HAL
open science

Les ondes électromagnétiques : innocuité ou réel danger pour la santé ?

Nicolas Kuban

To cite this version:

Nicolas Kuban. Les ondes électromagnétiques : innocuité ou réel danger pour la santé ?. Sciences pharmaceutiques. 2013. hal-01733517

HAL Id: hal-01733517

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733517

Submitted on 14 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITE DE LORRAINE
2013

FACULTE DE PHARMACIE

T H E S E

Présentée et soutenue publiquement

Le 21 juin 2013

pour obtenir

le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie

par **Nicolas KUBAN**
né le 29 mars 1984 à Thionville (57)

LES ONDES ELECTROMAGNETIQUES :

INNOCUITE OU REEL DANGER POUR LA SANTE ?

Membres du Jury

Président :	M. Stéphane GIBAUD,	Maître de Conférences, Faculté de Pharmacie de Nancy
Directeur :	M. Philippe MORENVILLIER,	Maire de Velaine-en-Haye
Juges :	M. Christian LAMBERT des CILLEULS,	Docteur en Pharmacie
	Mme Virginie PICHON,	Maître de Conférences

UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ DE PHARMACIE
Année universitaire 2012-2013

DOYEN
Francine PAULUS
Vice-Doyen
Francine KEDZIEREWICZ
Directeur des Etudes
Virginie PICHON
Président du Conseil de la Pédagogie
Bertrand RIHN
Président de la Commission de la Recherche
Christophe GANTZER
Président de la Commission Prospective Facultaire
Jean-Yves JOUZEAU
Responsable de la Cellule de Formations Continue et Individuelle
Béatrice FAIVRE

Responsable ERASMUS :	Francine KEDZIEREWICZ
Responsable de la filière Officine :	Francine PAULUS
Responsables de la filière Industrie :	Isabelle LARTAUD, Jean-Bernard REGNOUF de VAINS
Responsable du Collège d'Enseignement Pharmaceutique Hospitalier :	Jean-Michel SIMON
Responsable Pharma Plus E.N.S.I.C. :	Jean-Bernard REGNOUF de VAINS
Responsable Pharma Plus E.N.S.A.I.A. :	Raphaël DUVAL/Bertrand RIHN

DOYENS HONORAIRES

Chantal FINANCE
Claude VIGNERON

PROFESSEURS EMERITES
Jeffrey ATKINSON
Max HENRY
Gérard SIEST
Claude VIGNERON

PROFESSEURS HONORAIRES

Roger BONALY
Pierre DIXNEUF
Marie-Madeleine GALTEAU
Thérèse GIRARD
Maurice HOFFMANN
Michel JACQUE
Lucien LALLOZ
Pierre LECTARD
Vincent LOPPINET
Marcel MIRJOLET
Maurice PIERFITTE
Janine SCHWARTZBROD
Louis SCHWARTZBROD

MAITRES DE CONFERENCES HONORAIRES

Monique ALBERT
Gérald CATAU
Jean-Claude CHEVIN
Jocelyne COLLOMB
Bernard DANGIEN
Marie-Claude FUZELLIER
Françoise HINZELIN
Marie-Hélène LIVERTOUX
Bernard MIGNOT
Jean-Louis MONAL
Dominique NOTTER
Marie-France POCHON
Anne ROVEL
Maria WELLMAN-ROUSSEAU

ASSISTANTS HONORAIRES
Marie-Catherine BERTHE
Annie PAVIS

Faculté de Pharmacie **Présentation**

ENSEIGNANTS	*Section CNU**	*Discipline d'enseignement*

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

Danièle BENSOUSSAN-LEJZEROWICZ	*82*	*Thérapie cellulaire*
Chantal FINANCE	*82*	*Virologie, Immunologie*
Jean-Yves JOUZEAU	*80*	*Bioanalyse du médicament*
Jean-Louis MERLIN	*82*	*Biologie cellulaire*
Alain NICOLAS	*80*	*Chimie analytique et Bromatologie*
Jean-Michel SIMON	*81*	*Economie de la santé, Législation pharmaceutique*

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Jean-Claude BLOCK	*87*	*Santé publique*
Christine CAPDEVILLE-ATKINSON	*86*	*Pharmacologie*
Raphaël DUVAL	*87*	*Microbiologie clinique*
Béatrice FAIVRE	*87*	*Biologie cellulaire, Hématologie*
Pascale FRIANT-MICHEL	*85*	*Mathématiques, Physique*
Christophe GANTZER	*87*	*Microbiologie*
Pierre LABRUDE	*86*	*Physiologie, Orthopédie, Maintien à domicile*
Isabelle LARTAUD	*86*	*Pharmacologie*
Dominique LAURAIN-MATTAR	*86*	*Pharmacognosie*
Brigitte LEININGER-MULLER	*87*	*Biochimie*
Pierre LEROY	*85*	*Chimie physique*
Philippe MAINCENT	*85*	*Pharmacie galénique*
Alain MARSURA	*32*	*Chimie organique*
Patrick MENU	*86*	*Physiologie*
Jean-Bernard REGNOUF de VAINS	*86*	*Chimie thérapeutique*
Bertrand RIHN	*87*	*Biochimie, Biologie moléculaire*

MAITRES DE CONFÉRENCES - PRATICIENS HOSPITALIERS

Béatrice DEMORE	*81*	*Pharmacie clinique*
Julien PERRIN	*82*	*Hématologie biologique*
Marie SOCHA	*81*	*Pharmacie clinique, thérapeutique et biotechnique*
Nathalie THILLY	*81*	*Santé publique*

MAITRES DE CONFÉRENCES

Sandrine BANAS	*87*	*Parasitologie*
Mariette BEAUD	*87*	*Biologie cellulaire*
Emmanuelle BENOIT	*86*	*Communication et Santé*
Isabelle BERTRAND	*87*	*Microbiologie*
Michel BOISBRUN	*86*	*Chimie thérapeutique*
François BONNEAUX	*86*	*Chimie thérapeutique*
Ariane BOUDIER	*85*	*Chimie Physique*
Cédric BOURA	*86*	*Physiologie*
Igor CLAROT	*85*	*Chimie analytique*
Joël COULON	*87*	*Biochimie*
Sébastien DADE	*85*	*Bio-informatique*
Dominique DECOLIN	*85*	*Chimie analytique*
Roudayna DIAB	*85*	*Pharmacie galénique*
Natacha DREUMONT	*87*	*Biologie générale, Biochimie clinique*
Joël DUCOURNEAU	*85*	*Biophysique, Acoustique*

ENSEIGNANTS (suite)	*Section CNU**	*Discipline d'enseignement*
Florence DUMARCAY	*86*	*Chimie thérapeutique*
François DUPUIS	*86*	*Pharmacologie*
Adil FAIZ	*85*	*Biophysique, Acoustique*
Luc FERRARI	*86*	*Toxicologie*
Caroline GAUCHER-DI STASIO	*85/86*	*Chimie physique, Pharmacologie*
Stéphane GIBAUD	*86*	*Pharmacie clinique*
Thierry HUMBERT	*86*	*Chimie organique*
Frédéric JORAND	*87*	*Environnement et Santé*
Olivier JOUBERT	*86*	*Toxicologie*
Francine KEDZIEREWICZ	*85*	*Pharmacie galénique*
Alexandrine LAMBERT	*85*	*Informatique, Biostatistiques*
Faten MERHI-SOUSSI	*87*	*Hématologie*
Christophe MERLIN	*87*	*Microbiologie*
Blandine MOREAU	*86*	*Pharmacognosie*
Maxime MOURER	*86*	*Chimie organique*
Coumba NDIAYE	*86*	*Epidémiologie et Santé publique*
Francine PAULUS	*85*	*Informatique*
Christine PERDICAKIS	*86*	*Chimie organique*
Caroline PERRIN-SARRADO	*86*	*Pharmacologie*
Virginie PICHON	*85*	*Biophysique*
Anne SAPIN-MINET	*85*	*Pharmacie galénique*
Marie-Paule SAUDER	*87*	*Mycologie, Botanique*
Gabriel TROCKLE	*86*	*Pharmacologie*
Mihayl VARBANOV	*87*	*Immuno-Virologie*
Marie-Noëlle VAULTIER	*87*	*Mycologie, Botanique*
Emilie VELOT	*86*	*Physiologie-Physiopathologie humaines*
Mohamed ZAIOU	*87*	*Biochimie et Biologie moléculaire*
Colette ZINUTTI	*85*	*Pharmacie galénique*

PROFESSEUR ASSOCIE

Anne MAHEUT-BOSSER	*86*	*Sémiologie*

PROFESSEUR AGREGE

Christophe COCHAUD	*11*	*Anglais*

**Disciplines du Conseil National des Universités* :

80 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

81 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences du médicament et des autres produits de santé

82 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences biologiques, fondamentales et cliniques

85 ; Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

86 : Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences du médicament et des autres produits de santé

87 : Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences biologiques, fondamentales et cliniques

32 : Personnel enseignant-chercheur de sciences en chimie organique, minérale, industrielle

11 : Professeur agrégé de lettres et sciences humaines en langues et littératures anglaises et anglo-saxonnes

SERMENT DES APOTHICAIRES

Je jure, en présence des maîtres de la Faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D' honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine ; en aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

« LA FACULTE N'ENTEND DONNER AUCUNE APPROBATION, NI IMPROBATION AUX OPINIONS EMISES DANS LES THESES, CES OPINIONS DOIVENT ETRE CONSIDEREES COMME PROPRES A LEUR AUTEUR ».

Remerciements

A mon jury,

Monsieur Stéphane GIBAUD,

Vous m'avez fait l'honneur et le plaisir de diriger ce travail et de présider mon jury. Vous avez fait partie de ma formation tout au long de ces années de pharmacie au hasard des stages et de la vie. Je vous remercie grandement pour votre disponibilité, votre aide et vos conseils. Veuillez recevoir en cet instant l'expression de mes plus respectueuses considérations.

Monsieur Philippe MORENVILLIER,

Vous m'avez fait un grand plaisir en acceptant d'être membre de ce jury, et ainsi de suivre et de soutenir cette thèse. Grâce à votre travail et à vos compétences, l'élaboration de ce projet qui me tenait à cœur a pu voir le jour. Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect et de ma haute considération.

Monsieur Christian LAMBERT des CILLEULS,

Je tenais particulièrement à votre présence dans les membres de mon jury et je vous suis très reconnaissant d'avoir accepté d'en faire partie. Durant mon stage de 6ème année, vous m'avez enseigné mon métier et plus encore. Votre aide et vos conseils m'ont été précieux dans la réalisation de cette thèse. Veuillez croire en ma profonde considération.

Madame Virginie PICHON,

Je vous suis particulièrement reconnaissant d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Je vous remercie pour le temps et l'aide que vous m'avez accordés. Ce travail a pu voir le jour grâce à vos conseils et à vos compétences. Veuillez recevoir l'expression de ma profonde gratitude et de mes sincères remerciements.

Remerciements

A ma famille,

Merci à vous pour tout ce soutien durant mes années d'étude, et essentiellement lors de l'élaboration de ce travail.

A ma Julie,

Merci pour tous ces jours de bonheur passés à tes côtés, pour ton soutien. Merci aussi pour tes compétences informatiques qui m'ont été indispensables à la réalisation de cette thèse.

A la famille de Julie,

Merci pour votre soutien.

A mes amis,

Merci à mes amis, de longue ou de moins longue date, pour leurs soutiens, leurs écoutes et leurs conseils.

Sommaire

INTRODUCTION 1

A) Les ondes électromagnétiques 3
1) Définition des ondes électromagnétiques 3
2) Création d'un champ électromagnétique 4
3) Caractéristiques des ondes électromagnétiques 4
4) Le spectre électromagnétique 7

B) Notre environnement électromagnétique 13
1) L'environnement électromagnétique naturel 13
2) L'environnement électromagnétique artificiel 14

C) Mesure du champ électromagnétique 24

D) Interactions avec la matière 26
1) Les radiations ionisantes 28
2) Les radiations non ionisantes 29

E) Les limites d'exposition aux ondes électromagnétiques 31
1) La réglementation en France 31
2) La réglementation dans les autres pays 33
3) Les règles spécifiques relatives aux antennes relais 34

F) La problématique des antennes relais 35
1) La position du juge judiciaire 35
2) La position du juge administratif 36
3) La position des pouvoirs publics : 37

G) Le danger des ondes électromagnétiques 38
1) Les études biologiques 41
2) Les études épidémiologiques 57

3) L'électro-hypersensibilité 81

H) La politique générale de santé publique 85
1) Les différentes actions du gouvernement 85
2) La Table ronde 86

I) Les recommandations appliquées aux téléphones portables 90

J) Les moyens de protection contre ondes électromagnétiques 92

CONCLUSION 96

Bibliographie 99

Table des figures 106

Table des tableaux 107

INTRODUCTION

Ondes radio, micro-ondes, rayons X, infrarouges, lumière, tous ces noms désignent en fait le même phénomène : les ondes électromagnétiques. De la même manière que l'air nous entoure, un champ électromagnétique nous enveloppe en permanence.

Bien que l'on connaisse la plupart de ces ondes ainsi que leurs effets néfastes pour la santé et de ce fait leurs moyens de prévention (comme par exemple la lumière, les infrarouges, les rayons X,…), ces dernières années, une avancée plus qu'importante qui fut l'avènement de la communication sans fil a vu le jour sous diverses formes : Wi-Fi, Bluetooth, et surtout le téléphone portable.

Cette nouvelle technologie est aujourd'hui pour nous indispensable, en effet la liberté offerte par ces liaisons radio leur a garanti un succès planétaire. Un français sur deux possèdent un téléphone portable et le réseau d'antennes relais est immense, on ne compte pas moins de 47000 antennes relais sur notre territoire. Mais contrairement aux autres types d'ondes, celles utilisées dans ces nouvelles technologies n'ont pas encore livré tous leurs secrets sur un éventuel effet sur la santé.

Effectivement, très rapidement les ondes électromagnétiques ont été la source de très grandes inquiétudes pour la population notamment en étant accusées par certains scientifiques de représenter un danger à long terme pour la santé. Le sujet est complexe et sensible. L'incertitude a donné naissance à de nombreuses idées reçues parfois fausses, parfois fondées.

Alors la question est très souvent présente dans nos esprits. Les ondes électromagnétiques utilisées dans les communications sans fil ont-elles un effet néfaste sur notre santé ? Une réponse concrète à cette question est difficile à obtenir. En effet, d'un coté, les associations opposées aux ondes électromagnétiques montent au créneau ne voulant pas voir survenir un nouveau problème de santé publique, et de l'autre coté, les lobbys industriels défendent leurs intérêts. Donc cette guerre fait que cette réponse reste floue et qu'il existe un doute sur l'impact des ondes électromagnétiques sur la santé. D'autant plus que certaines

conclusions scientifiques peuvent être galvaudées par un battage médiatique en manque de scoops.

En effet la crainte de voir se répéter un nouveau drame sanitaire est bien réelle. Les citoyens n'ont effectivement pas oublié qu'en 1997 seulement, la France interdisait l'utilisation de l'amiante alors qu' un inspecteur du travail constatait la surmortalité d'ouvriers exposés à cette dernière en 1906, tout comme le nuage de Tchernobyl qui s'est arrêté par magie aux frontières Françaises le 26 Avril 1986, créant par manque d'information de nombreux décès. Les citoyens n'ont certainement pas envie de revivre un nouveau problème de santé publique similaire.

A) Les ondes électromagnétiques

Dans un premier temps, qu'est-ce qu'une onde ?

Pour définir une onde, on peut prendre deux exemples simples :

- un caillou jeté dans l'eau : si on lance une pierre dans l'eau, celle-ci va se déformer précisément lorsque la pierre la percute. Le choc induit par la vitesse du caillou sur la surface de l'eau a provoqué une déformation (ou plus exactement une perturbation) de la matière autour du point d'impact. Cette perturbation va se déplacer : ce sont les vagues. L'eau étant un matériau déformable, non cassant, le transport de la déformation est dans ce cas très visible et sans effet sur la matière.

- le séisme : il est provoqué par un glissement de deux énormes blocs de roches le long d'une faille. Ce glissement va donc provoquer une onde de choc qui va se propager dans une matière déformable, cassante. Lorsque l'onde se propage dans l'eau, on retrouve le phénomène du caillou jeté dans l'eau, mais à une échelle bien supérieure (tsunami).

1) Définition des ondes électromagnétiques

L'onde électromagnétique se définit comme la propagation d'une perturbation électrique. Elle peut aussi bien se propager dans l'air, dans le vide que dans n'importe quel corps. Elle n'a pas besoin de support.

Les ondes électromagnétiques sont composées à la fois d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Ce sont des perturbations du champ électromagnétique, comme le son (onde sonore) est une perturbation de la pression de l'air. Ces ondes électromagnétiques se déplacent dans l'air et le vide à la vitesse de la lumière, soit 300000 kilomètres par seconde.

Une onde électromagnétique est donc la combinaison de deux perturbations ; l'une est électrique, l'autre est magnétique. Ces deux perturbations oscillent dans le même temps mais dans deux plans perpendiculaires. Une onde électromagnétique peut donc se concevoir comme une perturbation électrique qui se propage. (1) (2) (3) (4) (5)

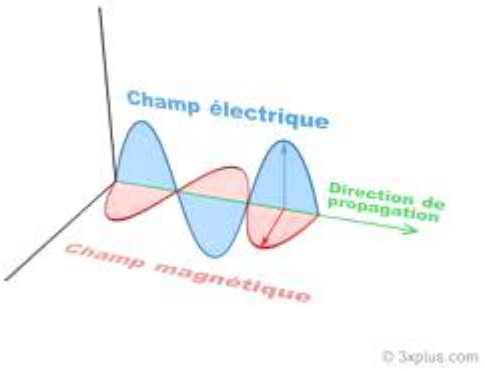

Figure 1 : Orientation du champ électromagnétique dans l'espace d'après le site internet www.diffusion.ens.fr

2) Création d'un champ électromagnétique

Pour créer un champ électromagnétique, il suffit d'avoir :

- un champ électrique par la présence de charges électriques,
- un champ magnétique en provoquant le déplacement de ces mêmes charges électriques.

