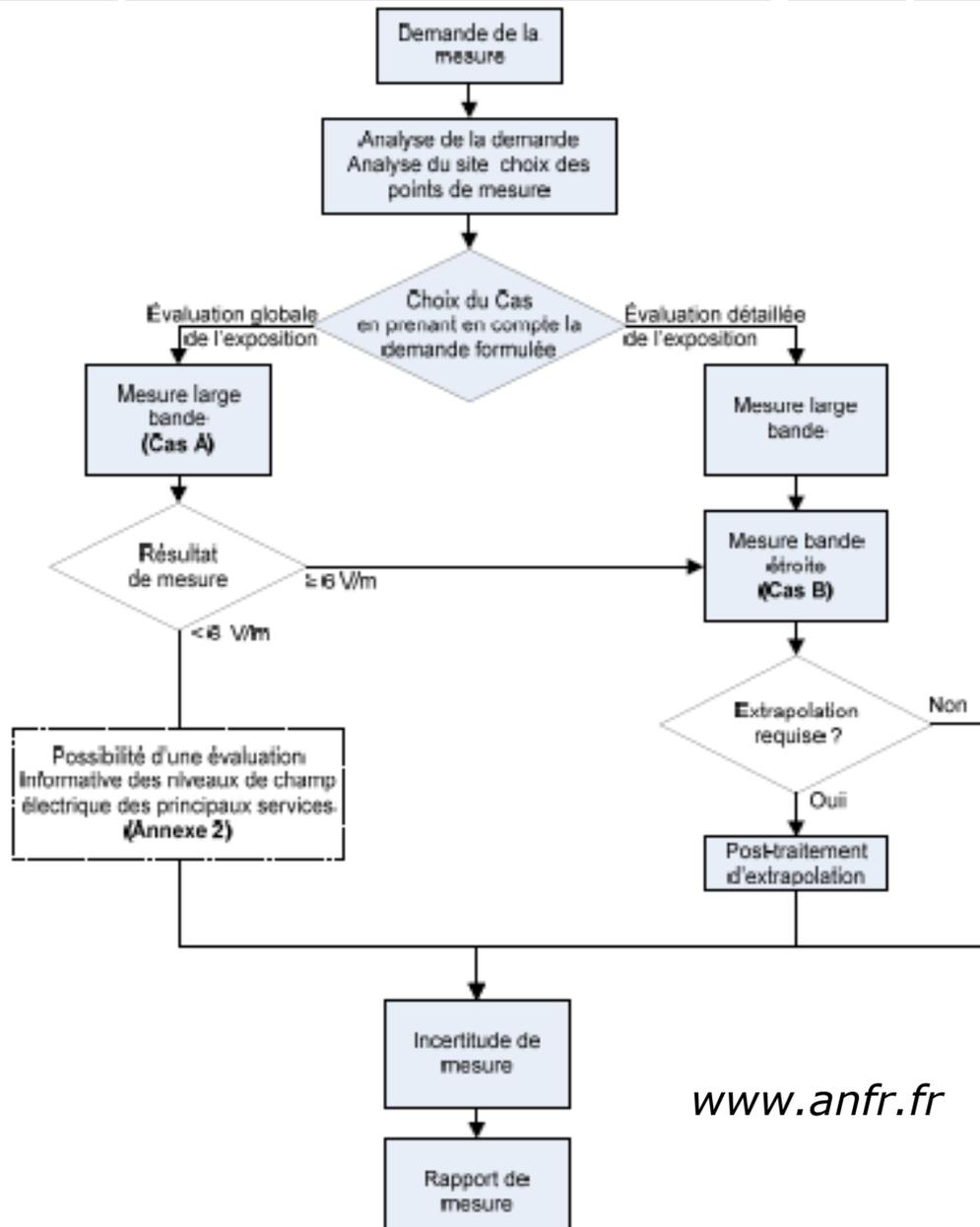
Contrôle des stations émettrices RF - Principes des mesures



