



ENSP
ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES

Ingénieur du Génie Sanitaire
Promotion 2005 - 2006

Atelier Santé Environnement

**REDUCTION DE L'EXPOSITION AUX ONDES
ELECTROMAGNETIQUES : CAS DE LA
TELEPHONIE MOBILE**

Référent pédagogique :
GOEURY Christophe

BERETTI Pierre
MORIN Hélène
PACAUT Céline

Remerciements

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre référent, M. GOEURY, pour sa disponibilité, son enthousiasme et ses conseils avisés.

Sommaire

Introduction.....	1
1. Les sources d'émission des ondes électromagnétiques.....	3
1.1 Nature des ondes électromagnétiques.....	4
1.1.1 Rayonnement ionisants et non ionisants [6] et [7]	4
1.1.2 Description des ondes électromagnétiques [8; 9; 10; 11].....	4
1.1.3 Comment sont émises les OEM ? [7].....	6
1.1.4 Comment mesure-t-on les OEM ?.....	7
1.2 Quelles sont les sources des ondes électromagnétiques ?	7
1.2.1 Des origines diverses [12] [13] [9]	7
1.2.2 Choix des sources dans le cadre de notre étude [13] [14]	9
1.3 Le téléphone mobile	10
1.3.1 Les micro-ondes [3] [9] [14]	10
1.3.2 Principe de fonctionnement d'un téléphone mobile [16]	11
2. Effets biologiques et risques sanitaires des ondes électromagnétiques émises par la téléphonie mobile	13
2.1 Caractérisation de l'exposition aux radiofréquences émises par un téléphone mobile	14
2.1.1 Dosimétrie [17].....	14
2.1.2 Niveau d'exposition dû aux téléphones mobiles [17].....	14
2.2 Identification d'un danger lié au téléphone mobile	15
2.2.1 Données épidémiologiques	17
2.2.2 Données expérimentales sur l'homme.....	20
2.2.3 Données expérimentales sur l'animal	23
2.2.4 Etudes cellulaires	25
2.2.5 Cas particuliers	26
2.3 Conclusion sur l'existence d'un risque sanitaire lié aux RF générées par la téléphonie mobile [97].....	28

3. Moyens de réduction de l'exposition aux champs électromagnétiques des utilisateurs de téléphones mobiles	29
3.1 Aspect législatif	30
3.1.1 Débit d'absorption spécifique [4] [19]	30
3.1.2 Quelles obligations pour le constructeur ? [98] [99]	32
3.2 Les Dispositifs de protection et leur évaluation.....	33
3.2.1 Systèmes de protection basés sur une action au niveau du téléphone mobile ...	34
3.2.2 Systèmes de protection basés sur une action au niveau de l'utilisateur	40
3.3 Eléments de gestion du risque et recommandations.....	43
3.3.1 Ligne directrice [112].....	43
3.3.2 Politiques et aspects de la gestion [112]	43
3.3.3 Recommandations [17; 98; 99].....	44
Conclusion.....	47
Bibliographie	49
Liste des annexes	I

Liste des sigles utilisés

ADONIS	Analyse dosimétrique des systèmes de téléphonie mobile de troisième génération
AFSSE	Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale
AFSSAPS	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé
ANSI	American National Standards Institute
B / CM	Champ magnétique
BF	Basses fréquences
CE	Communauté Européenne
CEM	Champs électromagnétiques
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrique
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
DAS	Débit d’Absorption Spécifique
DCS	Digital Cellular System
DTI	Department of Trade and Industry
E	Champ électrique
EEG	Electro-encéphalogramme
ERA	Environment Research Agency
FH	Faisceau hertzien
GSM	Global System for Mobile Communications ou Groupe Spéciale Mobile
HF	Hautes fréquences
ICNRP	International Commission of Non Ionizing Radiation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INRS	Institut National de Recherche Scientifique
KML	kit mains libres
MHz	Mégahertz
ODC	Ornithine décarboxylase
OEM	Ondes électromagnétiques
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OR	Odds Ratio
ORL	Oto-rhino-laryngologie
RF	Radiofréquences
RNRT	Réseau National de Recherche en Télécommunications
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
W	Watts
WiFi	Wireless Fidelity

Liste des tableaux et des figures

<i>Tableau 1</i>	Répartition des ondes électromagnétiques selon leur fréquence
<i>Tableau 2</i>	Base de données de l'OMS au 1 ^{er} octobre 2005
<i>Tableau 3</i>	Résultats des études épidémiologiques les plus récentes menées sur les effets des téléphones mobiles
<i>Tableau 4</i>	Résultats des études en laboratoire menées sur l'homme
<i>Tableau 5</i>	Résultats des études en laboratoire menées sur l'animal
<i>Tableau 6</i>	Résultats des études cellulaires
<i>Tableau 7</i>	Restrictions de base pour les champs électriques et magnétiques alternatifs à des fréquences allant jusqu'à 10 GHz
<i>Figure 1</i>	Schéma de la propagation d'une onde
<i>Figure 2</i>	Schéma des cellules du réseau téléphonique
<i>Figure 3</i>	Mesure du DAS maximal de 186 téléphones mobiles sans kit mains libres

INTRODUCTION

Nous sommes continuellement exposés à des champs électromagnétiques de toutes sortes, que ceux-ci soient d'origine naturelle (champ magnétique terrestre, lumière du soleil par exemple) ou créés par l'homme pour satisfaire ses besoins en termes de communication, de transport, de confort, etc.

Le nombre de sources de champs électromagnétiques dans notre environnement a prodigieusement augmenté durant les dernières décennies, avec le développement des réseaux électriques et des télécommunications. Les rayonnements d'origine anthropique, différents des rayonnements d'origine naturelle, constituent un véritable brouillard électromagnétique enveloppant la planète depuis des altitudes élevées.

Lors de leur découverte, à la fin du XIX^e siècle, les ondes électromagnétiques (OEM) trouvèrent un vaste champ d'application en thérapie et diagnostic médical [1]. Dès lors, elles furent et sont encore synonymes de progrès technologique et d'amélioration des conditions de vie pour chacun. Néanmoins, le bénéfice évident apporté par les OEM fut entaché par la suspicion de différents incidents sanitaires attribués à l'exposition à ces ondes. Nancy Wertheimer, en 1979, crut déceler une augmentation de l'incidence de leucémies chez de jeunes enfants résidant près de lignes à haute tension [2] (a posteriori d'autres études ont infirmé cette conclusion [3]). De nombreux organismes et institutions nationaux et internationaux ont recherché par la suite des effets délétères éventuels de tout l'arsenal électrique de la maison.

Une nouvelle alerte de nocivité éventuelle des champs électromagnétiques est apparue récemment. Cette fois, il s'agit d'ondes de haute fréquence exploitées en téléphonie mobile. L'élément fondateur de ce doute est cette fois-ci un procès intenté en 1992 par un particulier en Floride : David Reynard soutenait que l'usage du téléphone cellulaire avait provoqué le décès de sa femme des suites d'un cancer du cerveau [4]. D'autres actions furent menées par la suite comme la plainte déposée en août 2000 par un neurologue américain, Christopher Newman. Atteint d'un cancer du cerveau, il accuse Motorola de ne pas l'avoir prévenu du risque lié à l'usage de son portable [4]. Toutes ces actions furent déboutées pour absence de preuves. Mais elles suffirent à susciter le doute au sein du grand public et de la communauté scientifique, doute entretenu par les médias. Ces craintes, concernant les téléphones portables s'appuient sur différents éléments :

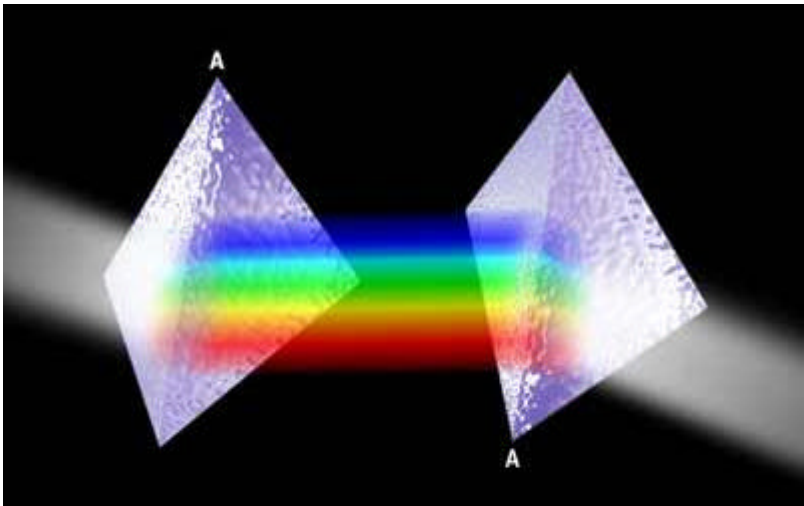
- la peur intuitive des gens à l'égard des champs magnétiques (phénomène nommé « modèle d'interférences » par le psychologue Paul Slovic [4]),
- le nombre considérable de personnes exposées (1,6 milliards d'abonnés dans le monde en 2005 [5]),
- l'exposition des utilisateurs au niveau de la tête et donc la peur insidieuse de tumeur au cerveau.

C'est pourquoi, le téléphone mobile est actuellement, avec les ondes d'extrêmement basse fréquence, le thème principal qui mobilise la recherche et les pouvoirs publics. Le problème est de savoir si un rayonnement radiofréquence de faible intensité, en-dessous de l'apparition d'un effet thermique notable, ce qui est le cas du téléphone portable, peut perturber certains processus biologiques et dans quel sens, nocif ou bienfaisant.

Suite à ces inquiétudes et au manque actuel de connaissances, différents dispositifs sensés prévenir ou réduire l'exposition aux OEM ont été développés. La plupart des systèmes de protection proposés sont destinés à atténuer ou modifier l'exposition aux OEM émises par les téléphones mobiles. En effet, dans le cas du téléphone portable, une action individuelle et volontaire pour réduire l'émission directement sur la source est plus facile que par exemple, dans le cas des stations de base ou des radars où l'exposition est subie. Omniprésents sur le marché, ces dispositifs posent différentes questions : quant est-il de leur véritable efficacité ? Dans quelle mesure ces appareils ne constituent pas une tromperie ? Les fabricants prétendent garantir la fiabilité de leurs dispositifs à l'aide de démonstrations expérimentales. Néanmoins sans évaluation scientifique indépendante, il est difficile de conclure.

L'objet de cette présente étude est de faire le point sur les différentes méthodes de réduction de l'exposition aux OEM et sur les propriétés avérées de ces produits. Une première partie sera destinée à rappeler les principes physiques mis en jeu et caractériser les différentes sources d'OEM. Par la suite, nous axerons notre étude sur le téléphone mobile pour les raisons évoquées précédemment (thème principal de recherche et principale cible des dispositifs de protection). Dans une seconde partie, nous proposerons d'une part des éléments de caractérisation de l'exposition liée à leur utilisation. Puis nous identifierons et déterminerons, à partir des résultats scientifiques, les éventuels effets biologiques et sanitaires induits par les téléphones portables. Enfin, nous nous intéresserons aux moyens proposés pour réduire l'exposition aux ondes électromagnétiques émises par les téléphones portables. Trois points seront abordés : la réglementation imposée aux constructeurs, une revue de l'évaluation des dispositifs de protection proposés sur le marché et les propositions de recommandations pour la gestion du risque éventuel.

1. Les sources d'émission des ondes électromagnétiques



1.1 Nature des ondes électromagnétiques

Afin de mieux comprendre comment les ondes électromagnétiques (OEM) peuvent agir sur l'organisme, il est nécessaire de définir leur nature et leurs propriétés.

Les ondes électromagnétiques sont des flux d'énergie naturels ou artificiels qui appartiennent à la famille des rayonnements. Elles se caractérisent par un flux quasi-continu de particules dépourvues de masse, les photons. De fait on parle de dualité onde-corpuscule.

L'énergie est un des facteurs permettant de différencier les rayonnements électromagnétiques. C'est l'énergie qui est à l'origine du phénomène d'ionisation.

1.1.1 Rayonnement ionisants et non ionisants [6] et [7]

Les ondes électromagnétiques transportent de l'énergie par l'intermédiaire des photons. Cette énergie est liée à la fréquence de l'onde : plus la fréquence est élevée, plus l'énergie transportée est élevée ($E = h * f$). Elle s'exprime en joules (J).

A fréquence suffisamment élevée, les photons ont une énergie suffisante pour casser des liaisons chimiques et ioniser les molécules (en leur arrachant des électrons). Ces ondes électromagnétiques sont alors dites ionisantes. Elles font partie des rayonnements ionisants ; parmi lesquels, on peut citer les rayons cosmiques, les rayons gamma et les rayons X. Ces ondes ne rentrent pas dans le cadre de notre étude.

Les ondes électromagnétiques de fréquence plus faible n'ont pas l'énergie suffisante pour briser les liaisons chimiques. Elles sont appelées rayonnements non ionisants. Il s'agit des rayons UV, de la lumière visible, des radiofréquences et des basses et extrêmement basses fréquences. Les rayons UV sont situés à la frontière de l'ionisation.

Nous allons focaliser notre étude sur les rayonnements non ionisants.

1.1.2 Description des ondes électromagnétiques [8; 9; 10; 11]

a) PRINCIPE PHYSIQUE

Il s'agit de la propagation, à la vitesse de la lumière dans le milieu, d'un champ électromagnétique (couple champ électrique - champ magnétique) variable dans l'espace et le temps, sous forme d'une succession d'ondes régulières.

Cette propagation se traduit par le déplacement de deux perturbations combinées, l'une électrique, l'autre magnétique. On peut, pour visualiser l'onde (*cf. Figure 1*), l'assimiler à une onde mécanique (double vibration s'engendrant de proche en proche). En chaque

point traversé, le champ électromagnétique local varie selon la valeur de la perturbation en ce point.

Les deux champs se propagent de façon ondulatoire, en phase, perpendiculairement l'un à l'autre et à la direction de propagation de l'onde.

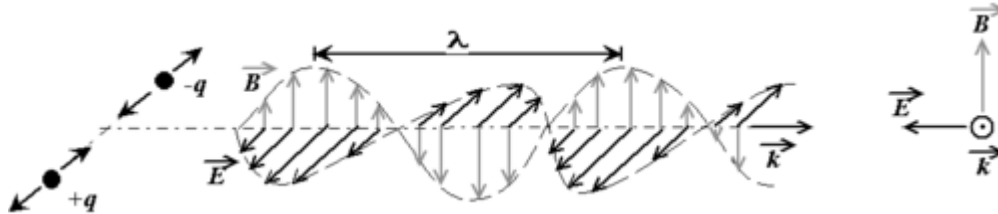
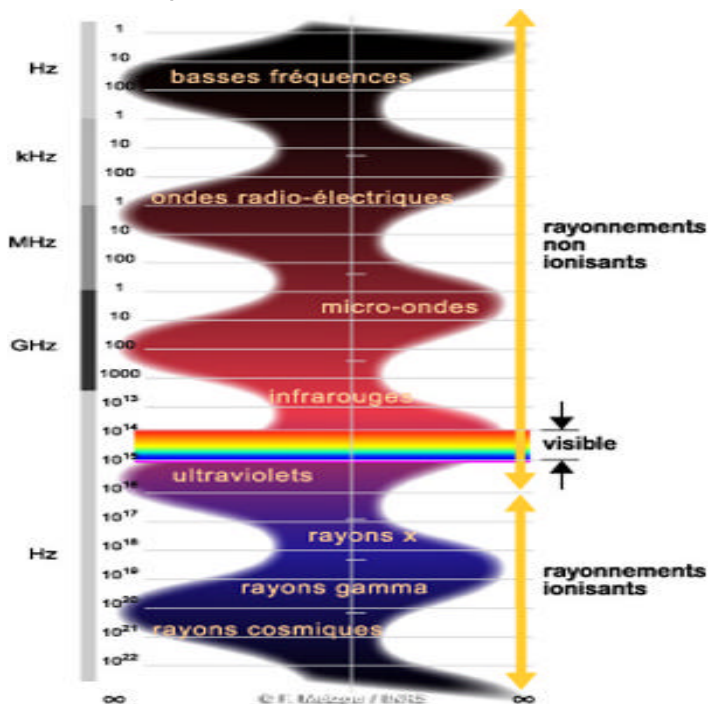


Figure1 : Schéma de la propagation d'une onde

On caractérise les ondes électromagnétiques par leur fréquence ou leur longueur d'onde. A ces deux paramètres, on peut en ajouter d'autres : intensité, polarisation, distance de la source à la personne exposée, forme (continue, modulée) ...etc.

b) NOTIONS DE FREQUENCE ET DE LONGUEUR D'ONDE

• Fréquence



La fréquence d'une onde est égale au nombre d'oscillations ou de cycles observés par seconde en un point donné de l'espace. Il s'agit de l'inverse de la période temporelle de l'onde, soit l'inverse de l'intervalle de temps minimum qui sépare l'observation en un point de 2 valeurs égales du couple (E,B). La fréquence s'exprime en Hertz (Hz) ou en multiples de Hertz.

Elle permet de classer les différents types d'ondes.

Les rayonnements électromagnétiques qui font l'objet de notre étude ont une fréquence comprise entre 0 et 300 GHz.

On répartit le spectre de fréquences en différentes catégories, selon diverses propriétés et applications des ondes électromagnétiques (cf. Tableau 1 et Annexe 1).

Tableau 1 : Répartition des ondes électromagnétiques selon leur fréquence

Catégorie	Gamme de fréquence	Applications
Statique	0 Hz	Electrolyse, aimant
EBF (extrêmement basses fréquences)	50-60 Hz (0-10 KHz)	Distribution électrique, soudage
Moyennes fréquences	50 Hz – plusieurs MHz	Induction
Hautes fréquences	Quelques MHz	Effet diélectrique
Hyperfréquences	2,45 GHz	Micro-ondes
Télécommunications	De plusieurs centaines de MHz à plusieurs GHz (variable)	Téléphonie, radiodiffusion, TV

- Longueur d'onde

La longueur d'onde est la période spatiale d'une onde, c'est à dire la distance minimale qui sépare 2 valeurs égales du couple (E,B) (points dans le même état vibratoire) au sein de la succession d'oscillations de l'onde. Elle s'exprime en mètres (ou sous-unités du mètre).

- Longueur d'onde et fréquence

La longueur d'onde λ est en fait une grandeur équivalente à la fréquence f . Les deux grandeurs sont en effet reliées par la relation suivante : $\lambda = \frac{c}{f}$

(avec c : célérité de la lumière)

Pour mieux comprendre la nature des ondes électromagnétiques, il faut s'intéresser à leurs origines électrique et magnétique.

1.1.3 Comment sont émises les OEM ? [7]

L'existence des ondes électromagnétiques est liée à celle des charges électriques (cf. Annexe 2). Par ailleurs les OEM diffèrent par leur structure et leur utilisation.

- Facteur temps

Lorsque la tension et le courant sont continus dans le temps, le champ électromagnétique créé est lui aussi constant. Il s'agit d'un champ statique.

On peut citer aussi, les champs émis par les courants alternatifs sinusoïdaux (secteur 220 V).

- Continuité

L'émission des ondes électromagnétiques est soit continue, soit discontinue. Dans ce dernier cas, elle est dite « pulsée » ; l'émission est morcelée dans le temps, par « à coups ».

Ainsi, on a des périodes d'émission et des périodes de non émission qui se succèdent à grande vitesse. Néanmoins, la fréquence du phénomène est généralement bien inférieure à celle des ondes émises (*cf. Annexe 3*).

- Modulation

Afin de pouvoir être émises par des antennes de taille raisonnable, les ondes sont modulées. Par exemple on peut moduler une onde basse fréquence (BF) en haute fréquence. La représentation temporelle de l'onde ressemble à celle d'une onde BF, mais il s'agit en fait d'une onde à haute fréquence dont la tendance générale est non pas rectiligne mais sinusoïdale (*cf. Annexe 3*).

Afin de caractériser les OEM en termes de nature et de paramètres, il faut des systèmes de mesure appropriés.

1.1.4 Comment mesure-t-on les OEM ?

Afin d'établir l'exposition que peut engendrer une source, il est nécessaire de caractériser les émissions par l'intensité ou la puissance (des champs émis) et par d'autres paramètres (fréquence, polarisation) (*cf. Annexe 4*).

Des appareils de mesure permettent d'obtenir des résultats mais ces derniers sont soumis à de fortes incertitudes (jusqu'à + / - 50% de la valeur observée) (*cf. Annexe 4*). C'est notamment le cas des antennes, qui sont les appareils de mesure qui vont nous intéresser dans notre étude, car elles permettent de mesurer les émissions des téléphones mobiles.

La variété des ondes électromagnétiques évoquée dans cette partie est liée à la variété de leurs sources d'émission.

1.2 Quelles sont les sources des ondes électromagnétiques ?

1.2.1 Des origines diverses [12] [13] [9]

Les ondes électromagnétiques sont soit d'origine naturelle, soit d'origine artificielle.

a) OEM D'ORIGINE NATURELLE

On peut citer les champs électrique et magnétique terrestres ou bien les rayonnements émis par un éclair, la lumière, ou encore le rayonnement électromagnétique cosmique.

b) OEM D'ORIGINE ANTHROPIQUE

Différentes technologies utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques, ou plus simplement l'énergie électrique, sont à l'origine d'émissions électromagnétiques. On peut répartir ces dispositifs en différentes catégories selon leur usage (vie quotidienne, activités professionnelles, utilité publique). Ainsi on distinguera trois grandes catégories anthropiques de sources de rayonnements électromagnétiques : les sources domestiques, les sources professionnelles et les sources médicales.

- Les sources domestiques

Elles induisent l'exposition qui touche le plus la population dans sa vie quotidienne. Ainsi la plupart des gens sont exposés à des rayonnements électromagnétiques à cause de la présence dans les habitations de lignes électriques, d'appareils électroménagers (réfrigérateur, congélateur, lave-linge, lave-vaisselle, sèche-linge, cuisinière), d'électronique de loisir (TV, magnétoscope), d'alarmes, de matériels informatiques et de communication.

L'intensité des champs électriques et magnétiques dans les habitations dépend de plusieurs facteurs : distance aux lignes de transport de l'électricité, nombre et type d'appareils électriques utilisés, configuration des conducteurs électriques intérieurs. Les champs électriques et magnétiques émis par les appareils domestiques peuvent être d'intensités très différentes (*cf. Annexe 5*). Dans les deux cas, le champ peut être nettement plus élevé à proximité immédiate de l'appareil, mais il diminue rapidement avec la distance.

Différentes installations sont d'autre part incluses dans la catégorie des sources domestiques car elles émettent des OEM auxquelles on peut être exposé dans notre vie de tous les jours, selon notre lieu d'habitation.

On citera les lignes à haute tension (émissions basses fréquences), qui inquiètent le public. On mentionnera aussi les antennes relais de téléphonie mobile (susitant tout autant d'inquiétudes), les relais de radiodiffusion



- Les sources médicales

Diverses applications médicales utilisent les propriétés des ondes électromagnétiques et de fait permettent d'introduire la notion d'« exposition médicale » :

imagerie par résonance magnétique, diathermie, bistouri électrique, stimulateurs cardiaques, prothèses auditives ...