Les ondes électromagnétiques ne sont alors que la propagation couplée de ces deux champs ainsi créés.

Prenons l'exemple simple du four à micro-ondes :

Les charges électriques vont être amenées à l'appareil tout simplement par le câble électrique relié à la prise, créant ainsi le champ électrique. Ces charges électriques par l'intermédiaire d'un magnétron vont être mises en mouvement et accélérées, afin de provoquer le déplacement rapide de ces charges et ainsi créer le champ électromagnétique.

Ainsi un champ électromagnétique a été créé, il peut alors se propager par le biais des ondes électromagnétiques dans la cavité du four pour réchauffer les aliments. (6) (7) (8)

3) Caractéristiques des ondes électromagnétiques

Le champ électrique (E) est caractérisé par son intensité exprimée en volt par mètre (V/m). Il correspond à la force exercée sur une particule chargée électriquement.

L'intensité du champ magnétique (B) est mesurée en tesla (T). Il correspond au déplacement des charges électriques.

Les ondes électromagnétiques sont aussi caractérisées par leur longueur d'onde, leur période et leur fréquence :

- la longueur d'onde (λ) : elle correspond à la longueur d'un cycle d'une onde, c'est-à-dire à la distance entre deux oscillations. Elle est exprimée en mètres (m).

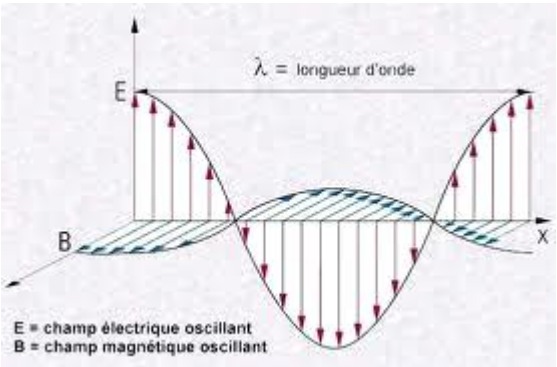

Figure 2 : Représentation de la longueur d'onde d'une onde électromagnétique d'après le site internet www.lpm.u-nancy.fr.

- la période (T) : elle correspond au temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle, au temps entre deux oscillations. Elle est exprimée en secondes (s).

- la fréquence (F) : elle correspond au nombre de cycles par unité de temps ; au nombre d'oscillations des ondes par seconde. Elle est exprimée en Hertz (Hz). Il s'agit de l'inverse de la période.

  $F = 1/T$

Si on reprend l'exemple du caillou jeté dans l'eau, la longueur d'onde est la distance entre deux "vagues" successives, tandis que la fréquence est le nombre de vagues se produisant en une seconde.

La longueur d'onde et la fréquence sont inversement proportionnelles et unies, pour une onde électromagnétique, par la relation suivante :

$\lambda = c/F = c.T$ où

- λ : la longueur d'onde de l'onde électromagnétique

- c : la vitesse de la lumière (3.10^8 $m.s^{-1}$)

- F : la fréquence de l'onde

- T : la période de l'onde

Etant donné que la longueur d'onde est inversement proportionnelle à la fréquence, plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde est faible, et réciproquement. (9) (10) (11)

La notion d'onde électromagnétique est complémentaire à celle du photon. Cela repose sur le principe de la dualité onde corpuscule selon lequel tous les objets microscopiques sont dotés simultanément des propriétés d'ondes et de particules. Ce concept s'intègre dans les fondements de la mécanique quantique.

D'un point de vue corpusculaire, l'onde électromagnétique représente donc un ensemble de photons dont l'énergie est définie par la relation de Planck-Einstein. $E = h.F$ (E = énergie d'un photon).
Où h est la constante de Planck. Elle est exprimée en joule par seconde (J.s).
$h = 6{,}63.10^{-34}$J.s.
L'énergie est exprimée en joule dans le système international (SI) et est proportionnelle à la fréquence. (12) (13) (14) (15)

De plus, la puissance est proportionnelle à l'énergie. Comme le confirme la relation entre la puissance et l'énergie : P = Energie/t (t = temps).

4) Le spectre électromagnétique

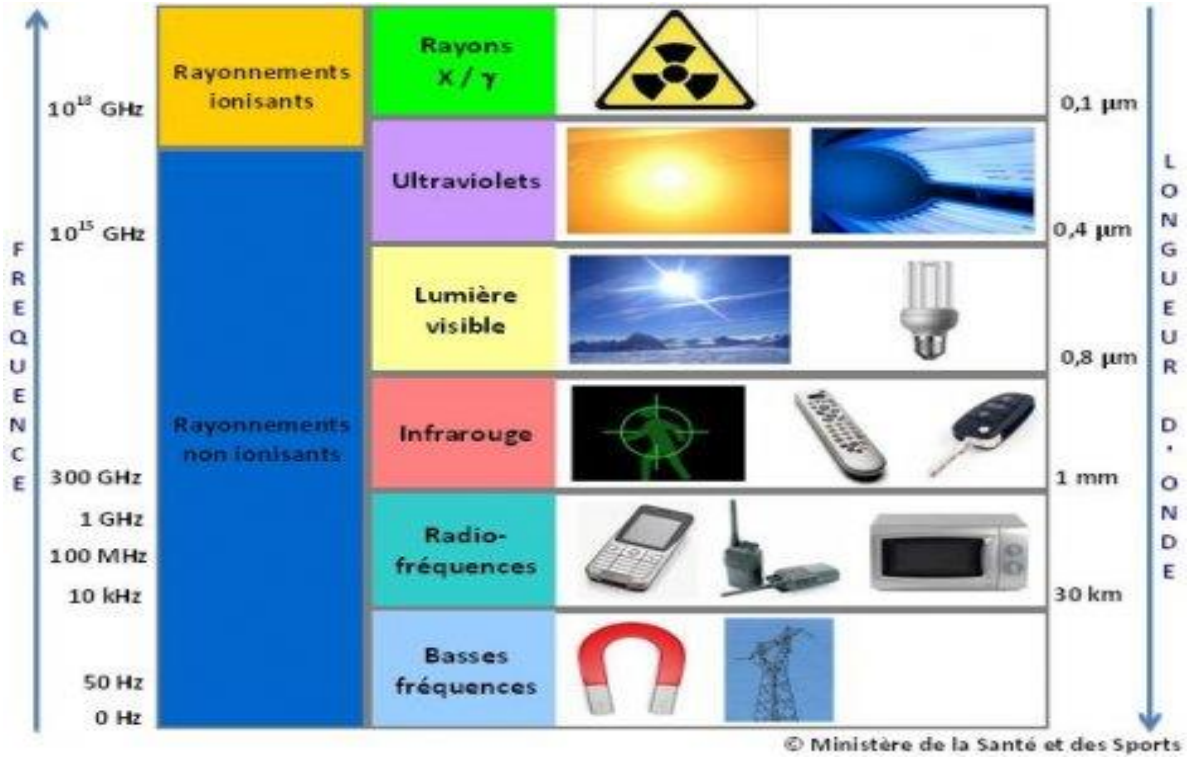

Figure 3 : Le spectre électromagnétique d'après le site internet www.radiofrequences.gouv.fr.

Dans le spectre électromagnétique, les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leur fréquence ou de leur longueur d'onde.

On remarque sur ce schéma que la lumière visible n'est qu'un cas particulier d'onde électromagnétique. En effet il existe plusieurs catégories d'ondes électromagnétiques. Chaque type de rayonnement est caractérisé par une gamme de fréquences. Ici sont présentés tous les rayonnements électromagnétiques. (16) (17) (18) (19) (20)

Les propriétés des ondes électromagnétiques diffèrent selon la quantité d'énergie possédée. Les ondes électromagnétiques dont la fréquence est supérieure à 10^{15} Hz ont une énergie suffisante pour casser les liaisons chimiques et ioniser les molécules. Ces ondes électromagnétiques sont appelées « rayonnements ionisants ». Il s'agit des rayons cosmiques, des rayons gamma, des rayons X, et d'une partie des rayons UV (ultraviolets). (21)

Les ondes électromagnétiques caractérisées par une fréquence inférieure à 10^{15} Hz 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 donc situés à la frontière de l'ionisation. (22)

On distingue donc :

- les basses fréquences : dès lors que la fréquence est supérieure à 0, le champ n'est plus statique. Ces champs électromagnétiques ont une fréquence comprise entre quelques hertz et environ 30 kHz (kilohertz). Parmi ces ondes, on distingue les extrêmement basses fréquences caractérisées par une fréquence inférieure à 300 Hz. Au quotidien, les sources d'exposition aux champs basses fréquences sont nombreuses.

  On peut citer :

  - à la maison : le courant électrique avec une fréquence de 50 Hz, les lampes, les appareils électroménagers,…
  - au travail : le fax, les photocopieurs, les écrans d'ordinateurs,…
  - à l'extérieur : les lignes de transport et de distribution d'électricité, les voies ferrées, l'éclairage public,... (1) (6) (22)

- les radiofréquences : il s'agit d'une onde électromagnétique dont la fréquence s'étend de 30 kHz à 300 GHz (gigahertz), soit une longueur d'onde comprise entre 1 mm (millimètre) et 10 km (kilomètres).

  Les champs électromagnétiques de radiofréquence ont pour principal origine les antennes de radio, de télévision, de radar ou encore les fours à micro-ondes. Ces champs servent à transmettre des informations à grande distance et ils sont en général à la base des télécommunications et notamment des émissions radiotélévisées sur toute la planète. La communication sans fil va voir le jour par l'intermédiaire de ces radiofréquences. Il s'agit de ce type d'onde qui va être utilisé dans la téléphonie mobile et qui est susceptible de poser problème aujourd'hui. (1) (6) (22)

- le rayonnement infrarouge : c’est un rayonnement électromagnétique de fréquence comprise entre 300 GHz et 385 THz (térahertz). Ce nom signifie « en deçà du rouge » car l'infrarouge est une onde électromagnétique de fréquence inférieure à celle de la lumière rouge (et donc de longueur d'onde supérieure à celle du rouge).

  L'infrarouge est associé à la chaleur car, à température ambiante ordinaire, les objets émettent spontanément des radiations dans le domaine de l’infrarouge. Même notre organisme émet un rayonnement électromagnétique sous forme de radiations infrarouges. Il s’agit d’une perte de chaleur sous forme d’ondes infrarouges. Cette énergie thermique fait que tous les objets les plus chauds vont céder de la chaleur aux objets de son entourage les moins chauds.

  Ainsi les infrarouges sont utilisés dans les équipements de vision de nuit quand la quantité de lumière est tellement faible qu'on ne peut même pas l'amplifier suffisamment pour voir les objets. Le rayonnement est détecté puis affiché sur un écran : les objets les plus chauds devenant aussi les plus lumineux. Il faut également ajouter comme utilisation, en plus de la vision de nuit, tout le domaine de la thermographie infrarouge permettant de voir et de mesurer à distance et sans contact la température d'objets cible.

  Cependant, il est parfaitement possible de générer un rayonnement infrarouge qui ne soit pas thermique, comme par exemple les diodes électroluminescentes utilisées dans les télécommandes.

  Il s’agit de l’utilisation la plus commune des rayonnements infrarouges, où ils sont préférés aux ondes radio, car ils n'interfèrent pas avec les autres signaux électromagnétiques comme les signaux de télévision.

  On trouve aussi les infrarouges pour la communication à courte distance entre les ordinateurs et leurs périphériques.

  Ils sont très utilisés dans le domaine de la robotique ou dans les appareils nécessitant des transmissions de données à courte distance sans obstacle. (23) (24) (25)

- la lumière visible : appelée aussi spectre visible, la lumière visible a une fréquence variant de 385 THz à 750 THz. La lumière est la seule onde électromagnétique à laquelle l'œil humain est sensible. C'est la seule partie du spectre électromagnétique qui est visible par l'œil humain. En effet la lumière est comprise entre des longueurs d'ondes allant de 400 nm à 800 nm (nanomètres) et l'œil humain est capable de voir uniquement des rayonnements dont la longueur d'onde est comprise entre ces deux valeurs. On remarquera, sur le schéma ci-dessous, que la lumière visible ne couvre qu'une petite plage du spectre des ondes électromagnétiques.

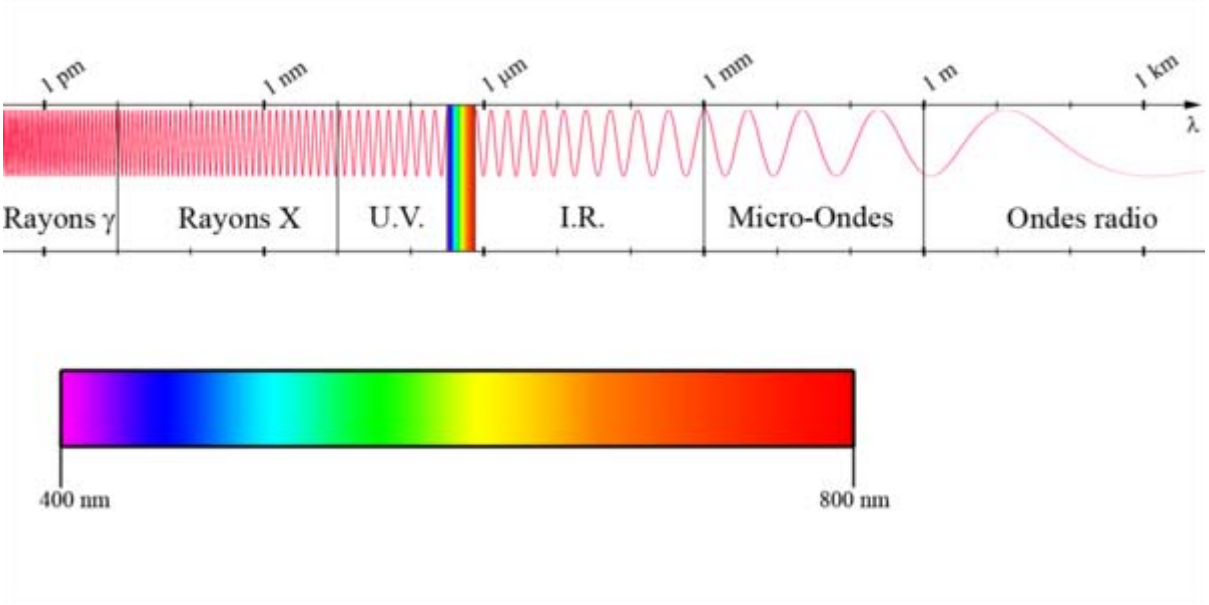

Figure 4 : Place de la lumière dans le spectre électromagnétique d'après le site internet www.oliams.wordpress.com.

De plus, la fréquence étant inversement proportionnelle à la longueur d'onde, les rayonnements de plus basse fréquence sont perçus rouges. Ceux de plus haute fréquence sont perçus bleus et violets. (26) (27) (19) (28)

- le rayonnement ultraviolet : le nom signifie « au-delà du violet ». Il s'agit d'un rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde comprise entre celle de la lumière visible et celle des rayons X et des rayons gamma, et dont la fréquence est comprise entre 750 THz et 3 PHz (petahertz).

On retrouve évidemment les rayons ultraviolets apportés par le soleil. En effet, près de 5 % de l'énergie du soleil est émise sous forme de rayonnement UV.

Les rayons UV sont aussi utilisés dans différents appareils :

-les lampes halogènes produisent des UV.

-des lampes UV sont également utilisées pour analyser des minerais ou pour identifier des billets de banque.

-les UV sont aussi utilisés pour le séchage des encres, la synthèse de polymère par photo polymérisation, le durcissement de certaines colles.

-des lampes UV avec une longueur d'onde 253,7 nm (lampe à décharge à vapeur de mercure) sont utilisées pour stériliser des zones de travail et des outils utilisés dans des laboratoires de biologie et des équipements médicaux.

-et on retrouve bien sûr les UV dans les cabines de bronzage. (26) (29) (25)

- les rayons X et gamma : ils appartiennent aux rayonnements ionisants. Il s'agit d'ondes électromagnétiques de très haute fréquence. La distinction entre les rayons X et les rayons gamma (qui sont de même nature et d'énergie semblable) vient de leur mode de production : les rayons X sont des photons produits par les électrons des atomes alors que les rayons gamma sont produits par les noyaux des atomes. (22)

  Les rayons X sont utilisés dans la radiographie, ils ont la capacité de traverser le corps humain mais ils ont plus de difficulté à traverser les os. C'est sur ce principe que repose la radiographie. On va placer le patient devant une plaque photo que les rayons X vont noircir en l'atteignant. On va soumettre le patient aux rayons X, là où ils ont traversé le corps, la plaque est noircie, là où ils ont rencontré de la résistance (des os, ou un jouet avalé par un enfant par exemple), la plaque va rester blanche. (26) (30) (31)

  Les rayons gamma produisent des effets semblables aux rayons X, cependant ils sont légèrement plus énergétiques et sont capables de traverser toutes les parties du corps. (26) (32) (33)

- Tableau récapitulatif :

	Fréquences	Utilisations
Basses fréquences	0 – 30 kHz	-courants électriques -appareils électriques, lampes -écrans d'ordinateurs, photocopieurs -lignes de transport et de distribution d'électricité -éclairage publique
Radiofréquences	30 kHz – 300 GHz	-antennes de radio, de télévisions -fours à micro-ondes -téléphones portables -antennes relais
Rayonnement Infrarouge	300 GHz – 385 THz	-diodes électroluminescentes des télécommandes -communication à courte distance entre les ordinateurs et leurs périphériques -équipements de vision de nuit
Lumière visible	385 THz – 750 THz	-visible par l'œil humain
Rayonnement Ultraviolet	750 THz – 3 PHz	-lampes halogènes -cabines de bronzage -lampes UV
Rayons X et gamma	3 PHz – 300 EHz	-radiographie -radiothérapie

Tableau 1 : Récapitulatif des différents types de rayonnements électromagnétiques et de leurs utilisations.

