



Exposition des personnes aux ondes électromagnétiques : état de l'art sur les études et les connaissances actuelles

Vikass MONEBHURRUN
Port-Louis, Jeudi 3 Septembre 2009




Plan de l'exposé

- Ondes et fréquences
- Fonctionnement des antennes
- Exposition des personnes aux ondes : l'historique
- Recommandations de l'ICNIRP
- Situation actuelle en France et en Europe
- Conclusion





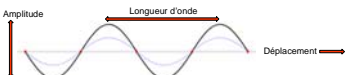
2

Qu'est-ce qu'une onde?

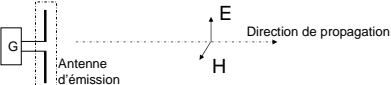
Une **onde** est la propagation d'une perturbation produisant sur son passage une variation réversible de propriétés physiques locales. Elle transporte de l'énergie sans transporter de matière.
(extrait de <http://fr.wikipedia.org/wiki/Onde>)

Un **champ électromagnétique** est la représentation dans l'espace de la **force électromagnétique** qu'exercent des particules chargées.
(extrait de http://fr.wikipedia.org/wiki/Champ_électromagnétique)



$$vitesse = \lambda \times f$$




L'onde électromagnétique transporte de la **puissance** : $DSP = \vec{E} \times \vec{H}$
(DSP, densité surfacique de puissance en **watts/mètres carrés**)

3

SOURCES D'ÉMISSIONS ÉLECTROMAGNETIQUES (fréquences inférieures à 300 GHz)

Sources Naturelles

**Foudre Orage
Bruit cosmique**




Sources artificielles
(créées par l'être humain)

Emissions non intentionnelles

- Lignes Haute Tension
- Appareils électroniques
- Alimentations électriques / transformateurs
- Fours micro-ondes et appareils ISM etc..

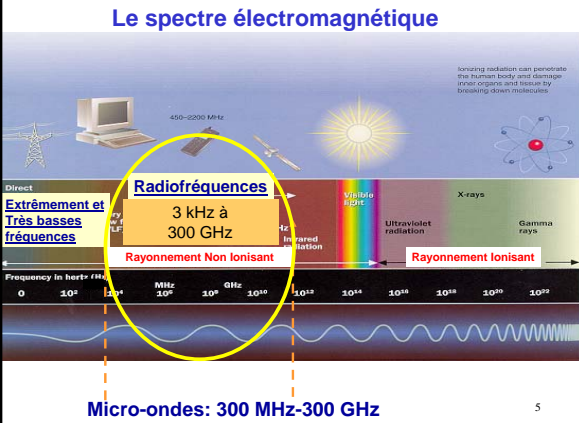
Emissions intentionnelles

Tous les types d'émetteurs radio servant à communiquer, localiser ou naviguer (présence d'une antenne d'émission)



4

Le spectre électromagnétique

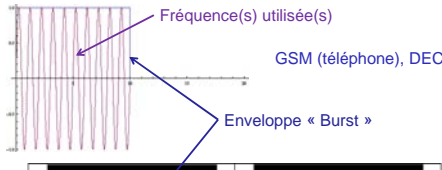


Radiofréquences
3 kHz à 300 GHz
Rayonnement Non Ionisant


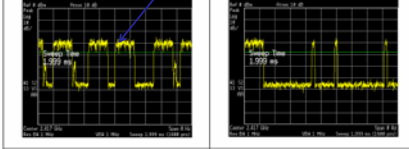
Micro-ondes: 300 MHz-300 GHz

5

Les ondes « pulsées »

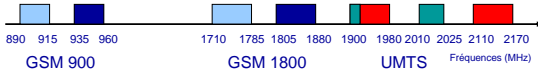


GSM (téléphone), DECT, WiFi,

6

Les fréquences GSM/UMTS



Système	Liaison montante	Liaison descendante
GSM 900	890 à 915 MHz	935 à 960 MHz
E-GSM 900	880 à 915 MHz	925 à 960 MHz
GSM 1800	1710 à 1785 MHz	1805 à 1880 MHz
GSM 1900 (*)	1850 à 1910 MHz	1930 à 1990 MHz
UMTS	1920 à 1980 MHz	2110 à 2170 MHz