ETS Lindgren – EM field probe (10 KHz – 1 GHz)



Wavecontrol– Mesureur de champ (500 KHz – 3 GHz)



www.anfr.fr

Contrôle de l'exposition du public aux champs radiofréquences

✓ Mesure effectuée à Rangueil par l'ANFR

Situation et caractéristiques du point de mesure

Localisation précise du point de mesure	Caractéristiques du point de mesure
N°: 24 Rue : Emile Guyou	Mesure effectuée à l'intérieur
Place/Autre :	Type d'environnement : Appartement / Pavillon / Bureau
Code postal : 31400	Latitude : 43°34' 30" N
Ville : TOULOUSE	Longitude : 1°27' 43" E

Emetteurs visibles

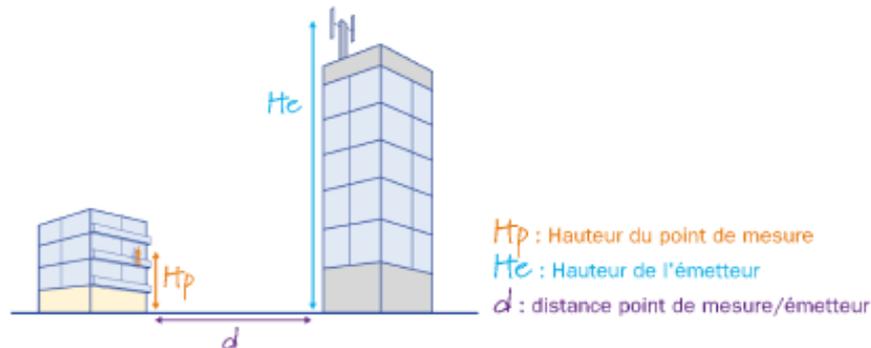


Schéma type : dans certains cas, H_p est supérieur ou égal à H_e

Emetteurs	H_p	H_e	d
GSM/UMTS OUTDOOR	25 m	30 m	60 m
GSM/UMTS OUTDOOR	25 m	32 m	40 m

Contrôle de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques

Contrôle de l'exposition du public aux champs radiofréquences

- ✓ Mesure effectuée à Rangueil par l'ANFR
- ✓ Mesure de champ E par service

Champs élé

	Fréquence (en MHz)	Service	E _i = Champ électrique efficace moyen (en V/m)	Valeur limite (en V/m)	Niveau du Champ Electrique mesuré par rapport à la valeur limite fixée par le décret du 3 mai 2002
10 V/m	0,1620	HF	0,0081	87,00	10766 fois inférieur
	0,9460	HF	0,1273	87,00	684 fois inférieur
8 V/m	30,5230	PMR	0,0080	28,00	3511 fois inférieur
	30,6270	PMR	0,0078	28,00	3568 fois inférieur
	99,1290	FM	0,1955	28,00	143 fois inférieur
	100,0610	FM	0,1738	28,00	161 fois inférieur
6 V/m	466,3270	PMR Balises	0,0145	29,69	2051 fois inférieur
	559,7090	TV	0,0156	32,53	2088 fois inférieur
	790,9820	TV	0,0095	38,67	4058 fois inférieur
	831,1270	PMR Balises	0,0117	39,64	3378 fois inférieur
4 V/m	955,2000	GSM 900	1,3489	42,50	32 fois inférieur
	1680,0000	Radars DAB	0,0021	56,36	26434 fois inférieur
	1704,5460	Radars DAB	0,0020	56,77	27814 fois inférieur
	1862,0000	GSM 1800	3,6250	59,33	16 fois inférieur
	1888,2910	DECT	0,2453	59,75	244 fois inférieur
2 V/m	1888,7640	DECT	0,2913	59,76	205 fois inférieur
	2127,8000	UMTS	1,9507	61,00	31 fois inférieur
	2761,4551	Radars BLR-FH	0,0127	61,00	4812 fois inférieur
0 V/m	2773,0911	Radars BLR-FH	0,0133	61,00	4582 fois inférieur
Champ Electrique total du site					
$E_{\text{Total}} = \sqrt{\sum E_i^2}$			4,3584V/m	28,00V/m	est la valeur limite la plus faible fixée par le décret du 3 mai 2002