B) Notre environnement électromagnétique

Dans notre quotidien, nous sommes en permanence aux contacts des ondes électromagnétiques. En effet les ondes et les champs électromagnétiques nous entourent depuis de longues décennies.

1) L'environnement électromagnétique naturel

Tout d'abord, nous sommes soumis à un environnement électromagnétique naturel.

Il s'agit du champ électromagnétique terrestre : des champs électriques et magnétiques existant dans le milieu naturel en dehors de toute activité humaine. Il possède une valeur d'environ 50 µT (micro tesla). C'est un champ statique.

Ces champs naturels n'ont rien à voir aux niveaux de leurs influences avec les champs alternatifs artificiels qui sont au cœur des problématiques de santé qui nous occupent.

L'environnement électromagnétique naturel dans lequel l'homme baigne depuis toujours résulte des interactions entre le champ magnétique terrestre et le vent solaire composé essentiellement d'ions et d'électrons. Deux phénomènes sont impliqués dans la création de ce champ électromagnétique statique.

- le champ magnétique terrestre ; pour le schématiser, il faut imaginer un grand trou qui traverserait la terre d'un pôle à l'autre, dans lequel s'engouffrent les lignes du champ magnétique (comme un énorme aimant placé au centre de la terre). Sortant au pôle sud géographique correspondant au pôle nord de l'aimant, ils rejoignent le pôle nord géographique, correspondant donc au pôle sud de l'aimant, en passant par l'extérieur de la terre, sur tout le tour du globe terrestre. (6) (22) (34) (35) (36)

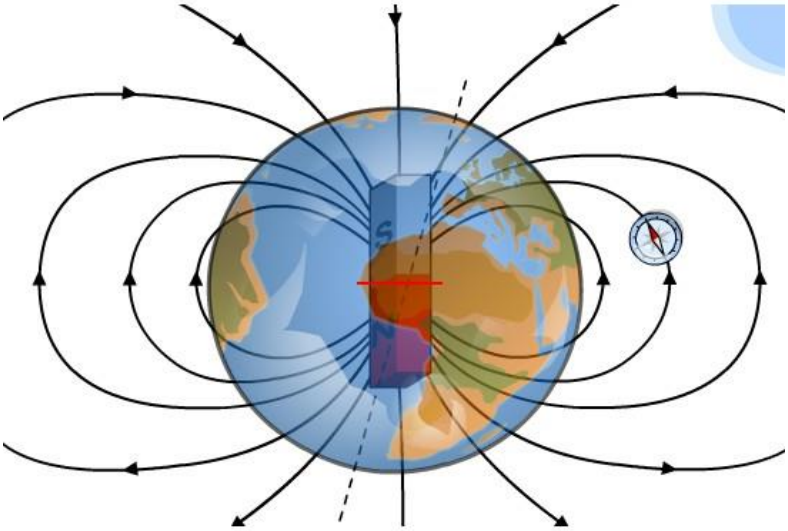

Figure 5 : Représentation du champ magnétique terrestre d'après le site internet www.bv.alloprof.qc.ca.

- le champ électromagnétique solaire : le soleil provoque des variations électromagnétiques annuelles par le biais du vent solaire qu'il projette et vient à chaque endroit de la terre modifier le champ magnétique.

On peut de plus citer un autre champ électromagnétique naturel vu précédemment ; celui que notre organisme émet sous forme de radiations infrarouges.

2) L'environnement électromagnétique artificiel

De nos jours, de nombreux appareils électroniques nous entourent et ces derniers fonctionnent avec les ondes électromagnétiques.

a) Les téléphones mobiles et les antennes relais

C'est sur le principe du réseau cellulaire que la téléphonie mobile fonctionne. C'est-à-dire des zones circulaires se chevauchent afin de couvrir une zone géographique. Chaque cellule représente une partie du territoire. Pour couvrir ce terrain, elle possède une antenne relais indispensable à l'établissement de la liaison avec le téléphone de l'interlocuteur. Cette liaison est assurée par l'intermédiaire des ondes électromagnétiques.

Ainsi lorsqu'un téléphone portable est utilisé, la voix de l'usager est transformée en ondes radiofréquences. Ces dernières se transmettent à l'antenne relais la plus proche grâce à l'antenne du mobile. Et c'est par l'intermédiaire du réseau d'antenne

que ce signal est acheminé au correspondant. En effet une antenne relais est composée d'une antenne et d'émetteurs, son objectif est de recevoir et d'envoyer des signaux transportés par les ondes électromagnétiques.

Une antenne ne peut desservir au maximum qu'une trentaine de mobiles en même temps. Donc en zone rurale, on va trouver peu d'antennes relais du fait de la faible concentration d'utilisateurs. Cela signifie que les cellules seront relativement étendues (plusieurs kilomètres carrés). Inversement en zone urbaine, les cellules seront petites (quelques centaines de mètres de diamètre), ainsi on trouvera énormément d'antenne relais dans les grandes villes. Ces antennes sont la plupart du temps mises en place sur des pylônes métalliques ou sur des bâtiments déjà existants (centres commerciaux, gares…). En règle générale, la hauteur d'une antenne est de 20 mètres.

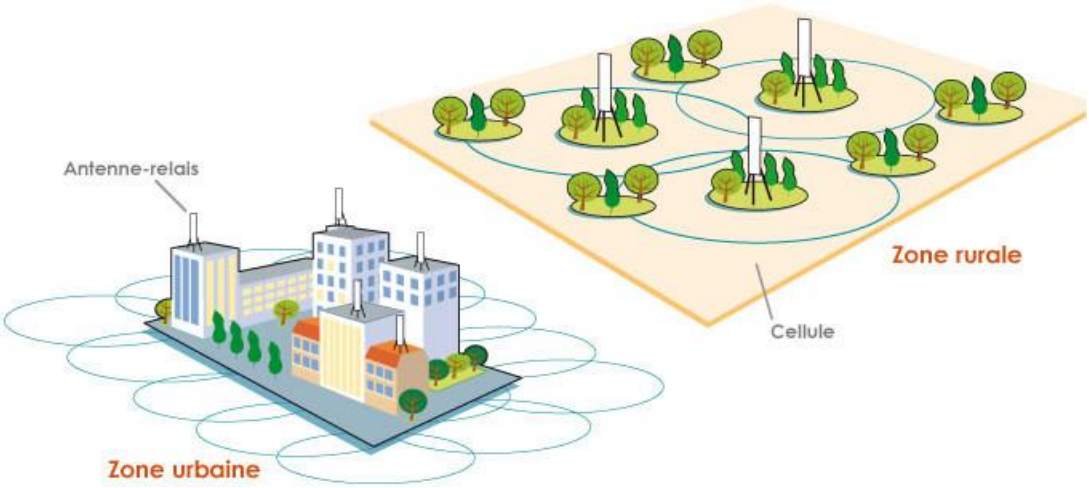

Figure 6 : Représentation du réseau cellulaire en milieu rural et urbain d'après le site internet www.tpebhl.sitew.com.

La taille de la cellule dépend donc du nombre d'utilisateurs que l'on peut prévoir sur la zone couverte. Ainsi le rayon d'émission d'une antenne relais varie en fonction de la densité de population : quelques dizaines de mètres pour les cellules situées à l'intérieur des bâtiments (stations de métro, centres commerciaux, etc.), quelques centaines de mètres pour les cellules en milieu urbain, et quelques dizaines de kilomètres pour les cellules en milieu rural.

La téléphonie mobile utilise pour fonctionner un système appelé GSM.

GSM signifie Global System for Mobile Communication. Il s'agit d'un système, d'un réseau qui standardise les champs électromagnétiques utilisés.

Selon les opérateurs, deux systèmes sont mis en place :

- le GSM 900 : pour une bande de fréquence entre 890 et 960 MHz (mégahertz), on aura donc une antenne relais émettant à 900 MHz.
- le GSM 1800 : pour une bande de fréquence entre 1710 et 1880 MHz, on aura donc une antenne relais émettant à 1800 MHz.

Ces bandes de fréquences peuvent être décomposées en bande plus étroite avec comme largeur 200 kHz. A chaque communication, l'antenne relais va attribuer une de ces bandes ou canaux. Ce canal a comme particularité la possibilité d'être partagé par 8 utilisateurs à la fois. Lorsque l'usager est en déplacement et traverse plusieurs cellules, le canal peut de ce fait changer.

En 2004, un nouveau réseau s'est instauré en France : l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Ce terme désigne en fait la téléphonie mobile de troisième génération (3G). L'intérêt majeur de cette nouvelle génération est l'emploi de débits de transmissions élevés : 42 Mb/s (mégabits par seconde), largement supérieurs à la 2ème génération (GSM). Elle va ainsi permettre de nouvelles utilisations des téléphones portables : services multimédias, connexion internet mobile, partage de vidéos, consultation de courriers électroniques,...

Les bandes de fréquences utilisées pour ce réseau 3G diffèrent des autres réseaux : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

Dans le but d'obtenir une couverture correcte de l'ensemble du territoire, environ 5000 antennes relais supplémentaires sont mises en place par les opérateurs pour ce réseau.

Depuis peu, un nouveau réseau s'est déployé dans une poignée de villes françaises, dont Marseille et Lyon. Il s'agit du réseau 4G. La 4G devrait permettre d'atteindre des débits en mobile entre 100 et 150 Mb/s dans un premier temps, voire 300 Mb/s, tout

dépendra des opérateurs. En Europe, les principales fréquences attribuées pour ces réseaux sont 800 MHz, 1800 MHz et 2600 MHz.

- Comment fonctionne une antenne ?

Normalement une antenne devrait émettre dans toutes les directions. Cependant des réflecteurs sont installés par les opérateurs pour concentrer l'énergie de façon directionnelle et plus ou moins horizontale. En effet le faisceau d'ondes émis par l'antenne se dirige dans une seule direction, compris dans un cône d'ouverture horizontale grande (120°), et d'ouverture verticale assez faible (7°). En fonction de la hauteur de l'antenne, le faisceau va toucher le sol à une distance comprise entre 50 et 300 mètres de l'antenne.

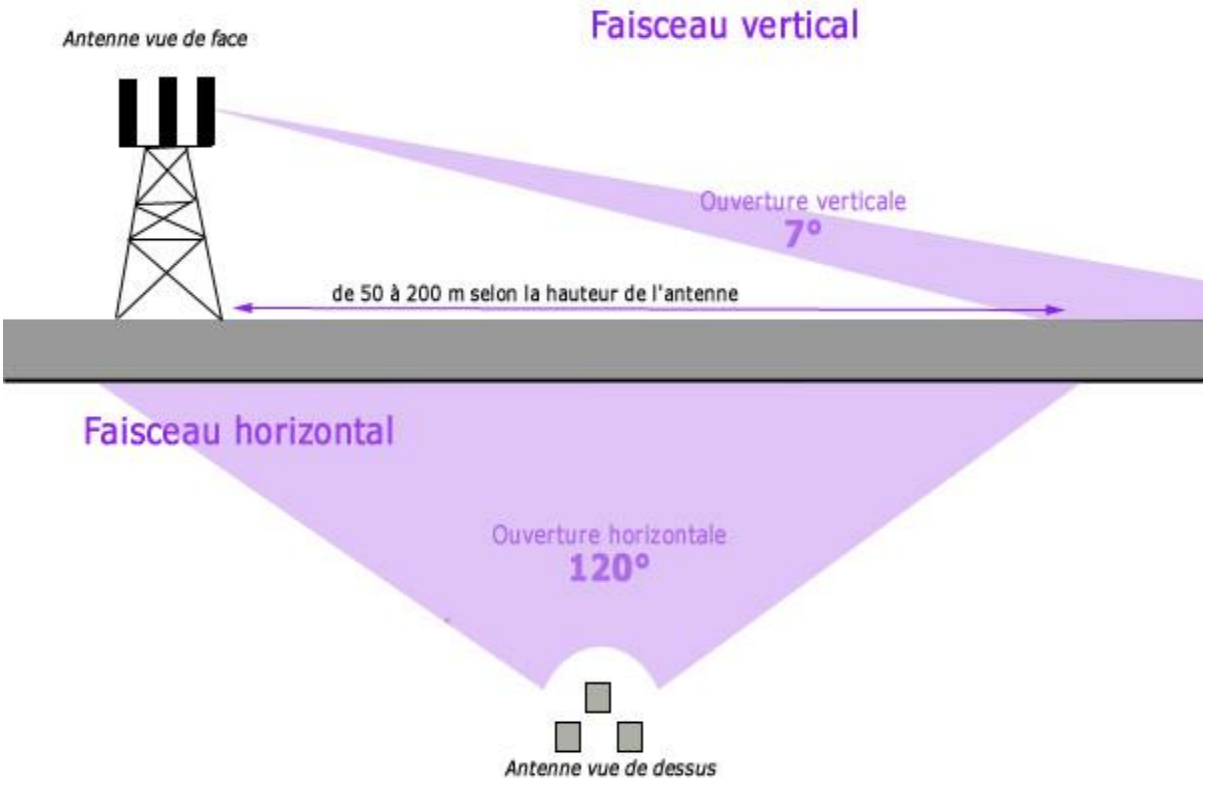

Figure 7 : Schématisation du faisceau d'ondes émis par l'antenne relais d'après le site internet www.science-citoyen.u-strasb.fr

Avec ce schéma on peut constater que contrairement à ce que l'on pouvait penser, les champs les plus puissants ne sont pas juste en dessous de l'antenne. En effet, en ville, où les antennes-relais sont placées assez bas, le niveau d'exposition maximum au sol est atteint à 50 mètres.

Au contraire en zone périurbaine, les antennes sont moins nombreuses et donc placées plus haut (entre 15 et 50 mètres au-dessus du sol) pour couvrir une plus large zone. Le niveau d'exposition maximum au sol a alors été mesuré à environ 200 mètres de l'antenne.

Dans les deux cas, le pic d'exposition au sol se situe donc exactement à l'endroit où le champ d'ondes conique frappe ce dernier.

Cependant, comme le montre le schéma ci-dessous, le pic d'exposition proche de l'antenne (à une distance d'un mètre) est largement supérieur au pic d'exposition situé au niveau du sol. Il est donc fortement déconseillé et même interdit de se trouver dans un périmètre de moins de 2 mètres de celle-ci.

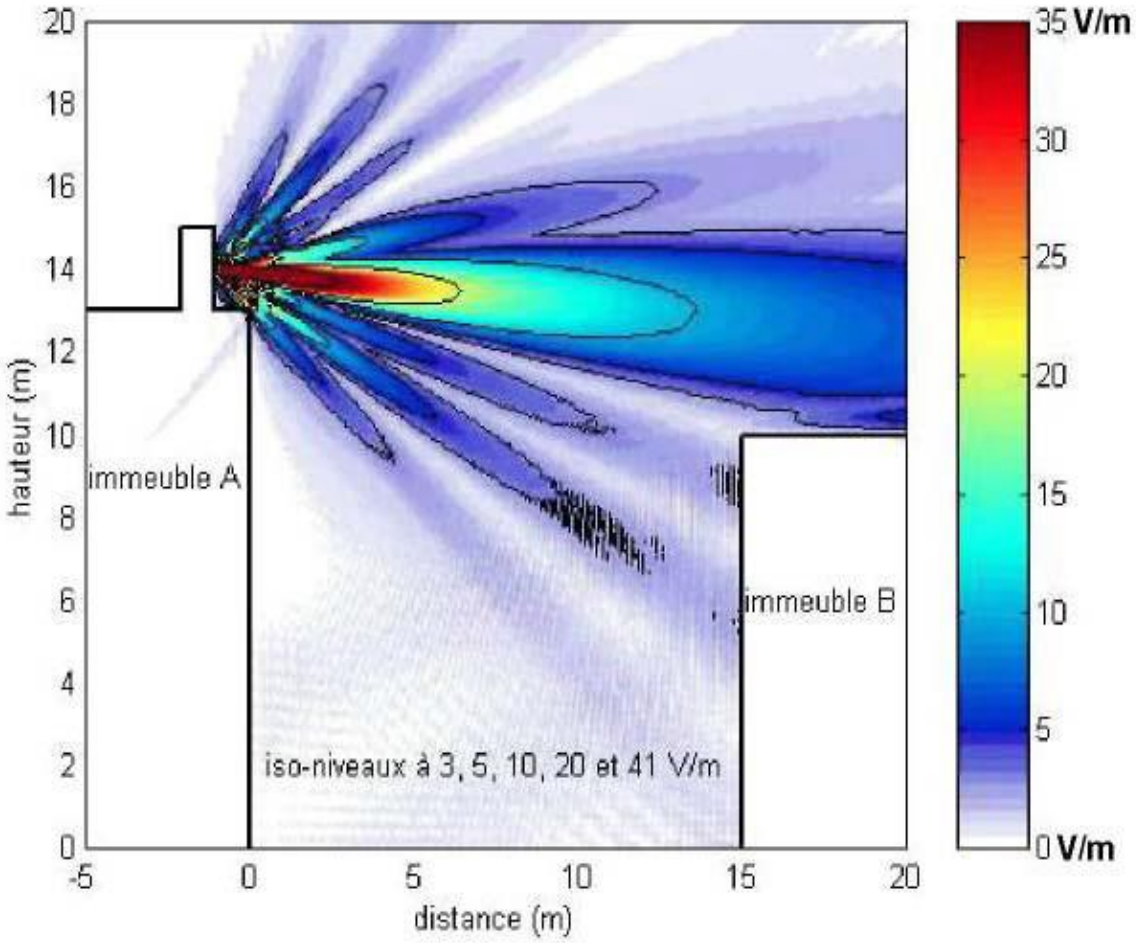

Figure 8 : Pic d'exposition au contact d'une antenne relais d'après le rapport d'Alain GEST.