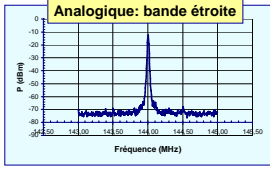
UMTS TDD 1900 - 1920 / 2010 - 2025 MHz

Puissance émise par les téléphones mobiles

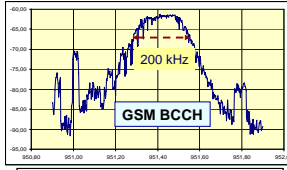
- GSM 900 MHz : 2 W crête (250 mW moyenne)
- GSM 1800 MHz (DCS) : 1 W crête (125 mW moyenne)
- UMTS 1950 MHz : 125 mW

Analyseur de spectre


Analogique: bande étroite



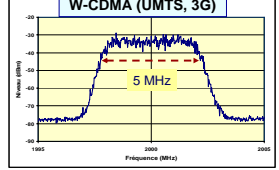
GSM BCCH



Antenne



W-CDMA (UMTS, 3G)



Analyseur de spectre

Les bases de l'électromagnétisme



Equations de Maxwell






- James Clerk Maxwell House: 14 India Street, Edinbourg Ecosse (1831-1879)
- A Treatise on Electricity and Magnetism, 1873

Rayonnements ionisants et non ionisants

(extrait de http://fr.wikipedia.org/wiki/Champ_électromagnétique)



Les rayonnements X et gamma peuvent rompre les liaisons moléculaires et être à l'origine d'ionisations, facteur cancérigène.


Les rayonnements ultra-violet, visibles et infra-rouges peuvent modifier les niveaux d'énergie au niveau des liaisons au sein des molécules.

Les radiofréquences n'ont pas suffisamment d'énergie pour perturber les liaisons moléculaires (c-à-d rayonnement **NON IONISANT**)

Exemples d'appareils RF

Les sources d'émissions radiofréquences

3 kHz à 300 GHz



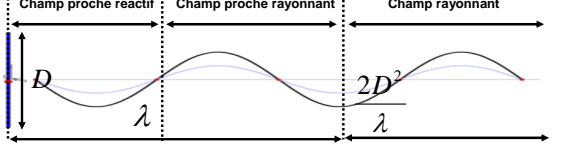
Champ proche / Champ lointain

Champ proche


Champ proche réactif | Champ proche rayonnant

Champ lointain

Champ rayonnant




Restriction de base (mesure de DAS)



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

(DAS en watts par kg)

Niveau de Référence (mesure du champ électrique)



$$DSP = \frac{E^2}{\eta}$$

(E en volts par mètre)

Densité Surfaccique de Puissance (DSP)

- Exemple : antenne isotropique (antenne virtuelle, pas de direction préférentielle de rayonnement)

$$DSP = \frac{P_e}{4 \times \pi \times r^2}$$

Densité surfaccique de puissance (W/m² ou mW/cm²)

DSP << 1 mW/cm² à 1 mètre du point d'émission

$P_e = 10 \text{ W}$

13

Antennes pour communication mobile

Dipôle

Courants surfacciques

Directivité

Antennes relais (BTS)

Antennes utilisées dans les téléphones mobiles

14

Système cellulaire (sectorisation)

Antenne omni-directionnelle
6 cellules peuvent causer une interférence

Antenne directive (sectorisation 120°)
2 cellules seulement peuvent causer une interférence

120° + Tilt de l'antenne pour diriger le rayonnement vers le sol (optimisation de la couverture)

15

Antenne relais (BTS)

Antennes BTS:

- réseau de dipôles
- tilt mécanique ou électrique

Caractérisation:

- base de mesure en champ proche

16

Puissances utilisées par les BTS

GSM 400 & GSM 900 & GSM 850 & GSM 850 & GSM 700		DCS 1 800 & PCS 1 900 & GSM 1 900	
TRX power class	Maximum output power	TRX power class	Maximum output power
1	320 (< 640) W	1	20 (< 40) W
2	160 (< 320) W	2	10 (< 20) W
3	80 (< 160) W	3	5 (< 10) W
4	40 (< 80) W	4	2.5 (< 5) W
5	20 (< 40) W		
6	10 (< 20) W		
7	5 (< 10) W		
8	2.5 (< 5) W		

L'opérateur de téléphonie mobile va optimiser le réseau et les puissances selon la couverture désirée pour ne pas consommer inutilement de la puissance!