- Les sources professionnelles

Il s'agit des sources exposant des populations dans le cadre de leur profession. On citera en particulier : les travailleurs de l'électricité, les travailleurs du téléphone, de la radio, les radaristes (militaires, aviateurs), les travailleurs de la SNCF, les soudeurs (ils peuvent être exposés à des champs magnétiques atteignant $500 \mu T$), les travailleurs de l'électronique, les professions de l'industrie (fours à induction, presses à hautes fréquences, électrolyseurs).

Parmi ces expositions, il s'agit dans le cadre de notre étude de choisir celles qui soumettent la population aux risques les plus élevés, ou qui font l'objet d'un manque de connaissances scientifiques, ou encore, qui génèrent les pressions sociales les plus intenses. Les expositions domestiques représentent en l'occurrence des enjeux forts : elles touchent un grand nombre de personnes et sont susceptibles de représenter une exposition importante (cas des téléphones mobiles). Par conséquent, nous focaliserons notre étude sur les expositions domestiques.

1.2.2 Choix des sources dans le cadre de notre étude [13] [14]

Le choix des sources procède de considérations sur l'exposition et sur l'émission.

a) PAR RAPPORT A L'EXPOSITION

Le téléphone portable représente une des principales sources d'inquiétude en matière d'ondes électromagnétiques. C'est un moyen de communication adopté par un grand nombre de français (45,4 millions d'abonnés au 30 juin 2005 selon l'Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes) [15]. Son utilisation est source d'émission d'ondes radiofréquences au contact de la boîte crânienne. Elle fait en outre l'objet, d'une part, d'une suspicion de risques sanitaires et d'autre part, d'enjeux de incompatibilité électromagnétique avec les pacemakers et certains dispositifs électroniques industriels. Ces raisons ont conduit la communauté scientifique à engager de nombreuses études sur les effets des téléphones mobiles sur la santé des usagers.



Les stations de base sont également au centre d'une polémique dont les ressorts

sont cette fois non moins des incertitudes scientifiques qu'une crainte de la population.

Malgré une détermination difficile du niveau moyen d'exposition aux radiofréquences (cf. *Annexe 6*), il n'en reste pas moins que l'émission radiofréquence des stations de base macrocellulaires (stations les plus répandues) est conforme aux normes dès que l'on se place à une distance supérieure à 2,5 m de celles-ci. Or d'une part, peu de gens habitent près d'une station de base et d'autre part, l'exposition n'est pas comparable avec celle des mobiles, car elle est bien plus courte pour un même niveau d'émission, dès lors qu'on ne vit pas à côté, et aussi parce qu'elle est répartie sur le corps entier.

Ainsi, les utilisateurs aux téléphones mobiles représentent un enjeu qui semble des plus importants. En effet l'exposition est plus « importante » en terme de niveau, de cible et de proximité (cerveau) et parce que les enfants sont suspectés comme étant particulièrement sensibles. Ils sont, par conséquent, la cible de nombreux fabricants de dispositifs de protection.

b) ET A L'EMISSION

En *Annexe 5*, sont présentés les ordres de grandeurs des émissions électromagnétiques de différentes applications électriques domestiques.

Les appareils électriques domestiques émettent des champs électriques et magnétiques d'intensités très variées (notamment selon leur type : simples appareils électriques ou appareils de télécommunications).

Certes, les téléphones portables ne représentent pas l'émission d'intensité la plus élevée au niveau du champ électrique, mais elle n'en est pas moins négligeable. L'émission magnétique est, quant à elle, très faible par rapport à d'autres équipements.

Ces diverses raisons évoquées précédemment nous ont conduits à focaliser notre étude sur les téléphones mobiles.

1.3 **Le téléphone mobile**

Le but de cette partie est de présenter les principes de la téléphonie mobile.

1.3.1 ***Les micro-ondes*** [3] [9] [14]

Il s'agit de la gamme du spectre électromagnétique utilisée pour la téléphonie mobile.

a) LES DIVERSES APPLICATIONS DES MICRO-ONDES

Les micro-ondes couvrent une gamme de fréquences comprises entre 300 et 300 000 MHz (fréquences élevées), soit une longueur d'onde comprise entre 1 et 100 mm. Pour

donner un ordre de grandeur, ces fréquences sont plus d'un million de fois inférieures à celles des radiations ionisantes.

Les micro-ondes sont utilisées depuis plus d'un siècle (tout début du XX^e siècle). Une des premières applications était la diathermie (application médicale).

Elles sont aussi utilisées dans le cadre d'applications récentes plus ou moins célèbres : le radar et les fours micro-onde (échauffement des molécules d'eau des aliments sous l'effet de la variation de champ électrique).

b) LE CAS DES TELEPHONES MOBILES

Les téléphones mobiles émettent eux-aussi des micro-ondes, qui permettent de transporter des informations de communication.

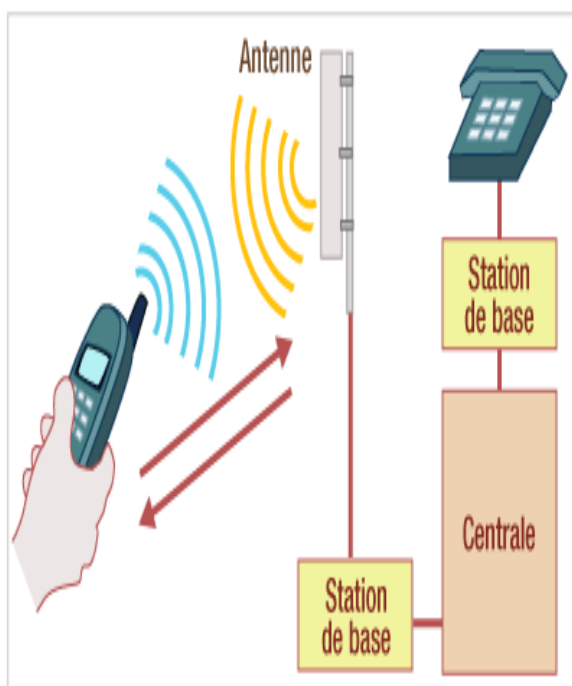
Les téléphones portables actuels utilisent pour communiquer, deux gammes de fréquences (**900 MHz** et **1800 MHz**) qui dépendent de la technologie utilisée (cf. Annexe 7) :

- GSM (Global system for mobile communication) : émission cadencée à 900 MHz et fonctionnant avec une puissance $P = 2 W$
- DCS (Digital cellular system) à 1800 MHz et $P = 1 W$

1.3.2 Principe de fonctionnement d'un téléphone mobile [16]

La téléphonie mobile fonctionne par l'intermédiaire de réseaux, qui permettent à des appareils de mêmes caractéristiques de communiquer.

- Comment fonctionne le réseau ?



Lorsqu'un appel est émis, l'information vocale est transcrite en un signal numérique puis en champs radiofréquences qui sont captés par l'antenne la plus proche. Cette dernière transmet le signal à une station de base, qui l'envoie alors à une centrale par ligne téléphonique conventionnelle (sous forme numérique) ou par faisceau hertzien.

Une station de base est constituée d'une unité de commande et de plusieurs antennes émettrices -réceptrices généralement fixées à un pylône.

NB : Les stations de base envoient et reçoivent continuellement des signaux (signaux de service) pour localiser en permanence les abonnés, afin que la communication puisse être établie par la station la plus proche.

Une fois arrivé à la centrale, le signal est transféré au destinataire via la voie filaire ou hertzienne selon que l'interlocuteur est sur un fixe ou un mobile.

- Structure du réseau

En chaque point du territoire un téléphone mobile émet et reçoit des ondes, lors d'une communication, à partir d'une seule antenne relais.

Le réseau est composé d'un certain nombre de stations de base permettant de desservir un territoire déterminé dans sa presque totalité (cf. Figure 2). Chaque antenne d'une station de base couvre une partie de territoire ou cellule (d'où le nom «téléphone cellulaire»), généralement de forme circulaire. Les chevauchements sont minimisés pour des cellules hexagonales.

Le choix de la station de base utilisée pour la communication est effectué via la centrale de communication : à la limite d'une cellule, les signaux provenant de la station de base et reçus par l'abonné sont plus faibles qu'à proximité de celle-ci. Le téléphone recherche le signal le plus fort entre les différentes stations de base. Le résultat de la recherche est envoyé à la centrale qui oriente éventuellement la communication vers la station de base voisine.

A noter que la puissance émise par le portable est d'autant plus forte que la réception est mauvaise.

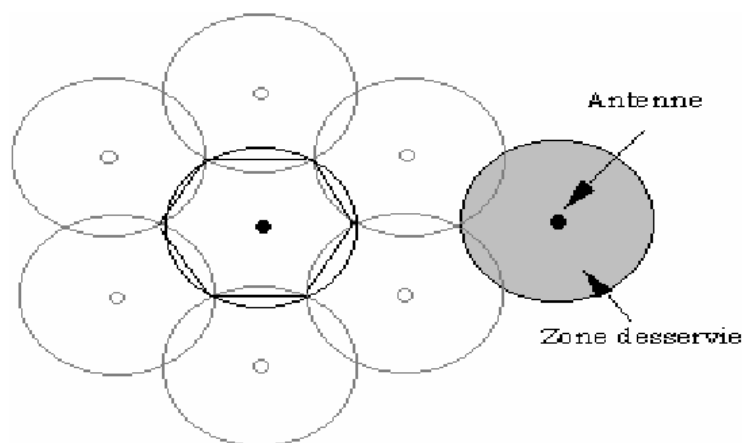


Figure 2 : Schéma des cellules du réseau téléphonique

2. Effets biologiques et risques sanitaires des ondes électromagnétiques émises par la téléphonie mobile

2.1 Caractérisation de l'exposition aux radiofréquences émises par un téléphone mobile

2.1.1 Dosimétrie [17]

Pour les radiofréquences, on mesure le champ électrique, grandeur spécifique pour mesurer l'exposition aux OEM émises par les antennes. Néanmoins cette grandeur ne permet pas de prendre en compte la puissance réellement absorbée à l'intérieur du sujet. Le débit d'absorption spécifique (DAS) est alors utilisé pour quantifier le niveau d'exposition de la tête de l'utilisateur. Le DAS représente la puissance absorbée par unité de masse de tissu biologique. Il est exprimé en watts par kilogramme de tissu (W/Kg). La valeur du DAS d'un mobile dépend en grande partie de son antenne et de la position précise de l'appareil par rapport à l'utilisateur, ainsi que de sa forme et de ses caractéristiques électriques [4]. Autant de paramètres dont la variation est difficile à contrôler.



En outre, il est bien entendu impossible de mesurer directement l'exposition dans la tête de l'utilisateur; on doit donc se contenter d'estimations. Des améliorations notables de la mesure du DAS ont été obtenues durant ces dix dernières années par l'utilisation de « fantômes » liquides ou numériques permettant par la mesure de calculer la distribution de la puissance absorbée par la tête de l'utilisateur du mobile [18]. La norme européenne de référence EN50361 vise à définir précisément la méthodologie utilisée pour vérifier le niveau de DAS pour les GSM.

2.1.2 Niveau d'exposition dû aux téléphones mobiles [17]

La norme européenne de référence (EN50360) stipule que la valeur maximale du DAS intégré dans 10g de tissu contigu ne doit pas dépasser 2 W/kg (et 0,08 W/kg pour le corps entier) [19]. D'après une étude de l'AFSSET (cf. figure 3), on constate que le DAS maximal des téléphones mobiles du commerce s'échelonne typiquement entre 0,15 W/kg et 1,5 W/kg. Dans cette étude, est introduite la notion de DAS maximal. En effet, compte tenu des sauts de fréquence entre la bande 900 MHz et la bande 1800 MHz et des dispositifs de transmission discontinue, la puissance peut varier dans un rapport de 1 à 100 en pratique et par conséquent, le DAS instantané dans les mêmes proportions. Le DAS est rarement maintenu tout au long de la conversation téléphonique sauf cas exceptionnel. Ces cas peuvent arriver lorsque la personne qui téléphone, est en limite de portée de toute station de

base environnante ou lorsque le mobile est amené à faire des transferts inter-cellulaires fréquents, c'est-à-dire des changements de cellules rapides, par exemple, dans le train ou en voiture.

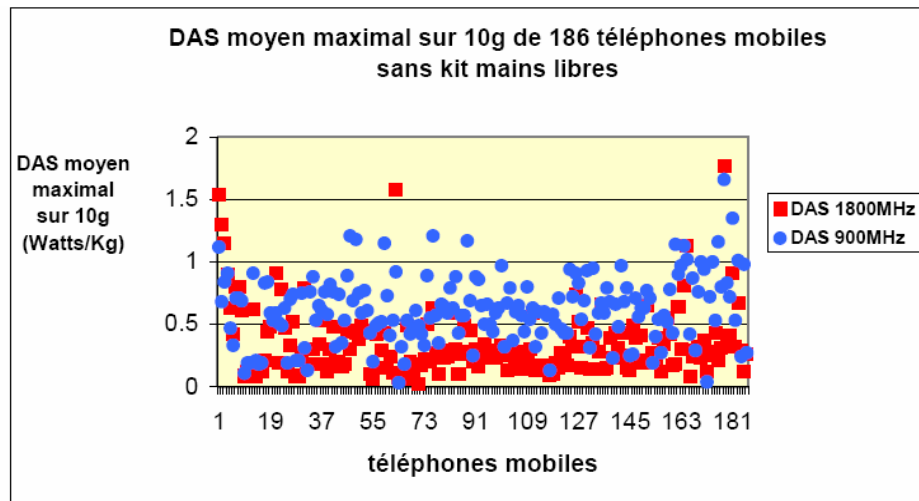


Figure 3 : Mesure du DAS maximal de 186 téléphones mobiles sans kit mains libres

Il ne faut pas oublier que l'exposition regroupe à la fois la notion de niveau mais également de durée. Le DAS est déterminé à partir d'une durée d'exposition donnée de 6 minutes. Or un récent dossier de l'Autorité de Régulation des Télécommunications fait apparaître une utilisation moyenne des mobiles de 2h10 par mois (3h34 en moyenne pour les utilisateurs de forfait et 20 min pour les formules prépayées) [17].

2.2 Identification d'un danger lié au téléphone mobile

L'exposition aux rayonnements RF de forte puissance est bien connue par rapport aux mécanismes d'interaction avec le milieu vivant. Les effets aigus reconnus, comme les altérations de la cornée ou des modifications du comportement d'animaux exposés, sont liés à une hyperthermie partielle ou généralisée du corps (cf. Annexe 8). Le seuil d'apparition d'effets thermiques correspond à un DAS de 4W/kg dans l'organisme entier [1]. Néanmoins, ces effets thermiques ne peuvent être la cause directe d'effets délétères du fait de la faible puissance mise en jeu en téléphonie mobile et de l'application stricte des normes et des valeurs limites (DAS < 2 W/kg sur 10g de tissus) [18]. Des calculs récents ont montré que l'échauffement dû aux ondes électromagnétiques du téléphone ne dépassait pas 0,1°C dans le cerveau [1]. Ceci montre bien que les effets thermiques sont négligeables.

Ce qui fait débat, ce sont en réalité les expositions à des champs dont les intensités respectent largement les valeurs limites des normes actuelles et auxquelles sont régulièrement attribuées, à juste titre ou non, des effets divers depuis le simple désagrément

jusqu'à des pathologies telles que des cancers. La recherche d'effets sanitaires des RF de la téléphonie mobile doit donc s'orienter vers la mise en évidence d'effets non thermiques ou effets spécifiques. Jusqu'à présent, il n'a jamais été montré d'effet pathologique grave à court terme mais qu'en est-il d'effets plus bénins ou d'effets sur le long terme ?

Cette partie fait donc le point quant aux connaissances scientifiques sur les effets non thermiques des signaux associés à la téléphonie mobile et sur les conclusions que l'on peut en tirer sur les effets sanitaires. L'essentiel de cette partie s'appuie sur le rapport d'expertise remis récemment à l'AFSSET [17]. Elle se rapporte aux études *in vitro* et *in vivo*, à l'expérimentation animale, aux études expérimentales humaines et épidémiologiques. Ces études font partie de l'importante base de données de l'OMS sur la téléphonie mobile (cf. tableau 2).

Tableau 2 : Base de données de l'OMS au 1^{er} octobre 2005 [21]

Type d'étude	En cours	Terminée mais non publiée	Publiée
Etudes sur le cancer ou associées	91	33	197
Etudes épidémiologiques	30	3	47
Etudes humaines	2	1	0
Etudes animales	22	9	66
Etudes cellulaires	37	20	84
Etudes en dehors du cancer	112	39	104
Etudes épidémiologiques	4	1	16
Etudes humaines	57	16	86
Etudes animales	25	13	47
Etudes cellulaires	11	6	24
Total	202	72	301

2.2.1 Données épidémiologiques

Tableau 3 : Résultats des études épidémiologiques les plus récentes menées sur les effets des téléphones mobiles

Auteurs	Méthode	Résultats	Critiques
Neurinomes des nerfs crâniens			
Christensen et <i>al.</i> (2004) [22]	Etude cas – témoins : 106 cas de neurinomes de l'acoustique et 212 témoins danois tirés au hasard Méthodologie de l'étude Interphone ¹	Aucune augmentation du risque de neurinome associé à l'usage du mobile MAIS rôle facilitateur dans la progression des tumeurs (tumeurs du côté du mobile plus grosses que tumeurs de l'autre côté)	+ : protocole rigoureux, bonne représentativité - : manque de recul car peu d'anciens utilisateurs (<10 ans), quantification de l'usage du mobile et non de l'exposition réelle
Lönn et <i>al.</i> (2004) [23]	Etude cas – témoins : 148 cas de neurinomes et 604 témoins suédois Méthodologie de l'étude Interphone	Globalement, pas d'excès de risque d'avoir un neurinome quand utilisation du portable ; MAIS il semble y avoir un léger accroissement du OR quand la durée d'exposition augmente (>10 ans) concernant les tumeurs ipsilatérales	+ : protocole rigoureux, grande puissance d'étude - : quantification de l'usage du mobile et non de l'exposition réelle
Warren et <i>al.</i> (2003) [24]	Comparaison entre 18 cas de neurinomes du facial, 51 de neurinomes du nerf acoustique, 72 de sinusites et 69 de dysphonie	Aucun excès de risque en relation avec l'usage du mobile pour les tumeurs du nerf facial	- : résultats non exploitables, en raison du très petit nombre de cas exposés
Tumeurs cérébrales			
Lönn (2004) [25]	Etude cas – témoins : 371 cas de gliome, 273 cas de méningiome et 604 témoins (même groupe que lors de l'étude sur les neurinomes) [23]	Aucun excès de risque n'apparaît quelque soit le type d'analyse menée (pas de relation avec la durée d'usage, entre la localisation de la tumeur et côté d'usage du mobile,...)	Cf. étude précédente de Lönn et <i>al.</i> [23]

¹ Le programme Interphone consiste en une série d'études coordonnées dans 13 pays (Allemagne, Australie, Canada, Danemark, Finlande, France, Israël, Italie, Japon, Norvège, Nouvelle Zélande, Royaume-Uni, Suède). Piloté par le Centre International de Recherche sur le Cancer, il porte sur la relation entre usage des téléphones mobiles et tumeurs de la tête et du cou. L'étude doit porter sur plus de six mille malades et dix mille témoins sains.

Auteurs	Méthode	Résultats	Critiques
Tumeurs de l'œil			
Inskip (2003) [26]	Etude descriptive réalisée aux Etats Unis	Pas d'augmentation de l'incidence des mélanomes de l'œil	- : manque de sensibilité pour détecter une augmentation de l'incidence car pathologie complexe, risque et incidence faibles
Tumeurs de la glande parotide			
Hardell et al. (2004) [27]	Etude cas – témoins: 267 cas de tumeurs de glande parotide et 1053 témoins suédois	Aucun accroissement du risque trouvé ni en relation avec l'usage de la technologie analogique ni avec celui du GSM ni avec le téléphone sans fil	- : une partie des témoins issus de l'étude sur les tumeurs cérébrales, 99 cas non inclus car trop malades ou décédés
Autres pathologies			
Johansen (2004) [28]	Aucun détail	Aucune preuve de danger de troubles cardiovasculaires	
Effets subjectifs			
Wilèn et al. (2003) [29]	Etude de cohorte sur 2402 utilisateurs de GSM (téléphonant au moins 2 min/ jour). Analyse des symptômes subjectifs tels que vertige, inconfort, fatigue, céphalée,...	Pour DAS > 0,3W/kg, apparition de symptômes surtout lors d'appels longue durée Certains symptômes comme une sensation d'inconfort, une diminution de la concentration, une sensation de chaleur ou des maux de tête semblent corrélés au niveau de DAS.	+ : étude dosimétrique détaillée, mesure des DAS à trois niveaux de la tête
Balikci et al. (2004) [30]	Etude transversale sur 795 personnes (dont 146 non utilisateurs)	Effets reportés : irritabilité, maux de tête, perte de mémoire et de réflexes, inattention... Pas d'augmentation significative des vertiges, sensations d'inconfort auditif.	- : Biais de sélection et d'information

- Conclusion sur les données épidémiologiques

La question sanitaire principale vis à vis de l'utilisation du portable porte sur l'augmentation de l'incidence de tumeurs chez les usagers. Les études épidémiologiques publiées à ce jour ne permettent aucune conclusion tranchée sur l'existence d'un danger. Des doutes sont néanmoins soulevés, en raison de nombreuses insuffisances méthodologiques :

- Le manque de recul (durée d'étude trop courte par rapport à l'apparition éventuelle de symptômes)
- Le manque de puissance : la taille des échantillons est souvent trop faible pour permettre la détection d'un effet de faible amplitude
- Le manque de données dosimétriques précises et la difficulté d'évaluer correctement l'exposition réelle des sujets aux radiofréquences émises par les téléphones mobiles
- Le manque de connaissances physiopathologiques qui permettraient de monter des scénarii d'études épidémiologiques crédibles

De plus, la difficulté de réaliser des études épidémiologiques va s'accroître d'ici les prochaines années du fait que la quasi-totalité de la population utilisera un téléphone mobile. Où trouver alors des populations de comparaison non exposées adéquates ?

En résumé, la conclusion de Savitz, épidémiologiste de renom, est que le risque de cancer attribuable aux radiofréquences générées par la téléphonie mobile est passé, en particulier avec l'étude de Lönn et *al.* (2004) [23], de « très fortement improbable » à « fortement improbable » [17].

Des conclusions franches seront sans doutes possibles après la publication des données de l'étude Interphone générale, qui seule aura une puissance statistique suffisante pour éclaircir la question. Cette étude permettra également d'approfondir la relation dose-effet en améliorant l'évaluation de l'exposition au niveau des tissus susceptibles d'être concernés par le développement de tumeurs.

Toutefois le risque d'accidents liés à l'usage du téléphone mobile lors de la conduite automobile est, quant à lui, bien réel, même si l'usage du téléphone mobile s'inscrit souvent dans un profil général de personnes à « comportement à risque » (hommes jeunes, réalisant de nombreux déplacements, et peu soucieux de sécurité) [17]. Une étude québécoise a montré que le risque relatif d'accident associé à l'usage du téléphone mobile serait de l'ordre de 1,2-1,5 [31].