- Puissance et émission des mobiles :

La puissance maximale d'émission d'un téléphone mobile est de 0,25 W (watt) à 900 MHz et de 0,125 W à 1800 MHz. En réalité ils émettent respectivement à une puissance de 2 W et de 1 W, mais comme pour les antennes avec le partage des canaux de fréquences entre 8 utilisateurs, la puissance réellement émise est donc de 0,25 et 0,125 W pour les 2 GSM.

Cette puissance d'émission varie selon plusieurs paramètres. Elle va augmenter par exemple lorsque la connexion est établie, lorsqu'il existe des obstacles entre les 2 mobiles ou lorsque la distance entre le téléphone et l'antenne la plus proche est grande.

- Transmission de notre appel :

Lorsque l'on compose le numéro de la personne que nous souhaitons joindre (elle aussi munie d'un mobile), notre mobile établit d'abord la liaison avec l'antenne relais la plus proche. Ensuite cette antenne interroge la centrale des antennes (la centrale possède tous les numéros des utilisateurs) pour savoir où est située cette personne, c'est-à-dire dans quelle cellule son téléphone se trouve ? La centrale reçoit alors un signal de la part de l'antenne relais de la cellule où la personne est localisée en lui indiquant que son portable se trouve dans cette cellule. Enfin par l'intermédiaire des ondes électromagnétiques, la liaison entre votre antenne et celle de la personne s'établit et vous pouvez alors converser avec cette dernière. (6) (37) (38) (39)

b) Téléphone sans fil domestique – DECT

A ne pas confondre avec les téléphones portables, il s'agit de la téléphonie sans fil domestique comportant une base fixe et un ou plusieurs combinés. Cette technologie ne couvre qu'un faible territoire allant selon les modèles de 20 à 300 mètres, et utilise des ondes électromagnétiques de fréquences variant de 1880 MHz à 1900 MHz. Cette bande de fréquence est là aussi divisée en canaux de largeur de 1,7 MHz, chaque canal pouvant être partagé par plusieurs téléphones.

Le téléphone émet des radiofréquences uniquement lors de la communication alors que la base émet de manière continue. La puissance maximale d'émission autorisée

est de 250 mW (milliwatt) mais en moyenne la puissance émise par la base ou le téléphone sans fil est de l'ordre de quelques dizaines de mW. (38) (40) (41) (42)

c) Réseaux locaux sans fil : LAN (Local Area Network), Bluetooth,…

Ces technologies ont pour objectif d'établir des connexions sans fil. Leurs utilisations sont nombreuses et s'appliquent dans un périmètre géographique plus ou moins étendu : liaisons internet haut débit, liaisons entre ordinateurs et périphériques informatiques,…

Parmi les technologies des réseaux locaux les plus utilisées, on distingue :

- Réseau Wi-Fi.

  Se basant aussi sur les systèmes cellulaires, cette technologie emploie les stations de base pour interagir avec des ordinateurs portables ou autres objets communicants, mais le réseau créé ne couvre seulement qu'un faible territoire (500 mètres environ). L'intérêt de ce système est la capacité de prendre en charge la mobilité des usagers en utilisant des débits de transmission de données largement supérieurs à ceux des réseaux cellulaires employés dans la téléphonie mobile. Il permet essentiellement un accès à haut débit à Internet et fonctionne à une fréquence de 2450 MHz ou 5200 MHz. La puissance maximale autorisée d'un émetteur Wi-Fi est de 100 mW mais en réalité la puissance moyenne maximale ne peut dépasser 50 mW. Cette puissance va varier en fonction du nombre d'utilisateurs simultanés, de la taille des données à transmettre. De plus, ces données sont transmises sous forme de paquets de signaux radiofréquences de manière discontinue ; séparés par des temps d'attente.

- Liaison Bluetooth.

  Il s'agit d'un système sans fil permettant une communication de courte portée ne dépassant pas 20 mètres, dont l'utilisation principale est donc limitée. Il s'agit de remplacer les câbles : souris sans fil, imprimante sans fil, oreillettes pour téléphones mobiles par exemple. Une liaison Bluetooth fonctionne à une fréquence de 2400 MHz. La puissance maximale d'un émetteur Bluetooth est la même que celle autorisée dans le Wi-Fi : 100 mW. (40) (41) (42)

- Wi Max.

  Le Wi Max se calque sur le Wi-Fi mais avec des performances bien supérieures. En effet cette technologie permet d'émettre l'Internet sans fil avec un débit pouvant fonctionner jusqu'à 70 Mb/s et sur un rayon d'environ 45 kilomètres. Les émetteurs Wi Max fonctionnent à des fréquences de 3400 à 3600 MHz. Ainsi par l'intermédiaire d'une antenne relais et d'une borne relais, les ordinateurs situés dans la couverture d'émission vont disposer d'une connexion haut-débit sans fil et ceci sans passer par une ligne téléphonique. (1)

d) Les systèmes de radiodiffusion et télédiffusion

Il s'agit exactement du même principe que celui employé pour les téléphones portables cependant il existe une différence majeure car les stations des réseaux de radio et de télédiffusion vont jouer leurs rôles d'émetteurs, et les appareils récepteurs (télévisions, radios) ne fonctionnent qu'en mode réception ; donc ces appareils domestiques n'émettent pas de rayonnement aux fréquences considérées (fréquences comprises entre 41 et 860 MHz pour la télédiffusion et autour de 100 MHz pour la radiodiffusion).

Pour couvrir l'ensemble du territoire, de nombreux émetteurs de radio et de télédiffusion ont vu le jour dans les années 50 et n'ont cessé de croitre jusqu'en 1990. En France, on dénombre environ 2500 sites de radiodiffusion et 3000 sites d'émission de télédiffusion. Ces sites sont disposés le plus souvent en altitude : pylônes de grande hauteur en zone dégagée, toit d'immeuble, tour Eiffel à Paris,…

Pour la radio, un émetteur envoie des signaux par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques très basses fréquences (inférieures à celles utilisées dans la téléphonie mobile), jusqu' à un récepteur ; en l'occurrence le poste radio, par le biais d'antenne relais.

Pour permettre à diverses radios d'émettre en même temps sans interférences, le panel de longueurs d'ondes utilisé en radio est important ; les longueurs d'ondes vont de quelques mètres à quelques kilomètres.

Pour réceptionner la radio voulue, il suffit de régler le poste à la longueur d'onde (ou plutôt la fréquence) de la radio émettrice souhaitée.

e) Les tubes cathodiques

Pour les anciens écrans de télévision, c'est le déflecteur d'électrons présent dans le tube cathodique de l'écran qui produit un rayonnement de très basses fréquences (17 kHz). Ce rayonnement augmente avec la taille de l'écran.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, ces radiations ne sont pas diffusées uniquement à partir de l'écran mais partout autour : aussi bien en arrière et sur les côtés. (43)

f) Les plaques à induction

Le principe de ces plaques réside dans des inducteurs placés sous la surface en vitrocéramique. Lorsqu'ils sont parcourus par un courant électrique, ces inducteurs génèrent un champ magnétique qui, à son tour, induit des courants électriques dans le métal du récipient posé sur la plaque. Les plaques à induction génèrent des ondes électromagnétiques à une fréquence de 20 kHz à 50 kHz.

Ces courants produisent de l'énergie thermique (chaleur) par effet Joule. (6)

g) Les fours à micro-ondes

Il s'agit d'ondes électromagnétiques à la fréquence de 2,5 GHz (fréquence des micro-ondes). Les molécules d'eau présentes dans l'aliment sont sensibles à ces micro-ondes, ces dernières vont provoquer l'agitation de ces molécules ce qui va induire le réchauffement de l'aliment.

Les parois du four sont métalliques. Or les micro-ondes sont réfléchies par le métal. Donc le four lui-même n'est pas chauffé par les micro-ondes mais uniquement l'aliment. (6) (41)

h) Les radiateurs

Pour donner son énergie, les radiateurs utilisent, associés à d'autres modes de transmission de la chaleur (convection et conduction), les ondes électromagnétiques.

Le radiateur diffuse sa chaleur dans une pièce plus froide que lui par l'intermédiaire d'ondes infrarouges. Emises par une résistance, elles vont exciter et chauffer les

molécules d'air en augmentant leur niveau d'énergie. Ainsi c’est une perte de chaleur sous forme d’un rayonnement infrarouge qui va permettre aux radiateurs de chauffer des locaux. (6)

i) Les lignes à haute tension

Les lignes à haute tension connectées les unes aux autres, sillonnant le paysage, permettent d’acheminer le courant électrique depuis les centrales électriques de production jusque dans nos habitations.

Ce transport du courant par lignes à haute tension induit la création de champs électromagnétiques très basses fréquences (entre 50 et 60 Hz). (6)

C) Mesure du champ électromagnétique

Du fait que nous soyons en perpétuel contact avec les ondes électromagnétiques, le désir de connaître son exposition est grande. Cependant il faut noter que la mesure du champ électromagnétique est une procédure complexe. Elle est généralement effectuée par des organismes de contrôle technique accrédités dans un cadre normatif et réglementaire.

Tout citoyen a le pouvoir de faire mesurer gratuitement, en adressant un simple courrier à l'opérateur téléphonique ou à la mairie, son taux d'exposition aux ondes émises par diverses sources : émetteurs de téléphonie mobile, télévisions, antennes relais,…

Ensuite le bureau de contrôle accrédité contactera le particulier et se rendra à son domicile afin de réaliser ces mesures.

Figure 9 : Exemple d'une mesure du champ électromagnétique à domicile d'après le site internet www.ondes-confort.fr.

Ces organismes vont d'abord détecter les sources émettrices d'ondes électromagnétiques, et ensuite mesurer les niveaux d'exposition pièce par pièce des particuliers. L'émetteur sera coupé si l'exposition dépasse le seuil réglementaire. Ces résultats seront adressés au particulier environ trois semaines suivant l'intervention, ainsi qu'à la mairie et à l'operateur.

De plus, on a la possibilité de les consulter sur le site www.cartoradio.fr. Ce dernier répertorie l'ensemble des mesures effectuées sur des émetteurs de radiofréquences, des antennes de radiodiffusion et essentiellement des antennes relais.

En effet, l'Agence nationale des fréquences (ANFR) recueille chaque année près de 2000 mesures de champs électromagnétiques réalisées par ces organismes accrédités, et publie leurs résultats sur ce site. En plus des particuliers, ces mesures sont souvent effectuées à la demande de collectivités locales qui désirent connaitre le niveau d'exposition au quotidien dans les écoles, les crèches, les centres aérés, les haltes garderies, permettant là aussi de caractériser l'exposition du public sur les lieux des mesures.

Bien que les données disponibles ne permettent pas de décrire parfaitement l'exposition de la population, on peut néanmoins constater que les résultats récoltés aux quatre coins de la France montrent que les valeurs mesurées sont largement inférieures aux valeurs limites d'exposition du public fixées par décret pour chaque application : elles n'atteignent pas 10 % des valeurs limites dans plus de 97 % des cas.

Pour les particuliers, en plus de connaitre à quel degré ils sont en contact avec les champs électromagnétiques dans leur lieu de vie, plusieurs organismes habilités s'engagent à les conseiller personnellement sur les mesures à mettre en œuvre pour les protéger (le cas échéant).

Concernant le milieu du travail, certaines installations peuvent générer un champ d'une forte intensité. Donc les services apportés pour les particuliers peuvent aussi s'appliquer à diverses entreprises car la présence de champs électromagnétiques dans le milieu professionnel peut de la même manière susciter des craintes de la part des salariés.

Pour des particuliers qui ne souhaitent pas faire appel à ces services, des détecteurs de champs électromagnétiques grande sensibilité indiquent la puissance des rayonnements d'antennes relais, de téléphones mobiles et de réseaux Wi-Fi, mais l'efficacité de ces appareils n'est pas encore clairement établie. (44) (45) (46) (47)

D) Interactions avec la matière

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique rencontre une matière (objets divers, corps humain), plusieurs phénomènes peuvent se produire.

Une partie du rayon va être réfléchie par la matière alors que l'autre partie va être absorbée. En général la partie du rayonnement qui est absorbée modifie l'énergie interne de l'objet et produit de la chaleur.

Ce rayon absorbé peut éventuellement subir un changement de direction de la propagation du à la réfraction. La réfraction s'explique par le passage du rayonnement d'un milieu à un autre ne possédant pas le même indice de réfraction. Selon la loi de Descartes, les indices de réfraction n_1 et n_2 des deux milieux et les angles incident i et réfracté i' sont unis par la relation : $n_1.\sin i = n_2.\sin i'$

Si l'objet est plus ou moins transparent, une partie du rayonnement peut éventuellement être transmise. (48) (49) (50) (51)

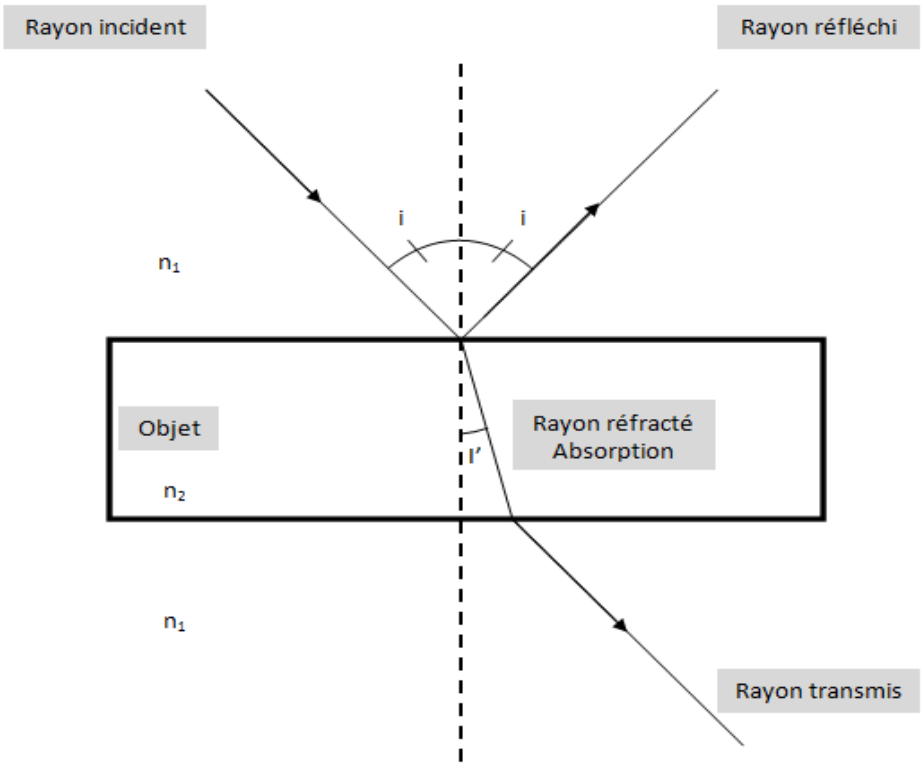

Figure 10 : Interaction du rayonnement électromagnétique avec la matière.

Tous les objets ou matières vont être caractérisés par un coefficient de réflexion (noté ρ), un coefficient d'absorption (noté α), et un coefficient de transmission (noté τ), qui expriment respectivement la part d'énergie réfléchie, absorbée et transmise.

Se référant au principe de la conservation d'énergie, ces trois coefficients vont avoir des valeurs variant de 0 à 1 et leur somme sera toujours égale à 1.

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

avec :

α_λ : coefficient d'absorption à la longueur d'onde λ

ρ_λ : coefficient de réflexion à la longueur d'onde λ

τ_λ : coefficient de transmission à la longueur d'onde λ

Selon la nature de l'objet, on observe des cas particuliers :

- si l'objet est totalement transparent, le rayonnement n'est pas réfléchi mais est absorbé et transmis en partie.

  $$\rho = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha + \tau = 1$$

- si l'objet au contraire est parfaitement opaque, le rayonnement n'est pas transmis mais est en partie absorbé et en partie réfléchi.

  $$\tau = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha + \rho = 1$$

Impact de ces interactions :

Une question se pose lorsque ces ondes rencontrent l'homme ou l'animal. Comment ces ondes interagissent avec ces derniers ? Ces interactions induisent-elles des effets quelconques sur l'organisme ?

Lorsqu'un rayonnement pénètre la matière, il interagit avec celle-ci et lui transfère de l'énergie. En fonction de la quantité d'énergie apportée, les effets sur l'organisme ne

vont pas être similaires et vont donc dépendre de celle-ci. On distingue deux types d'ondes en fonction de la quantité d'énergie transportée.

1) Les radiations ionisantes

Les radiations ionisantes sont des ondes électromagnétiques qui transportent beaucoup d'énergie (c'est-à-dire de très haute fréquence car l'énergie est proportionnelle, on le rappelle, à la fréquence). Il s'agit des rayons X, des rayons gamma et de certains ultraviolets. Le rayonnement ionisant possède une énergie supérieure à quelques dizaines d'électron-volts. Cette énergie est capable de modifier des molécules car ces ondes ionisantes arrachent les électrons des atomes de la matière. De ce fait, elles sont capables d'altérer l'ADN (acide désoxyribonucléique) des cellules.