0.02

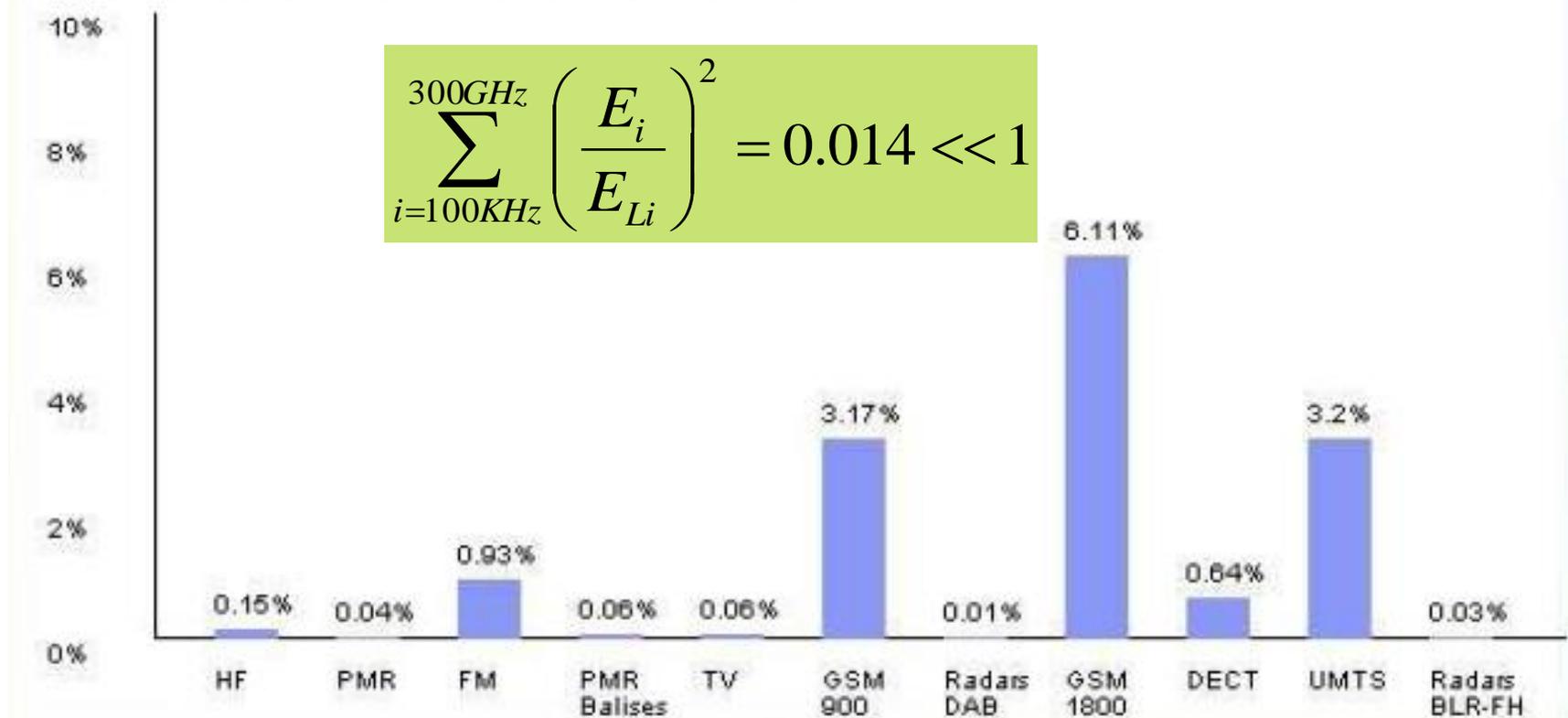
3 Radars BLR-FH

Contrôle de l'exposition du public aux champs radiofréquences

- ✓ Mesure effectuée à Ranguelil par l'ANFR
- ✓ Comparaison avec les limites de champ