2.2.2 Données expérimentales sur l'homme

Tableau 4 : Résultats des études en laboratoire menées sur l'homme

Auteurs	Méthode	Résultats	Critiques
Effets subjectifs			
Hietanen et al. (2002) [32]	Etude sur l'électrosensibilité de sujets exposés en double aveugle	Pas de preuve que les champs de RF émis par le téléphone portable soient perçus par les personnes se disant « hypersensibles »	- : absence de précision dosimétrique
Congrès de l'OMS à Prague (Oct. 2004) [17]	Synthèse des connaissances relatives aux hypersensibilités dues aux CEM	Existence d'une véritable hypersensibilité non démontrée ; les symptômes atypiques sont une manifestation d'un mal-être environnemental ou sociétal	- : absence d'une définition médicale de l'hypersensibilité
Voies acoustiques centrales			
Bak et al. (2003) [33]	Etude des réponses cérébrales aux stimuli sonores pendant ou en absence d'une émission GSM	Aucun effet sur la conduction dans le nerf auditif	- : absence de précision dosimétrique
Araï et al. (2003) [34]	Exposition de 15 volontaires à 30 min. d'un signal de téléphone mobile à 800 MHz (DAS de 0,8 W/kg)	Aucun effet à court terme sur les voies auditives	Idem que précédemment
Fonctions cérébrales			
Krause et al. (2004) [35]	Etude des phénomènes de «synchronisations et désynchronisations liées à 1 événement » chez 24 sujets exposés ou non (DAS de 0,88 W/kg sur 1 g.)	Observation d'un nombre croissant d'erreurs lors de l'exposition aux RF	- : Etats ORL et neurologique des sujets non contrôlés avant exposition
D'Costa et al. (2003) [36]	Comparaison de l'activité cérébrale de 10 sujets sous exposition réelle ou fictive d'un GSM 900	Différences des bandes électroencéphalogrammes (EEG) sous l'effet du GSM	+ : bonne étude statistique - : pas de dosimétrie, position très inhabituelle du mobile (derrière la tête !)
Kramarenko et Tan (2003) [37]	Enregistrement de l'EEG de sujets exposés ou non à un téléphone GSM 900	Présence anormale d'activité delta chez sujets exposés	- : très peu d'informations sur les conditions expérimentales
Maier et al. (2004) [38]	Test de discrimination auditive sur 11 sujets, ceci deux fois : avec ou sans exposition GSM (10 W/m ²)	Résultats plus mauvais après exposition réelle	- : insuffisance des données dosimétriques
Haarala et al. (2003 et 2004) [39, 40]	Etude sur 64 sujets soumis à 9 tâches cognitives dans 2 laboratoires, ceci pour deux sessions : avec ou sans exposition GSM	Aucune différence significative des performances entre exposés/non exposés, ni entre laboratoire ni entre sexe	- : manque de certains calculs de dosimétrie

Auteurs	Méthode	Résultats	Critiques
Lee et <i>al.</i> (2003) [41]	Test d'attention sur 78 étudiants choisis au hasard, exposés au mobile	Performances améliorées par l'exposition, ceci de manière dose-dépendante	+ : étude dosimétrique détaillée
Smythe et Costall (2003) [42]	Test de mémoire à court et à long terme sur 62 sujets soumis au GSM 1800 (DAS 0,79W/kg)	Performance accrue sous exposition au GSM uniquement chez les hommes	- : dosimétrie non mesurée mais déterminée à partir des données du constructeur
Sommeil			
Huber et <i>al.</i> (2003) [43]; Kuster et <i>al.</i> (2004) [44]	Effet sur le sommeil (exposition pendant le sommeil ou dans la période précédant le sommeil) (DAS allant de 0,1 à 1,5 W/kg)	Accroissement de l'EEG sous exposition Action possible sur les niveaux sous-corticaux	+ : étude dosimétrique détaillée
Thermorégulation			
Adair et <i>al.</i> (2003) [45]	Etude sur 6 sujets exposés aux RF à 100 MHz avec 3 densités de puissance testées à 3 températures différentes et à une exposition fictive	Aucune modification dans la production métabolique de chaleur enregistrée	- : nombre de sujets insuffisant
Domaine cardio-vasculaire			
Monfrecola et <i>al.</i> (2003) [46]; Roelandts (2003) [47]	Mesure sur 30 sujets de la circulation sanguine et des sensations au niveau de l'oreille externe pendant une communication téléphonique	Augmentation du débit sanguin de l'oreille externe, proportionnelle à la durée de communication ; rougeurs et sensation de chaleur au niveau du pavillon de l'oreille	- : absence d'étude comparative avec le téléphone fixe
Celik et Hascalik (2004) [48]	Etude du rythme cardiaque de 40 fœtus pendant une exposition de 5 minutes	Absence d'effet sur le rythme fœtal	- : faible rigueur méthodologique et mesures peu précises, problèmes éthiques de l'étude
Tahvanainen et <i>al.</i> (2003) [49]	Mesure de la pression cardiaque de 32 sujets pendant et après 35 min d'exposition au GSM 900 (1,6W/kg) et 1800 (0,7W/kg) et fictive	Pas de modification significative pendant et après les 35 min. d'exposition, et entre les différentes expositions.	+ : protocole rigoureux
Haarala et <i>al.</i> (2003) [50]	Mesure du débit sanguin sur 14 sujets effectuant une tâche de mémoire visuelle	Décroissance du débit sanguin cérébral dans le cortex auditif lors de l'exposition	- : production d'artéfacts par les instruments de mesure utilisés
Système endocrinien			
De Seze et <i>al.</i> (1996) [51, 52]	Etude des sécrétions hormonales chez des sujets exposés à des téléphones mobiles (2h/jour, 4 semaines)	Pas de différence significative sur les sécrétions de base ou les rythmes circadiens des hormones : ACTH, LH, FSH et GH	+ : exposition conforme à la réalité

- Conclusion sur les données expérimentales sur l'homme

En résumé, les conclusions restent encore très hésitantes : il est difficile de conclure au sujet de l'existence d'un risque sanitaire et surtout de comparer les investigations, compte tenu des multiples paramètres en jeu (fréquence, orientation, modulation, densité de puissance, durée d'exposition).

Les résultats sont le plus souvent négatifs mais presque toujours entachés d'incertitudes. Dans un certain nombre d'études, les travaux de réplication n'ont pu confirmer les résultats initiaux. Il faut noter que certains résultats laissent apparaître un effet favorisant la performance intellectuelle. D'autre part, certaines explorations révèlent des états d'altération des marqueurs tels que les EEG alors que les tests comportementaux restent normaux, suggérant une sensibilité réduite des tests ou une absence de relation entre les deux tests.

Une des perspectives de recherche avancées serait l'amélioration dans l'acquisition de données dosimétriques.

2.2.3 Données expérimentales sur l'animal

Tableau 5 : Résultats des études en laboratoire menées sur l'animal

Sujet d'étude	Bilan actuel	Sources
Barrière hémato-encéphalique	Pas d'effet sur la perméabilité de la barrière dans des conditions normales d'utilisation des portables (effets trouvés se produisent seulement à une exposition GSM à un niveau thermique)	D'Andrea et al. (2003) [53]; Mc Quade et al. (2005) [54]; Cosquer et al. (2005) [55].
Electroencéphalogramme	Modification des spectres EEG en puissance pour des niveaux thermiques mais la portée de ces résultats est limitée en absence de dosimétrie	D'Andrea et al. (2003) [53]
Apprentissage, comportement	Pas d'effet sur les performances, pas d'altération de l'apprentissage lorsque le niveau d'exposition est non thermique (ou proche des normes) et contrôlé	Dubreuil et al. (2003) [56]; Yamaguchi et al. (2003) [57]; Cassel et al. (2004) [58]; Cosquer et al. (2005) [59]
Pathologies neuro-dégénératives	Aucun effet des RF (signal GSM 900 jusqu'à 6W/kg) sur l'évolution d'une crise d'encéphalomyélite allergique (paralyse progressive) provoquée expérimentalement	Anane et al. (2003) [60]
Peroxydation, radicaux libres	Des actions sur la concentration d'espèces radicalaires oxygénées et des modifications du statut oxydatif sont évoquées comme lésions élémentaires.	Aweda et Gbenebitse (2003) [61]; Oktem et al. (2005) [62]
Cancer	Aucun effet de l'exposition chronique aux RF en termes d'incidence des tumeurs même chez les souris prédisposées à développer des lymphomes (seule l'étude de Repacholi [68] conclut à un rôle favorisant des RF sur le développement des tumeurs)	La Regina et al. (2003) [63]; Heikkinen et al. (2003) [64]; Anane et al. (2003) [65]; Sommer et al. (2004) [66]; Oberto et al. (2004) [67]
Génotoxicité <i>in vivo</i>	Aucun effet mutagène ou génotoxique de l'exposition de souris aux RF à 2450 MHz (DAS de 0,7 à 1,4 W/kg)	Lagroye et al. (2004) [69]; Ono et al. (2004) [70]
Reproduction - développement	Aucun effet sur les organes reproducteurs, sur les sécrétions hormonales, sur la circulation placentaire Une étude relève des modifications dans l'expression de protéines rénales chez des nouveaux-nés irradiés durant la gestation	Dasdag et al. (2003) [71]; Nakamura et al. (2003) [72] Pyrpasopoulou et al. (2004) [73]
Vision	Existence d'effets immédiats et à long terme causés uniquement par élévation de la température locale en raison d'un niveau d'exposition élevé (fréquence de 2,45GHz, DAS de 150 W/kg chez le lapin)	Elder (2003) [74]
Audition	Aucun effet sur l'audition	Kizilay et al. (2003) [75]; Aran et al. (2004) [76]
Immunité	Effet peu probable de l'exposition au GSM sur le système immunitaire	Gatta et al. (2003) [77]

- Conclusion sur les données expérimentales sur l'animal

Les modèles d'exposition d'animaux ont rendu possible une meilleure caractérisation du DAS à l'intérieur des organismes [18]. Ils permettent de mieux cerner les effets éventuels d'expositions locales en simulant l'utilisation d'un téléphone mobile ou de prendre en compte le cas d'une exposition du corps entier.

La majorité des études a révélé des résultats négatifs, lors de conditions normales d'utilisation du téléphone mobile. Par contre, les expériences montrant des effets à faible niveau souffrent d'un manque d'information dosimétrique et de biais liés au protocole. Elles mériteraient de bénéficier à la fois de répliques et d'expérimentations sur des animaux de plus grande taille (à des fréquences différentes) pour évaluer le facteur en vue d'une éventuelle transposition à l'homme.

L'une des thématiques majeures à investiguer par la suite est la perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique lors d'une exposition au téléphone mobile. Ce phénomène n'a pas été mis en évidence chez le rat dans les récentes études ; mais au vu de l'importance potentielle de ce phénomène en termes de santé publique, il faudra réaliser au besoin de nouvelles études pour espérer conclure.

2.2.4 Etudes cellulaires

Tableau 6 : Résultats des études cellulaires

Sujet d'études	Bilan actuel	Sources
Génotoxicité	Absence d'effet génotoxique des RF entre 813 et 2450 MHz	Meltz (2003) [78]; Hook et al. (2004) [79]; Zeni et al. (2004) [80]; Lagroye et al. (2004) [81]
Apoptose (mort cellulaire programmée)	Aucun effet sur l'apoptose des RF seules selon les articles [64] et [65] Induction du processus apoptotique des cellules tumorales après exposition à un signal (DAS 3,5 mW/kg) [66]	Markkanen et al. (2004) [82]; Capri et al. (2004) [83] Marinelli et al. (2004) [84]
Expression de gènes et protéines	Modification de l'expression de certains gènes dans certaines souches cellulaires Aucune diminution de l'activité enzymatique pour des DAS normaux	Nylund et Leszczinski (2004) [85]; Czyz et al. (2004) [86] Desta et al. (2003) [87]
Lipoperoxydation et radicaux libres (altération des cellules)	Aucun effet des RF GSM sur la formation de radicaux libres mais rôle de stimulation de leur production en présence d'un stress oxydatif	Zmyslony et al. (2004) [88]

- Conclusion sur les études cellulaires

L'absence d'effet génotoxique des RF pour de faible niveau de DAS est confirmée par les études les plus récentes. Certaines études présentent des résultats semblant contradictoires, mais l'utilisation de modèles différents ne permet pas la confrontation.

Il faut rester prudent pour éviter toute extrapolation directe ou abusive de tels résultats cellulaires à des effets physiopathologiques chez l'homme.

2.2.5 Cas particuliers

Dans cette partie, nous ne pouvons écarter l'étude de deux groupes particuliers :

- les porteurs de dispositifs type stimulateurs cardiaques
- les enfants

Concernant les interférences entre les RF des téléphones mobiles et certains dispositifs médicaux implantables actifs, Kainz et *al.* [89], ainsi que Grant et *al.* [90] concluent à l'absence d'interaction. L'étude de Wang et *al.* décrite ultérieurement a démontré l'existence d'interférences [91]. Néanmoins, ce résultat est à prendre avec précaution car les auteurs n'identifient aucunement le mécanisme en jeu. Pour prévenir tout risque éventuel, il a été préconisé aux porteurs de stimulateur cardiaque de ne pas approcher leur téléphone mobile à moins de 15 cm de leur poitrine, même en veille, et de l'utiliser uniquement sur l'oreille controlatérale au côté d'implantation du stimulateur [92].

L'attention est aussi portée sur les enfants, principalement pour deux raisons :

- la possibilité d'une sensibilité accrue des enfants pendant leur développement et d'effets irréversibles sur leur santé [93, 94].
- L'adoption des téléphones mobiles par des enfants de plus en plus jeunes d'où des périodes d'exposition qui tendent à s'allonger. Par exemple, actuellement, en Allemagne, 88% des enfants de 11 à 15 ans possèdent un téléphone dont 66% depuis plus d'un an [17].

La modélisation du DAS dans les modèles enfant est encore inadaptée [95]. Il semblerait que les valeurs de DAS restent similaires à celles des adultes, la profondeur de pénétration des ondes étant cependant supérieure chez les enfants du fait de la taille inférieure de la tête [96].

La majorité des études sur les effets des RF est réalisée chez des sujets adultes. L'extrapolation de ces résultats aux enfants a souvent lieu, mais on ne peut en garantir la validité pour l'évaluation du risque associé. Suite à la rencontre de l'OMS à Istanbul, il a été recommandé de réaliser des études prospectives de cohorte sur les enfants et des études en laboratoire sur des animaux *in utero* ou jeunes [97].

- Conclusions sur les dangers des terminaux mobiles

L'ensemble des données scientifiques actuelles n'est nullement en faveur d'un danger important pour la santé humaine associé au téléphone mobile dans les conditions normales d'utilisation. Pourtant, la publication de résultats contradictoires ou de certains résultats positifs comme la possible augmentation de la taille des tumeurs du côté de l'utilisation du mobile suscitent le doute dans la population. De plus, au vu des nombreux comités nationaux et internationaux étudiant l'impact éventuel du portable sur la santé, on constate que la plupart des gouvernements ont pris très au sérieux cette question. En effet, en raison du nombre très important d'utilisateurs, une augmentation même très minime du risque relatif pourrait se traduire par un problème majeur de santé publique. Ces éléments suggèrent de poursuivre certaines investigations pour établir une évaluation claire des risques sanitaires éventuels. Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) publiera une classification des cancers associés aux RF cette année, à la suite des conclusions de l'étude INTERPHONE et des autres études en cours (cf. *Annexe 9*) [18].

Même si aucun effet biologique nocif dû à des rayonnements RF d'aussi faible intensité que ceux exploités en téléphonie mobile n'est apparu, il ne faut néanmoins pas oublier les symptômes subjectifs dits « non spécifiques », tels que les céphalées, angoisse, troubles du sommeil, qui sont associés à un mal-être environnemental [17]. En effet, la perception d'un risque peut elle-même induire des effets non directement liés à la cause.

Nous ne pouvons conclure cette partie sans souligner les effets bénéfiques, en matière sanitaire, procurés par les téléphones mobiles. Lors de situation d'urgence, le portable est un outil indispensable pour permettre une intervention plus rapide des services de sécurité ou de soins. De plus, nous ne ferons qu'évoquer la tranquillité d'esprit qu'il procure pour certaines personnes (effet nommé « Cocooning téléphonique » par le sociologue Jauréguiberry [17]).

2.3 Conclusion sur l'existence d'un risque sanitaire lié aux RF générées par la téléphonie mobile [97]

- Phase 1 : Peut-on identifier un danger ?

Les champs émis sont non-ionisants et ne peuvent affecter directement les liaisons chimiques dans les molécules biologiques. Une hyperthermie locale induisant des effets biologiques ou physiologiques peut se produire si le niveau d'absorption (DAS) est supérieur à 4W/kg (seuil d'effet thermique). En dessous de ce seuil, cas des RF émises par les téléphones portables, aucun danger n'a été mis en évidence.

- Phase 2 : Quelles sont les populations exposées et à quel niveau ?

Il y a actuellement 45,4 millions d'utilisateurs en France (enfants, adultes, etc.). La puissance effectivement absorbée dans la tête est de 100 mW environ, avec un DAS de 0,5 W/kg dans les 10 g les plus exposés. En pratique, le DAS est plus faible, de l'ordre de 0,1 W/kg durant une conversation dans de bonnes conditions de réception. En France, la durée moyenne d'utilisation est de quelques minutes par jour seulement. Dans le cas d'une durée quotidienne d'appels d'une heure (en mode émission), on peut estimer que les tissus les plus exposés dans la tête de l'utilisateur absorbent, dans le pire-cas et dans 10 grammes, une énergie de 25 joules par jour².

- Phase 3 : Peut-on quantifier un risque sanitaire pour les populations faisant usage du téléphone mobile ?

Il est impossible d'effectuer une quelconque quantification du risque cancérigène, ce dernier n'étant pas établi. La revue monographique du CIRC sur les effets cancérigènes des radiofréquences n'aura lieu qu'après la publication de l'étude INTERPHONE. Les premiers résultats sont prévus pour cette année.

Concernant les autres pathologies, les valeurs d'exposition sont celles qui n'induisent pas d'effets thermiques localisés. En ce qui concerne les téléphones mobiles, la valeur limite pour le DAS local est de 2 W/kg (sur 10 g). Sachant que le rapport puissance effectivement absorbée sur DAS limite doit être inférieur à l'unité, on peut constater que c'est le cas pour tous les modèles de téléphones mobiles distribués en France.

² Energie = DAS en W/kg * durée de l'appel en secondes / rapport de masse = 0,7 * 3600 / 100 = 25 joules / jour

3. Moyens de réduction de l'exposition aux champs électromagnétiques des utilisateurs de téléphones mobiles



3.1 Aspect législatif

3.1.1 *Débit d'absorption spécifique* [4] [19]

La Commission Internationale pour la Protection contre les Rayonnements non ionisants (ICNRP) a publié un guide sur l'établissement des limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques.

Les limitations de l'exposition ont été élaborées à partir d'une revue exhaustive de la littérature scientifique publiée ; seuls les effets avérés ont été retenus comme fondements pour les valeurs limites d'exposition proposées. Les effets cancérogènes à long terme n'ont pas été considérés comme avérés. Le guide n'est fondé que sur des effets immédiats sur la santé, tels que la stimulation des muscles ou des nerfs périphériques, les chocs et brûlures provoqués par le contact avec des objets conducteurs, ou encore l'élévation de température des tissus sous l'effet de l'absorption d'énergie liée à l'exposition aux CEM.

Les valeurs limites d'exposition retenues par ce guide pour les téléphones portables sont basées, en fait, sur des normes réglementaires produites par le Conseil de l'Union Européenne et dernièrement mises à jour sur la base d'expertises de comités de scientifiques et d'ingénieurs issus de l'université, de l'industrie et du gouvernement.

Cependant, le calcul de ces seuils et leur relation avec les risques encourus sont sujets à caution.

L'origine de ces normes est le standard IEEE (95-1991) développé par l'IEEE américain (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) et adopté ensuite comme norme aux Etats-Unis en 1992 par l'American National Standards Institute (ANSI). Ce standard est lui-même issu d'une ancienne norme ANSI de 1966, il a été revu et mis à jour plusieurs fois et subit actuellement une refonte totale.

Le travail des différents comités a consisté en un dépouillage d'un vaste corpus d'études scientifiques consacrées aux effets biologiques des ondes électromagnétiques et en particulier des radiofréquences. Un consensus existe au sein de l'IEEE et des autorités normatives. Il admet que l'effet nocif potentiel constaté chez l'animal est la « perturbation du comportement », effet de nature thermique. Cet effet se produit à partir d'un seuil d'absorption d'énergie de l'ordre de 4 W/kg. En se donnant un facteur 10 comme marge de sécurité, l'IEEE a en conséquence autorisé pour les travailleurs une exposition maximale de 0,4 W/Kg calculé en moyenne sur le poids du corps entier.

Pour l'exposition d'une partie du corps seulement, plusieurs études ont montré que, dans différents modèles animaux, le rapport entre le DAS maximal en un point donné du

corps et le DAS moyen du corps entier était d'environ 20 pour 1. Ceci a conduit à fixer le seuil de 8 W/Kg³ pour l'exposition locale, calculé en moyenne pour tout gramme de tissu (plus petite quantité de tissus dont on était alors capable de mesurer l'exposition).

Dans sa mise à jour de 1991, le standard de l'IEEE a introduit le principe d'une norme à deux étages, en incorporant un facteur 5 supplémentaire pour tenir compte des situations d'exposition « incontrôlée », autrement dit de l'utilisation par le grand public. Ainsi, sont obtenues la limite actuelle du DAS moyen corps entier de 0,08 W/Kg⁴ (par gramme de tissu) et la limite de DAS local tête et tronc de 1,6 W/ Kg⁵. Il faut noter que ces limites ont été adoptées par les Etats-Unis dans leur réglementation, alors que sur le vieux continent, le conseil de l'Union Européenne a adopté une norme moins restrictive de 2 W/Kg pour l'exposition locale tête et tronc.

De nombreux téléphones mobiles émettent près de ces limites. Leur déclaration de conformité exige donc d'effectuer des mesures très précises.

Pour récapitulatif, le *tableau 7* donne les valeurs limites pour les téléphones mobiles :

Tableau 7: Restrictions de base pour les champs électriques et magnétiques alternatifs à des fréquences allant jusqu'à 10 GHz

Caractéristiques de l'exposition	Domaine de fréquences	DAS moyen corps entier (W.Kg ⁻¹)	DAS local Tête et Tronc (W.Kg ⁻¹)	DAS local membres (W.Kg ⁻¹)
Population générale	10 MHz-10 GHz	0,08	2	4

Remarques :

- Il faut moyenner tous les DAS sur une période quelconque de 6 minutes
- Pour faire la moyenne du DAS local, la masse de référence est une masse quelconque de 10 g de tissu d'un seul tenant ; pour l'estimation de l'exposition, il convient d'utiliser le DAS maximal ainsi obtenu.

Au cours des trois dernières années, on a pu assister à une amélioration de la procédure normative du protocole de mesure de DAS, notamment grâce aux travaux menés dans le cadre du programme Comobio du RNRT (Réseau National de Recherche en Télécommunications). L'amélioration porte, tout à la fois, i) sur les appareils de mesure (sondes, détecteurs, fantôme anatomique), ii) sur le contrôle des paramètres expérimentaux (calibrage de sondes, étalonnage des liquides diélectriques) et iii) sur une recherche plus

³ DAS exposition locale = DAS exposition corps entier * rapport local/entier = 0,4 * 20 = 8 W/kg

⁴ DAS moyen corps entier = DAS corps entier / 5 = 0,4 / 5 = 0,08 W/kg

⁵ DAS moyen local tête et tronc = DAS local tête et tronc / 5 = 8 / 5 = 1,6 W/kg

:
:
:

exhaustive du pire-cas d'exposition (3 fréquences de test, 2 positions). Les mesures sont faites selon la norme CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrique), avec une précision de 30%.