D'une part, elles génèrent des cassures moléculaires, d'autre part, elles provoquent la radiolyse de l'eau qui entraine la formation de radicaux libres qui représentent des espèces moléculaires dotées d'une grande toxicité altérant l'ADN des cellules. Ces lésions moléculaires peuvent être à l'origine, pour les cas de fortes doses, d'effets pathologiques visibles dans les jours et les semaines qui suivent. Elles seront aussi malheureusement la cause d'effets tardifs pouvant apparaitre des années, voire plusieurs dizaines d'années après l'exposition (en particulier la radio-cancérogénèse) ou encore dans la descendance (effets génétiques). (52) (53)

On va retrouver ce type de rayonnement dans le domaine de la santé notamment dans le traitement des cancers : la radiothérapie, dont l'objectif est la destruction tumorale par administration précise de rayons X. C'est un accélérateur d'électrons qui provoque la formation d'un champ électromagnétique à haute fréquence, créant des ondes électromagnétiques sous forme de rayons X.

Comme vu précédemment, sous l'effet de ces rayons, les noyaux des cellules tumorales vont subir des réactions physico-chimiques provoquant la formation de radicaux libres capables d'endommager la structure de la molécule d'ADN située dans le noyau. De ce fait les cellules ne sont plus capables de se renouveler et elles disparaissent.

Donc la radiothérapie détruit les cellules cancéreuses par ionisation, mais malheureusement également les cellules saines. Ainsi, la technique de radiothérapie est extrêmement contrôlée :

- au niveau du patient : il faudra délimiter la zone à irradier de manière extrêmement précise.

- au niveau du personnel : il faudra confiner la salle de rayonnement par des murs épais, et vérifier le port d'un dosimètre (les doses de rayonnements sur chaque personne sont enregistrées et vérifiées ; elles doivent être inférieures aux normes en vigueur). (54) (55) (56) (57) (58)

Connaissant très bien les effets de ces ondes, on ne s'intéressera pas par la suite à ces rayonnements mais on se consacrera aux radiations non ionisantes dont certains effets restent encore une énigme.

2) Les radiations non ionisantes

Si les ondes transportent peu d'énergie (moins de 13 électron-volts), il s'agit de radiations non ionisantes : les radiations de fréquences inferieures aux rayons ultraviolets.

L'impact de la plupart de ces ondes sur l'homme est connu. Il s'agit de l'effet thermique : l'élévation de la température. En effet c'est la quantité d'énergie absorbée par la matière qui va être transformée en chaleur. Dans la vie quotidienne, plusieurs radiations "chauffantes" peuvent être citées comme par exemple :

- le radiateur émettant des radiations infrarouges,
- le soleil émettant les radiations du visible,
- le four à micro-ondes chauffant les aliments,
- les UV B présents dans les cabines de bronzage.

Cet effet thermique est possible grâce à la forte teneur en eau des tissus composant le corps humain.

Cette énergie chauffante est non ionisante, elle ne peut arracher d'électrons à la matière et former des radicaux libres toxiques. Donc elle n'attaque pas la structure de la matière (sauf en cas de brûlure bien entendu).

Nous connaissons parfaitement ces effets thermiques, maintenant le problème est de savoir si les ondes électromagnétiques non ionisantes qui nous entourent en permanence peuvent avoir un impact négatif sur notre santé. On parle évidemment des rayonnements émis par les téléphones portables et les antennes relais. (59) (60)

E) Les limites d'exposition aux ondes électromagnétiques

Imperceptibles, les champs électromagnétiques sont susceptibles d'avoir des effets sur la santé de l'homme. Ainsi la mise en place d'une réglementation permettant de limiter les expositions aux ondes électromagnétiques est indispensable.

1) La réglementation en France

En effet, la France s'est appuyée sur les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), de la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non Ionisants (ICNIRP) et du Conseil de l'Union européenne afin de définir les valeurs limites d'exposition des personnes aux champs électromagnétiques.

Les limites d'exposition adoptées aujourd'hui en France comme par la plupart des pays européens sont basées sur les recommandations de l'ICNIRP, qui en 1998 a fixé les valeurs limites d'exposition des personnes pour les champs dont la fréquence est comprise entre 0 et 300 GHz.

Ensuite, c'est l'Union européenne qui souhaite définir un cadre européen pour les mesures et les politiques nationales en matière de protection de la population contre les risques sanitaires éventuels liées aux champs électromagnétiques.

En effet, le Conseil de l'Union européenne a repris les valeurs limites d'exposition telles que fixées par l'ICNIRP dans sa recommandation 1999/519/CE du 12 juillet 1999 relative à l'exposition du public aux champs électromagnétiques. (61)

Le 3 mai 2002, le décret n°2002-775 transpose la recommandation de l'Union européenne en droit français en règlementant les seuils d'exposition du public aux champs électromagnétiques, notamment ceux émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou les installations radioélectriques, c'est-à-dire pour des fréquences comprises entre 10 MHz et 10 GHz. De ce texte résulte des valeurs d'exposition du public aux ondes électromagnétiques exprimées de deux façons.

a) Le débit d'absorption spécifique (DAS)

La première correspond au débit d'absorption spécifique (DAS) exprimé en watt par kilogramme (W/kg). Il représente la puissance absorbée par le corps par unité de masse de tissu. Cette absorption de champs électromagnétiques va entrainer une élévation de la température des tissus (effet thermique vu précédemment). Il s'agit d'un indicateur utilisé pour quantifier le niveau de radiofréquences émises par un téléphone portable, lorsqu'il fonctionne à la puissance maximale. Donc, plus le DAS d'un appareil émettant des ondes électromagnétiques est faible, moins cet appareil est potentiellement dangereux pour la santé des utilisateurs.

Pour s'assurer que le mobile ait un DAS inférieur à la réglementation sanitaire, il est impératif de mesurer les DAS auxquels les tissus sont exposés. On peut le mesurer en laboratoire grâce à la dosimétrie (ensemble de technique de mesure et de modélisation). On va utiliser des mannequins dont la tête, remplie d'un liquide, possède des caractéristiques électromagnétiques identiques à celle de l'humain. Une sonde est placée dans ce liquide permettant de mesurer l'échauffement et ainsi le DAS. (62) (63) (64) (65)

b) L'intensité du champ électromagnétique

La deuxième correspond à l'intensité du champ électrique exprimée en volt par mètre (V/m). Elle va permettre de définir les niveaux de référence qui sont les valeurs limites employées pour l'évaluation pratique de l'exposition.

c) Les valeurs limites d'exposition du public aux ondes électromagnétiques en France

Selon la technologie utilisée, les seuils limites d'exposition du public aux ondes électromagnétiques ainsi que les niveaux de référence varient.

Pour les antennes relais, les niveaux de référence varient de 41 V/m pour le GSM 900, à 58 V/m pour le GSM 1800, et à 61 V/m pour l'UMTS. A l'exception d'un périmètre de quelques mètres entourant l'antenne et totalement interdit au public, ces seuils s'appliquent en sortie d'antenne, c'est-à-dire partout, y compris à proximité sur les toits.

En ce qui concerne les antennes d'émetteur radio, les niveaux de référence sont de 28 V/m. Ceux des antennes d'émetteur de télévision sont compris entre 31 et 41 V/m.

Les niveaux de référence du Wi-Fi et du Wi Max sont de l'ordre de 61 V/m. Les routeurs Wi-Fi, les oreillettes Bluetooth, les antennes Wi Max doivent également respecter des limites de puissance rayonnée. En effet, les équipements Wi-Fi sont limités à 100 mW. Quant aux équipements Bluetooth, ils sont répartis en trois classes. Ceux de classe 1 émettent moins de 100 mW, ceux de classe 2 moins de 2,5 mW, et ceux de classe 3 moins de 1 mW.

Enfin, pour les téléphones mobiles, le DAS ne doit ainsi pas dépasser 0,08 W/kg pour le corps entier, 2 W/kg pour la tête et le tronc et 4 W/kg pour les membres. Le niveau maximal de 2 W/kg correspond à un échauffement faible des tissus de l'ordre du dixième de degrés. Cette valeur doit figurer de manière lisible et visible dans la notice d'emploi des téléphones mobiles.

D'après les données disponibles, les valeurs maximales du DAS des téléphones portables vendus en France respectent la valeur limite de 2 W/kg et sont même dans leur majorité en deçà de 1 W/kg. (61) (1) (42)

2) La réglementation dans les autres pays

La majeure partie des pays européens, c'est le cas par exemple de l'Allemagne, de l'Espagne, du Royaume Uni et de la Suède, a également adopté les mesures préconisées par l'ICNIRP. D'autres pays comme l'Italie ont retenu des valeurs limites d'exposition du public aux ondes électromagnétiques plus faibles. De plus ces valeurs varient en fonction des lieux de vie :

-en Italie, le seuil est de 20 V/m pour l'ensemble des technologies, sauf dans les lieux où un individu est susceptible de passer plus de 4 h par jour. Dans ce cas, le seuil passe à 6 V/m.

-en Belgique, une norme est rentrée en application depuis fin mars 2009. Cette norme stipule que dans la région de Bruxelles, le seuil à ne pas dépasser est de 3 V/m. Ce seuil est applicable à toutes les zones accessibles au public pour les fréquences comprises entre 400 MHz et 2 GHz.

A l'inverse, aux Etats-Unis, et plus particulièrement en Californie, les seuils du GSM 900, du GSM 1800 et de l'UMTS sont respectivement de 48 V/m, 67 V/m et 71 V/m, soit pour ces technologies des seuils limites d'exposition supérieurs à ceux applicables en France. (61) (1) (42)

3) Les règles spécifiques relatives aux antennes relais

En ce qui concerne l'implantation des antennes relais en France, des règles particulières ont été mises en place. Ainsi l'implantation des stations de bases de téléphonie mobile destinées aux gestionnaires d'immeubles et aux opérateurs de téléphonie mobile est soumise à un ensemble de règles décrites par la circulaire du 16 octobre 2001. Tout d'abord une déclaration préalable à l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (Arcep) doit être réalisée. Ensuite les opérateurs doivent obtenir l'accord de l'Agence nationale des fréquences (ANFR) pour l'implantation d'émetteurs de plus de 5 W.

Pour les antennes installées sur le toit ou le long d'un immeuble et pour les antennes posées à même le sol ou sur un poteau au-delà d'une hauteur de 12 mètres, une déclaration préalable à la mairie du lieu d'implantation est nécessaire.

Pour les établissements « sensibles » tels que les écoles, les crèches ou les établissements de soins situés dans un rayon de 10 mètres de l'antenne relais, le décret du 3 mai 2002 impose aux opérateurs de téléphonie mobile de veiller à ce que l'exposition aux ondes électromagnétiques du public fréquentant ces lieux soit la plus faible possible tout en préservant la qualité du service rendu. Ce même décret permet également à des organismes accrédités d'effectuer des mesures de niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques du public afin de contrôler le respect des valeurs limites d'exposition. Pour renforcer la sécurité, l'arrêté du 4 août 2006 autorise le préfet à réaliser de telles mesures, au titre de l'article L 1333-21 du code de la santé publique, par l'intermédiaire d'un organisme agréé. (61)

F) La problématique des antennes relais

Compte tenu de l'éventuel danger des ondes électromagnétiques, les associations, les riverains mais aussi les maires ont été amenés à se pencher sur cette crainte en déposant plusieurs recours devant les juridictions judiciaires et administratives. Cependant, la jurisprudence du juge judiciaire diffère de celle du juge administratif.

1) La position du juge judiciaire

Le juge judiciaire va traiter les litiges relatifs aux antennes soit entre un copropriétaire et la copropriété, soit entre un opérateur et un usager. Cependant, selon les affaires qui leur étaient soumises, les juges judiciaires n'ont cependant pas retenu les mêmes conclusions.

Dans un premier temps, la plupart des juges ont retenu le principe de précaution compte tenu de l'incertitude scientifique sur l'innocuité des antennes relais ; ils se sont basés sur une conception nouvelle de la notion de trouble du voisinage. En d'autres termes, ils considèrent que l'exposition des citoyens à un risque certain contre leur gré constitue un trouble du voisinage.

Ils ont donc décidé d'ordonner soit l'interdiction d'installation, soit le démontage d'une antenne relais sur le fondement de ce trouble anormal. Pour caractériser ce dernier, ils ont fondé leur jugement sur l'existence d'un risque hypothétique d'ordre sanitaire. Ensuite pour caractériser le préjudice moral attaché à ce trouble, ils ont basé leur conclusion sur la crainte légitime des riverains. (66)

En septembre 2008, après des plaintes de trois couples, le tribunal de grande instance de Nanterre a instauré le démontage d'une antenne relais, et pour la première fois, a condamné l'opérateur Bouygues Télécom à indemniser ces couples. En effet les parents se plaignaient de migraines et d'insomnies et leurs enfants faisaient des crises d'eczéma inexpliquées. Selon l'avocat des plaignants, le tribunal a appliqué le principe de précaution et a pris en compte l'anxiété légitime des plaignants car il a estimé, même si l'issue du risque est incertaine, que le fait d'exposer son voisin à un risque pour sa santé constitue un trouble anormal du voisinage donnant lieu à une indemnisation. L'operateur a fait appel, en attendant, il doit démonter ses antennes. (47)

A Montpellier, le tribunal judiciaire a également condamné, après deux ans de bataille judiciaire, le 15 septembre 2011 l'opérateur de téléphonie mobile SFR, à démonter une antenne-relais située à Montesquieu-Des-Albères. Le tribunal a appliqué le principe de précaution en estimant que la santé des riverains était en possible danger. (67)

Dans un second temps, à l'inverse, certains juges judiciaires ont abouti à des solutions différentes concernant l'installation d'antennes relais. En effet ces juges ne se reposent pas sur le principe de précaution en invoquant l'absence de preuve quant aux effets des antennes relais sur la santé. Ils estiment que la notion de trouble anormal du voisinage ne saurait s'appliquer en la matière car les troubles ne peuvent être caractérisés par la crainte d'une atteinte à la santé.

2) La position du juge administratif

Contrairement aux juridictions de l'ordre judiciaire se montrant plus enclines à appliquer le principe de précaution, les juridictions administratives sont assez réticentes à prononcer la désinstallation des antennes relais au nom de ce principe.

En effet, le juge administratif ne retient pas l'application du principe de précaution en estimant que l'application de ce principe se limite au droit de l'environnement et ne s'applique pas au droit de la santé.

En Loire-Atlantique, la commune de Varades avait décidé en septembre 2011 de baisser le seuil limite des émissions d'ondes électromagnétiques à 0,6 V/m. Le tribunal administratif de Nantes a suspendu en référé le 4 janvier 2012 la décision de la commune de Varades, et a donné tort à cette commune, en rejetant le principe de précaution. Le tribunal a rejeté l'application de ce principe pour deux raisons. Dans un premier temps, le rejet de ce principe repose sur le fait que le maire n'est pas compétent en matière de réglementation des antennes relais. Ensuite le tribunal estime que l'état actuel des connaissances dans le domaine ne permet pas de caractériser de tels risques comme graves et avérés. (68)

A Lyon, le tribunal administratif a donné raison à l'association « Pas d'antenne au château » contre le maire et les opérateurs de téléphonie mobile qui souhaitaient l'implantation d'antennes sur un château d'eau. Le tribunal n'a pas retenu le principe

de précaution pour obtenir la désinstallation de l'antenne mais a estimé que la pose d'antennes sur les châteaux d'eau modifiait l'aspect extérieur des bâtiments. (69)

Toutefois, le 15 janvier 2009, un arrêt récent de la Cour administrative d'appel de Versailles se base sur le principe de précaution pour interdire l'implantation d'antennes de téléphonie mobile dans un rayon de 100 mètres autour des bâtiments « sensibles » (écoles, collèges, crèches,…). (70)

3) La position des pouvoirs publics :

La France applique parfaitement les règlementations concernant la fixation des seuils limites d'exposition aux ondes émises par les champs électromagnétiques.

De plus, suite aux nombreuses missions de mesure, les niveaux d'exposition trouvés dans les lieux de vie sont très faibles (inférieurs à 6 V/m), soit un niveau sensiblement plus bas que les valeurs maximales autorisées (41 à 61 V/m).

Concernant les antennes relais, le Gouvernement n'a pas retenu l'application du principe de précaution. Il se base sur l'état actuel des connaissances scientifiques et sur le risque faible d'exposition des populations aux ondes émises par ces technologies pour écarter l'existence de tout risque sanitaire.

Toutefois, concernant la téléphonie mobile, le gouvernement applique le principe de précaution en estimant que ce dernier est primordial du fait de la proximité de l'appareil avec le corps humain et du débat grandissant qui existe à propos du danger des mobiles. (70)

G) Le danger des ondes électromagnétiques

Depuis le début des années 1990, le marché de la téléphonie mobile est en forte évolution au niveau mondial et notamment en France. (71)

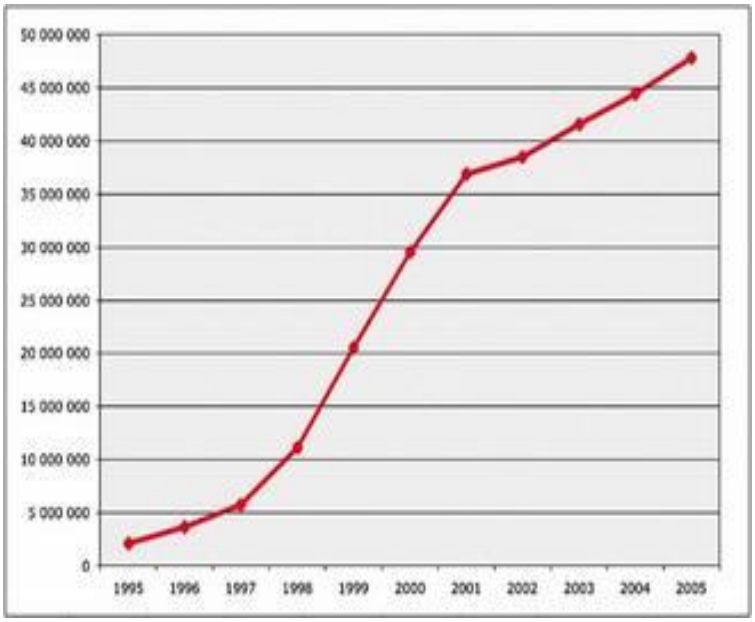

Figure 11 : Evolution du marché de la téléphonie mobile en France d'après le site internet www.flux-touristiques.com.