GSM 900 & GSM 850 & GSM 850 & GSM 700 micro and pico-BTS		DCS 1 800 & PCS 1 900 & GSM 1 900 micro and pico-BTS	
TRX power class	Maximum output power	TRX power class	Maximum output power
Micro			
M1	(> 19) - 24 dBm	M1	(> 27) - 32 dBm
M2	(> 14) - 19 dBm	M2	(> 22) - 27 dBm
M3	(> 9) - 14 dBm	M3	(> 17) - 22 dBm
Pico			
P1	(> 15) - 20 dBm	P1	(> 16) - 25 dBm

17

Influence du diagramme d'antenne sur le champ électromagnétique

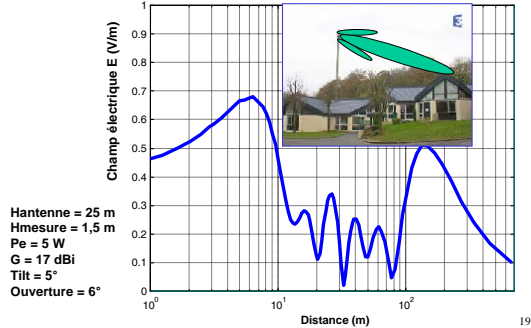
Champ E versus distance pour une antenne placée à 20 mètre et une puissance de 20 W

Décroissance du champ électrique en 1/d

18

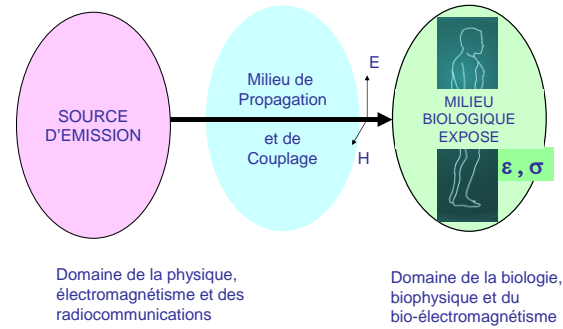
Niveaux de champ électrique proche d'une antenne

Champ électrique mesuré à une hauteur de 1,5 m à proximité d'une antenne relais



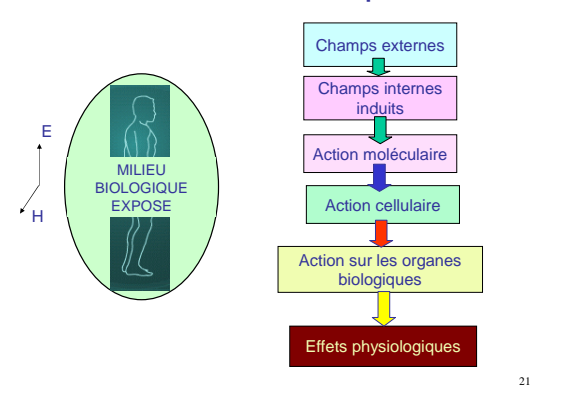
19

Mécanisme d'interaction onde et corps humain



20

Mécanisme d'interaction possible



21

Exposition des personnes: historique (1/2)

- Durant Seconde Guerre Mondiale : Crainte pour la sécurité du personnel militaire de la US navy travaillant près des radars
- Radar : environ 1500 impulsions fortes puissances/seconde (durée impulsion: 10-50 ms) transmises vers la cible dans la bande 300 MHz - 30 GHz
- Inquiétude : effets thermiques
- Suggestion : procédures pour éviter une exposition intensive
- Après la guerre : des chercheurs rapportent la formation de cataractes chez les chiens et autres animaux (>100 mW/cm²)
- Années 1950 : inquiétudes au sujet des effets indésirables sur la santé (leucémie, tumeur cerveau, problème cardiaque, mal de tête)
- Limite d'exposition : 10 mW/cm² / 6 minutes (ANSI C95.1-1966 standard : 10 mW/cm² (An American National Standard – "Safety Levels of Electromagnetic Radiation with Respect to Personnel" : 10 MHz- 100 GHz)