Savoir si ces limites sont adaptées est sujet à discussion. En effet, la logique de la norme correspond au départ à l'effet thermique observé. Or, la fixation d'une valeur moyenne s'est fondée sur des considérations technologiques plutôt que biologiques, alors que même les mesures représentent une gageure d'un point de vue technique. De plus, les téléphones mobiles et autres émetteurs de faible puissance ne provoquent pas un effet thermique sur l'utilisateur. Ainsi, si le risque n'est pas thermique, c'est tout le raisonnement qui fonde les normes actuelles qu'il faut reprendre à la base.

3.1.2 Quelles obligations pour le constructeur ? [98] [99]

La directive 99/05/CE du 9 mars 1999 dite " R&TTE " est traduite dans le droit français, notamment dans le code des postes et télécommunications. En outre, elle complète le dispositif réglementaire relatif à la protection du public contre l'exposition aux champs électromagnétiques. Les dispositions, les plus importantes, sont les suivantes:

L'article R 20-10 impose au fabricant ou à la personne responsable de la mise sur le marché d'indiquer dans la notice du produit le DAS mesuré au niveau de la tête lorsqu'il s'agit d'un équipement terminal radioélectrique destiné à être utilisé en France (ex : les téléphones mobiles). Le code prévoit également que la notice doit comporter des précautions d'usage de l'équipement au regard de l'exposition de l'utilisateur aux champs électromagnétiques. Ces dernières sont fixées dans un arrêté du 8 octobre 2003 pris en application de l'article R 20-10 du code. Le respect de ces dispositions donnera lieu à des contrôles *a posteriori* des équipements concernés dans le cadre de la surveillance du marché.

L'article R 20-19 permet de subordonner la mise en service des équipements à des spécifications techniques pour des raisons de santé publique ou pour limiter l'exposition du public aux champs électromagnétiques. C'est notamment en application de cette disposition que les ministres chargés des communications électroniques et de la santé ont pris un arrêté fixant les valeurs limites du DAS.

L'article R 20-25 prévoit des sanctions pénales en cas de non respect des dispositions susmentionnées. Il punit en effet d'une peine d'amende pouvant aller jusqu'à 1 500 euros par équipement (3 000 euros en cas de récidive) et prévoit même l'opportunité de poursuites devant les juridictions judiciaires.

Un protocole de mesure *in situ* normalisé existe pour la mesure des émissions des réseaux mobiles de type GSM 900/1800 ou UMTS, de radiodiffusion (sonore ou visuelle) et des Réseaux Radioélectriques Indépendants.

Enfin, il convient de noter que, dans le cadre de ses missions de contrôle de la publicité relative aux produits de santé, l'AFSSAPS est amenée à prendre des décisions concernant des publicités relatives aux dispositifs destinés à protéger les utilisateurs des ondes émises par leur téléphone portable. Ainsi, des exemples peuvent être cités : Décisions du 31 octobre 2001 interdisant, en application des articles L. 5122-15, L. 5422-12, L. 5422-14 et R. 5055 à R. 5055-6 du code de la santé publique, des publicités pour des objets, appareils ou méthodes présentés comme bénéfiques pour la santé lorsqu'il n'est pas établi que les dits objets, appareils ou méthodes possèdent les propriétés annoncées. Ces différents dispositifs et leur évaluation sont présentés dans la partie ci-dessous.

3.2 Les Dispositifs de protection et leur évaluation

Les études scientifiques réalisées sur les téléphones mobiles souffrent de nombreuses incertitudes (*cf. Partie 2*). Elles n'ont pu fournir, jusqu'à présent, d'arguments probants permettant soit de «disculper» définitivement les téléphones mobiles, soit de clairement identifier un quelconque danger. Profitant de ces incertitudes scientifiques et des inquiétudes suscitées dans la population, les dispositifs sensés réduire l'exposition des personnes aux RF des téléphones mobiles se multiplient. Néanmoins, le problème est que, sans évaluation scientifique, ces dispositifs sont susceptibles d'être exploités par des charlatans. Un contrôle et un encadrement scientifiques de ces systèmes sont alors indispensables, et ceci pour deux raisons. D'une part, si l'on se place dans un scénario d'absence de danger des téléphones mobiles, les utilisateurs de ces dispositifs dépensent une large somme d'argent sans pour autant dégager de bénéfices. Par exemple, un des dispositifs décrits par la suite, le bouclier bioélectrique, peut coûter de £120 à £1800 en Angleterre [100]. D'autre part, si réel danger il y a, il faut être sûr que ces systèmes offrent une réelle protection. En effet, en les portant, les personnes se croient en sécurité et peuvent s'exposer à de plus forts niveaux de rayonnement ou ne pas chercher d'autres protections efficaces.

Dans cette partie, il s'agira de faire la part des choses, à partir des tests scientifiques, entre les véritables systèmes de protection et les dispositifs trompeurs.

:
:
:

Les systèmes ont été classés en deux catégories :

- Les dispositifs agissant sur l'appareil émetteur.

Il s'agit des kits mains libres (ci-dessous) et des systèmes à blindage ou d'atténuation des ondes (qui sont principalement les boîtiers de blindage, les pastilles et boucliers, les capuchons et clips à placer sur les antennes, ou encore les pastilles absorbantes).



- Les dispositifs agissant sur l'utilisateur.

On citera les systèmes « préventifs », permettant d'intercepter les RF (boucliers bioélectriques, combinaisons) et les systèmes « curatifs », permettant de réduire les effets nocifs supposés des RF sur l'organisme (ex : ingestion de mélatonine).



3.2.1 Systèmes de protection basés sur une action au niveau du téléphone mobile

L'enjeu de tout système de protection est de réduire les différents risques liés à l'utilisation d'un matériel ou produit, sans pour autant en altérer son utilisation. Dans notre cas, le but de ces dispositifs est de réduire le DAS de l'utilisateur ou les effets de cette exposition en conservant toutes les capacités du téléphone à communiquer et les qualités de la communication.

Des études ont montré que la fabrication du téléphone mobile avait toute son importance pour la diminution de l'intensité des ondes électromagnétiques reçues par son utilisateur. Aujourd'hui, les constructeurs apportent tout leur soin à la forme du téléphone, aux matériaux qui le composent et à l'agencement des différents composants les uns par rapport aux autres. En effet, une étude a, par exemple, montré que le DAS lié à l'utilisation d'un téléphone mobile dépendait à la fois du concept de l'antenne, mais aussi, de la configuration du téléphone [101].

Une autre étude a indiqué qu'une antenne interne plane intégrée possédant un blindage en métal partiel permettait également une réduction du DAS de l'utilisateur [102]. Dans le même esprit, il avait été suggéré d'utiliser des antennes directives, dont le rayonnement serait à l'opposé de la tête de l'utilisateur. Toutefois les lois de la physique sont telles qu'il est difficile d'imaginer que, compte tenu des dimensions de l'antenne par rapport à la longueur d'onde, un tel effet directif puisse être effectivement atteint [97].

Au niveau des matériaux utilisés, des études ont démontré que l'utilisation de matériaux composites à base de fibres de carbone, de matrices carbonées ou encore à base de certains polymères permettait de réduire l'exposition des utilisateurs de téléphones portables [103].

D'autres études, qui se sont intéressées à l'exposition aux ondes électromagnétiques due aux incubateurs utilisés pour les nouveaux-nés, ont montré l'efficacité de panneaux ferromagnétiques pour réduire cette exposition qui concerne à la fois les nouveaux-nés et les aides soignantes [104].

De ce fait, de nombreuses possibilités existent au niveau de la fabrication des téléphones portables pour réduire l'exposition. Ainsi, il est possible pour le consommateur de choisir des téléphones mobiles à faible DAS, bien que les valeurs de DAS ne soient précises qu'à 30 % et posent donc la question d'une comparaison pertinente.

La présente étude ne s'intéresse pas à ces aspects liés à la fabrication. Elle se focalise plus particulièrement sur les dispositifs de type « accessoires » qui peuvent être ajoutés à un téléphone mobile et accessibles à tous les utilisateurs.

Deux types d'« accessoires » sont distingués : les kits mains libres et les autres systèmes à action de blindage ou d'atténuation.

a) LES ACCESSOIRES DE TYPE KIT MAINS-LIBRES (KML) [105] [106]

Ils représentent aujourd'hui une bonne alternative à l'utilisation classique du téléphone mobile. Leur fondement est basé sur une réduction de l'exposition aux émissions RF au niveau de la tête de l'utilisateur par éloignement de la source.

Le but de cette partie est de faire le point sur l'efficacité des KML filaires dans cette réduction de l'exposition. Il existe aussi des KML sans fil, qui utilisent la technologie



Bluetooth. Développé par le Bluetooth SIG, puis mis sur le marché en 1998 par Ericsson, Intel, IBM, Toshiba et Nokia, il s'agit d'un procédé de transmission par ondes radio entre terminaux mobiles (téléphones mobiles, ordinateurs portables...) et ordinateurs fixes. Le rayon d'action varie de un à cent mètres suivant les appareils. Cette technologie est utilisée avant tout sur les téléphones mobiles, en tant que

KML sans fil, et sur les oreillettes sans fil et les assistants personnels. Par manque de ressources bibliographiques, ces dispositifs ne seront pas plus développés dans notre étude.

Nos recherches bibliographiques nous ont en revanche amenés à prendre connaissance d'articles évaluant l'efficacité des KML filaires.

Deux articles sont détaillés (*cf. Annexe 10*) et à défaut de ressources bibliographiques, seuls les résultats de six autres sont mentionnés (*cf. Annexe 11*).



Au vu de ces études, il semble cohérent d'approuver l'efficacité des kits mains libres pour la réduction de l'exposition de la tête des utilisateurs aux ondes RF émises par les téléphones mobiles. En effet, la quasi-totalité (6 études sur 8) conclut en une diminution du DAS estimé au niveau de la tête grâce à l'utilisation d'un kit mains libres avec fil. Globalement on a trouvé que l'usage du KML procurait une réduction du DAS pouvant aller jusqu'à un facteur 10. Cette variabilité dans l'efficacité dépendrait notamment du kit, du mobile et de la façon dont est disposé le fil de liaison.

Néanmoins, une étude sur les 8 évoquées conclut en défaveur de l'utilisation des KML. Cette étude est réalisée en 2000 par ERA Technology et reprise par la *UK Consumers' association*. Ils insistent sur le fait que non seulement les KML ne permettent pas de réduire l'exposition mais qu'ils la multiplient par un facteur 3. Ils interprètent ce résultat par le rôle d'antenne joué par le fil du KML qui amplifie les ondes émises.

Les deux études **[105, 106]** mentionnent en effet qu'il existe un couplage entre le fil et le téléphone qui augmentent les émissions dans les écouteurs. Cependant elles concluent que ces émissions sont environ 2 à quelques dizaines de fois plus faibles avec un KML, même en recherchant une configuration fil / téléphone maximisant ce couplage.

Pour expliquer cette différence, l'article **[105]** porte une critique sur l'étude d'ERA pour la UK Consumers' association :

- ERA utilise un modèle fantôme de tête seule. Il ne prend pas en compte l'influence du torse sur le couplage et les émissions du téléphone lorsque ce dernier est attaché à la taille. Or le torse permet de diminuer les émissions dans la simulation effectuée et dans les mesures expérimentales (de 50 %). Il suffit que le fil soit au contact du corps de l'utilisateur sur quelques cm pour obtenir un effet réducteur satisfaisant.

- ERA utilise une sonde anisotropique pour mesurer le DAS dans le fantôme. Il est argumenté qu'une telle sonde n'est pas recommandée pour les mesures précises de champ E près d'une source RF.

D'autre part, la revue « Mobiles phones and Health 2004 » [105], dont sont extraits les 6 articles, insiste sur le fait que la UK Consumers' Association a mesuré des champs électriques contrairement aux autres études (par exemple la DTI) qui ont mesuré des DAS. Selon le DTI, le DAS est une méthode rationnelle et scientifique alors que les émissions ne renseignent pas bien sur l'absorption.

Toutefois la UK Consumers' Association a identifié des problèmes potentiels avec les tests DAS utilisés par DTI. Elle estime que l'équipement utilisé empêche le fil de pendre droit comme en usage normal.

Au delà de ces critiques, l'instauration d'une procédure standard d'évaluation des KML est recommandée.

Par ailleurs, deux des études référencées précisent que l'ajout d'un anneau métallique sur le fil réduit les émissions au niveau de ce dernier.

Conclusions sur les kits mains-libres:

Au vu de ces articles, il semble que l'on puisse confirmer l'efficacité des kits mains libres sans trop de réserves. Cependant, les études présentées ne font pas preuve de beaucoup d'autocritique sur les méthodes utilisées (méthodes de mesures, instruments utilisés) malgré l'utilisation de protocole standard de mesure de DAS en chambre anéchoïque (cf. *Annexe 12*).

Il faudrait toutefois, pour s'assurer de cette efficacité, confirmer ces résultats par d'autres études, qui seraient fondées sur un protocole standardisé de mesure de DAS dédié aux kits mains libres.

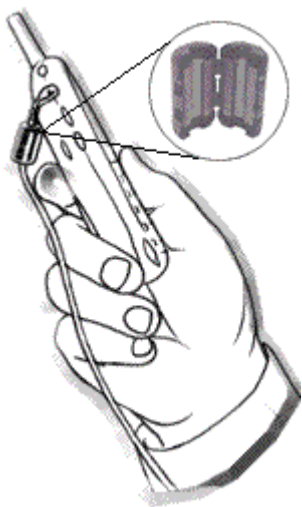
On peut conclure sur l'aspect pratique des KML, qui représente aussi un plus par rapport à l'utilisation classique des mobiles. De plus, cet équipement va sûrement se développer dans l'avenir avec l'émergence de la technologie UMTS qui permettra de visionner son interlocuteur. Ainsi, le portable ne sera plus placé au niveau de l'oreille.

b) AUTRES SYSTEMES A ACTION DE BLINDAGE OU D'ATTENUATION [107], [108], [109], [110]

D'après les affirmations des fabricants de ces systèmes, la protection s'opérerait grâce aux propriétés particulières de ces dispositifs. Les propriétés avancées sont soit la capacité à opérer un blindage électromagnétique du téléphone mobile, soit la capacité à atténuer l'intensité des ondes électromagnétiques.



Le nombre d'accessoires mis aujourd'hui sur le marché est très important ; il est donc très difficile voire peu réaliste d'être totalement exhaustif. Pour cette raison, les études menées sur l'évaluation de ces différents accessoires ont amené à une classification de ceux-ci en cinq catégories : les boîtiers de blindage, les pastilles et les boucliers, les capuchons et les clips à placer sur les antennes, les pastilles dites « absorbantes » et les autres qui englobent notamment les dispositifs dont nous ne possédons pas de description.



Tester l'efficacité de ces dispositifs se décompose en plusieurs étapes. Il faut mesurer à la fois le DAS au niveau de l'utilisateur et la performance du téléphone dans les deux situations : avec et sans dispositif de protection.

La plupart des résultats qui sont présentés dans cette partie sont issus d'une publication scientifique [108] qui compare différents types de dispositifs et les évalue selon une expérimentation unique.

La mesure du DAS n'est pas la même dans chacune des publications étudiées. Cependant, les systèmes utilisés pour les mesures sont basés sur le même principe notamment sur l'utilisation d'une tête artificielle de forme sphérique, dite « fantôme », remplie de liquide dont les propriétés électriques sont semblables aux tissus du cerveau. On distingue globalement deux outils de mesure qui, *a contrario* des kits mains libres, sont normalisés.

Le premier outil se nomme le système MAPSAR et sera appelé par la suite outil 1. Les avantages de ce système sont un bas prix et une grande efficacité en maintenant un degré d'assurance suffisant au niveau de l'analyse statistique [107]. Une sonde isotropique est placée à l'intérieur d'une sphère remplie du liquide décrit plus haut. Elle mesure le champ électrique émis par le téléphone en différents points de la sphère ; une moyenne est alors réalisée sur un poids de tissu donné. Pour prendre en compte les effets dus à l'épaisseur de dispositifs testés, une distance fixe est laissée entre le téléphone mobile et la sphère.

Le second outil, appelé par la suite outil 2, est basé lui aussi sur l'insertion d'une sonde isotropique à l'intérieur d'une tête reconstituée. Néanmoins, dans ce cas, les dimensions et la forme ont été tout particulièrement étudiées. La mesure se fait sur une région englobant le maximum de DAS et est ensuite moyenné sur le poids de tissu sur lequel est faite la mesure.

La mesure de la performance du téléphone ne se fait malheureusement que dans un seul type d'expérimentation selon une série de tests GSM qui ne seront pas détaillés ici [108].

- Les boîtiers de blindage [108]

Les résultats des études sont résumés sous forme de tableau dans l'Annexe 13.

Le boîtier n°4, dont nous n'avons pas de description exacte, permet une réduction du DAS sans altérer la performance du téléphone. Il semble donc être un dispositif efficace pour la réduction de l'exposition de l'utilisateur de téléphone mobile. Cependant, on peut voir que les autres boîtiers, malgré une bonne réduction du DAS, altèrent de façon trop importante la performance du téléphone et ne sont, par conséquent, pas des dispositifs efficaces.

- Les pastilles et les boucliers [107, 108,109]

Les résultats des études sont résumés sous forme de tableau dans l'Annexe 14.

Aucun des dispositifs de ce type et étudiés ici n'offre de protection efficace contre les ondes électromagnétiques émises par les téléphones portables.

Une autre étude, dont les résultats ne sont pas présentés dans l'annexe, a été menée sur l'utilisation d'un matériau conducteur à base d'aluminium de type bouclier. Elle conclut que selon le téléphone et la position sur ce dernier du dispositif, l'élément étudié a des vertus protectrices dans certains cas ; dans d'autres cas, il favorise une augmentation du DAS au niveau de l'utilisateur [109].

- Les capuchons et les clips à placer sur les antennes [108]

Les résultats des études sont résumés sous forme de tableau dans l'Annexe 15.

Ces dispositifs semblent réduire l'exposition de l'utilisateur mais ne conserve pas la performance des téléphones. Ils ne représentent pas une protection efficace.

- Les pastilles absorbantes [108]

Le terme de pastilles absorbantes est utilisé pour des dispositifs proches des pastilles et boucliers présentés plus haut, mais avec un certain volume. Ce volume est sensé contenir une substance ou un matériau présentant des propriétés particulières par rapport aux CEM.

Les résultats des études sont résumés sous forme de tableau dans l'Annexe 16.

Les expériences montrent des réductions significatives du DAS dans certains cas ; mais, il se pose toujours le problème de la réduction de la performance du téléphone. Le bouton absorbant n° 2 utilisé avec le téléphone Ericsson A 1018 s présenterait une certaine efficacité avec une réduction du DAS de 20 % avec seulement 4,5 % de réduction de la performance du téléphone.

:
:
:

- Autres

Une autre étude a été menée sur des patchs et des pastilles absorbantes disponibles dans le commerce, avec mesure des DAS correspondants avec et sans ces dispositifs. Les auteurs ont conclu qu'il n'existait pas de différence significative entre les deux types de mesure. Néanmoins, ils ne se sont pas intéressés à la performance du téléphone qui résultait de leur utilisation [110].

D'autres expériences ont été réalisées sur l'utilisation de plaques d'aluminium de formes très différentes (ellipse, carré, rectangulaire....) placées entre l'oreille de l'utilisateur et le téléphone mobile. D'après ces expériences, la réduction du DAS dépendait de la forme de ces plaques et l'utilisation de plaques de taille suffisante pourrait permettre une réduction suffisante du DAS. Cependant, encore une fois, ces expériences ne se sont pas intéressées à la performance du téléphone qui résultait de l'utilisation des dispositifs [108].

- Conclusion sur ces dispositifs

En conclusion, il n'existe pas, actuellement sur le marché, de dispositifs appartenant aux différents types décrits dans cette partie permettant à la fois une protection de l'utilisateur de téléphone portable et une pérennité de la performance du téléphone utilisé, à l'exception du boîtier 4, cité ci-dessus, mais dont aucune description n'est disponible.

Certes, certains de ces dispositifs permettent une réduction notable des DAS mais, le plus souvent, au dépend de la performance des téléphones.

Toutefois, ces études mettent en évidence la capacité de certains matériaux à réduire l'exposition des utilisateurs aux ondes électromagnétiques. De ce fait, il semble envisageable de fabriquer des dispositifs efficaces, notamment en jouant sur la taille et la forme de ces derniers. Devant la multitude de formes et de types d'antennes présentée par les téléphones portables, il semblerait nécessaire de fabriquer un dispositif de protection spécifique à chaque téléphone portable ou spécifique à un type de téléphone.

3.2.2 Systèmes de protection basés sur une action au niveau de l'utilisateur

Nous développerons ici les dispositifs portés par les usagers et qui ne sont pas basés sur une modification effectuée au niveau du téléphone mobile. Nous distinguerons:

- les systèmes «préventifs » permettant d' « intercepter » les ondes tels que des boucliers bioélectriques ou des combinaisons ;
- les systèmes «curatifs » tels que l'ingestion de mélatonine permettant de réduire les effets nocifs supposés des RF sur l'organisme.

a) LES BOUCLERS BIOELECTRIQUES [91 ; 100]

Ces dispositifs sont généralement des pendentifs, fixés autour du cou, supposés protéger les utilisateurs des ondes électromagnétiques émises par le téléphone portable. Certains sont constitués d'une matrice de quartz et autres cristaux ; d'autres sont composés de feuillets flexibles et fins conçus avec des matériaux conducteurs et magnétiques.



Destinés au grand public, ils sont également recommandés pour les porteurs de pacemaker puisqu'ils sont supposés, selon les fabricants, protéger les porteurs des interférences électromagnétiques produites par les RF des téléphones mobiles sur la sonde cardiaque du pacemaker.

Deux études testant l'efficacité de ces dispositifs sont présentées en *Annexe 17*. Pour la première étude [100], les mesures effectuées n'ont révélé aucune efficacité du dispositif testé. Pour la seconde expérience [91], dans le cas de porteurs d'implants médicaux actifs, une diminution des interférences électromagnétiques au niveau du pacemaker a été constatée lors du port de bouclier. Cette diminution observée équivaut à augmenter la distance entre le téléphone mobile et le torse en absence de bouclier. Néanmoins il est difficile de conclure au vu de ces résultats. En effet, les conditions d'expérimentation sont assez éloignées des conditions d'utilisation observées en réalité. De plus, un consensus de la communauté scientifique n'a pas été atteint quant à l'existence d'interférences électromagnétiques au niveau du pacemaker (*cf. partie 2.2.5*).

b) LES VETEMENTS [111]

A l'origine, ces vêtements ont été développés pour la protection des travailleurs des secteurs industriel, médical et militaire. Mais on constate un développement sur le marché des tissus couverts de métal, supposés réfléchir les RF. D'après l'expérience réalisée sur la combinaison développée par Milliken & Company et Body Guard, le tissu entraîne une atténuation de 35dB pour une exposition de 0,65 à 11 GHz (*cf. Annexe 18*). Il n'en reste pas moins qu'une utilisation de ce genre de dispositifs dans le cadre de la téléphonie mobile reste utopique. On imagine mal devoir revêtir une combinaison pour téléphoner. De plus, pour être réellement efficace, le port d'une « cagoule » devrait être envisagé au niveau de la tête. Ce type d'équipement peut, néanmoins, se révéler très utile pour des professionnels pouvant être exposés à des niveaux très élevés, ainsi que pour les porteurs d'implants, à condition de corriger un important défaut de la combinaison, à



savoir son inflammabilité.

c) LA MELATONINE [62]

Il ne s'agit pas de réduire le niveau d'exposition aux radiofréquences émises par les téléphones mobiles mais de réduire voire de contrecarrer leurs effets sur l'organisme. Un des effets suspectés est la formation de radicaux libres induisant des dommages tissulaires en particulier au niveau du rein. L'ingestion de la mélatonine est préconisée par Oktem et al. car elle agit sur les radicaux en les désactivant et en stimulant l'activité et l'expression d'enzymes anti-oxydantes. Elle permet ainsi une diminution des dommages rénaux induits par l'exposition aux radiofréquences (*cf. Annexe 19*). Il est également difficile de conclure sur ce traitement. La formation de radicaux libres ainsi que les effets de la mélatonine ont été observés sur des rongeurs. L'extrapolation à l'homme est hasardeuse.