De nombreuses études, concluant des résultats contradictoires, ont été publiées dans le but de savoir si l'usage de cette nouvelle technologie pouvait avoir un quelconque effet néfaste sur la santé, ou beaucoup plus grave, majorer ou non le risque de survenue de cancer de la tête et des autres organes proches de ces émetteurs.

La téléphonie mobile ne transmet de l'énergie électromagnétique à son utilisateur de manière intense uniquement lors des communications, alors que les antennes relais transmettent leurs énergies continuellement avec une puissance variant de quelques watts à plus de 100 watts selon la taille de la cellule qu'elles desservent. Néanmoins le problème en ce qui concerne les téléphones portables est sa localisation très proche avec la tête de l'usager (quelques millimètres de l'oreille), ainsi la puissance absorbée par notre organisme au cours d'une communication est largement plus conséquente que celle due à une antenne relais, même la plus puissante. En effet, Alain Gest prétend dans son rapport intitulé « *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile* » que des expérimentations ont vu le jour dans 17 quartiers

de la France afin d'analyser l'exposition des riverains aux ondes électromagnétiques issues des antennes relais. Ces expériences ont révélé que 95 % des niveaux d'exposition sont sous 1,5 V/m, et 99,9 % sous 5 V/m, sachant que les valeurs limites réglementaires sont comme nous l'avons vu de 41 V/m ou supérieures. Même si on retrouve dans certains endroits, appelés des points géographiques atypiques, une exposition sensiblement plus élevée que la moyenne, elle reste très inférieure aux valeurs limites.

Par exemple, en milieu rural, à partir d'un pylône supportant les antennes GSM, des mesures ont été réalisées à différentes distances du pylône dans un axe perpendiculaire à celui du rayonnement principal de l'antenne et à 1,5 mètres de hauteur (équivalente à celle de l'homme), on a obtenu comme résultats :

Point de mesure en mètres	74	190	800
Fréquence en MHz	954	954	954
Service	GSM	GSM	GSM
Champ électromagnétique mesuré en V/m	0,047	0,118	0,130
Valeur limite en V/m	41	41	41
Niveau de champ mesuré par rapport à la valeur limite	859 fois inférieures	342 fois inférieures	310 fois inférieures

Tableau 2: Champs électromagnétiques mesurés à différentes distances d'une antenne relais d'après le rapport d'Alain GEST.

On constate donc que les valeurs sont largement inférieures et comme vu précédemment, au sol, l'exposition est maximale mais minime à l'endroit où se rencontre le champ d'ondes conique et ce dernier et non pas le plus près de l'antenne.

Donc les diverses études ne vont pas s'attarder sur les antennes relais mais privilégier et se concentrer sur les téléphones portables car en termes d'évaluation et

de gestion de risques, les niveaux d'exposition liés aux mobiles sont considérablement plus élevés que ceux dus aux stations de base. (72)

En 2002, suite à des études épidémiologiques démontrant l'existence d'un lien entre les ondes électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence et l'augmentation du nombre de leucémies aigües chez l'enfant, l'OMS a instauré une classification pour évaluer le risque de cancers attribué aux ondes électromagnétiques. Elle comporte cinq niveaux de risques :

1 - cancérogènes pour l'homme

2A - probablement cancérogènes pour l'homme

2B - peut-être cancérogènes pour l'homme

3 - inclassables

4 - probablement pas cancérogènes

En mai 2011 à Lyon, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) de l'OMS a classé les radiofréquences, ondes utilisées par la téléphonie mobile, en catégorie 2B. L'OMS reconnaît donc que l'utilisation d'un téléphone portable « peut être cancérogène ». Ce classement fait suite à des études se penchant sur une relation entre l'utilisation de la téléphonie mobile et l'augmentation de gliomes et de neurinomes de l'acoustique. Même si ce lien ne s'appuie que sur des études épidémiologiques suggérant des excès de risques, l'OMS l'a considéré comme crédible, mais ce « peut-être » pose problème et ne permet pas d'apporter une réponse claire et précise afin d'effacer les doutes persistants des citoyens. (73)

Ainsi, compte tenu du développement massif de la téléphonie mobile depuis 1993 et de cette incertitude constante, de nombreuses études ont en effet vu le jour, soit à partir d'une approche épidémiologique, soit à partir d'une approche expérimentale sur l'animal ou sur des cultures cellulaires, dans le but de mettre en avant un possible rapport entre une exposition aux radiofréquences et un effet néfaste sur la santé.

1) Les études biologiques

Nous avons vu que les radiofréquences peuvent provoquer des effets thermiques connus de longue date et largement utilisés (fours à micro-ondes, radiateurs), et également lors de l'utilisation d'un téléphone portable. (74)

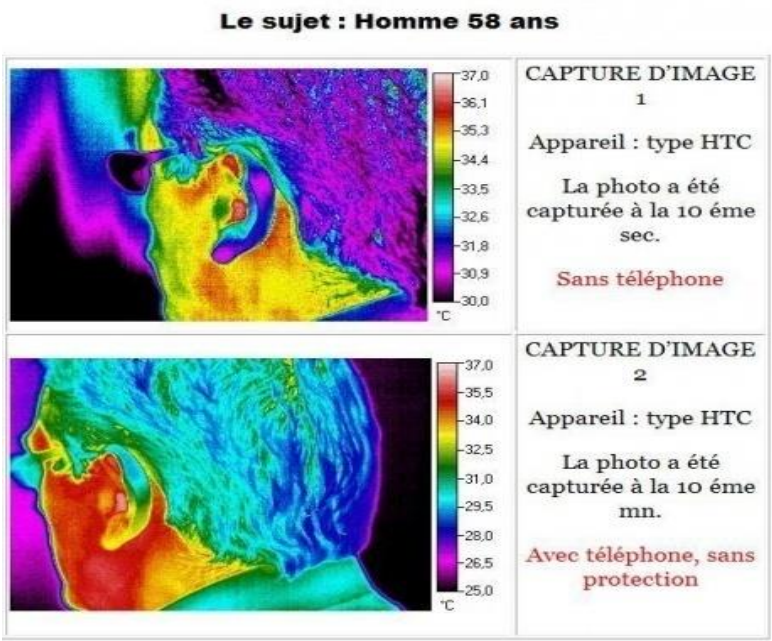

Figure 12 : Elévation de la température lors de l'utilisation d'un téléphone portable d'après le site internet www.les-dangers-des-ondes-électromagnétques.over-blog.com.

Cependant, en ce qui concerne les radiofréquences utilisées en télécommunication, un doute persiste sur d'éventuels effets non thermiques. De ce fait de nombreuses études ont été réalisées pour apporter une réponse à cette question.

Les effets biologiques des ondes électromagnétiques sur le vivant peuvent être analysés de plusieurs manières :

- in vitro sur des cellules humaines, animales, végétales ou des bactéries en cultures.
- in vivo sur des humains ou des animaux.

En ce qui concerne les études in vitro, les cellules utilisées peuvent être soit fraichement isolées à partir de prélèvements sanguins ou d'organes et mises en culture pour une période courte, soit provenir de lignées cellulaires (cellules cancéreuses issues de divers types de tumeurs).

Pour les études in vivo, les animaux les plus fréquemment utilisés sont les rats et les souris.

Un grand nombre d'études in vitro et in vivo ont été réalisées afin de savoir si les téléphones portables sont synonymes de troubles de la santé pour l'usager. D'une étude à l'autre, on va utiliser soit des téléphones réels, émettant au maximum (250 mW) ou à leur puissance usuelle (40% de la puissance maximum), ou des émetteurs ; antennes similaires à celles d'un téléphone, alimentées par un générateur externe, et délivrant une puissance variable. Ces systèmes d'exposition peuvent être placés sur des supports à plus ou moins grande distance de la tête, ou tenus à la main. Ils vont donc simuler une exposition réelle aux ondes électromagnétiques révélant d'éventuels effets sur des mécanismes métaboliques, des fonctions physiologiques ou des possibles altérations des systèmes vivants.

A la différence des systèmes d'exposition fictive, les téléphones portables émettent un bruit intrinsèque provoqué par la carte de support des circuits électroniques, de plus ils sont responsables d'un échauffement lié au fonctionnement de la batterie. Ces effets sont difficiles à imiter pour les émetteurs factices. Afin de ne pas perturber les résultats, un écran thermique et/ou phonique va être placé entre la tête et le téléphone visant à atténuer les effets.

Bien sûr, en ce qui concerne les études in vivo consacrées à l'homme, le consentement éclairé des sujets sollicités est recueilli avant le début de la recherche et les chercheurs veillent à ne faire courir à ces sujets que des risques n'excédant pas les bénéfices que l'on peut en attendre au plan individuel et collectif.

Pour les études in vivo concernant les animaux, ces derniers peuvent subir un stress important comme une immobilisation prolongée par exemple, ce qui est susceptible de fausser les résultats. Afin de limiter ce stress, des mesures doivent être prises notamment en habituant les animaux à de telles situations.

A propos de la durée d'exposition, on va parler d'exposition aigüe lorsque la période est courte ; quelques minutes à plusieurs heures selon le modèle. Si cette durée équivaut à une grande partie de la vie de l'homme ou de l'animal, on parlera alors d'exposition chronique. Ainsi pour un homme, une exposition sera chronique pour une durée de 5 à 10 ans. Pour un rat ou une souris, une exposition de 1 à 2 ans

sera, compte tenu de sa durée de vie, considérée comme chronique. En ce qui concerne les cellules, l'exposition sera aigüe pour quelques minutes à quelques heures et chronique si celle-ci persiste durant plusieurs générations de cellules.

L'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET) va classer toutes ces études in vivo et in vitro pour analyser les éventuels effets sur les différents systèmes et organes du corps humain. (75) (76)

a) Effets sur le système immunitaire

Le système immunitaire va permettre à l'organisme de se protéger contre les agressions par l'intermédiaire de cellules (les lymphocytes B produisant des anticorps, les lymphocytes T capables d'agir directement sur les agents pathogènes pour les éliminer, et les monocytes) et de glandes dont la rate. Une atteinte de ce système peut engendrer des défenses défectueuses vis-à-vis des agents extérieurs.

Parmi les diverses études, certaines vont utiliser des cellules extraites de la rate de souris, d'autres ont exposé des lymphocytes humains aux radiofréquences. Ou bien d'autres études vont être réalisées à partir de sang humain pour savoir si l'exposition à des ondes électromagnétiques augmente la production de radicaux libres sur des monocytes et des lymphocytes.

Pas moins de 10 études, dont la majorité a été réalisée in vitro, portant sur l'impact des radiofréquences sur le système immunitaire ont été analysées. Uniquement deux de ces études ont révélé un effet. La première mobilisant un petit échantillon indique une légère baisse de l'expression de CD95 (marqueur de surface) dans les lymphocytes CD4+ chez les sujets âgés après exposition aux rayonnements électromagnétiques. L'autre étude, après exposition à des ondes GSM 900, démontre une stimulation des lymphocytes et des monocytes. Les huit autres travaux ne révèlent aucuns effets des ondes électromagnétiques.

Suite à ces études, on peut écarter tous risques des radiofréquences sur les cellules du système immunitaire, compte tenu du petit échantillon de personnes de l'unique étude qui démontre un possible effet délétère des ondes électromagnétiques sur le système immunitaire. (77)

b) Effets sur le système cardiovasculaire

Le système cardiovasculaire est composé du cœur, des vaisseaux sanguins et du sang. Il permet l'apport de l'oxygène et des nutriments aux cellules, l'élimination des déchets métaboliques et du CO_2, le transport des hormones. Ce système est indispensable au bon fonctionnement des autres systèmes de l'organisme.

Peu d'études concernent ce thème ; en effet cinq travaux se sont penchés sur les effets des radiofréquences sur les fonctions cardiovasculaires. Toutes ces études ont été réalisées chez l'homme. Ces derniers ont été exposés à des ondes électromagnétiques similaires à celles des téléphones portables pendant un laps de temps allant de 15 à 40 minutes. Pendant cette exposition, les chercheurs ont analysé les différentes caractéristiques de ce système ; ils ont mesuré le rythme cardiaque grâce à un électrocardiogramme, les pressions artérielles systoliques et diastoliques.

Pour conclure, ces cinq études ne mettent pas en évidence un quelconque effet des rayonnements électromagnétiques sur le système cardiovasculaire aussi bien sur le rythme cardiaque que sur la pression artérielle.

Donc la régulation de la pression artérielle et du rythme cardiaque ne semble pas être perturbée par les ondes électromagnétiques émises par les téléphones portables. Mais compte tenu du faible nombre de travaux, des études sur cette fonction de l'organisme devraient être envisagées pour confirmer cette réponse avec certitude. (78)

c) Effets sur le système oculaire

Compte tenu de la proximité de l'œil avec les téléphones portables lors de son usage, certains chercheurs se sont penchés sur les effets potentiels des rayonnements électromagnétiques sur les yeux. Huit travaux ont vu le jour, aussi bien des études in vitro que des études in vivo.

Pour les études in vitro, elles ont été réalisées à partir de cristallins provenant de veaux ou de cultures de cellules ganglionnaires rétiniennes provenant de souriceaux nouveau-nés. Ces prélèvements ont été soumis respectivement à des rayonnements électromagnétiques de 1100 MHz et de 2450 MHz. Ensuite des observations au

microscope ont été effectuées sur ces prélèvements pour révéler d'éventuels effets sur les yeux.

Concernant les études sur l'homme, un grand nombre d'usagers d'un téléphone mobile ont répondu à un questionnaire portant sur des effets oculaires potentiels, ainsi qu'un petit nombre de sujets ont été exposés à un signal GSM de 900 MHz durant 30 minutes et les chercheurs ont analysé le seuil de discrimination visuelle lors de cette exposition.

Pour conclure, seule l'étude fondée sur le questionnaire révèle des effets tels qu'une inflammation des yeux, un larmoiement mais cette étude est basée sur un questionnaire et non sur des données scientifiques et objectives. Pour le reste des études, aucune ne démontre de possibles effets oculaires lors de l'usage d'un mobile.

Donc les chercheurs ont conclu que les ondes électromagnétiques n'induisaient pas d'effets oculaires objectifs. (79)

d) Effets sur la mélatonine

La mélatonine est une hormone secrétée par la glande pinéale située dans le cerveau à partir d'un neurotransmetteur ; la sérotonine. Il s'agit de l'hormone de régulation des rythmes chrono-biologiques, elle est régulièrement dénommée hormone du sommeil. Elle a un rôle sur le cycle du sommeil et les autres rythmes circadiens. En temps normal, elle est sécrétée la nuit uniquement car sa production est inhibée par la lumière (pic de sécrétion à 5 heures du matin chez l'humain).

Suite aux accusations de certaines personnes déclarant avoir des troubles du sommeil causés par les téléphones portables, des études ont essayé de mettre en évidence une relation entre l'exposition aux radiofréquences et la concentration en mélatonine. Deux de ces études ont été effectuées à partir d'animaux (rats ou hamsters), une s'est déroulée à l'aide d'hommes.

Pour l'étude concernant les rats, ces derniers ont été habitués durant deux semaines à un cycle « lumière-obscurité » ; la période sombre durait de 20 h 00 à 8 h 00, et la période lumière s'étalait donc de 8 h 00 à 20 h 00. Ces rats ont été séparés en 2 groupes où un groupe va subir un rayonnement électromagnétique pendant 4

heures. Par méthode radio-immunologique, les chercheurs ont dosé dans le sang et la glande pinéale de ces rats la mélatonine et la sérotonine. Les concentrations de ces hormones demeurent identiques après exposition ou non aux radiofréquences.

En ce qui concerne l'étude avec les hamsters, celle-ci se déroule approximativement de la même manière que celle avec les rats. Et les conclusions se calquent sur cette dernière. En effet, les auteurs déclarent que les rayonnements électromagnétiques n'ont pas d'effet sur le taux de mélatonine présent dans le sang et la glande pinéale des hamsters.

Pour l'étude concernant les humains, elle a mobilisé 30 hommes et 25 femmes. Ces derniers ont été exposés 30 minutes à un téléphone mobile une heure avant leur coucher. Ensuite la mélatonine a été dosée dans les urines par méthode radio-immunologique après une exposition à des radiofréquences et durant la nuit. Pendant la nuit, le dosage des urines ne révèle aucunes anomalies, néanmoins, juste après l'exposition, on constate une légère diminution des taux urinaires de mélatonine, mais ce résultat s'est retrouvé uniquement chez quatre sujets. Un possible délai dans la sécrétion de mélatonine chez ces 4 individus peut être possible car la production totale de mélatonine pendant la nuit n'est pas affectée.

On peut donc conclure, compte tenu de ces études, à une absence de preuves quant à d'éventuels effets des radiofréquences sur le taux de mélatonine. (80)

e) Effets sur l'audition

Parallèlement à l'œil et son extrême proximité avec les téléphones portables, c'est normal que les chercheurs se soient penchés sur les possibles effets délétères des radiofréquences sur l'audition des usagers.

Plusieurs études ont été réalisées (une trentaine), dont une in vitro à partir d'une lignée de cellules ciliées auditives de souris. La plupart des autres travaux ont été effectués chez l'homme. Pour ces derniers c'est le téléphone portable qui représente le plus souvent le système d'exposition.

En ce qui concerne l'étude in vitro ; les cellules ont subi un rayonnement électromagnétique de 1760 MHz pendant 24 à 48 heures. Les auteurs concluent que

les cellules n'ont subi ni de lésion de l'ADN, ni d'altération du cycle cellulaire. De plus aucune altération des fonctions auditives chez ces souris n'a été observée.