22




Exposition des personnes: historique (2/2)

- Années 1930 : des chercheurs de l'Union Soviétique s'intéressent à l'exposition des personnes aux RF
- Inquiétude : effets non-thermiques
- Système nerveux central : possibilités d'effets non-thermiques à un niveau inférieur à 10 mW/cm²
- Etudes : effets d'expositions prolongées ou répétées à des niveaux relativement faibles (<10 mW/cm²)
- Travailleurs : < 1 mW/cm² (300 MHz – 30 GHz)
- Public : < 0.01 mW/cm² (300 MHz – 30 GHz)

23

DSP et DAS (ou SAR)

Exposition corps entier: études animales sur les perturbations comportementales (c-à-d l'animale ne peut correctement exécuter une tâche, souvent pour trouver la nourriture) (J. M. Osepchuk and R. C. Petersen, Microwave, June 2001)

Espèces	225 MHz (CW)	1.3 GHz (Pulsé)	2.45 GHz (CW)	5.8 GHz (Pulsé)
 Rat norvégien				
DSP [mW/cm ²]	NA	10	28	20
DAS [W/kg]		2.5	5.0	4.9
 Singe écureuil				
DSP [mW/cm ²]	NA	NA	45	40
DAS [W/kg]			4.5	7.2
 Singe rhésus				
DSP [mW/cm ²]	8	57	67	140
DAS [W/kg]	3.2	4.5	4.7	8.4

24

Transposition à l'être humain

- Détection RF
 - Des **personnes** debout à côté d'un radar sont capables de **détecter les micro-ondes** ("clicks" ou "buzz") (Airborne Instruments Laboratory, 1956)
- Sensation de chaleur
 - L'être humain peut détecter la sensation de chaleur à des niveaux relativement faibles pendant des expositions de courtes durées (< 10 s)
 - Seuils typiques : **35 – 60 mW/cm²** dans la bande 2.45 GHz-3 GHz
- Perturbation des fonctions cognitives
 - Seuil de DAS **corps entier** : ~ **4 W/Kg**
 - Correspond à une élévation de température de **1°C**
 - Les **bases des normes** et des **recommandations** actuelles reposent sur ces valeurs



25

Recommandations et normes

- Les recommandations des **seuils d'exposition RF** sont basées sur la **littérature scientifique** (publications dans des journaux scientifiques reconnus)
- Littérature scientifique : **études biologiques** et **épidémiologiques**
- Examens des données scientifiques par des **organismes indépendants** (e.g. Organisation Mondiale de la Santé)
- Objectif des normes : développer des **procédures harmonisées** pour la vérification de la conformité des équipements
- Des méthodes de mesure **normalisées** assurent la **reproductibilité** des résultats entre laboratoires



26

Adoption des recommandations

- Recommandations de l'**ICNIRP: Health Physics 1998**
 - Adoptées par plusieurs pays
 - La base des normes nationales en Europe (seuils arbitraires, plus faibles, adoptés dans quelques pays)
- **IEEE/ICES**
 - USA, Canada, Corée du Sud et Taïwan
- Autres normes (déjà mises en œuvre ou en cours de développement)
 - Russie
 - Chine (initialement, application des normes russes)
 - Australie, Nouvelle Zélande

27

A propos de l'ICNIRP

- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (<http://www.icnirp.org>)
- Groupe d'**experts scientifiques indépendants** composé d'une Commission principale de 14 membres, 4 Comité Permanent de Scientifiques (couvrant l'Epidémiologie, la Biologie, la Dosimétrie et l'Optique) et d'autres experts
- **Reconnue** comme une **organisation non-gouvernementale** dans le domaine de la protection contre les rayonnements non-ionisants par l'**Organisation Mondiale de la Santé**
- Objectif: **vulgarisation de l'information** et **conseil** sur les **risques sanitaires potentiels** liés à l'exposition aux rayonnements non-ionisants