- Conclusion générale sur les dispositifs

L'évaluation objective de l'efficacité des différents dispositifs disponibles sur le marché se heurte à deux difficultés majeures : d'une part, l'absence de données sur le principe de fonctionnement des dispositifs et d'autre part, l'absence d'un protocole d'évaluation normalisé ou, du moins, d'informations précises sur ce dernier.

Ces deux limites identifiées, il est tout de même possible de conclure, notre travail s'étant appuyé sur des articles scientifiques contrôlés par des comités d'experts reconnus.

Ainsi, seuls les kits mains libres semblent protéger la tête de l'utilisateur en atténuant son exposition aux champs électromagnétiques sous réserve de certaines conditions d'utilisation, puisque c'est une autre partie du corps qui est exposée.

Ce travail montre que les technologies proposées au grand public, notamment sur Internet sont inefficaces. La plupart des matériaux utilisés ont des propriétés avérées sur la réduction de l'exposition aux ondes électromagnétiques, mais, leur utilisation en termes de taille et de forme n'est pas adaptée aux téléphones portables.

Les textiles protecteurs sembleraient efficaces mais leur utilisation paraît, pour le moment, peu pratique pour le grand public. Ils peuvent, cependant, se révéler très utiles pour les expositions professionnelles ou pour les porteurs de pacemaker. Dans l'avenir, cette piste pourrait être approfondie pour une protection globale d'un individu contre l'exposition à toutes les sources électromagnétiques de la vie quotidienne.

Enfin, nous ne pouvons conclure sans mentionner la protection « psychologique » apportée par ces dispositifs. En effet, le fait de porter un appareil sensé protéger l'utilisateur, le rassure, diminuant le stress engendré par son exposition aux champs électromagnétiques. Ce phénomène se rapproche de l'effet « placebo ».

3.3 Éléments de gestion du risque et recommandations

3.3.1 *Ligne directrice* [112]

La ligne directrice qui s'impose dans la gestion du risque lié aux ondes électromagnétiques se résume en un principe : le principe de précaution. Ce principe s'applique dans les cas où à la fois les données scientifiques sont insuffisantes ou incertaines, et où une évaluation scientifique préliminaire montre que l'on peut raisonnablement craindre des effets potentiellement dangereux sur l'environnement et la santé, incompatibles avec un niveau de protection recherché (CE 2 février 200).

Les champs électromagnétiques (CEM) répondent à ces deux critères. Les craintes pour la santé viennent notamment du fait, que même si les risques sont faibles, la population concernée est très importante.

Une définition parmi d'autres du principe de précaution est la suivante : l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable (Loi du 2 février 1995 sur l'environnement).

Les possibles effets indésirables sur la santé des CEM font l'objet d'un très grand nombre d'études scientifiques depuis des années et ont généré une quantité de données importante.

Ces dernières montrent que les CEM ne remplissent pas les critères établis pour les agents carcinogènes connus, c'est à dire qu'ils ne se comportent pas comme des mutagènes ou des carcinogènes complets. Néanmoins, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé, à la vue notamment des études épidémiologiques sur la leucémie de l'enfant, les champs magnétiques ELF comme carcinogènes possibles pour l'homme. La classification des radiofréquences n'a pas encore été effectuée par le CIRC.

Les données scientifiques, l'incertitude, les préoccupations du public concernant les CEM, ainsi, que l'ubiquité des CEM, ont donc conduit plusieurs pays à adopter ce principe de précaution.

3.3.2 *Politiques et aspects de la gestion* [112]

Les gouvernements ont apporté des réponses différentes à la question des CEM. Alors que la plupart n'ont pas établi de réglementations pour l'exposition aux CEM, quelques-uns ont développé des recommandations, instauré des limites ou adopté des politiques d'évitement prudent.

:
:
:

Cependant, le reproche général qui peut être fait à la plupart des politiques instaurées, c'est de limiter les expositions sans prendre en compte les coûts engendrés par ces limitations, ou inversement, de spécifier les coûts sans quantifier les réductions d'exposition.

Toutefois, certains aspects généraux de gestion du risque sont applicables à la situation, notamment en terme de maîtrise de l'exposition.

Tout d'abord, il est nécessaire d'appliquer la réglementation notamment en ce qui concerne le respect de l'affichage du DAS des téléphones mobiles. Ensuite, les experts recommandent que les DAS soient affichés sur les lieux de vente et que les kits mains-libres soient fournis avec tous les téléphones. Il faut rappeler que la qualité d'un mobile ne dépend pas du seul DAS mais également de la capacité de l'appareil à accrocher le réseau (sensibilité et puissance totale rayonnée) et à permettre une communication de bonne qualité. Il serait intéressant que ces deux éléments soient pris en compte et non le seul DAS dans les normes de mesures.

Enfin, il faut tenter de limiter l'exposition due au mobile, de rappeler, à la population, certaines mesures de bon sens qui seront détaillées dans la partie suivante intitulée "recommandations". Il faut également chercher tous les moyens de limiter l'exposition des enfants au niveau le plus bas possible, surtout au niveau de la tête.

Mais, finalement, il ne faut pas perdre de vue le fait que la perception et l'acceptation du risque par un individu sont liés à l'avantage procuré par la technologie concernée. Or les gens trouvent leur téléphone portable très utile et cela pourrait venir contrebalancer les craintes qu'ils éprouvent pour leur santé.

3.3.3 *Recommandations [17; 98; 99]*

En termes d'utilisation

Voici quelques propositions de recommandations pour une utilisation de téléphone mobile qui limite l'exposition aux champs électromagnétiques :

- 1) Essayer de limiter au maximum le temps de communication.
- 2) Eloigner la source reste la meilleure façon de réduire l'exposition.
- 3) Utiliser un kit mains-libres, en prenant garde de respecter les consignes d'utilisation.
- 4) L'obligation est faite aux constructeurs de publier le DAS sur la boîte du portable.
Choisir le téléphone avec le DAS le plus bas.
- 5) Lors d'un appel, parler à l'interlocuteur seulement lorsque la connection a été bien établie. Eviter de mettre le téléphone mobile sur l'oreille lors de la recherche précédent la connexion.
- 6) Contacter une personne lorsque le niveau de réception/ antenne relai est le meilleur sinon votre portable émet plus de radiations lors de votre dialogue; Vérifier l'affichage du niveau de réception sur votre écran.

- 7) Une meilleure couverture par les antennes permet également une réduction du niveau d'exposition par le téléphone. Néanmoins, ceci suppose d'augmenter le nombre de stations de base.
- 8) Même en veilleuse, l'exposition n'est pas nulle, le portable rayonne par phases. Faites attention en dormant, ne le gardez pas à côté de vous ou alors éteignez-le.
- 9) Limiter l'utilisation du téléphone portable par les enfants, et les personnes possédant des dispositifs médicaux implantés actifs (Pour ces derniers, une distance de 15 cm doit permettre de prévenir tout risques d'interférences. Néanmoins, prendre garde avec les kits mains libres et le téléphone dans la poche de la veste). [113]
- 10) Dans la journée, ne pas porter l'appareil côté coeur, sur le ventre pour une femme enceinte, dans la poche avant du pantalon pour un homme, c'est à dire, près des organes sensibles comme la rate, les gonades ou les reins, même avec l'utilisation d'un kit mains libres.
- 11) Ne pas téléphoner en voiture car en plus de l'infraction au code de la route, un phénomène scientifique connu dénommé "Cage de faraday" fait que la réflexion des micro-ondes sur un organe fragile (cerveau) placé dans cet espace métallique fermé est néfaste (idem dans le bus et dans un ascenseur). En voiture, une antenne spéciale devrait être placée à l'extérieur du véhicule.

En termes de recherche

- *Sur les enfants*

Les recherches en France doivent se situer dans le cadre des recommandations faites par l'OMS. En particulier, le groupe d'experts recommande de poursuivre les recherches sur les enfants, notamment en dosimétrie et en effectuant des expérimentations animales comprenant des expositions *in utero*.

De plus, un nouveau projet de type INTERPHONE chez les enfants est à l'étude, au centre International de Recherche sur le Cancer. Une étude de faisabilité fera l'objet d'une demande de financement auprès de l'Union Européenne si les résultats de l'étude INETRPHONE laisse planer une doute sur les impacts cancérogènes possibles.

- *En dosimétrie*

- les Appareils mobiles

Les protocoles de mesure de DAS devraient être plus précis car pour le moment, ils ne permettent une précision que de l'ordre de 30%. Ils devraient également prendre en compte la position de la main, qui absorbe 20 % environ de l'énergie et diminue ainsi l'énergie utile à la communication (ce qui conduit à augmenter la puissance émise pour

:
:
:

obtenir une bonne qualité de transmission). Des recherches doivent être réalisées pour mesurer le DAS local, lorsque les appareils sont à distance de la tête (coeur, ceinture...)

- Les kits mains libres

Des protocoles de mesure doivent être élaborés et chaque appareil devrait faire l'objet de tests systématiques avec le mobile auquel il est associé. Une attitude proactive de la part de la France lui permettrait de faire des propositions au Cenelec dans le cadre duquel de tels protocoles de mesure doivent être discutés et adoptés par la Communauté Internationale. Il faudrait aboutir à ce que les kits réduisent le DAS absolu de l'ensemble "téléphone mobile plus kit", sachant qu'aujourd'hui des DAS de 0,01 W/Kg ne sont plus mesurables. Enfin, il serait souhaitable de disposer de mesure de DAS pour les kits mains libres sans fil (bluetooth, ...).

- Autres dispositifs

Au vu du développement important des dispositifs de protection sur le marché, il serait pertinent de normaliser les protocoles d'évaluation de ces appareils. Ceci permettrait, à partir d'une démarche rigoureuse, de faire la part entre les dispositifs efficaces et les dispositifs trompeurs.

CONCLUSION

Le téléphone mobile est utilisé en France par 45,4 millions de personnes, avec une durée d'appel moyenne de 2h10 par mois. Son emploi massif est à l'origine de préoccupations de santé publique. En effet, un risque même faible pourrait avoir un impact conséquent sur la population, même si cette dernière est davantage préoccupée par les lignes à haute tension et les antennes relais, dont elle ne tolère pas l'exposition subie.

Les interrogations des scientifiques ont motivé la réalisation de nombreuses études de recherche sur les éventuels effets biologiques voire sanitaires liés aux OEM émises par les téléphones mobiles. Il en ressort qu'aucun effet sanitaire à court terme n'a été formellement démontré chez l'homme. Toutefois une faible proportion des études mentionnent l'observation de tels effets, mais sans l'appui de protocoles fiables ou de reproductibilité. La limite à partir de laquelle apparaît un effet thermique est la base scientifique choisie pour mettre en place des normes d'exposition destinées à réduire les éventuels risques.

Malgré les suspicions, l'utilité du téléphone mobile est indiscutable, ne serait-ce qu'en situation d'urgence où ses bénéfices ne sont plus à démontrer.

C'est notamment en raison de cette dépendance par rapport aux téléphones mobiles qu'ont été développés différents dispositifs de réduction de l'exposition aux téléphones mobiles. Deux grands types de dispositifs sont proposés sur le marché : d'une part, les dispositifs destinés à agir sur l'appareil émetteur et d'autre part, les dispositifs destinés à agir sur l'utilisateur.

Dans la première catégorie, nous retrouvons, tout d'abord les kits mains libres, qui sont des dispositifs avec ou sans fil, permettant d'éloigner le téléphone de la tête de l'utilisateur. Seules des études ont été faites sur les KML filaires. De façon récurrente, il est observé une diminution franche de l'exposition de la tête de l'utilisateur avec ces dispositifs.

Les autres dispositifs de réduction agissant au niveau de l'émission sont variés : il s'agit de systèmes de blindage ou d'atténuation des ondes, principalement les boîtiers de blindage, les pastilles et boucliers, les capuchons et clips à placer sur les antennes, ou encore les pastilles absorbantes. Cependant, ces dispositifs peuvent être considérés comme globalement inefficaces puisque en diminuant l'exposition de l'utilisateur, ils ne permettent plus une communication de qualité. Toutefois, un travail sur la forme et la taille de ses dispositifs pourrait permettre, dans l'avenir, de concilier protection et performance de communication.

Le second groupe, caractérisé par une action au niveau de l'utilisateur, regroupe les trois dispositifs suivants : les boucliers électriques, les vêtements de protection et l'ingestion de mélatonine.

Les études réalisées sur les boucliers électriques et sur l'ingestion de mélatonine prouvent leur efficacité vis à vis d'effets qu'ils sont sensés inhiber ou réduire. Cependant, ces effets ne sont pas spécifiques à une exposition aux ondes électromagnétiques. De plus, les protocoles d'étude ne sont pas toujours clairs et précis. Ainsi, pour ces deux dispositifs, il est difficile de conclure et des études complémentaires sont nécessaires.

Les études réalisées sur le vêtement de protection concluent à une diminution modérée de l'exposition, mais leur utilisation paraît, pour le moment, peu pratique. Cependant, dans l'avenir, cette piste pourrait être approfondie pour une protection globale d'un individu contre l'exposition à toutes les sources électromagnétiques de la vie quotidienne.

Globalement, il ressort de notre revue de la littérature que les dispositifs de réduction de l'exposition aux ondes électromagnétiques émises par les téléphones mobiles sont pour la plupart soit inefficaces, soit performants au niveau de la réduction de l'exposition mais affectant les performances du téléphone, soit actuellement peu pratiques d'utilisation.

Le seul dispositif permettant à la fois une réduction très efficace de l'exposition, sans aucune dégradation des performances de communication est le kit mains libres filaire. Ce dernier permet d'autre part des avantages pratiques et pouvant améliorer la sécurité de l'utilisateur dans certaines situations. C'est donc la meilleure solution à envisager pour réduire l'exposition à la source sans remettre en cause l'utilisation du téléphone mobile, sous réserve de certaines conditions d'utilisation, puisque c'est une autre partie du corps qui est exposée.

Par ailleurs, un autre moyen très efficace de limiter l'exposition aux mobiles serait de changer les pratiques de téléphonie, l'utilisateur restant le seul véritable acteur de son exposition. La solution pour arriver à un tel changement des habitudes relève de mesures politiques de gestion de risque.

En outre une nouvelle technologie de téléphonie, celle de troisième génération (UMTS) est sur le point d'être diffusée. Cette technologie pourrait peut-être changer certaines pratiques d'utilisateurs avec un changement d'une utilisation auditive à une utilisation visuelle des mobiles, ce qui pourrait modifier l'exposition.

En conclusion, c'est le principe de précaution qui régit la gestion des risques, dans l'état actuel des connaissances. Des études sur le long terme, par exemple l'étude INTERPHONE, permettront d'apporter plus d'éléments de réponse.

Bibliographie

- [1] **Duchêne A., Jousset-Dubien J., 2001.** Les effets biologiques des rayonnements non ionisants. *Médecine-Sciences. Edition Flammarion.*
- [2] **Wertheimer N., Leeper E., 1979.** Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology*, 109:273-284.
- [3] **Linnet M.S. et al., 1997.** Residential exposure to magnetic fields and acute. *New England Journal of Medicine*, 337:1-7.
- Davis J.G. et al., 1992.** Health Effects of Low-Frequency Electric and Magnetic Fields. *Oak Ridge Associated Universities.*
- National Research Council Committee On The Possible Effects Of Electromagnetic Fields On Biology, 1997.** Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields. *Washington, DC : National Academy Press.*
- [4] Dossier spécial: Ondes: Quelles raisons d'avoir peur? *La Recherche*, 337. Décembre 2000.
- [5] Champs électromagnétiques et santé publique : téléphones mobiles. Aide-mémoire n°193 de l'OMS. Révisé en juin 2000.
- [6] http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_%C3%A9lectromagn%C3%A9tique).
- [7] <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/fr/>
- [8] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A9quence>
- [9] **Groupe RNI CRAM / INRS.** Les sources de rayonnements non ionisants (jusqu'à 60 GHz). *INRS ED 4202.* Novembre 2004.
- [10] http://fr.wikipedia.org/wiki/Longueur_d%27onde
- [11] http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_%C3%A9lectromagn%C3%A9tique
- [12] **Groupe RNI CRAM / INRS.** Généralités sur les rayonnements non ionisants jusqu'à 300 GHz. *INRS ED 4201.* Mai 2005.
- [13] Office Fédéral Pour La Protection Contre Les Rayonnements. Allemagne 1999.
- [14] **Klein R., 1999.** Rayonnements électromagnétiques des téléphones portables. *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail - INRS ND 2112-176-99.*
- [15] www.art-telecom.fr/
- [16] <http://www.issep.be/files/files/Fonctionnement%20des%20reseaux%20GSM1%20Octobre%202003.pdf>.
- [17] **Groupe d'expert présidé par HOURS M..** Rapport AFSSE : Téléphones mobiles et

- [18] **Veyret B., 2006.** Téléphonie mobile : existe-t-il un danger sanitaire ? *Environnement, Risques et Santé*, 5 (1) : 37-41.
- [19] **Commission Internationale Pour La Protection Contre Les Rayonnements (ICNIRP).** Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques, champs alternatifs (de fréquence variable dans le temps, jusqu'à 300 GHz). *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail. INRS ND 2143-182-01.* 1er trimestre 2001.
- [20] **Aubineau P., Bardou A., Goldberg M., De Seze R., Veyret B., Zmirou D., Dixsaut G..** Rapport au Directeur Général de la Santé : Les téléphones mobiles, leurs stations de base et la Santé : Etat des connaissances et recommandations. 2001.
- [21] www.who.int/peh-emf/research/database/en/index.html
- [22] **Christensen H.C., Schutz J., Kosteljanetz M., Poulsen H.S., Thomsen H.J., Johansen C., 2004.** Cellular phone and risk of acoustic neurinoma. *Am. J. Epidemiol.*, 159:277-283.
- [23] **Lönn S., Ahlbom A., Hall P., Feychting M., 2004.** Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology*, 15(6): 653-659.
- [24] **Warren H.G., Prevatt M., Daly K.A., Antonelli P.J., 2003.** Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve tumor. *Laryngoscope*, 113(4): 663-7.
- [25] **Lönn S., 2004.** Mobile phone use and risk of intracranial tumors. *Kongl Carolinska Medico chirurgiska Institutet Stockholm.*
- [26] **Inskip D., Devesa S.S., Fraumeni J.F., 2003.** Trends in the incidence of ocular melanoma in the United States, 1974-1998. *Cancer Cause and Control*, 14: 251-257.
- [27] **Hardell L., Hallquist A., Mild K.H., Carlberg M., Gertsen H., Dahlquist A., 2004.** No association between the use of cellular or cordless telephone and salivary gland tumours. *Occup Environ Health*, 61 (8): 675-679.
- [28] **Johansen C., 2004.** Electromagnetic fields and health effects epidemiologic studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease. *Scand J Work Environ Health*, 30 (Suppl1): 1-30.
- [29] **Wilèn J., Sandström M., Mild K.H., 2003.** Subjective symptoms among mobile phone users - A consequence of absorption or radiofrequency fields? *Bioelectromagnetics*, 24(3): 152-159.
- [30] **Balikci K., Oezacan I.C., Turgut Balik D., Balik H., 2004.** A survey study of some neurological symptoms and sensations experienced by long term users of mobile phones. *Pathol Biol*, sous presse.
- [31] **Laberge-Nadeau C., Maah U., Bellavance F., Lapierre S.D., Desjardins-Messier S., Saidi A., 2003.** Wireless telephones and the risk of road crashes. *Accident Anal Prev*, 35 (5): 649-660.

- [32] **Hietanen M., Hämäläinen A.M., Husman T., 2002.** Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: No causal link. *Bioelectromagnetics*, 23: 264-270.
- [33] **Bak M., Sliwinska-Kowalska M., Zmyslony M., Dudariewicz A., 2003.** No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. *Int J Med Environ Health*, 16(3):201-208.
- [34] **Araï N., Enomoto H., Okabe S., Yuasa K., Kamimura Y., Ugawa Y., 2003.** Thirty minutes mobile phone use has no short term adverse effects on central auditory pathway. *Clin Neurophysiol*, 114(18): 1390-1414.
- [35] **Krause C.M., Haarala C., Sillanmaki L., Koivisto M., Alanko K., Revons A., Laine M., Hamalainen H., 2004.** Effects of EM fields emitted by cellular phones on EEG during an auditory memory task: a double blind replication study. *Bioelectromagnetics*, 25(1): 33-40.
- [36] **D'Costa H., Trueman G., Abdel-Rahman U., Abdel-Rahman W., Ong K., Cosic I., 2003.** Human brain activity during exposure to RF emissions from mobile phones. *Australas Phys Eng Sci Med*, 26(4): 162-7.
- [37] **Kramarenko A.V., Tan U., 2003.** Effects of HF EMF on human EEG: a brain mapping study. *Int J Neurosci*, 113(7):1007-1019.
- [38] **Maier R., Greeter S.E., Maier N., 2004.** Effects of pulsed EMF on cognitive processes: pilot study on pulsed field interference with cognitive regeneration. *Acta Neurol Scand*, 110(1): 46-52.
- [39] **Haarala C., Bjonberg L., Ek M., Laine M., Revonuso A., Koivisto M., Hamalainen H., 2003.** Effects of 902MHz EMF emitted by mobile phones on human cognitive function: a replication study. *Bioelectromagnetics*, 24(4): 283-288.
- [40] **Haarala C., Ek M., Bjonberg L., Laine M., Revonuso A., Koivisto M., Hamalainen H., 2004.** 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans. *Bioelectromagnetics*, 285: 452-456.
- [41] **Lee T.M., Lam P.K., Yee L.T., Chan C.C., 2003.** The effect of duration of exposure to the EMF emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport*, 14(10): 1361-1414.
- [42] **Smythe J.W., Costall B., 2003.** Mobile phone use facilitates memory in male, but not female subjects. *Neuroreport*, 14(2): 243-246.
- [43] **Huber R., Schuderer J., Graf T., Jutz K., Borbely A.A., Kuster N., Achermann P., 2003.** RF EMF exposure in humans: estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics*, 24(4):262-276.
- [44] **Kuster N., Schuderer J., Christ A., Futter P., Ebert S., 2004.** Guidance for exposure design of human studies addressing health risk evaluations of mobile phones. *Bioelectromagnetics*, 25: 524-529.