Pour les études réalisées sur l'homme, un petit nombre d'entre elles montrent un effet après un certain temps d'exposition aux radiofréquences. Par des tests audiométriques standards, les auteurs ont mis en évidence une légère diminution du seuil d'audition. Les autres études ne révèlent aucune perturbation des fonctions auditives, cependant elles comparent des données avant et après des expositions de courtes durées (10 minutes environ). Pour une exposition plus longue, ces études n'écartent pas la possibilité d'effets néfastes sur le système auditif. Ainsi des études après une exposition chronique devraient être envisagées pour écarter tout risque d'effet à long terme. Mais aujourd'hui il n'y a pas de preuves permettant de confirmer que les rayonnements électromagnétiques majorent les altérations du système auditif de l'homme, ni que ceux-ci n'engendrent pas d'effets délétères sur le système auditif. (81)

f) Effets sur le développement

Nous savons que les organes en développement sont le plus majoritairement sensibles aux divers agents toxiques. De ce fait, il est légitime de s'interroger sur les possibles effets des radiofréquences sur les organismes en développement. Chez l'homme, la période de développement se poursuit jusqu'à ce que le sujet ait atteint l'âge adulte. Les études vont être mises en place à différents moments du développement (embryon ou fœtus, nouveau né, nourrisson, enfant ou adolescent), étant donné que les éventuels effets peuvent se révéler in utero et avoir des conséquences sur le fœtus ou l'enfant à naitre, mais aussi se déclarer chez l'enfant ou l'adolescent dotés de nombreux systèmes de l'organisme encore en développement (notamment le système nerveux). D'autant plus qu'en France, l'utilisation du téléphone portable chez les adolescents est très répandue. D'où l'intérêt de réaliser des études sur ces derniers très exposés.

Un grand nombre de travaux ont vu le jour, le plus souvent, il s'agit d'études in vivo utilisant majoritairement des rats, mais aussi des souris et des lapins. On retrouve également des études mobilisant les humains plus particulièrement des enfants, des adolescents ou des femmes enceintes.

Pour les études consacrées aux rats, ceux-ci âgés de 4 ou 10 semaines ont été exposés durant une à deux semaines à un signal de 1439 MHz afin de vérifier le bon développement ou non de la barrière hémato-encéphalique de ces animaux immatures. D'autres rates gestantes ont subi un rayonnement électromagnétique provenant d'un téléphone mobile durant toute la durée de la gestation, et les chercheurs ont analysé le tissu hématopoïétique des rats nouveaux né. Ou encore, des rats de 21 jours ont été exposés pendant 5 semaines consécutives à des GSM de 900 MHz afin d'étudier leur comportement neurologique. En ce qui concerne les études sur les souris, elles sont relativement similaires à celles des rats. Des souris en gestation ont été soumises à un signal GSM de 900 MHz durant toute la période de gestation afin de vérifier sur les souriceaux nouveaux nés l'intégrité de leur barrière hémato-encéphalique, cervelet, hippocampe et moelle épinière. Une autre étude a utilisé un signal UMTS de 1966 MHz dans le but de vérifier le développement des souriceaux issus de rates gestantes.

De nombreuses études ont été effectuées chez l'humain notamment l'adolescent. L'une d'entre elles regroupe 32 adolescents âgés de 10 à 14 ans. L'objectif de cette étude est d'analyser les fonctions cognitives (temps de réaction, mémoire, exactitude des réponses aux questions) des adolescents lors d'exposition ou non à des radiofréquences provenant d'un téléphone portable.

Toutes ces études n'ont révélé aucun effet néfaste sur le développement aussi bien sur la barrière hémato-encéphalique des jeunes rats, chez les souriceaux exposés ou chez les fœtus de souris issus de mères exposées. De plus, le suivi post natal de ces souris n'a pas constaté d'anomalies concernant le comportement des souriceaux. Parmi les adolescents, on a même retrouvé une amélioration de la mémorisation et de l'apprentissage dans une étude.

Mais ce qui inquiète est la réponse apportée par certaines études, en effet des travaux montrent des effets au cours du développement.

Une étude s'est intéressée à des rates gestantes. Ces dernières ont été exposées 8h30 par jour durant toute la période de la gestation à des ondes électromagnétiques émises par un téléphone portable. Un test de micronoyaux a été réalisé sur les érythrocytes des nouveaux nés provenant des rates gestantes exposées et une augmentation de la fréquence des micronoyaux a été révélée. Les micronoyaux sont

des fragments de chromosome ou des chromosomes entiers non intégrés au noyau au cours de la mitose. Ils sont issus d'une anomalie du fuseau mitotique ou de cassures chromosomiques et reflètent une action génotoxique aboutissant à l'apparition de mutation chromosomique. Ainsi, ils sont à l'origine de clones de cellules initiées constituant la première étape de la cancérogénèse. Donc ce test de micronoyaux est un test court de mutagénèse permettant d'identifier si les radiofréquences sont capables d'induire la formation de micronoyaux dans les cellules. Etant donné le résultat et malgré l'absence de dosimétrie, les auteurs concluent que, lors de l'embryogénèse, un effet génotoxique sur le tissu hématopoïétique est envisageable.

Une étude s'est penchée sur la neurogénèse post natale. La production de neurones commence dans la zone sous ventriculaire, ensuite les neurones migrent vers le bulbe olfactif par l'intermédiaire d'une voie de migration : la voie rostrale de migration. Les chercheurs ont mobilisé deux groupes de rats : des nouveaux nés âgés de 7 jours et des adultes âgés de 24 mois. Ces rats ont subi un rayonnement électromagnétique provenant d'un four à micro-onde, soit de manière aigue 4 heures par jour pendant 4 jours, soit de manière chronique 8 heure par jour pendant 3 jours. Pour analyser la voie rostrale de migration, ils ont effectué un marquage des cellules au BrdU. En comparant les résultats observés sur des animaux de même âge non exposés, les auteurs ont trouvé une diminution du nombre de cellules BrdU après irradiation chronique chez les rats nouveaux nés, sans variation chez les rats adultes. Ce qui a amené les auteurs à conclure à une possible perturbation de la neurogénèse post natale précoce provoquée par une exposition aux ondes électromagnétiques.

Une étude s'est concentrée sur des embryons de poulet. Des œufs de poule ont été soumis à des ondes électromagnétiques émises par un téléphone mobile durant 3 minutes, en alternant le mode appel et le mode inactif, et ceci pendant toute la durée de leur incubation. Les auteurs ont démontré que, en comparaison aux témoins non exposés, la mortalité chez les embryons exposés a été augmentée.

Une autre étude s'est consacrée à 15 adolescents (9 filles et 6 garçons) âgés de 10 à 14 ans. Sur ces derniers ont été réalisés des enregistrements électro-encéphalographiques (EEG) lors de tests de mémoire auditive de 30 minutes. Les

adolescents étaient au contact d'un téléphone portable, situé en regard de la région temporale postérieure gauche, en mode « on » ou « off ». Les chercheurs ont révélé chez les sujets exposés des variations dans le tracé EEG, et de ce fait ont conclu que les ondes électromagnétiques pouvaient avoir des répercussions sur le processus cognitif.

Une autre étude a exposé des mères pendant leur grossesse à un téléphone mobile afin d'analyser la fonction cardiaque en mesurant le rythme et le débit cardiaque fœtaux et néonataux. Une augmentation du rythme cardiaque fœtal et néonatal, associée à une diminution du débit, ont été observées. Mais compte tenu des nombreux facteurs pouvant faire varier le rythme cardiaque (mouvement de la mère pour prendre le téléphone portable, position modifiée, …), les résultats obtenus ne peuvent être considérés comme totalement significatifs.

Une autre étude a vu le jour pour mettre en évidence un rapport entre une exposition prénatale ou postnatale aux rayonnements électromagnétiques des mobiles et la survenue de trouble du comportement chez des enfants de 7 ans. Pour mettre en œuvre cette étude, 1300 mères ont été contactées 7 ans après leur grossesse et ont complété un questionnaire dans lequel il fallait préciser les caractéristiques d'usage du mobile pendant leur grossesse : durée d'utilisation par jour, lieu de stockage du mobile lors de son non utilisation, durée pendant laquelle le mobile était laissé en veille, … Les auteurs ont mis en avant un possible comportement hyperactif chez des enfants exposés durant les périodes pré et postnatales. Cependant, les mères de ces enfants exposés à la fois en période pré et post natale étaient d'un niveau socio-professionnel plus bas, plus souvent consommatrices de tabac durant la grossesse et avaient rapporté plus d'antécédents de psychiatrie.

Enfin une étude a révélé chez des jeunes lapins (36), soit à l'état de nourrisson, soit à l'état de fœtus, exposés à un signal GSM de 1800 MHz, une éventuelle altération de la fonction auditive des nouveaux nés. (82)

g) Effets sur la reproduction

Nous savons que les radiations ionisantes peuvent altérer les testicules chez l'homme et les ovaires chez la femme provoquant une stérilité. Ainsi, la question

concernant les radiations non ionisantes peut se poser car les gonades peuvent être malheureusement sensibles à ces agents extérieurs.

De nombreuses études sont maintenant disponibles, on y trouve des études in vivo effectuées sur des rats, des souris (animaux mâles ou femelles) et également chez l'homme.

Des études in vitro sont également publiées, elles ont été réalisées à partir de sperme provenant de donneurs humains. Ces derniers sont ensuite séparés en deux échantillons dont un va subir un rayonnement électromagnétique provenant d'un téléphone portable. L'objectif est d'observer la mobilité, la concentration, et la viabilité des spermatozoïdes.

Concernant les études in vivo, un grand nombre de travaux a vu le jour avec plusieurs protocoles :

- des souris males ont vu leurs corps exposés à des radiofréquences d'un signal de 900 MHz 12 heures par jour pendant 7 jours afin d'analyser les paramètres du sperme : mobilité, viabilité, morphologie, concentration.
- des souris males ont subi un signal GSM à 1800 MHz 2 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 2 semaines dans le but d'étudier l'histologie des testicules et de quantifier la testostérone. De plus, les auteurs ont isolé les cellules interstitielles de Leydig et les ont cultivées afin de les étudier.
- des hommes (304) suivis pour infertilité ont été mobilisés pour analyser leur sperme après avoir répondu à un questionnaire portant sur les niveaux d'usage des téléphones portables : pas d'utilisation, utilisation occasionnelle ou utilisation régulière. Ensuite les auteurs ont étudié la concentration en spermatozoïdes, la mobilité, la morphologie, la viabilité afin de mettre en avant un éventuel lien entre l'usage régulier du mobile et l'altération des spermatozoïdes.
- une autre étude du même type que la précédente a été réalisée sur 361 hommes suivis pour infertilité. Là aussi les auteurs ont comparé leurs habitudes téléphoniques mais l'analyse du sperme s'est révélée plus détaillée. En effet ils ont analysé en plus de la concentration, la mobilité, la viabilité, et la

morphologie d'autres paramètres comme le volume, le temps de liquéfaction, le pH et la viscosité.

- 20 sujets volontaires ont été exposés à un signal GSM à 900 MHz 2 heures par jour, 5 jours par semaine durant 4 semaines par l'intermédiaire d'un téléphone portable. Les chercheurs ont dosé, avant exposition, pendant l'exposition, après l'exposition et 15 jours suivant la fin de l'exposition les hormones stéroïdiennes (cortisol et testostérone) et les hormones hypophysaires (TSH, GH, prolactine).

En résumé, les études in vitro concluent à un effet des rayonnements électromagnétiques sur la reproduction avec notamment une légère diminution de la mobilité et de la vélocité des spermatozoïdes. Toutefois l'étude révélant la baisse de la mobilité ne fait pas référence à une dosimétrie.

Pour les études in vivo chez les animaux, aucun rapport n'est démontré entre l'exposition des radiofréquences et une perturbation des organes reproducteurs. Cependant, concernant les études réalisées chez l'homme, la qualité des spermatozoïdes (mobilité, viabilité) chez les utilisateurs réguliers de téléphones portables est diminuée mais ces études ont pris en compte un seul facteur (téléphone mobile) alors que de nombreux facteurs peuvent intervenir (alcool, tabac, chaleur, toxiques,…) sur la qualité du sperme.

On n'a donc pas de preuves réelles et significatives sur un risque certain des ondes émises par les téléphones portables, cependant certains résultats révèlent un possible effet néfaste de ces derniers. D'autres études plus complètes devraient voir le jour dans l'avenir pour certifier ou non d'un éventuel danger des ondes sur la reproduction. (83)

h) Effets sur l'apoptose

L'apoptose est un mécanisme indispensable au bon fonctionnement de l'organisme, se déclenchant aussi bien au cours du développement embryonnaire que tout au long de la vie. On peut le définir comme un processus de mort cellulaire auto-induite par la cellule, entrainé par un vieillissement cellulaire ou un stress. Mais le processus est sujet à des perturbations ; en effet un excès d'apoptose (excès de mort cellulaire) peut engendrer des pathologies, essentiellement les maladies neurodégénératives

comme par exemple la maladie d'Alzheimer. De plus, un déficit de ce processus va provoquer une prolifération de cellules anormales devant logiquement être éliminées, comme par exemple les cellules potentiellement cancéreuses. De ce fait des études ont cherché à mettre en évidence un éventuel rapport entre une exposition aux radiofréquences et une perturbation de l'apoptose.

Ce processus est sous le contrôle de deux types de gènes :

-un gène anti-apoptotique : le gène bcl 2.

-un gène pro-apoptotique : le gène bax.

Pour que le mécanisme apoptotique ait lieu, il faut, à l'intérieur de la cellule, l'activation de protéines spécifiques qui vont mener à l'apoptose de la cellule : les caspases. Un des substrats de la caspase est la poly ADP-ribose polymérase (PARP).

Les études vont se baser sur ces différents éléments pour obtenir une réponse fiable. La plupart de ces travaux sont des études in vitro, il existe une seule étude in vivo réalisée sur des rates.

Pour les études in vitro, une d'entre elles a exposé des cellules issues d'une lignée de neuroblastome à un signal de 900 MHz durant une journée. Pour évaluer le processus apoptotique, les auteurs ont mesuré par fluorométrie l'activité de la caspase 3 juste après ou 24 heures après l'exposition. Une autre étude a aussi exposé des cellules issues d'un neuroblastome à un signal GSM à 900 MHz. Mais pour analyser l'apoptose, ils ont étudié l'expression de la PARP par western blot et l'activité des caspases 3 et 7 par fluorométrie.

Pour l'étude in vivo, les auteurs ont exposé des rates, pendant 30 jours, 30 minutes par jour, à un signal GSM à 900 MHz afin d'étudier l'endomètre de ces dernières. Par méthode immuno-histochimique, ils ont marqué sur les cellules épithéliales de l'endomètre la caspase 3, la caspase 8 et les gènes blc 2 et bax dans le but de trouver un potentiel risque des rayonnements électromagnétiques sur le processus apoptotique.

Pour conclure, l'étude in vivo montre certains effets notamment une augmentation de l'expression des gènes bax chez les rates exposées, mais on note là aussi une

absence de dosimétrie nécessaire pour confirmer ce résultat. Cependant, concernant les cellules d'origine cérébrales (neuroblastomes) qui sont les plus exposées aux radiofréquences lors de l'utilisation d'un mobile, les chercheurs ne révèlent aucun effet délétère des rayonnements électromagnétiques sur les taux d'apoptose. (84)

i) Effets sur la production de radicaux libres

Les radicaux libres sont des dérivés réactifs de l'oxygène. La production des radicaux libres est normale et nécessaire pour tous les organismes vivants. Ce sont des molécules très instables possédant un électron célibataire qui va pouvoir être cédé ou bien accueillir un autre électron afin de réaliser des réactions d'oxydation ou de réduction.

C'est par l'intermédiaire des radicaux libres que le stress oxydant va pouvoir agir et agresser les cellules (oxydation de l'ADN, des protéines, des lipides membranaires). De ce fait, les radicaux libres sont indispensables à certains processus de l'organisme (apoptose, défense de celui-ci,…). Mais si leur concentration s'élève, ils vont engendrer des effets néfastes sur l'organisme comme une inflammation des tissus ou plus grave un processus cancérogène. Notre organisme va lutter contre ces phénomènes par l'intermédiaire d'enzymes pouvant contrer ce mécanisme : la superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), la glutathion peroxydase (GPX), et des petites molécules (vitamine E, vitamine C) qui évitent l'accumulation de ces radicaux libres.

Donc des études, aussi bien in vitro qu'in vivo, ont été menées pour savoir si les radiofréquences pouvaient majorer ou minorer la quantité de radicaux libres présente dans les cellules. Afin de trouver une réponse, les auteurs vont déterminer l'activité enzymatique de détoxification (SOD, catalase, GPX) dans les cellules. De plus, l'oxydation des lipides engendre la formation de malono dialdéhyde (MDA), ces derniers vont servir de marqueurs dans certaines études dans le but d'étudier les possibles variations des taux de radicaux libres.

Pour les études in vitro, celles-ci ont exposé plusieurs types de cellules (issues de neuroblastomes, sanguines, tumorales, cellules végétales de lentilles) à un signal GSM majoritairement à 900 MHz. Les auteurs ont ensuite analysé l'activité enzymatique impliquée dans les défenses anti-oxydantes et quantifié la MDA.

Concernant les études in vitro, une d'entre elles a exposé des rats 30 minutes par jour pendant 10 jours à un signal GSM à 900 MHz dans le but d'étudier les reins (organe le plus touché lorsque le téléphone est au niveau de la ceinture). Ensuite, ils ont suivi les activités des enzymes SOD, GPX et catalase, et de plus ils ont mesuré les taux de MDA. Une autre étude a mobilisé des rats exposés à des ondes électromagnétiques d'une fréquence de 834 MHz durant 7H30 par jour, 7 nuits de suite. A différentes périodes après l'exposition, ils cherchent à mettre en avant un possible effet par une modification du taux des radicaux libres et de la MDA dans les cellules du cortex frontal et de l'hippocampe. Une autre étude du même type a exposé des rats dans le but d'analyser les concentrations en vitamines C et E dans le sang de ces animaux.