28

Analyse de la littérature scientifique par l'ICNIRP

Analyse d'une abondante littérature dans le domaine: Découpage de 0 à 100 kHz et de 100 kHz à 300 GHz - Analyse de chaque effet dans chaque bande

1) Bande 0 à 100 kHz

- Pas d'effet thermique identifié - Problème majeur: Induction de courant dans les tissus

2) Bande 100 kHz à 300 GHz

Accent mis sur les effets reconnus et avérés (effets thermiques court terme) - Analyse des différents modes d'action des ondes avec comme conclusion:

- **Élévation de température < 1°C**
 - **DAS corps entier jusqu'à 4 W/kg** pendant environ 30 minutes.
- **Problème de thermorégulation**
 - **DAS corps entier > 4 W/kg**

29

Seuils proposés par l'ICNIRP

Valeur de référence = **4 W/kg**

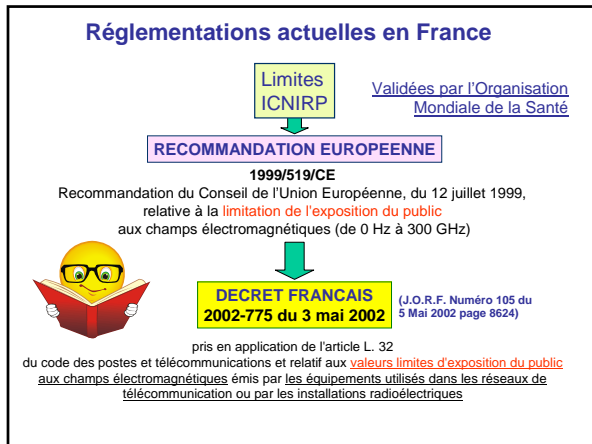
Marges de sécurité :

Facteur 10 pour les **travailleurs** (personnes au courant de l'exposition et qui peuvent alors prendre des précautions spécifiques e.g. les personnes qui interviennent sur les sites des antennes relais)

Facteur 50 pour le **grand public** (prise en compte des personnes ayant une grande sensibilité thermique, les enfants et les personnes âgées, les personnes sous médication, les personnes malades, etc.)

De 100 kHz à 10 GHz		SAR moyenné sur 6 min pour une masse de 10g de tissus autre que ceux des mains, des poignets, des pieds et des chevilles	SAR moyenné sur 6 min pour une masse de 10g de tissus des mains, des poignets, des pieds et des chevilles	Absorption spécifique crête moyennée sur 10g de tissus (*)
$SAR = \frac{\sigma E ^2}{\rho}$ Conditions d'évaluation du SAR dans le corps humain	SAR moyenné sur un intervalle de 6 min pour le corps entier			
	Travailleurs (Occupational)	0,4 W/kg	10 W/kg	10 mJ/kg
Exposition du Public	0,08 W/kg	2 W/kg	4 W/kg	2 mJ/kg
(*) spécifique pour les radars				

30



Réglementation relative aux équipements radio

Directive 1999/5/CE du 9 mars 1999 dite Directive RTTE concernant les **équipements hertziens** et les équipements terminaux de télécommunication et la reconnaissance mutuelle de leur conformité (R&TTE = Radio and Telecommunications Terminal Equipment).

Exigences essentielles (article 3)

La directive RTTE vise à garantir :

- la santé et la sécurité des personnes,
- la compatibilité électromagnétique,

(en complétant les directives BT et CEM)

une utilisation efficace du spectre.