- [45] **Adair E.R., Mylacraine K.S., Allen S.J., 2003.** Thermophysiological consequences of whole body resonant RF exposure at 100 MHz in human volunteers. *Bioelectromagnetics*, 24: 489-501.
- [46] **Monfrecola G., Moffa G., Procaccini E.M., 2003.** Non-ionizing electromagnetic radiations, emitted by a cellular phone, modify cutaneous blood flow. *Dermatology*, 207: 10-14.
- [47] **Roelandts R., 2003.** Cellular phones and the skin. *Dermatology*, 207: 3-5.
- [48] **Celik O., Hascalik S., 2004.** Effect of electromagnetic field emitted by cellular phones on heart rate patterns. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 112 (15): 55-56.
- [49] **Tahvanainen K., Nino J., Halonen P., Kuusela T., Laitinen T., Lansimies E., Hartikainen J., Hietanen M., Lindholm H., 2004.** Cellular phone use does not acutely affect blood pressure or heart rate of humans. *Bioelectromagnetics*, 25: 73-83.
- [50] **Haarala C., Aalto S., Hautzel H., Julkunen L., Laine M., Kra B., Hamalainen H., 2003.** Effects of 902MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans: a PET study. *Neuroreport*, 14(16): 2019-2023.
- [51] **De Seze R., Fabbro-Peray P., Touitou Y., Miro L., 1996.** Effects on human of microwaves emitted by GSM-type mobile phones: chronobiological rhythm of ACTH. *In 18th annual meeting of Bioelectromagnetics Society*, Victoria, Canada, 9-14 juin 1996. Frederik (USA), W/L Associates, Ltd, 1996, pp.56-57.
- [52] **De Seze R., Bec C., Fabbro-Peray P., Miro L., 1996.** Effects of microwaves emitted by mobile phones on hypophyseal hormones in humans. *In 18th annual meeting of Bioelectromagnetics Society*, Victoria, Canada, 9-14 juin 1996. Frederik (USA), W/L Associates, Ltd, 1996, pp.123.
- [53] **D'Andrea J., Chou C.K., Johnston S.A., Adair E.R., 2003.** Microwave effects on the nervous system. *Bioelectromagnetics*, 6: S107 -147.
- [54] **Mc Quade J.S., Merritt J.H., Rahimi O., et al., 2005.** Effects of 915 MHz exposure on the integrity of the blood-brain barrier. *BioEM05 Congress*, Dublin, Ireland.
- [55] **Cosquer B., Vasconcelos A.P., Fröhlich J., Cassel J.C., 2005.** Blood-brain barrier and electromagnetic fields: effects of scopolamine methylbromide on working memory after whole-body exposure to 2,45 GHz microwaves in rats. *Behav Brain Res*, 161: 229-237.
- [56] **Dubreuil D., Jay T., Edeline J.M., 2003.** Head only exposure to GSM 900 MHz EMF does not alter rats' memory in spatial and non-spatial tasks. *Behav Brain Res*, 145(1-2): 51-61.
- [57] **Yamaguchi H., Tsurita G., Ueno S., Watanabe S., Wake K., Taki M., Nagawa H., 2003.** 1439 pulsed TDMA fields affect performances of rats in maze task only when body temperature is elevated. *Bioelectromagnetics*, 24(4): 223-230.

- [58] **Cassel J.C., Cosquer B., Galani R., Kuster N., 2004.** Whole body exposure to 2,45GHz EMF does not alter radial maze performance in rats. *Behav Brain Res.*, 155: 37-43.
- [59] **Cosquer B., Galani R., Kuster N., Cassel J.C., 2005.** Whole-body exposure to 2,45 GHz electromagnetic fields does not alter anxiety responses in rats: a plus-maze study including test validation. *Behav Brain Res.*, 156: 65-74.
- [60] **Anane R., Geffard M., Taxile M., Bodet D., Billaudel B., Dulou P.E., Veyret B., 2003.** Effects of GSM-900 microwaves on the experimental allergic encephalomyelitis (EAE) rat model of multiple sclerosis. *Bioelectromagnetics*, 24(3): 211-213.
- [61] **Aweda M.A., Gbenebitse S., 2003.** Effects of 2,45GHz microwaves exposure on the peroxidation status in Wistar rats. *Niger Postgrad Med J*, 10(4): 243-246.
- [62] **Oktem F., Ozguner F., Mollaoglu H., Koyu A., Uz E., 2005.** Oxidative Damage in the Kidney Induced by 900-MHz Emitted Mobile Phone: Protection by Melatonin. *Archives of Medical Research*, 36, 350-355.
- [63] **La Regina M., Moros E.G., Pickard W.F., Straube W.L., Baty J., Roti Roti J.L., 2003.** The effect of chronic exposure to 835,62 MHz TDMA or 847,74 CDMA RF radiation on the incidence of spontaneous tumors in rats. *Radiat. Res.*, 160(2): 143-151.
- [64] **Heikkinen P., Kosma V.M., Alhonen L., Huuskonen H., Komulainen H., Kumlin T., Laitinen J.T., Lang S., Puranen L., Juutilainen J., 2003.** Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumourigenesis in ODC transgenic and non-transgenic mice. *Int J Radiat Biol*, 79(4): 221-233.
- [65] **Anane R., Dulou P.E., Taxile M., Geffard M., Crespeau F.L., Veyret B., 2003.** Effects of GSM-900 microwaves on DMBA- induced mammary gland tumors in female Sprague-Dawley rats. *Radiat Res*, 160(4): 492-7.
- [66] **Sommer A.J., Streckert J., Bitz A.K., Hansen V.W., Lerchl A., 2004.** No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice. *BMC Cancer*, 4 :77-89.
- [67] **Oberto G., et al., 2004.** Evaluation of carcinogenic potential of pulsed 900 MHz electromagnetic fields on Pim 1 transgenic mice: preliminary results. *Workshop on cancer and RF*, Schriesheim, Allemagne.
- [68] **Repacholi M.H., Basten A., Gebiski V., Noonan D., Finnie J., Harris A.W., 1997.** Lymphomas in Eppim I transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiation Res*, 147 : 631-640.
- [69] **Lagroye I., Anane R., Wettring B.A., Moros E.G., Straube W.L., Laregina M., Niehoff M., Pickard W.F., Baty J., Roti Roti J.L., 2004.** Measurements of DNA damage after acute exposure to pulsed waves 2450MHz in rat brain cells by two alkaline comet assay methods. *Int J Radiat Biol*, 80(1): 11-20.

- [70] **Ono T., Saito Y., Komura J., Ikehata H., Tarusawa Y., Nojima T., Goukon K., Ohba Y., Wang J., Fujiwara O., Sato R., 2004.** Absence of mutagenic effects of 2,45 GHz radiofrequency exposure in spleen, liver, brain and testis of lacZ-transgenic mouse exposed in utero. *Tohoku J Expl Med*, 92 (19): 93-103.
- [71] **Dasdag S., Zulkuf A.M., Aksen F., Yilmaz F., Bashan M., Mutlu S., Dasdag M., Salih C.M., 2003.** Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cellular phone does not affect the testis. *Bioelectromagnetics*, 24(3): 182-188.
- [72] **Nakamura H., Matsuzaki I., Hatta K., Nobukuni Y., Kambayashi Y., 2003.** Non thermal effects of mobile phone frequency microwaves on uteroplacental functions in pregnant rats. *Reprod toxicol*, 17(3): 321-326.
- [73] **Pyrpasopoulou A., Kotoula V., Cheva A., Hytioglou P., Nikolakaki E., Magras I., Xenos T.D., Tsiboukis T.D., Karkavelas G., 2004.** Bone morphogenetic protein expression in newborn rat kidneys after prenatal exposure to RFR. *Bioelectromagnetics*, 25: 216-227.
- [74] **Elder J.A., 2003.** Ocular effects of RF energy (review). *Bioelectromagnetics*, suppl6, S148-161.
- [75] **Kizilay A., Ozturan O., Erdem T., Kalcioglu M.T., Miman M.C., 2003.** Effects of chronic exposure of EMF from mobile phones on hearing in rats. *Auris nasus larynx*, 30(3): 239-245.
- [76] **Aran J.M., Carrere N., Chalan Y., Dulou P.E., Larrieu S., Letenneur L., Veyret B., Dulon D., 2004.** Effects of exposure of the ear to GSM microwaves: *in vivo* and *in vitro* experimental studies. *Int J Audiology*, 43(9): 245-254.
- [77] **Gatta L., Pinto R., Ubaldi V., Pace L., Galloni P., Lovisoli G.A., Marino C., Pioli C., 2003.** Effects of *in vivo* exposure to GSM-modulated 900MHz Radiation on mouse peripheral blood. *Radiation Res*, 160(5): 600-605.
- [78] **Meltz M., 2003.** RF exposure and mammalian cells toxicity, genotoxicity and transformation. *Bioelectromagnetics*, 6: S196-213.
- [79] **Hook G.J., Zhang P., Lagroye I., Li L., Higashikubo R., Moros E.G., Straube W.L., Pickard W.F., Baty J.O., Roti Roti J.L., 2004.** Measurement of DNA damage and apoptosis in Molt-4 cells after *in vitro* exposure to RF radiation. *Radiation Res*, 161(2): 193-200.
- [80] **Zeni O., Chiavoni A.S., Sannino A., Antonili A., Forigo D., Bersani F., Scarfi M.R., 2004.** Lack of genotoxic effects (micronucleus induction) in human lymphocytes exposed *in vitro* at 900MHz EMF. *Radiation Res.*, 160-(2): 152-158.
- [81] **Lagroye I., Hook G.J., Wettring B.A., Baty J.O., Moros E.G., Straube W.L., Roti Roti J.L., 2004.** Measurement of alkali labile DNA damage and protein-DNA crosslinks after 2450MHz microwaves and low dose gamma irradiation *in vitro*. *Radiat Res*, 161(2): 201-214.

- [82] **Markkanen A., Penttinen P., Pelkonen J., Sihlvonen A.P., Juutilainen J., 2004.** Apoptosis induced by UV radiation is enhanced by AM RFR in mutant yeast cells. *Bioelectromagnetics*, 25: 127-133.
- [83] **Capri M., Scarcella E., Bianchi E., Fumelli C., Mesirca P., Agostini C., Remondini D., Chuderer J., Kuster N., Franscheschi C., Bersani F., 2004.** 1800 MHz RF does not affect apoptosis and HSP 70 level in peripheral blood mononuclear cells from young and old volunteers. *Int J Radiat Biol*, 80: 389-397.
- [84] **Marinelli F., La Sala D., Ciccioti G., Cattinin L., Trimarchi C., Putti S., Zamparelli A., Giuliani L., Tomassetti G., Cinti C., 2004.** Exposure to 900MHz EMF induce an unbalance between pro apoptotic and pro survival signals in T-Lymphoblastoid leukemia CCRF-CEM cells. *J.Cell Physiol*, 198: 324-332.
- [85] **Nylund R., Leszczinski D., 2004.** Proteomics analysis of human endothelial cell line EA.hy926 after exposure to GSM900 radiation. *Proteonomics*, 4: 1359-1365.
- [86] **Czyz J., Guan K., Zeng Q., Nikolova T., Meister A., Schonborn F., Schuderer J., Kuster N., Wobus A.M., 2004.** High frequency electromagnetic fields (GSM1800 signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryon stem cells. *Bioelectromagnetics*, 25(4): 296-307.
- [87] **Dest A.B., Owen R.D., Cress L.W., 2003.** Non-thermal exposure to RF energy from digital wireless phones does not affect ODC activity in L929 cells. *Radiat Res.*, 160(4): 488-491.
- [88] **Zmyslony M., Politanski, P., Rajkowska E., Smyczak W., Jajte J., 2004.** Acute exposure to 930MHz CW EM radiation affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated with iron ions. *Bioelectromagnetics*, 25: 324-328.
- [89] **Kainz W., Alesch F., Chan D.D., 2003.** Electromagnetic interference of GSM mobile phones with the implantable deep brain stimulator, ITREL-III. *Biomed Eng online*, 2(1):11.
- [90] **Grant H., Heirman D., Kuriger G., Ravindran M.M., 2004.** *In vitro* study of the electromagnetic interaction between wireless phones and an implantable neural stimulator. *Bioelectromagnetics*, 25: 356-361.
- [91] **Wang, J., Ohshima, T., Fujiwara, O., 2003.** Effectiveness Evaluation of Shielding Material in Reducing Electromagnetic Interference of Cardiac Pacemaker Induced by Portable Information Terminals. *Wiley Periodical, Inc. Electron. Comm. in Japan, Pt 1*, 86(1) : 48-53.
- [92] **INRS, 2003.** Champs électriques, Champs magnétiques, Ondes électromagnétiques. Guide à l'usage du médecin du travail et du préventeur.
- [93] **Van Rongen E., Roubos E.W., Van Aernsbergen L.M., Brussaard G., Havenaar J., Koops F.B.J., Van Leeuwen F.E., Leonhard H.K., Van Rhoon G.C., Swaen G.M.H., Van de Weerd R.H.J., Zwamborn A.P.M., 2004.** Mobile phones and children: is protection warranted? *Bioelectromagnetics*, 25:142-144.

- [94] **Lin J.C., 2004.** Studies of microwaves in medicine: from snails to humans. *Bioelectromagnetics*, 25: 146-159.
- [95] **Anderson V., 2003.** Comparisons of peak SAR levels in concentric sphere head models of children and adults for irradiation by a dipole at 900 MHz. *Phys. Med. Biol.*, 48(20): 3263-3275.
- [96] **Martinez-Burdalo M., Martin A., Anguiano M., Villar R., 2004.** Comparison of FDTD-calculated specific absorption rate in adults and children when using a mobile phone at 900 and 1800 MHz. *Phys Med Biol.*, 49(2): 345-354.
www.who.int/peh-emf/research/children/en/index.html
- [97] **Aran J.M., Bolomey J.C., Buser P., De Seze R., Hours M., Lagroye I., Veyret B.** Rapport à l'AFSSE : Téléphonie mobile et santé. 21/03/2003
- [98] www.anfr.fr
- [99] www.legifrance.fr
- [100] **Blackmore, S.J., Rose, N., 2002.** Testing the bioelectric shield. *Altern. Ther. Health Med.*, 8(5) : 62-67.
- [101] **Manteufel D., Bahr A., Bornkessel C., Gustrau F., Wolff I.,** Fundamental aspects for the design of Low-SAR Mobile Phones, IMST GmbH, Germany.
- [102] **Kin-Lu Wong et Ting-Chih Tseng, 2005.** Internal patch antenna with an inset shielding metal case for mobile-device application, *Wiley Periodicals, Inc.*
- [103] **Xiangcheng L., Chung D.D.L., 1999.** Electromagnetic interference shielding using continuous carbon-fiber, carbon-matrix and polyme-matrix composites, *Elsevier Science.*
- [104] **Bellieni C.V., Bagnoli F., Pinto I., Stacchini N., Buonocore G., 2005.** Reduction of exposure of newborns and caregivers to very high electromagnetic fields produced by incubators. *American Association of Physicists in Medicine*, [DOI : 10.1118/1.1829404].
- [105] **NRPB (National Radiological Protection Board), 2004.** Mobiles phones and health.
- [106] **British Medical Association.** Board Of Science And Education, Mobiles phones and health, Mai 2001.
- [107] **Fung L.C., Leung S.W., Chan K.H., 2003.** Experimental study of SAR commercial products and shielding materials in mobile phone applications, *Wiley periodicals, Inc. Microwave Opt Technol Lett 44 : 140-144.*
- [108] **Manning M., Densley M.,** On the effectiveness of various types of mobile phone radiation shields.
- [109] **Chan K.H., Chow K.M., Fung L.C., Leung S.W., 2005.** Effects of using conductive materials for SAR reduction in mobile phones, *Wiley periodicals, Inc. Microwave Opt Technol Lett 44 : 140-144.*
- [110] **Patrick Oliver J., Chou C.K., Quirino Balzano, 2003.** Testing the effectiveness of Small Radiation Shields for Mobile Phone. *Bioelectromagnetics*, 24:66-69.

- [111] **Chou, C.K., Guy, A.W., McDougall, J.A., 1987.** Shielding Effectiveness of Improved Microwave-Protective Suits. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 35 (11): 995 -1001.
- [112] Dossier spécial: Champs électromagnétiques et santé. *Environnement, Risques et Santé*, 5 (1); 2006.
- [113] Archives des maladies du cœur et des vaisseaux : "Champs électromagnétiques, cardiostimulateurs et défibrillateurs", *Journal d'expression de la société française de cardiologie*, Tome 96, N° Spécial III, Avril 2003 .

Liste des annexes

Annexe 1 : Spectre électromagnétique et applications [1].....	II
Annexe 2 : Origine électrique des OEM.....	IV
Annexe 3 : Différentes formes d’ondes	V
Annexe 4 : Mesures des ondes électromagnétiques	VII
Annexe 5 : Ordres de grandeurs des champs électromagnétiques	IX
Annexe 6 : Difficultés d’évaluation de l’exposition aux radiofréquences [17]....	XI
Annexe 7 : Les différents réseaux de téléphonie mobile	XIII
Annexe 8: Les effets biologiques des rayonnements ionisants [1, 92]	XIV
Annexe 9 : Programmes de recherche en cours sur les téléphones mobiles [17]	XVI
Annexe 10 : Résultats des deux études détaillées sur les Kits mains libres [105,106]	XVII
Annexe 11 : Résultats sur les six autres études sur les Kits mains libres	XXI
Annexe 12 : Chambre anéchoïque.....	XXII
Annexe 13 : Résultats de l’étude des boîtiers de blindage [108].....	XXIII
Annexe 14 : Résultats de l’étude des pastilles et boucliers [107, 108, 109] ...	XXIV
Annexe 15 : Résultats de l’étude des capuchons et clips à placer sur l’antenne [108]	XXVII
Annexe 16 : Resultats de l’étude des pastilles absorbantes [108]	XXVIII
Annexe 17 : Les boucliers bioélectriques.....	XXX
Annexe 18 : Les vêtements	XXXIII
Annexe 19 : L’ingestion de mélatonine	XXXIV

ANNEXE 1 : SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE ET APPLICATIONS [1]

Onde électromagnétique	Fréquence	Longueur d'onde	Application
<i>Rayons X</i>	>3000 THz	<100 nm	Imagerie médicale Radiographie
<i>Rayons UV</i>	750 à 3000 THz	400 nm à 100 nm	Banc solaire
<i>Lumière visible</i>	385 THz à 750 THz	780 à 400 nm	Vision humaine, photosynthèse
<i>Infrarouges</i>	0,3 THz à 385 THz	1 mm à 780 nm	Chauffage
<i>Fréquences extrêmement hautes (EHF)</i>	30 GHz à 300 GHz	0.01 m à 0.001 mm	Radars, communication par satellite
<i>Fréquences super hautes (SHF)</i>	3 à 30 GHz	0.1 m à 0.01 m	Radars, alarmes anti-intrusion
<i>Fréquences ultra hautes (UHF)</i>	0.3 à 3 GHz	1 à 0.1 m	Télévision, radars, téléphones mobiles, fours à micro-ondes, hyperthermie médicale
<i>Très hautes fréquences (VHF)</i>	30 à 300 MHz	10 à 1 m	Télévision, radio FM
<i>Hautes fréquences (HF)</i>	3 à 30 MHz	100 à 10 m	Soudage, collage
<i>Fréquences moyennes (MF)</i>	0.3 à 3 MHz	1 km à 100 m	Radiodiffusion MO-PO, diathermie médicale
<i>Basses fréquences (LF)</i>	30 à 300 KHz	10 à 1 km	Radiodiffusion GO, fours à induction
<i>Très basses fréquences (VLF)</i>	3 à 30 kHz	100 Km à 10 km	Radio-communications
<i>Fréquences audio (VF)</i>	0.3 à 3 kHz	1000 Km à 100 km	Transmission de

			données vocales, métallurgie, chauffage par induction
<i>Extrêmement basses fréquences (EBF-ELF)</i>	3 Hz à 300 Hz	100 000 à 1000 km	Transport et distribution de l'électricité, électroménager
	50 Hz	6000 Km	
<i>Champ magnétique terrestre</i>	0 Hz (continu)	infinie	Boussole

Situation de la téléphonie mobile dans le spectre électromagnétique :

Onde électromagnétique	Fréquence	Longueur d'onde	Application
<i>Micro-ondes</i>	30-300 GHz	10 à 1 mm	Radars
	300-3000 MHz	100 à 10 cm	Fours à micro-ondes
	900 et 1800 MHz	33 et 17 cm env.	Téléphones cellulaires
	400-800 MHz	0,75 m à 37 cm	Télévisions
<i>Très hautes fréquences</i>	87,5-108 MHz	3 m	Emetteurs radio FM
<i>Basses fréquences</i>	30-300 kHz	10 à 1 km	Emetteurs radio AM
<i>Très basses fréquences</i>	10-30 kHz	33 à 10 km	Four à induction

ANNEXE 2 : ORIGINE ELECTRIQUE DES OEM

Notions sur l'électricité

L'électricité est une manifestation énergétique due aux différentes charges de la matière. La charge électrique est une des propriétés de la matière ; celle-ci respectant une loi de conservation.

Expérimentalement, deux charges opposées s'attirent et deux charges de même signe se repoussent. La présence dans l'environnement de charges électriques crée donc des forces d'attraction ou de répulsion. Ces forces sont liées à la notion de champ électrique.

Principe d'émission d'un champ électrique

Un champ électrique est lié à la présence d'une tension électrique entre 2 points de l'espace de charges électriques différentes. Il est égal au rapport de cette tension par la distance qui sépare les 2 points considérés. L'intensité d'un champ électrique se mesure en volts par mètre (V/m).

Tout dipôle sous tension produit ainsi un champ électrique dans son voisinage. Ce dernier se manifeste par la force qu'il exerce sur les autres charges. Plus on s'éloigne de la source d'émission du champ électrique, plus son intensité diminue, et ce de façon rapide.

Principe d'émission d'un champ magnétique

Un champ magnétique (CM) est généré par un courant électrique (déplacement de charges). L'intensité d'un champ magnétique se mesure en ampères par mètre (A/m). Toutefois on utilise aussi, pour mesurer le CM, la densité de flux magnétique, exprimée en teslas (T).

Contrairement au champ électrique, le champ magnétique n'apparaît que lorsqu'un appareil électrique fonctionne et que le courant circule. Plus l'intensité du courant est forte, plus le champ magnétique est élevé.

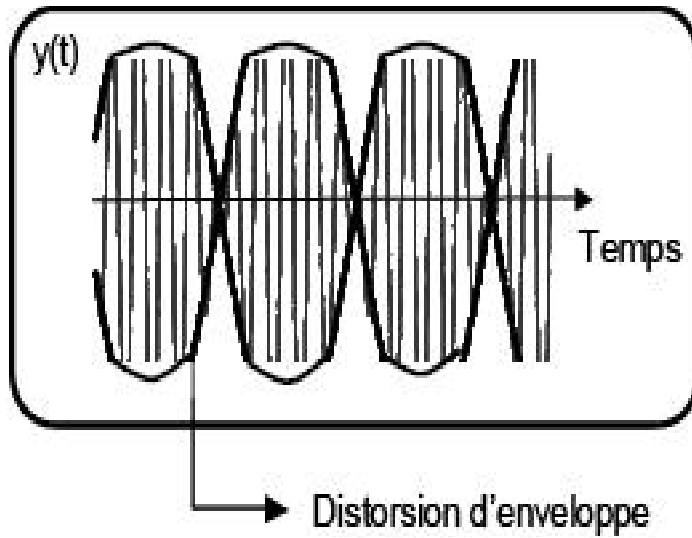
La valeur du champ magnétique est proportionnelle à celle du champ électrique à partir d'une distance à la source d'émission de quelques longueurs d'ondes (champ lointain) et sa valeur diminue aussi rapidement avec la distance à la source.