Champs électriques relatifs

par rapport à la limite du décret pour chaque type de station



Contrôle de l'exposition du public aux champs radiofréquences

✓ Mesure effectuée à Ramonville par l'ANFR

Localisation précise du point de mesure

N° : 7 Rue : du Capitaine Dreyfus

Place/Autre :

Code postal : 31520

Ville : RAMONVILLE ST AGNE

Caractéristiques du point de mesure

Extérieur

Type d'environnement : Rue / Route / Parking / Cour

Latitude : 43° 32' 27" N

Longitude : 1° 27' 20" E

Emetteurs visibles

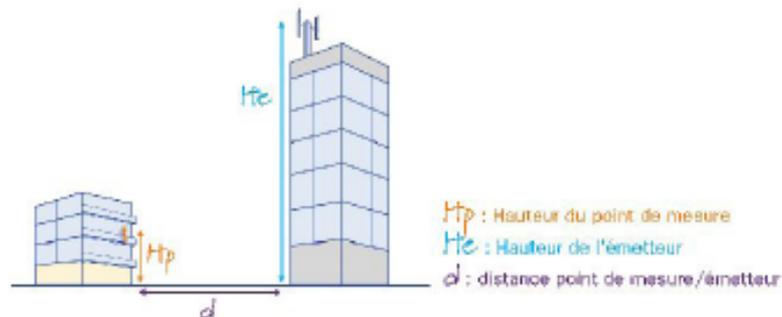


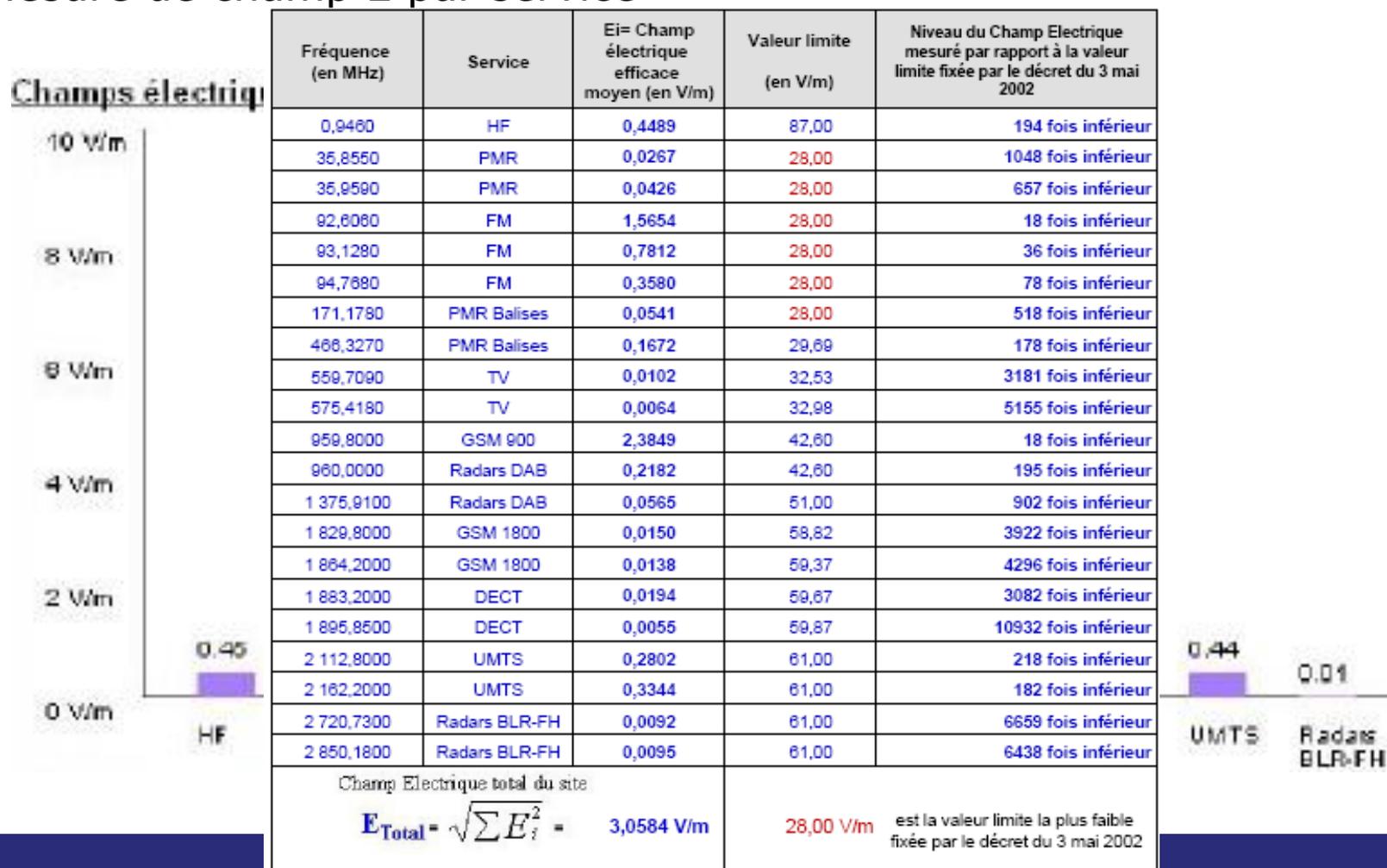
Schéma type : dans certains cas, H_p est supérieur ou égal à H_e