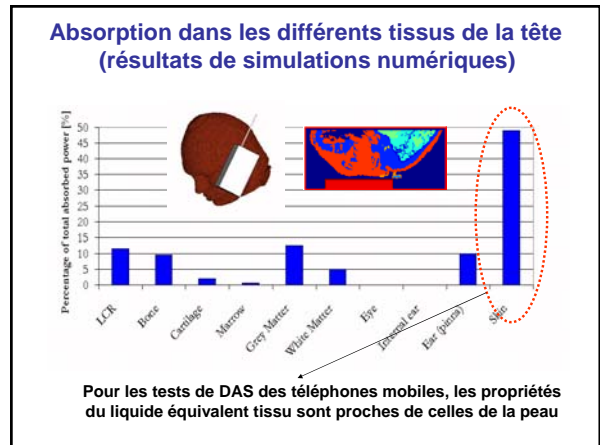
Et, sous certaines conditions :

- la protection des réseaux,
- la protection de la vie privée,
- la protection contre la fraude,
- l'utilisation par les personnes handicapées, ...

Vérification de la restriction de base (mesure du DAS)

Fantôme anthropomorphe (SAM)
Rempli d'un liquide équivalent tissu

Propriétés du liquide équivalent tissu obtenues par simulations numériques en comparant les résultats de DAS d'une tête hétérogène à une tête homogène



Utilisation des niveaux de référence ICNIRP

Le champ E à l'intérieur des tissus biologiques n'est pas facilement accessible. Deux approches possibles pour déterminer ce champ :

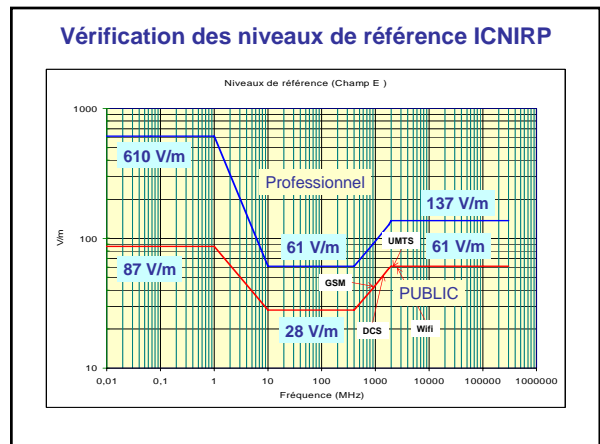
a) Approche numérique : simulation électromagnétique

b) Approche expérimentale : à partir de mannequins représentatifs.

Moyens lourds : stations de travail, logiciels, modèles, base dosimétrique spécifique, etc.

Utilisation des niveaux de référence dérivés (valables en champ lointain)
Champ E_{ext} , H_{ext} ou densité de puissance DSP_{ext}


Vérification du niveau de référence => Vérification de la restriction de base



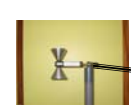
Procédure de mesure in-situ

ECC Recommendation (02)04
Electronic Communication Committee (ECC)
en association avec la CEPT
(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)


Cas considéré	Instrument de mesure
1 : Analyse préalable	Champ mètre large bande
2 : Scan fréquentiel	Antenne large bande + analyseur de spectre
3 : Examen détaillé	Antenne large bande + analyseur de spectre + analyseur GSM/UMTS



Champ mètre large bande



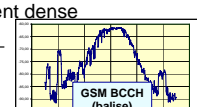
Antenne large bande



Analyseur de spectre

Extrapolation au trafic maximum (exemple : GSM)

L'extrapolation maximise l'exposition dans la perspective d'un trafic GSM extrêmement dense

$$E_{extrapolé} = E_{BCCH} \times \sqrt{n_{TRX}}$$


Définition du facteur d'extrapolation n_{TRX}

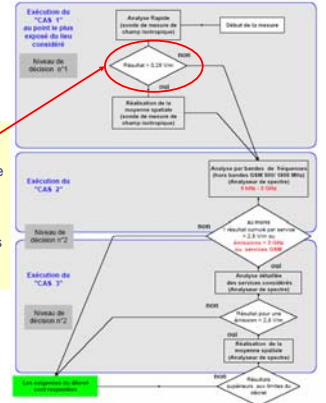
Zone de mesure	GSM (900 MHz)	DCS (1800 MHz)
Zone très dense	6	8
Grandes villes (>400 000 habitants)	4	8
Villes moyennes (>100 000 habitants)	4	6
Petites villes (<100 000 habitants) ou milieu rural	3	3