Induction électromagnétique

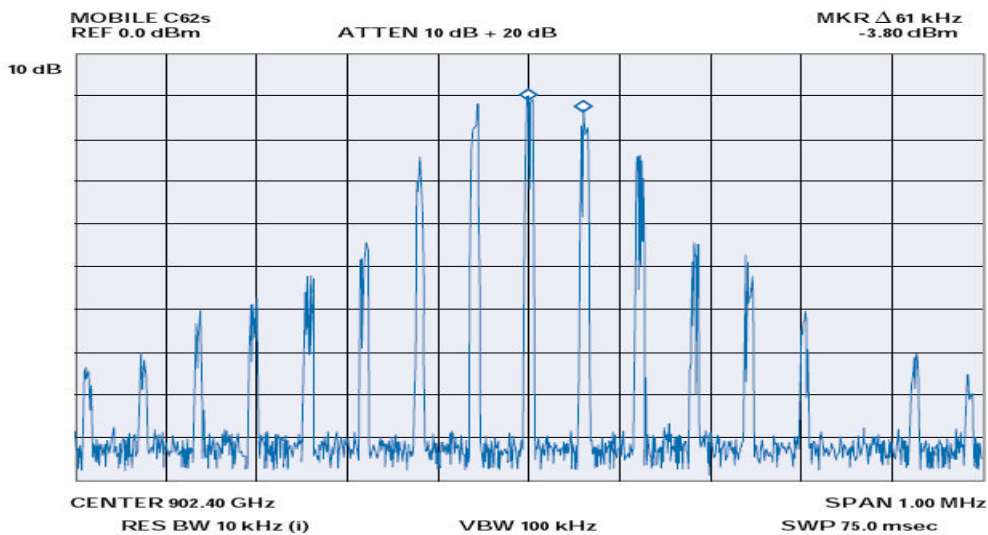
Une autre propriété des ondes électromagnétiques est le phénomène d'induction, ayant pour résultat la production d'une différence de potentiel aux bornes d'un conducteur électrique soumis à un champ électromagnétique variable. Cette tension est fréquemment appelée force électromotrice.

ANNEXE 3 : DIFFERENTES FORMES D'ONDES

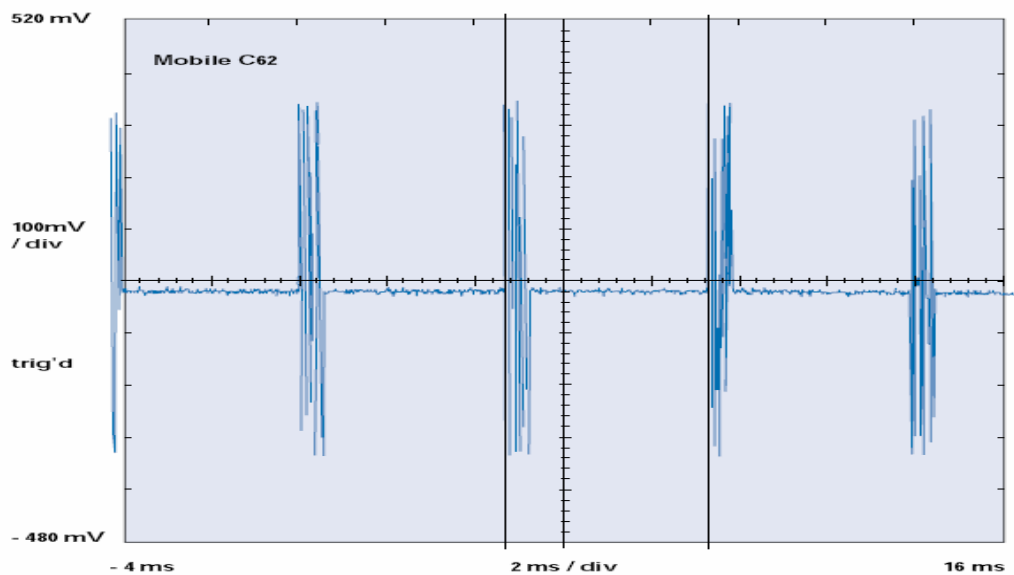
Exemple de modulation en amplitude :



Modulation en fréquence :



Exemple d'un signal PULSE : visualisation temporelle du signal (impulsions du signal cadencées à 217 Hz) :



ANNEXE 4 : MESURES DES ONDES ELECTROMAGNETIQUES

[Source : ENSP_OEM_ « Mission Réglementation Métrologie »_ 2005]

a) PARAMETRES A DETERMINER POUR CARACTERISER UNE OEM

Afin de caractériser une émission électromagnétique il faut déterminer plusieurs paramètres :

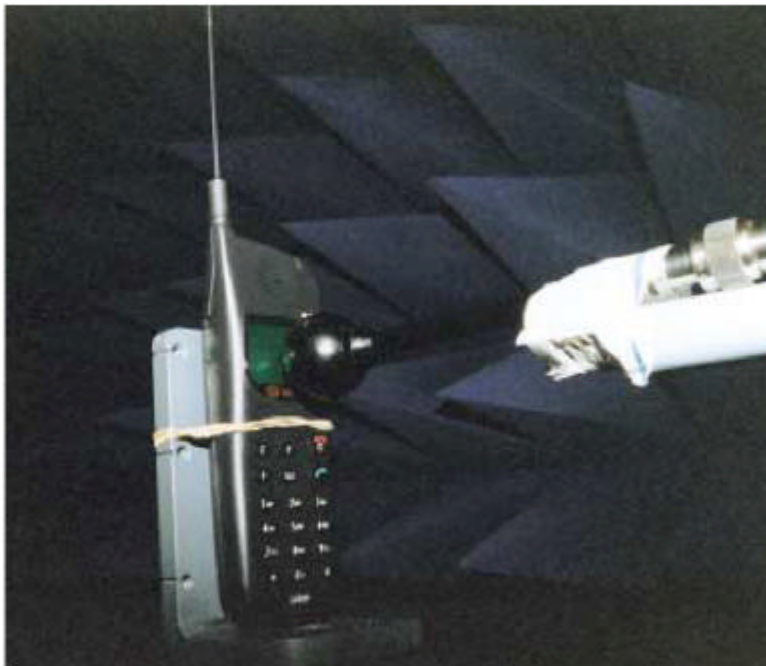
- Domaine de fréquence (statique, ELF, RF, HF...)
- Type d'émission électromagnétique (E, B...)
- Nature de l'émission électromagnétique
- Présence de fréquences harmoniques
- Distance entre émetteur et lieu d'exposition
- Polarisation, dérivée en fréquence, importance du gradient de champ, présence autres sources, matériaux absorbants, ...

b) COMMENT MESURE-T-ON CES PARAMETRES ?

En pratique les paramètres mesurés les plus importants sont le champ électromagnétique et la densité de puissance.

• Les différents appareils de mesure

Différents appareils « détecteurs d'ondes » permettent d'effectuer des mesures selon la



fréquence considérée :
chambres à fils, scintillateurs,
plaques photographiques,
caméras, œil, antenne...

Dans le cadre de notre problématique nous évoquerons le cas des antennes, car elles mesurent les radiofréquences, et les micro-ondes, gammes exploitées par des technologies qui font l'objet de polémiques (four micro-ondes, téléphones mobiles).

- Prise en compte de la nature du champ mesuré

Mesure des champs ELF

La mesure concerne prioritairement le champ magnétique, qui est prédominant.

Mesure des champs RF

Il faut considérer 2 paramètres :

La distance de la source émissive à la zone de mesurage (proche ou lointain)

La prédominance magnétique ou électrique de la source.

- Incertitudes

Les mesures sont soumises à de fortes incertitudes pouvant aller jusqu'à +/- 50% de la valeur observée.

ANNEXE 5 : ORDRES DE GRANDEURS DES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES

Valeurs caractéristiques de l'intensité du champ électrique [13]

Appareil électrique	Intensité du champ électrique (V/m) à 30 cm de distance
Récepteur stéréo	180
Fer à repasser	120
Réfrigérateur	120
Mixeur	100
Grille-pain	80
Sèche-cheveux	80
Téléviseur couleur	60
Machine à café	60
Aspirateur	50
Four électrique	8
Ampoule électrique	5
Emissions GSM à 1cm	
D'un mobile	90
D'une station de base	50
Valeur limite recommandée	5000

Exemples de champs magnétiques dans notre environnement quotidien [13] (rappel : seuil à ne pas dépasser : **0,2 µT**)

Appareil	À 3 cm (µT)	À 30 cm (µT)	À 1 m (µT)
Sèche-cheveux	6-2000	0,01-7	0,01-0,03
Rasoir électrique	15-1500	0,08-9	0,01-0,03
Aspirateur	200-800	2-20	0,13-2
Four micro-ondes	73-23	4-8	0,25-0,6
Radio portable	16-56	1	< 0,01

Four électrique	1-50	0,15-0,5	0,01-0,04
Lave-linge	0,8-50	0,15-3	0,01-0,15
Fer à repasser	8-30	0,12-0,3	0,01-0,03
Lave-vaisselle	3,5-20	0,6-3	0,07-0,3
Ordinateur	0,5-30	< 0,01	
Réfrigérateur	0,5-1,7	0,01-0,25	< 0,01
Téléviseur couleur	2,5-50	0,04-2	0,01-0,15
Emissions GSM à proximité D'un mobile D'une station de base	jusqu'à 0,3 µT jusqu'à 0,03 µT		

Afin de comparer sont mentionnées dans chaque cas les valeurs de champs électrique et magnétique émis par un GSM [17]

ANNEXE 6 : DIFFICULTES D'EVALUATION DE L'EXPOSITION AUX RADIOFREQUENCES [17]

Le niveau moyen d'exposition de la population aux ondes radiofréquences est difficile à analyser car plusieurs phénomènes s'opposent :

- l'augmentation du niveau moyen d'exposition du fait du développement de nouveaux systèmes *WiFi*, *UMTS*,... en supplément du GSM existant (exposition corps entier)
- mais en parallèle, cette densification du réseau conduit à solliciter moins de puissance de la part des terminaux et les usagers sont donc moins exposés (exposition de la tête)

Cette méconnaissance du niveau d'exposition est liée à des difficultés méthodologiques. En France, l'Agence Nationale des Fréquences a élaboré en 2001 un protocole de mesures sur sites. Ces mesures sur sites ne sont cependant que des mesures statiques représentatives de l'exposition au point de mesure et à un moment donné. Elles ne prennent aucunement en compte la mobilité du public au cours de la journée et ne peuvent donc être représentatives de la variabilité de l'exposition au cours du temps d'une personne aux différentes sources de radiofréquences. Le développement d'appareils de mesures (dosimètres), permettant une estimation pondérée dans le temps et dans l'espace de l'exposition du public porteur de l'appareil apparaît donc souhaitable. Ceci permettrait :

- d'améliorer les études à visée épidémiologique qui se fonderaient sur les niveaux d'exposition réels de la population et non sur une estimation grossière
- de procéder à une évaluation des niveaux d'exposition de différents groupes de population en France

Pour répondre aux interrogations du public, l'Agence Nationale des Fréquences publiait un « Panorama du rayonnement électromagnétique en France – Etat des lieux en 2004 ». La figure ci-dessous permet d'évaluer l'exposition quotidienne d'une personne selon qu'elle se trouve à l'intérieur (mesures « intérieures ») ou à l'extérieur de son domicile (mesures « extérieures »).

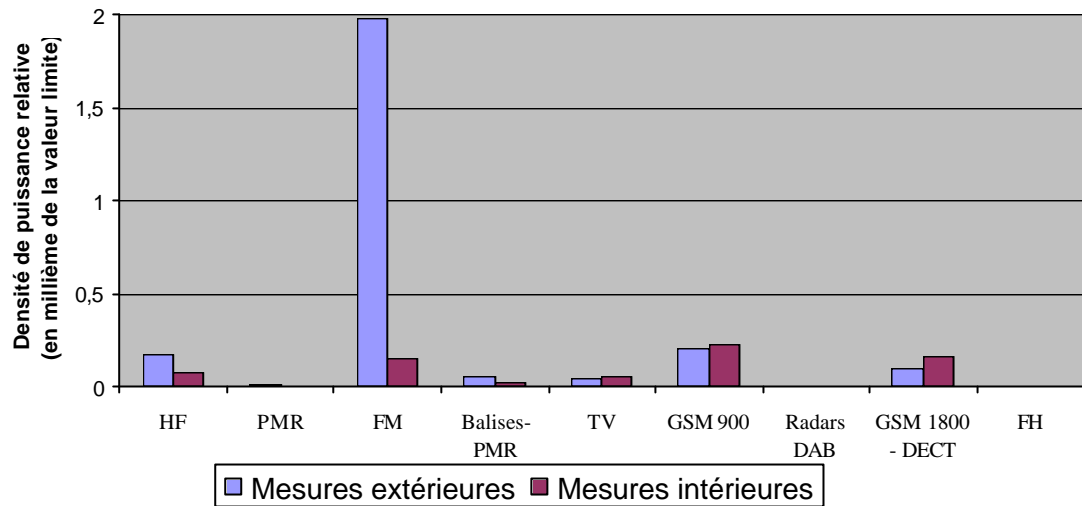


Figure : Mesures extérieures et intérieures des différentes sources en 2004 (Source ANFR)

En abscisse, sont représentés les différents systèmes (HF : Haute Fréquence ; PMR : Radiotéléphone privé ; FM : Modulation de fréquence ; DAB : Radiodiffusion numérique ; FH : Faisceau Hertzien ; GSM 900 : Radiotéléphonie bande 900 MHz ; GSM 1800 : Radiotéléphonie bande 1800 MHz ; DECT : Téléphone sans fil).

Cette figure indique qu'en extérieur, comme en intérieur, la FM domine les autres sources en termes d'exposition moyenne. Suivent les services GSM 900 – 1800 et les HF.

ANNEXE 7 : LES DIFFERENTS RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE

Principales caractéristiques des normes GSM 900 et DCS 1800 :

	GSM 900	DCS 1800
<i>Bande de fréquence</i>	Mobile vers station :	
	890-915MHz	1710-1785MHz
	Station vers mobile :	
	935-960MHz	1805-1880MHz
<i>Espacement entre canaux</i>	200kHz	
<i>Duplex</i>	oui (FDD)	
<i>Modulation</i>	GMSK BT = 0,3	
<i>Vitesse de modulation</i>	270,833 kHz	
<i>Largeur d'impulsion</i>	577µs	
<i>Fréquence de répétition</i>	217Hz	
<i>Puissance max. d'émission du mobile</i>	2W	1W
<i>Variation de la puissance</i>	Par pas de 2 dB / dynamique 30dB	
	min. 2mW	min. 1mW

ANNEXE 8: LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS [1, 92]

On sait que les OEM sont absorbées par les tissus vivants et s'y dégradent en chaleur. En forte exposition, ceci va se traduire en une hyperthermie partielle ou généralisée du corps.

Les effets provoqués par un échauffement sont bien connus. Les études in vitro ainsi que les observations faites sur des personnes exposées à des sources telles que les radars ou les appareils médicaux de diathermie ont fourni des données sur la réponse de l'organisme à une exposition aux RF entraînant un échauffement.

A des niveaux de puissance suffisants pour entraîner des DAS supérieurs à 4W/kg et une augmentation de la chaleur locale, on a constaté les effets suivants liés directement à la hausse de température locale :

Effets biologiques :

- une augmentation de la létalité de certaines bactéries ;
- une variation des échanges ioniques transmembranaires de l'hématie (augmentation de la sortie du K⁺ et de l'entrée du Na⁺) et une augmentation de sa mobilité électrophorétique ;
- une modification de la production de certaines enzymes et une inactivation progressive de certaines activités enzymatiques ;
- des effets génotoxiques ;
- une stimulation du système immunocompétent lorsque l'hyperthermie est modérée (< 41°C) ;
- les réactions physiopathologiques associées à la vasodilatation : augmentation des métabolismes, élimination des déchets métaboliques, modification des échanges hydriques et ioniques ;
- une coagulation des protéines aboutissant à la mort cellulaire et à la brûlure tissulaire ;

Effets physiologiques :

- un effet de thermorégulation qui se traduit par une augmentation du volume sanguin et du rythme cardiaque ;
- des modifications neurologiques notamment au niveau de la transmission de l'influx nerveux chez la grenouille exposée à 900 MHz ;

- un effet tératogène se traduisant par une réduction du nombre des portées chez le rat exposé à une puissance induisant une élévation de température malgré un $DAS < 20 \text{ W /kg}$;
- une apparition de cataracte pour un seuil d'exposition supérieur ou égal à 150 mW/cm^2 , ou bien pour des expositions inférieures au seuil mais suffisamment rapprochées dans le temps pour ne pas permettre de réparation des lésions entraînées par l'exposition précédente ;
- une altération du comportement probablement induite par une augmentation de la température de l'hypothalamus.

ANNEXE 9 : PROGRAMMES DE RECHERCHE EN COURS SUR LES TELEPHONES MOBILES [17]

Nom du programme ou de l'auteur	Activités / Thèmes d'étude
Programmes internationaux	
« EMF » de l'OMS	Aide à la coordination de la recherche, à l'harmonisation des limites d'exposition et à la communication du risque
« Interphone »	Risques de tumeurs de la tête engendrés par l'exposition au portable
Programmes européens	
« Perform A »	Incidence des tumeurs
« Perform B »	Génotoxicité, activité de l'enzyme ODC et mémoire des rongeurs
« Perform C »	Sommeil et fonctions cognitives
« GUARD »	Effet sur l'audition chez l'homme et les animaux des RF de faible intensité produites par les téléphones mobiles aux fréquences 900 et 1800 MHz
« Reflex »	Effets des champs RF sur des systèmes cellulaires <i>in vitro</i>
« Cemfec »	Effets co-cancérogènes des signaux GSM 900 à faible dose
Programmes français	
René De Seze (INERIS)	Effets des champs RF sur les neurotransmetteurs et récepteurs du système nerveux central chez le rat
Thérèse Jay (Université Paris)	Effets potentiels des signaux GSM et UMTS sur le tissu cérébral : étude des protéines de choc thermique et réactions inflammatoires
Isabelle Lagroye (CNRS/EPHE)	Etude des effets de signaux de téléphonie mobile sur le système nerveux central : protéines de stress, inflammation, génotoxicité
Justin Teissié (CNRS)	Déstabilisation de l'interface membrane cellulaire-solution par les ondes électromagnétiques associés à la téléphonie mobile

ANNEXE 10 : RESULTATS DES DEUX ETUDES DETAILLEES SUR LES KITS MAINS LIBRES [105,106]

Etude		« Estimation of the SAR in the Human Head and Body due to <u>Radiation Exposure from Handheld Mobile Phones with Hands-Free Accessories</u> » <i>Corporate EME Research laboratory, Motorola Florida Research laboratories</i>	« SAR and induced current measurements on wired <u>hands free mobile telephones</u> » <i>University of York, UK</i>		
Proto- cole	Méthode utilisée pour calculer l'exposition de l'utilisateur	Simulation numérique (méthodes des différences finies). Calcul de DAS dans la tête de l'utilisateur	Mesures expérimentales sur fantômes en chambre anéchoïque (cf. <i>Annexe 6</i>). Mesure de DAS dans la tête du fantôme.	Mesure de courant induit sur le câble du Kit mains libres	Mesures expérimentales sur fantômes en chambre anéchoïque. Mesure de DAS dans la tête du fantôme.
	Modèles utilisés	<ul style="list-style-type: none"> • modèle simple (tête = sphère ; corps = cylindre) rempli de liquide diélectrique • modèle réaliste (forme et propriétés diélectriques) 	<ul style="list-style-type: none"> • tête remplie de liquide diélectrique) • corps + tête remplis de liquide diélectrique 	<ul style="list-style-type: none"> • contre la joue, ou à 15° d'inclinaison, sur la gauche de la tête. 	<ul style="list-style-type: none"> • contre la joue, ou à 15° d'inclinaison, sur la gauche de la tête.
	Téléphone mobile	Dipôle (900 MHz).	Téléphone mobile Motorola GSM 900 MHz.	7 téléphones mobiles (4 à 888 MHz – 3 à 1750 MHz)	7 téléphones mobiles (4 à 888 MHz – 3 à 1750 MHz)
	Kit mains libres	Câble de longueur 0,9m	Câble de longueur 1m	KML du marché	KML du marché

	<i>Instrument de mesure</i>	Néant	Sonde miniature isotrope de champ électrique (champ proche).	Une sonde pour chaque fréquence	Une sonde pour chaque fréquence
	<i>Différentes configurations testées</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dipôle placé à 1cm de la tête. • Dipôle à la ceinture. • fil / écouteurs jusqu'aux oreilles. 	<ul style="list-style-type: none"> • téléphone placé contre la tête • téléphone à la taille • fil / écouteurs jusqu'aux oreilles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Téléphone « en l'air » -Kit main libre au dessus du téléphone. • Téléphone sur une table, fil du KML pendant vers l'oreille • Téléphone à la taille. Le fil pend librement. <p>Téléphone à la taille. Le fil est plaqué contre le corps.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Téléphone + KML</i> Ecouteurs dans l'oreille (position classique) et fil pendant librement. Câble fixé sur la joue sur 8cm et libre ensuite. • <i>Téléphone seul</i> contre la joue à 15° d'inclinaison (sur la gauche de la tête)

		Plafond moyen de DAS_{tête - 1g} (W/kg)		Plafond moyen de DAS_{1g} dans la région de l'oreille (W/kg) - Mesures	Courant induit	DAS estimé dans la tête
		Modèle simple (simulation)	Modèle réaliste (simulation)	Modèle simple (simulation)		
Résultats	Source contre la tête	2,3 (situé dans la région de l'oreille)	2,0 (situé dans la région de l'oreille)	2,3 (situé dans la région de l'oreille)	<ul style="list-style-type: none"> A 888 MHz : Plus on rapproche le fil du corps plus le courant diminue. <p>Comparaison de fréquences : Les courants induits sont plus faibles à 1750 MHz qu'à 888 MHz.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Téléphones seuls : DAS_{moyen 888} = 0,726 W/kg DAS_{moyen 1750} = 0,398 W/kg DAS plus important en position contre l'utilisateur. Téléphones + KML : DAS_{moyen 888} = 0,281 W/kg DAS_{moyen 1750} = 0,251 W/kg DAS des KML est plus faible que celui des tels. DAS KML plus faible à la mâchoire qu'à l'oreille
	Source, fil, tête	1,3	2,6	1,3		
	Source, fil, tête, torse	0,054	0,02	0,054		
Incertitudes et majorations	<ul style="list-style-type: none"> Couplage maximum recherché entre le fil et le téléphone Incertitudes liée à la sonde (12 %) et au modèle Représentativité du téléphone et KML étudiés 			<ul style="list-style-type: none"> Couplage maximum recherché entre le fil et le téléphone Incertitudes liée à la sonde et au modèle 		