Emetteurs	H_p	H_e	d
GSM/UMTS OUTDOOR	2 m	43 m	50 m
PMR	2 m	80 m	50 m
FM	2 m	71 m	50 m
FM	2 m	81 m	50 m
PMR	2 m	70 m	50 m
Autres	2 m	5 m	30 m
Autres	2 m	60 m	50 m

Contrôle de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques

Contrôle de l'exposition du public aux champs radiofréquences

- ✓ Mesure effectuée à Ramonville par l'ANFR
- ✓ Mesure de champ E par service



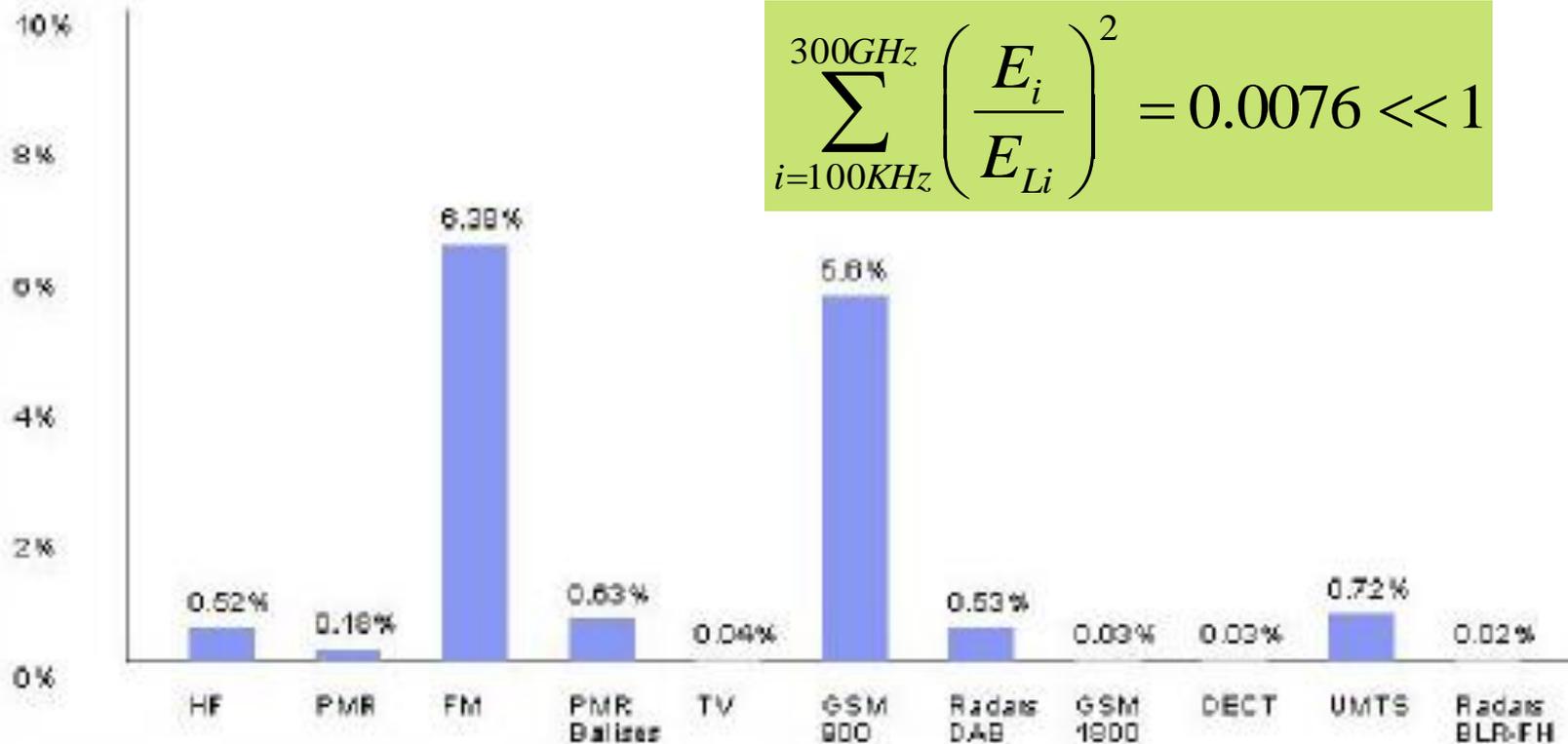
Contrôle de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques

Contrôle de l'exposition du public aux champs radiofréquences

- ✓ Mesure effectuée à Ramonville par l'ANFR
- ✓ Comparaison avec les limites de champ

Champs électriques relatifs

par rapport à la limite du décret pour chaque type de station



$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{Li}} \right)^2 = 0.0076 \ll 1$$

Signalétique (ISO/DIS 7010 – NF X 08-003)



Radiations non ionisantes, danger



Champ magnétique, danger



Entrée interdite aux porteurs d'un stimulateur cardiaque

- ❑ C. R. Paul, « Introduction to Electromagnetic Compatibility », Wiley Interscience, 1992, ISBN 0-471-54927-4
- ❑ F. Leferink, "Gaps in the Application of the EMC Directive Due to Inadequate Harmonized Product Standards », 2010, IEEE EMC Newsletter
- ❑ "Recommendation IUT-R P.372-8 – Radio Noise", 2003
- ❑ Directive 2004/108/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility and repealing Directive 89/336/EC
- ❑ "Protocole de Mesure In-Situ", Agence Nationale des Fréquences ANFR / DR15-3, Version 3, 31 mai 2011, www.anfr.fr
- ❑ « ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) », published in HEALTH PHYSICS 74 (4):494-522; 1998, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
- ❑ A. Perrin et M. Souques, "Champs électromagnétiques, environnement et santé", Springer-Verlag, 2010, ISBN 978-2-8178-0132-2