Protocole de mesure in-situ ANFR V2.1

Particularités

1. Analyse préalable large bande
2. **Seuil à 0,28 V/m**
3. Moyenne spatiale (3 points)
4. Analyse détaillée des bandes GSM et UMTS dans tous les cas
5. Extrapolation aux valeurs maximum d'exposition

Mesures effectuées par des laboratoires accrédités COFRAC





Exemple: Ville de Gometz sur cartoradio



40


Extraits du site cartoradio.fr de l'ANFR





41

Résultats de mesures



$$E_{total} = \sqrt{\sum_i E_i^2}$$

42

Situation actuelle en France

- **Charte de la ville de Paris** prévoit un seuil de 2 V/m moyenné sur 24H (signée le 20 mars 2003)
- Organisation d'un **Grenelle des ondes** suite à des décisions de démontage ou de refus d'installation des antennes relais (Bouygues Telecom, SFR, Orange)
- Conclusion du rapport (25 mai 2009) : « **En l'état actuel des connaissances, une révision des seuils réglementaires n'est pas justifiée d'un point de vue sanitaire** »
- Quelques propositions (25 mai 2009)
 - Expérimentations pour essayer de réduire les émissions sans dégrader la couverture
 - Interdiction de l'usage des mobiles par les enfants dans l'enceinte des écoles primaires
 - Forfaits « SMS exclusive », sans voix pour les enfants
 - Prise en compte des personnes « électro-hypersensible »
- Rapport de l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) prévu pour Septembre 2009.

Quelques travaux financés par la France

- **COMOBIO (*99/*02)** - <http://www.tsi.enst.fr/comobio/>
 - Dosimétrie, études sur l'homme et études animales
 - Possibilité d'une perméabilisation de la BHE (Barrière Hémato-Encéphalique, filtre entre le sang et la matière grise) observée chez le rat (GSM)
 - BHE: résultats discordants entre laboratoires qui pourraient être dus à des différences entre systèmes d'exposition (e.g. stress des rats?)
- **ADONIS (*03/*06)** - <http://www.tsi.enst.fr/adonis/>
 - Analyse dosimétrique des systèmes de téléphonie mobile de 3^{ème} génération (continuité de COMOBIO)
 - Etude sur l'absorption des ondes par la tête des enfants
 - Mobile porté au niveau de la ceinture
- **MULTIPASS (*07/*10)** - <http://multipass.elibel.tm.fr/>
 - Etude sur l'exposition à des sources multiples
 - Systèmes: GSM, DCS, UMTS, Bluetooth, WiFi, Wimax, LTE, etc.



Quelques exemples d'études en cours

- **INTERPHONE**
 - Etude **internationale épidémiologique** de type cas-témoin (c-à-d comparaison entre les populations atteintes et saines pour analyser si le facteur est associé à l'usage du téléphone) sur les relations entre exposition et tumeurs de la tête
 - Participants: 13 pays dont la France (coordonnée par le Centre International de Recherche sur le Cancer)
 - Résultats prévus en 2009-2010.
- **Etudes animales**
 - INUTER (*09/*10): Effets d'une exposition **WiFi** in utero chez le rat: Tératologie et Toxicologie
 - ERYA (36 mois): Effets des champs radiofréquences sur le **jeune animal**
- **Etudes épidémiologiques**
 - MOBI Kids (36 mois): Tumeurs du cerveau chez l'**enfant** et l'**adolescent**, et exposition aux radiofréquences

Principaux rapports sur le sujet

- **FRANCE**
 - AFSSET: rapport d'experts 2005 (prochain rapport en 2009)
 - OPECST (Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques): Incidence éventuelle de la téléphonie mobile sur la santé, 2002
 - Direction Générale de la Santé: Les téléphones mobiles, leurs stations de base et la santé, 2001.
- **Autres pays**
 - Royaume-Uni: rapport NRPB (National Radiation Protection Board), Mobile Phones and Health, 2004 (Independent Expert Group on Mobile Phone, aussi appelé rapport Stewart, 2000, « **principe de précaution** »).
 - Pay-Bas: rapport annuel
 - Suède: Swedish Radiation Safety Authority.
- **Union Européenne**
 - SCENHIR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks): Health effects of exposure to EMF, 2009.
- **Autres**
 - Rapport BioInitiative, A rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic fields (ELF and RF), 2007