		Absence de standard pour mesurer les DAS_{KML} -> on retient la valeur maximum possible pour un téléphone/KML particulier.
Commentaires des auteurs	<ul style="list-style-type: none"> • DAS avec KML << DAS avec téléphone seul • Présence du torse -> DAS plus faible • Facteur maximisant le DAS : couplage fort dans l'expérience entre téléphone et KML <p>- Sonde utilisée = sonde isotrope (recommandé pour les mesures précises de champ E près de source RF).</p>	<p>Explication des niveaux de DAS observés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facteurs forts : la configuration tel/KML pour le couplage. Proximité d'autres parties du corps au KML • Facteurs modérés : Proximité du KML de la tête. Surtout à haute fréquence • Facteurs faibles : Type spécifique de KML (mais ça peut influencer sur la localisation du plafond de DAS). <p>Changement entre les bandes de fréquence.</p> <p>Un grain de ferrite placé autour du KML à 1 point ou le tel induit de forts courants, réduit de façon significative le DAS induit en utilisant un KML.</p> <p>Géométries telles que le couplage tel/KML, donc le courant et le DAS, soit maximums.</p> <p>Dans la pratique les DAS seront plus faibles.</p>
Conclusion	Grande efficacité des KML (réduction d'un ordre de grandeur du DAS grâce au KML)	Bonne efficacité des KML (réduction d'environ un facteur 2 du DAS grâce au KML)

ANNEXE 11 : RESULTATS SUR LES SIX AUTRES ETUDES SUR LES KITS MAINS LIBRES

Etude	Résultats – conclusions
<u>Avril 2000 : UK Consumers' Association</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Les fils des écouteurs des kits mains libres jouent un rôle d'antenne • Multiplication par 3 des radiations dans la tête de l'utilisateur avec un <i>KML</i> • Recommandations : ne plus utiliser de kit mains libres
<u>Mai 2000 : Rapport Stewart</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'information suffisante publiée sur les méthodes de mesure utilisées • Recommandations : système permettant des tests indépendants des systèmes de protection pour mobiles ; information claire sur leur efficacité
<u>Aout 2000 : Australian Consumers' Association</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Les <i>KML</i> peuvent réduire l'exposition aux radiations électromagnétiques • Recommandations : acheter un <i>KML</i> ; ne pas placer le mobile contre son corps ; ne pas trop utiliser le téléphone.
<u>Aout 2000 : Departement of Trade and Industry's (DTI)</u>	<ul style="list-style-type: none"> • dans leur utilisation normale les <i>KML</i> permettent des réductions substantielles du <i>DAS</i> par rapport à l'utilisation contre la tête • Avec un <i>KML</i> le <i>DAS</i> maximum dépend de où le téléphone est placé. Les niveaux de <i>DAS</i> sont réduits quand le téléphone est placé contre le corps côté clavier. • Recommandations : laisser pendre naturellement le fil des écouteurs depuis l'oreille ; garder le câble loin de l'antenne ; ne pas placer le téléphone directement contre le corps
<u>Novembre 2000 : UK Consumers' Association research</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les <i>KML</i> peuvent faire baisser le niveau des émissions RF mais aussi les augmenter de 50% à 250%. • Ceci dépend du téléphone, du <i>KML</i>, de la taille de l'utilisateur, et de la position du téléphone (la distance entre le téléphone et les écouteurs influence les émissions RF des écouteurs). • Solution potentielle : ajuster un anneau métallique sur le fil du <i>KML</i> réduit les radiations mesurées dans l'oreille. • Recommandations : instaurer un test standard pour tester les <i>KML</i> ; Minimiser la durée et le nombre d'appels.
<u>Novembre 2004 : Rapport Porter et al 2004</u>	<ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation des kits mains libres peut réduire de 50 % l'exposition de la tête aux <i>RF</i> par rapport à une utilisation classique de mobile au contact de la tête

ANNEXE 12 : CHAMBRE ANECHOÏQUE

Une chambre anéchoïque est une chambre conçue pour n'émettre aucun écho. On utilise de telles chambres pour mesurer des appareils pour reproduire les conditions de champ direct, c'est-à-dire en absence de composantes ayant subi une réverbération sur des parois.



Une chambre anéchoïque électromagnétique (par opposition aux chambres anéchoïques acoustiques), est une cage de Faraday dont les parois sont recouvertes de carreaux de ferrite absorbant les ondes électromagnétiques et empêchant leur réverbération. Une telle chambre sert notamment à mesurer les perturbations électromagnétiques, par rayonnement et par conduction, d'appareils électroniques. Ces mesures sont nécessaires afin de vérifier les critères des normes CE et norme FCC de sécurité des appareils électroniques grand public.

Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Chambre_an%C3%A9cho%C3%AFque

ANNEXE 13 : RESULTATS DE L'ETUDE DES BOITERS DE BLINDAGE [108]

Description	Matériau utilisé	Position par rapport à l'oreille de l'utilisateur	Position Sur le téléphone	Réduction du DAS (%)	Réduction relative de la performance du téléphone (%)	Type de téléphone utilisé pour le test	outil mesure DAS	Remarques-commentaires
Boîtier 1	/	0 mm	Entoure le téléphone	98 <i>Max</i> (1g)	78	Nokia 3210 (antenne incorporée)	2	Bonne réduction du DAS, mais téléphone non-performant
Boîtier 1	/	0 mm	Entoure le téléphone	97 <i>Max</i> (1g)	84	Nokia 5110 (antenne externe)	2	
Boîtier 2	/	0 mm	Entoure le téléphone	90 <i>Max</i> (1g)	85	Nokia 7110 (antenne externe)	2	
Boîtier 2	/	0 mm	Entoure le téléphone	25 <i>Max</i> (1g)	7	Ericsson T10 s (antenne externe)	2	
Boîtier 3	/	0 mm	Entoure le téléphone	18 <i>Max</i> (1g)	-26	Nokia 5110 (antenne externe)	2	
Boîtier 4	/	0 mm	Entoure le téléphone	87 <i>Max</i> (1g)	-45	Ericsson T10 s (antenne externe)	2	Bonne réduction du DAS et bonne performance du téléphone

ANNEXE 14 : RESULTATS DE L'ETUDE DES PASTILLES ET BOUCLIERES [107, 108, 109]

Description	Matériau utilisé	Position Rapport à l'oreille de l'utilisateur	Position Sur le téléphone	Réduction du DAS (%)	Réduction relative de la performance du téléphone (%)	Type de téléphone utilisé pour le test	outil mesure DAS	Remarques-commentaires
Bouclier écouteur 1	/	0 mm	écouteur	-0,86 (1g)	0	Nokia 3210	2	Pas efficace
Bouclier écouteur 1	/	0 mm	écouteur	10,86 (1g)	4,50	Ericsson A1018s (antenne externe)	2	Faible protection
Bouclier écouteur 1	/	0 mm	écouteur	-3,36 (1g)	-20,23	Ericsson T10s	2	Pas efficace
Bouclier écouteur 1	/	0 mm	écouteur	-1,67 (1g)	14,89	Nokia 7110	2	Pas efficace
Pastille écouteur 1	/	0 mm	écouteur	3,10 (1g)	-17,49	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille écouteur 1	/	0 mm	écouteur	0,88 (1g)	2,28	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille écouteur 1	/	0 mm	écouteur	-19,53 (1g)	0	Ericsson A1018s	2	Pas efficace
Pastille écouteur 1	/	0 mm	écouteur	-9,05 (1g)	-23,03	Ericsson A1018s	2	Pas efficace
Pastille écouteur 1	/	0 mm	écouteur	-7,49 (1g)	-41,25	Ericsson T10 s	2	Pas efficace
Pastille écouteur 1	/	0 mm	écouteur	-8,03 (1g)	24,14	Nokia 7110	2	Pas efficace

/ : Les paramètres ne sont pas renseignés

Description	Matériau utilisé	Position Rapport à l'oreille de l'utilisateur	Position Sur le téléphone	Réduction du DAS (%)	Réduction relative de la performance du téléphone (%)	Type de téléphone utilisé pour le test	outil mesure DAS	Remarques-commentaires
Maille conductrice (5x2 cm)	Cuivre	2 mm	écouteur	8,52 (*)	/	Un des cinq téléphones suivants : Nokia 82XX (antenne incorporée) Ericsson SH8XX, Siemens 6XXX Motorola T1XX, Panasonic GD3X	1	Faible réduction de la DAS mais absence de données pour la performance du téléphone
Etoffe tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et nickel	2 mm	écouteur	4,77 (*)	/		1	Pas efficace
Etoffe tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre	2 mm	écouteur	6,94 (*)	/		1	Pas efficace
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Nickel	2 mm	écouteur	4,4 (*)	/		1	Pas efficace
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre	2 mm	écouteur	4,72 (*)	/		1	Pas efficace
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et Nickel	2 mm	écouteur	8,9 (*)	/		1	Faible réduction de la DAS mais absence de données pour la performance du téléphone

(*) : La valeur du DAS indiquée dans le tableau est une moyenne de 3 DAS obtenus pour des valeurs de fréquences variables pour un téléphone donné à savoir Basse fréquence (890 MHz), moyenne fréquence (902 MHz) et haute fréquence (915 MHz). De plus l'article n'indique pas quantité de tissu utilisé pour calculer le DAS.

/ : Les paramètres ne sont pas renseignés

Description	Matériau utilisé	Position Rapport à l'oreille de l'utilisateur	Position Sur le téléphone	Réduction du DAS (%)	Réduction relative de la performance du téléphone (%)	Type de téléphone utilisé pour le test	outil mesure DAS	Remarques-commentaires
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et Nickel	2 mm	écouteur	12 (**)	/	Siemens 66 XX	1	La position du dispositif et le téléphone utilisé vont varier l'indice de protection du dispositif, mais il n'existe pas de relation qui décrive ces variations.
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et Nickel	2 mm	1 cm au dessus écouteur	40 (**)	/	Siemens 66 XX	1	
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et Nickel	2 mm	2 cm au dessus écouteur	20 (**)	/	Siemens 66 XX	1	
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et Nickel	2 mm	1 cm en dessous-écouteur	- 5 (**)	/	Siemens 66 XX	1	
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et Nickel	2 mm	écouteur	16 (**)	/	Nokia 82XX	1	
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et Nickel	2 mm	1 cm au dessus écouteur	19 (**)	/	Nokia 82XX	1	
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et Nickel	2 mm	2 cm au dessus écouteur	1 (**)	/	Nokia 82XX	1	
Etoffe non-tissée conductrice (5x2 cm)	Cuivre et Nickel	2 mm	1 cm en dessous-écouteur	6 (**)	/	Nokia 82XX	1	

(**): La valeur de DAS indiquée est la valeur maximale trouvée aux trois différentes fréquences décrites précédemment (890, 902, 915 MHz). De plus, l'article n'indique pas la quantité de tissu utilisé pour calculer le DAS.

/: Les paramètres ne sont pas renseignés

ANNEXE 15 : RESULTATS DE L'ETUDE DES CAPUCHONS ET CLIPS A PLACER SUR L'ANTENNE [108]

Description	Matériau utilisé	Position Rapport à l'oreille de l'utilisateur	Position Sur le téléphone	Réduction du DAS (%)	Réduction relative de la performance du téléphone (%)	Type de téléphone utilisé pour le test	outil mesure DAS	Remarques-commentaires
Clip 1	/	0 mm	Clipper sur l'antenne	42,48 (1g)	36,90	Ericsson T10 s	2	Pas efficace
Clip 1	/	0 mm	Clipper sur l'antenne	99,08 (1g)	99,42	Nokia 7110	2	Pas efficace
Clip 1	/	0 mm	Clipper sur l'antenne	87,25 (1g)	80,05	Nokia 5110	2	Pas efficace
Capuchon 2	/	0 mm	Emmancher sur l'antenne	96,24 (1g)	90,23	Trium MT140 Astra	2	Pas efficace
Capuchon 2	/	0 mm	Emmancher sur l'antenne	91,04 (1g)	88,78	Ericsson T10 s	2	Pas efficace
Capuchon 2	/	0 mm	Emmancher sur l'antenne Téléphone incliné de 15 °/ verticale	93,19 (1g)	89,28	Ericsson T10 s	2	Pas efficace

/ : Les paramètres ne sont pas renseignés

ANNEXE 16 : RESULTATS DE L'ETUDE DES PASTILLES ABSORBANTES [108]

Description	Matériau utilisé	Position Rapport à l'oreille de l'utilisateur	Position Sur le téléphone	Réduction du DAS (%)	Réduction relative de la performance du téléphone (%)	Type de téléphone utilisé pour le test	outil mesure DAS	Remarques-commentaires
Pastille Absorbante 1	/	0 mm	?	3,22 (1g)	-9,65	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 1	/	0 mm	?	-10,41 (1g)	-9,65	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 1	/	0 mm	?	22,01 (1g)	14,89	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 1	/	0 mm	?	6,37 (1g)	6,67	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 1	/	0 mm	?	3,88 (1g)	2,28	Ericsson A1018s	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 2	/	0 mm	En bas	4,70 (1g)	4,50	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 2	/	0 mm	En bas	6,72 (1g)	4,50	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 2	/	0 mm	En haut	0,73 (1g)	-2,33	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 2	/	0 mm	Sur l'antenne	16,71 (1g)	4,50	Ericsson A1018s	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 2	/	0 mm	En haut	7,20 (1g)	-2,33	Ericsson A1018s	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 2	/	0 mm	Sur l'antenne	6,11 (1g)	0	Ericsson T10 s	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 2	/	0 mm	En haut	15,74 (1g)	4,50	Ericsson T10 s	2	Pas efficace

Description	Matériau utilisé	Position Rapport à l'oreille de l'utilisateur	Position Sur le téléphone	Réduction du DAS (%)	Réduction relative de la performance du téléphone (%)	Type de téléphone utilisé pour le test	outil mesure DAS	Remarques-commentaires
Pastille Absorbante 3	/	0 mm	En haut	-1,39 (1g)	0,00	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 3	/	0 mm	En bas	0,00 (1g)	0,00	Nokia 3210	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 3	/	0 mm	En bas	8,63 (1g)	4,50	Ericsson A1018s	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 3	/	0 mm	En bas	4,73 (1g)	0,00	Ericsson T 10 s	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 3	/	0 mm	Sur l'antenne	0,36 (1g)	0,00	Ericsson T 10 s	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 3	/	0 mm	En haut	4,00 (1g)	-2,33	Ericsson T 10 s	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 3	/	0 mm	En bas	-4,77 (1g)	0,00	Nokia 5110	2	Pas efficace
Pastille Absorbante 3	/	0 mm	En bas	4,01 (1g)	0,00	Nokia 7110	2	Pas efficace

/ : Les paramètres ne sont pas renseignés

ANNEXE 17 : LES BOUCLIERS BIOELECTRIQUES

Le **Bouclier BioElectrique® de la BioElectric Company** (Lavina, Mont) fait l'objet d'une importante publicité. Ce dispositif a été testé par Blackmore et Rose [100].

Le principe est le suivant : Composé d'une matrice de quartz et autres cristaux, le pendentif est sensé assurer deux fonctions : d'une part, diminuer le stress de l'utilisateur et d'autre part, contrecarrer les effets de fatigue musculaire provoqués par l'exposition au champ électromagnétique.

Le protocole expérimental mis en place consiste en trois expériences. Pour chaque expérience, les sujets sont soumis à trois tests :

- un questionnaire permettant de connaître leur avis sur de tels dispositifs
- une échelle permettant d'apprécier leur état émotionnel basé sur 3 paramètres (la concentration, la gaieté, la tension nerveuse)
- un dynamomètre permettant de mesurer la force musculaire. Les RF émises par le téléphone portable étant supposées diminuer la force des mains selon les fabricants du dispositif, les auteurs de la publication ont voulu vérifier cette affirmation.

L'expérience 1 porte sur 12 sujets porteurs du pendentif pendant 6 à 7 semaines. Six d'entre eux reçoivent un vrai pendentif et les six autres, un pendentif fictif. En début d'expérience, les trois tests sont effectués puis chaque semaine, l'état émotionnel et la force des mains sont renseignés.

L'expérience 2 consiste en 2 étapes : primo, une exposition de 40 sujets à un téléphone mobile pendant 30 sec et secondo, la même exposition sur des sujets portant des boucliers vrais ou fictifs. Une mesure au dynamomètre est effectuée avant et après chaque exposition.

L'expérience 3 est similaire à l'expérience 2 à l'exception du nombre de mesures au dynamomètre qui se trouve augmenté.

Les résultats sont les suivants :

Pour les 3 expériences, aucune différence significative au niveau de la force musculaire n'est constatée ni après la période d'essai ni entre les deux groupes (les porteurs de vrais ou faux boucliers). Néanmoins, le fait de porter un bouclier qu'il soit vrai ou faux induit une diminution du stress chez les sujets. Les effets observés sont dus à l'effet placebo et non à l'effet spécifique du bouclier.

Les principales limites d'une telle expérience sont :

- le nombre de sujets
- une durée d'exposition non réaliste (seulement 30 secondes)
- aucune mesure de DAS

Un **second bouclier** a été testé par Wang et *al.* [91]

Le principe est le suivant : Composé de feuillets flexibles et fins conçus avec des matériaux conducteurs et magnétiques, ce bouclier se porte sur le torse. Il permet de protéger les patients porteurs de pacemaker des supposées interférences électromagnétiques produites par les RF des téléphones mobiles sur la sonde cardiaque du pacemaker, qui joue le rôle d'antenne.

Le protocole expérimental mis en place est le suivant :

Les auteurs proposent, pour évaluer l'efficacité du bouclier, un modèle de prédiction des interférences. Ce modèle comprend quatre éléments :

- un torse modélisé par un cylindre composé de 3 couches de matériaux ayant les mêmes propriétés de conductivité et permittivité que la peau, la graisse et le muscle ;
- un pacemaker considéré comme une antenne réceptrice ;
- un portable simulé par une antenne dipôle de fréquence 900 MHz ;
- des boucliers de taille différente : taille A recouvrant tout le torse ; taille B, la moitié de A ; taille C, le quart de A. Le bouclier recouvre toujours le pacemaker en son centre.

Le niveau d'interférences électromagnétiques est déterminé indirectement par la mesure du voltage entre l'électrode externe et le circuit interne du pacemaker. Le champ électromagnétique au niveau du torse est mesuré par une autre méthode non détaillée.

Les résultats sont les suivants :

Une diminution des interférences électromagnétiques (IEM) au niveau du pacemaker est constatée lors du port du bouclier. Cette diminution des interférences au niveau du pacemaker est bien corrélée à une diminution du champ électromagnétique au niveau du torse. Cette diminution équivaut à augmenter la distance entre le téléphone mobile et le torse en absence de bouclier. D'autre part, plus le bouclier couvre de surface au niveau du torse, plus il est efficace.

Selon le matériau, l'efficacité du bouclier n'est pas la même. Quand le téléphone mobile est placé à *1 cm* du torse, la réduction des IEM observée avec un bouclier magnétique équivaut à placer l'antenne à *7 cm* en absence de bouclier et celle observée avec un bouclier conducteur équivaut à placer l'antenne à plus de *20 cm*.

Les principales limites d'une telle expérience sont :

- aucune description du bouclier
- la source d'émission est simulée, les conditions d'expérimentation ne sont donc pas réalistes.
- Lors de son utilisation habituelle, le portable n'est pas placé à 1 cm du torse ; à moins d'utiliser le téléphone portable avec un KML et de porter le téléphone dans la poche de la chemise.
- deux méthodes différentes sont utilisées pour mesurer la réduction des OEM.

ANNEXE 18 : LES VETEMENTS

L'étude de Chou et *al.* (2003) [111] porte sur la **combinaison développée par Milliken & Company et Body Guard**.

Le principe est le suivant : Hybride de métal et fibres de Normex III (longues chaînes de polyamides synthétiques), la combinaison atténue les OEM.

Le protocole expérimental mis en place est le suivant :

Placé dans une pièce aux murs absorbants, un mannequin de taille réelle est soumis à un signal couvrant la bande de fréquences de 0,65 à 11 GHz. Des diodes sont placées à dix endroits sur le modèle (front, cou, cœur, foie, épaule, genou, coude, poignet, aine et cheville). La valeur lue au niveau de chaque diode permet d'estimer indirectement le taux d'absorption spécifique (SAR). L'efficacité du textile est déterminée en comparant la force du champ électrique et le taux d'adsorption spécifique à la surface du modèle exposé sans et avec costume. Une seconde expérience consiste à exposer le modèle soit en position verticale soit en position horizontale à une distance de 397 cm de la source de 915 MHz et à 458 cm de la source de 2450 MHz.

Les résultats sont les suivants :

De 0,65 à 11 GHz, le tissu entraîne une atténuation de 35 dB pour une exposition parallèle ou perpendiculaire à la combinaison.

Pour les expositions spécifiques à 915 et 2450 MHz, le modèle sans combinaison présente le SAR le plus élevé au niveau de la cheville et un taux des plus faibles au niveau de la tête. Avec la combinaison, on observe, à 915 MHz, une diminution d'au moins 20 dB et entre 25 dB et 40 dB pour l'exposition à 2450 MHz.

Les principales limites d'un tel dispositif sont :

Ces textiles sont certes disponibles sur le marché mais très peu pratiques à utiliser dans le cadre de la téléphonie mobile. On imagine mal devoir mettre une combinaison pour téléphoner !

ANNEXE 19 : L'INGESTION DE MELATONINE

L'effet protecteur de la mélatonine est décrit dans la publication de Oktem et *al.* [62].

Le principe est le suivant : Une des suspicions des effets des téléphones mobiles sur l'organisme est la formation de radicaux libres induisant des dommages tissulaires. Le rein est l'organe le plus touché selon les auteurs car les mobiles sont portés à la ceinture par les usagers. La mélatonine est une hormone qui agit sur ces radicaux en les désactivant et en stimulant l'activité et l'expression d'enzymes anti-oxydantes.

Le protocole expérimental mis en place est le suivant :

L'expérience est réalisée sur 3 groupes de 8 rats :

- 1 groupe témoin
- 1 groupe exposé à 900MHz (30 min/jour pendant 10 jours)
- 1 groupe exposé et traité à la mélatonine

Les paramètres mesurés sont :

- La teneur en MAD dans les tissus du rein qui est un marqueur de stress oxydant
- La teneur en NAG dans les urines qui est un marqueur précoce de dommages rénaux
- L'activité de 3 enzymes anti-oxydantes stimulées par la mélatonine : SOD, GSH-Px et CAT

Les résultats sont les suivants :

L'exposition au téléphone mobile entraîne une diminution significative des activités des anti-oxydants et une augmentation des teneurs en MAD et NAG par rapport au groupe témoin. Ces résultats indiquent bien un stress oxydant induit par les RF des téléphones mobiles provoquant des dommages rénaux. Ces résultats ont été confirmés par d'autres auteurs (*cf. partie 2.2.3*). Néanmoins, ces observations ne sont réalisées que sur l'animal et non sur l'homme.

Pour le groupe exposé, la mélatonine va induire une augmentation significative des activités des anti-oxydants et une diminution significative des dommages rénaux. La mélatonine va permettre de contrecarrer les effets des téléphones mobiles.

Les principales critiques d'un tel dispositif sont :

- Point négatifs : absence d'un groupe non exposé et traité à la mélatonine
expérience sur des rongeurs
- Point positif : durée de l'exposition réaliste