Conclusions du rapport AFSSET (juin 2005)

- **AFSSET**
 - But de l'agence, créée en 2001: « Assurer la protection de la santé humaine, contribuer à assurer la sécurité sanitaire dans le domaine de l'environnement et d'évaluer les risques sanitaires liés à l'environnement ».
 - Contribution de SUPELEC aux rapports 2003 et 2005.
- **Risque de cancer**
 - Les travaux confirment que, aux **niveaux de puissance** employés dans la téléphonie mobile, les rayonnements ne sont **pas génotoxiques**.
- **Maux de tête, fatigue, sensation de chaleur, etc.**
 - **Pas de lien** entre les symptômes ressentis et l'exposition RF.
- **BHE (Barrière Hémato-Encéphalique)**
 - Chez le rat: possibilité de perméabilisation de la BHE.
 - Sur 40 études sur le sujet, moins de 10 rapportent un effet sur la BHE.
 - Recommandation: **poursuite des travaux**
- **EEG**
 - Il **existe une influence** d'une exposition RF sur les **relevés EEG** (les effets ne peuvent être considérés comme nocifs en état actuel des connaissances)
- **Enfants**
 - **Pas de sensibilité** particulière aux ondes RF chez les **enfants**

Conclusions du rapport SCENHIR (janvier 2009)

- **Risque de cancer**
 - D'après les études actuelles (épidémiologiques, animales et in-vitro), il est **peu probable** que l'exposition aux ondes RF résulte en une **augmentation** du risque de cancer chez l'homme (utilisation des mobiles <= 10 ans)
 - Recommandation: poursuite des études pour des usages des mobiles au-delà de 10 ans
- **Symptômes subjectifs**
 - Définition: un symptôme subjectif n'est perceptible que par le malade.
 - **Impossible** de relier la **relation** entre l'exposition RF et les **symptômes subjectifs**
- **EEG (Electro-encéphalogramme) et Sommeil**
 - Il **existe une influence** d'une exposition RF sur les **relevés EEG** et le **sommeil**.
 - Cependant, l'impact sur la **santé** et le **mécanisme d'interaction** sont **inconnus**
- **Reproduction chez l'homme ou l'animal**
 - Les études récentes montrent qu'il n'y a **pas d'influence** des champs RF sur la reproduction chez l'homme ou l'animal.
- **Effets sur les enfants**
 - Il est admis qu'il y a **peu d'information** sur les effets possibles des champs RF sur les **enfants**

Conclusion

- Variétés de sources de champ électromagnétique dans notre **environnement quotidien** (four microondes, mobiles, PC WiFi, etc.).
- Les nouvelles technologies radio numériques correspondent à des **signaux complexes** liés aux techniques de modulation et d'accès.
- Les **champs électromagnétiques décroissent** rapidement lorsque la distance à la source augmente mais il y a aussi une influence non négligeable du diagramme de rayonnement de l'antenne (en particulier pour les antennes de station de base dans le plan vertical).
- En France, les **mesures d'exposition RF** sont faites sur demande (typiquement 1500 E HT), plutôt que de façon globale. (Protocole ANFR) → CARTORADIO

Perspectives : Poursuite des études pour une meilleure connaissance de l'**exposition réelle** de la population à l'ensemble des sources (Actions concertées des organismes publics de recherche et de veille: Fondation Santé et Radiofréquences, AFSSET, ANFR, ARCEP, ANR, DGS)

La référence mondiale

Organisation Mondiale de la Santé (OMS/WHO)



- Aide-mémoire No 304 de l'OMS, mai 2006
« Compte tenu des très faibles niveaux d'exposition et des résultats des travaux de recherche obtenus à ce jour, il n'existe aucun élément scientifique probant confirmant d'éventuels effets nocifs des stations de base et des réseaux sans fil pour la santé. »