En résumé, ces études, du point de vue des résultats se contredisent. Certaines concluent que les radiofréquences ne génèrent aucun effet au niveau des taux de radicaux libres, d'autres au contraire révèlent une augmentation de l'activité enzymatique de détoxification et des marqueurs MAD concluant à un excès de radicaux libres. Cependant, ces résultats trouvés chez les rats étaient basés sur des études composées d'un nombre d'animaux très faible (11 au maximum) et caractérisées par une absence de dosimétrie.

Seulement deux études de qualité sur ce thème, avec un grand échantillon et une dosimétrie précise, ont vu le jour, et celles-ci ne révèlent aucun effet direct des rayonnements électromagnétiques sur la synthèse des radicaux libres. Donc sur l'ensemble de ces résultats, même si des doutes subsistent, il n'existe pas de certitudes quant à un effet des radiofréquences sur la synthèse des radicaux libres. (85)

j) Effets sur le développement des cancers chez l'animal

L'objectif des études mises en place, majoritairement chez le rat ou la souris, est de savoir si les rayonnements électromagnétiques émis par les téléphones portables peuvent présenter des propriétés dites cancérogènes. La plupart des agents extérieurs engendrant des tumeurs chez les animaux sont également cancérogènes chez l'homme, et vice versa. Mais il faut toutefois avoir des réserves lorsqu'on extrapole des résultats de l'animal à l'homme.

La plupart des études, toutes in vivo, ont soumis les animaux le plus souvent à des expositions chroniques (1 à 2 ans), quelques une d'entre elles se fondaient sur des expositions semi-chroniques (moins de 6 mois), dans le but de savoir si une possible augmentation d'incidence de tumeur était en relation avec les radiofréquences. Les sujets étaient exposés à des ondes dont la fréquence variait de 800 à 1900 MHz.

Les résultats de ces études sont malheureusement ininterprétables car une étude montre une majoration du nombre de tumeurs sous l'effet de l'exposition des radiofréquences, alors que deux autres travaux révèlent une diminution des tumeurs sous l'effet des rayonnements électromagnétiques.

En conclusion, on ne peut pas certifier que les radiofréquences n'augmentent pas le nombre de cancers, ni que ces dernières ont un effet cancérogène chez l'animal. (86)

k) Effets génotoxiques

Les chercheurs, afin de trouver d'éventuels effets génotoxiques liés à l'usage des téléphones portables, ont effectué des tests d'aberrations chromosomiques ou des tests de brins d'ADN.

Une étude de grande ampleur, mobilisant 12 laboratoires, s'est déroulée de 2000 à 2004 dans 7 états. Il s'agit de l'étude REFLEX ; financée par l'Union européenne.

A partir de différentes lignées cellulaires (lymphocytes, fibroblastes,…) subissant une exposition électromagnétique variable, les chercheurs ont réalisé différents tests sur cette gamme d'échantillons dans l'objectif de démontrer si les radiofréquences sont susceptibles de provoquer des effets génotoxiques au niveau cellulaire engendrant une possible pathologie cancéreuse ou neurodégénérative.

Cette étude ayant été associée à une fraude, les résultats de celle-ci n'ont pas été pris en compte, alors que les chercheurs avaient révélé des ruptures simples ou doubles des brins d'ADN dans les différentes cellules subissant l'effet des rayonnements électromagnétiques. (87)

2) Les études épidémiologiques

Après s'être intéressé à la plupart des fonctions de l'organisme pouvant être touchées par les ondes électromagnétiques, on va se pencher sur l'inquiétude majeure des français ; c'est à dire le risque de cancer au niveau de la tête. Compte tenu de la forte progression du nombre d'utilisateurs de téléphones mobiles, et du contact étroit entre ces appareils et la tête, il convient de rechercher si les rayonnements électromagnétiques majorent ou non le risque de cancer de la tête et des autres organes proches de ces émetteurs.

La réponse sera apportée par des études épidémiologiques. Le principe de l'épidémiologie est d'étudier la fréquence des maladies dans divers groupes de population, d'en suivre l'évolution, de faire des hypothèses sur leur étiologie et d'en déduire la stratégie la plus adaptée de prévention.

Il est impossible d'étudier une population dans sa totalité, cette science va donc mobiliser une partie de la population : une population d'étude. Cet échantillon doit bien sûr être le plus représentatif de la population pour laquelle on souhaite tirer des conclusions.

En plus de la notion de représentativité ci-dessus, l'épidémiologie est aussi caractérisée par la notion de variabilité. Cette notion va entrainer le fait que toute mesure épidémiologique sera accompagnée de son intervalle de confiance (IC) : intervalle au sein duquel la vraie mesure a la plus grande chance de se situer. De manière générale, il s'agit d'un intervalle à 95 % que l'on note de la façon suivante. Par exemple ; le risque relatif RR = 3,7 (IC 95 % : 2,1-5,2), cela signifie que le « vrai » risque relatif, mesuré à 3,7 dans l'échantillon, a 95 % de chance de se retrouver dans l'intervalle allant de 2,1 à 5,2.

Cette science va permettre d'étudier une relation de cause à effet pouvant exister entre un effet sanitaire et un facteur de risque. Ici on va analyser s'il existe un rapport entre l'exposition aux radiofréquences et un risque accru de cancer au niveau de la tête. Cette recherche va faire appel à deux types d'études épidémiologiques ; les études de cohorte et majoritairement les études cas témoins. (88) (89) (90)

- les études cas témoins : le principe de cette étude est d'analyser un groupe de personnes atteintes d'une maladie (les cas) et un groupe de personnes

indemnes de cette pathologie (les témoins), et de comparer l'exposition passée de ces deux groupes au facteur de risque que l'on veut étudier.

- les études de cohorte : dans ce type d'étude, le principe est différent car on va comparer ici la fréquence d'une pathologie dans deux groupes en analysant un groupe exposé au facteur que l'on souhaite étudier et un autre groupe non exposé à ce facteur de risque.

Pour mesurer le risque de survenu d'un évènement entre deux groupes, on peut utiliser deux mesures statistiques :

- le risque relatif (RR) : il s'agit du rapport du risque de maladie chez les sujets exposés sur le risque de maladie chez les sujets non-exposés. Pour le mesurer, on va prendre un exemple simple. On va déterminer la différence de risque d'avoir un cancer du poumon (maladie) chez une population fumeuse (le facteur de risque) et chez une population non fumeuse. On a comme données :

  R1 = 10 %. R1 est le risque de cancer chez les fumeurs; cela signifie que 10 % des fumeurs ont un cancer du poumon.

  R0 = 2 %. R0 est le risque de cancer chez les non-fumeurs ; cela signifie que 2 % des non-fumeurs ont un cancer du poumon.

  Pour obtenir le risque relatif, on a comme formule :

  RR = R1/RO = 10/2 = 5

  Cela signifie que le risque d'avoir un cancer du poumon est donc cinq fois plus élevé chez les fumeurs que chez les non-fumeurs.

  On peut représenter ces calculs par l'intermédiaire de tableau :

	Malade	Non-malade
Fumeur	a	b
Non-fumeur	c	d

  Par exemple, a est le nombre de fumeurs qui sont malades.

On remplace les lettres par les valeurs de notre exemple :

	Malade	Non-malade
Fumeur	10	90
Non-fumeur	2	98

On a donc :

R1 le risque de cancer chez les fumeurs : R1 = $\frac{10}{10+90}$ = 10 %

R0 le risque de cancer chez les non-fumeurs : R0 = $\frac{2}{2+98}$ = 2 %

Ainsi on retrouve notre risque relatif : RR = $\frac{\mathrm{R1}}{\mathrm{R0}} = \frac{10}{2}$ = 5

- l'odds ratio (OR): il s'agit d'une autre méthode statistique. L'odds ratio (dont une traduction littérale en français peut être « rapport des cotes ») est le rapport de l'odd d'un événement (par exemple une maladie) arrivant à un groupe A d'individus sur l'odd du même événement arrivant à un groupe B d'individus. L'odd sera le rapport du nombre de personnes malades et du nombre de personnes non malades. Par rapport au risque relatif, elle peut présenter des avantages. En effet, dans les études cas témoins, on va interroger un certain nombre de malades sur leur exposition aux téléphones portables et faire de même pour les non-malades. L'échantillon n'étant pas représentatif, on ne peut donc pas calculer le risque relatif. On va ainsi utiliser l'odds ratio. Celui-ci ne dépend pas de la proportion de malades dans l'échantillon de l'étude. De ce fait, le calcul du RR n'a de sens uniquement lorsque les données proviennent d'une étude de cohorte ou d'un échantillon représentatif de la population à laquelle on s'intéresse. Ce qui n'est pas le cas des enquêtes cas témoins car la proportion de « malades » dans l'échantillon y est fixée (à 50 % par exemple si l'on a pris 1 témoin pour 1 cas).

Dans les publications, c'est l'odds ratio qu'on rencontre le plus souvent. Dans notre exemple, l'odd du cancer est de 10 contre 90 (ou 10 / 90) chez les fumeurs, il est de 2 contre 98 (ou 2 / 98) chez les non-fumeurs.

On a donc $OR = \frac{10/90}{2/98} = 5{,}44$

ou $OR = \frac{R1/(1-R1)}{R0/(1-R0)}$

soit $OR = RR \times \frac{1-R0}{1-R1} = 5 \times \frac{1-0{,}02}{1-0{,}1} = 5{,}44$

Si on reprend nos tableaux, on constate que

$OR = \frac{a.d}{b.c} = \frac{10.98}{2.90} = 5{,}44$

On constate que lorsque la maladie est rare, l'OR et le RR sont presque égaux. En effet, si la maladie est rare, R0 et R1 sont petits donc (1-R0) et (1-R1) sont très proches de l'unité. Ainsi OR = RR.

Pour exploiter un résultat, on comparera la valeur trouvée de l'odds ratio ou du risque relatif à l'unité :

- si elle est inférieure à 1 : cela signifie que le facteur de risque ne majore pas la survenue de la maladie étudiée, mais l'exposition « protège » contre cette maladie.
- si elle est supérieure à 1 : cela signifie que le facteur de risque augmente la survenue de la maladie ; l'exposition est un facteur de risque de la pathologie. Dans notre exemple RR = 5, donc ce résultat démontre que le tabac est un facteur de risque pour le cancer étudié. (91)

En épidémiologie, certaines études peuvent faire l'objet de biais qui peuvent fausser les résultats. On distingue plusieurs types de biais :

- le biais de sélection : ce biais concerne la sélection des sujets de l'étude. Ce terme rassemble toutes les erreurs de sélection amenant à ce que les sujets observés ne soient pas représentatifs des populations censées être étudiées.
- le biais d'information : il s'agit des erreurs commises lors du recueil des informations pour classer les sujets dans les différentes catégories. Pour notre sujet, il s'agit des statuts exposé/non exposé, malade/non malade.
- le biais de mémoire : ce biais est une annexe du biais d'information. En effet les cas vont avoir tendance à exagérer leur exposition, en quelques sortes ils ont une meilleure « mémoire » que les témoins qui inversement auront tendance à négliger leur utilisation du téléphone portable.
- le biais de confusion : ce dernier est envisagé lorsqu'un facteur externe intervient dans l'étude et est susceptible de fausser l'estimation de l'effet de l'exposition sur la maladie. (91)

a) L'étude Interphone

En 1999, une importante étude menée dans 13 pays, qui sont l'Allemagne, l'Australie, le Danemark, la Finlande, la France, l'Israël, l'Italie, le Japon, la Norvège, la Nouvelle Zélande, le Royaume Uni, la Suède, et coordonnée par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a été mise en place. Il s'agit de l'étude internationale multicentrique Interphone. C'est une étude épidémiologique de type cas témoins. L'objectif est de déterminer s'il existe une relation entre l'exposition au téléphone mobile et les tumeurs de la tête et du cou, notamment 4 types de cancers : gliomes, méningiomes, neurinomes de l'acoustique et tumeurs de la parotide.

Rappel de ces 4 types de tumeurs :

- Les gliomes : il s'agit de tumeurs rares du cerveau issues du tissu de soutien ou glie. Elles touchent essentiellement les enfants et les adultes jeunes mais le pic de fréquence se situe entre 50-60 ans. Leurs incidences est de 5 cas pour 100000 habitants. Elles représentent 45 % de l'ensemble des tumeurs du cerveau. On distingue plusieurs types de gliomes en fonction des cellules dont elles sont issues ; on a donc les astrocytomes, les épendymomes et les

oligodendrogliomes qui proviennent respectivement des astrocytes, des cellules épithéliales et des oligodendrocytes. Les gliomes sont relativement dangereux car ils peuvent prendre naissance dans n'importe quelle partie du cerveau et se propager dans ce dernier. En augmentant de volume, la tumeur va exercer une pression sur le cerveau et ses tissus. Les symptômes vont être fonction de la localisation de la tumeur. En effet, des symptômes tels qu'une perte de la parole ou de la vue sont possibles. Mais les symptômes les plus rencontrés vont être les maux de tête et les convulsions. (92)

- Les méningiomes : représentant 15 % des tumeurs intracrâniennes, il s'agit de tumeurs le plus souvent bénignes et survenant majoritairement après l'âge de 40 ans. Elles se développent à partir de l'arachnoïde : un des feuillets des méninges ; tissus qui recouvrent le cerveau. Le méningiome est donc une tumeur extra-cérébrale, et non du cerveau lui-même.

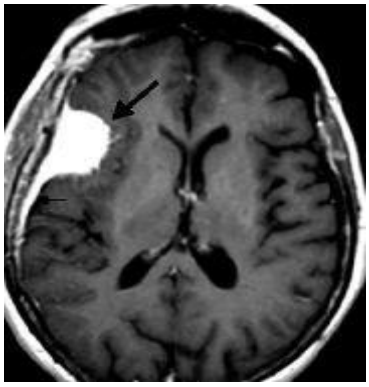

Figure 13 : Représentation d'un méningiome par imagerie médicale d'après le site internet www.cen-neurologie.fr.

Elles sont très vascularisées et lorsqu'elles ne sont pas diagnostiquées rapidement par manque de symptômes, elles compriment le cerveau car elles peuvent atteindre la taille d'une orange. Les symptômes vont dépendre de la localisation de la tumeur et sont provoqués par l'effet de masse, la compression du tissu cérébral adjacent. Ainsi les méningiomes se développant dans des zones dites muettes (c'est-à-dire qui acceptent une compression tout en ne révélant pas de symptômes neurologiques déficitaires), vont atteindre une taille importante et être responsables d'une augmentation de la pression intracrânienne provoquant de sévères maux de tête.

Les méningiomes se développant dans la région frontale vont engendrer des altérations des fonctions intellectuelles d'ordre psychiatrique ou des perturbations de l'humeur. Enfin, les méningiomes se situant le long de la région médiane de la voûte crânienne ou contre la convexité du cerveau se manifestent en général par des crises d'épilepsie généralisées ou partielles, des paralysies de la moitié du corps (hémiplégie progressive), ou bien des perturbations du champ visuel. (93) (94)

- Les neurinomes de l'acoustique : il s'agit d'une tumeur bénigne représentant 7 % des tumeurs intracrâniennes et se développant sur le nerf de l'audition et de l'équilibre le plus souvent chez les femmes de 40 à 60 ans. En se formant sur ces nerfs, la tumeur va comprimer ces derniers provoquant une perte de l'audition, des acouphènes, ou des troubles de l'équilibre. Ce neurinome se développe lentement ; environ 1 à 2 millimètres par an, à partir des cellules de Schwann responsables de la formation de la gaine protégeant les nerfs. Si la tumeur n'est pas prise en charge, elle va s'étendre et entrainer des complications neurologiques telles que des céphalées ou une hémianesthésie. (95) (96)

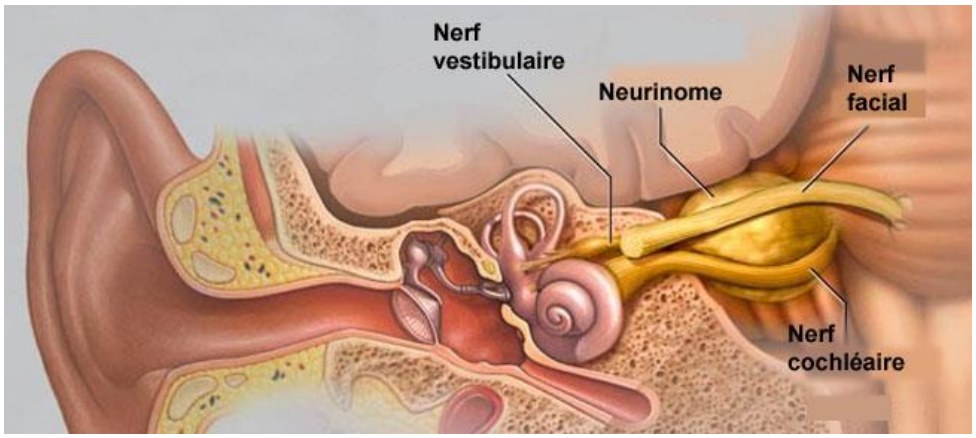

Figure 14 : Schéma d'un neurinome de l'acoustique d'après le site internet www.anworld.com.

- Les tumeurs de la parotide : la parotide est la glande salivaire située en dessous de l'oreille et derrière la branche montante de la mandibule. Il s'agit de la glande salivaire la plus volumineuse. La tumeur de la parotide

représente 5 à 10 % des tumeurs de la tête et du cou. Dans la majorité des cas, ce sont des tumeurs bénignes. Le plus souvent, le diagnostic fait suite à une tuméfaction de la région parotidienne avec une gêne à la mastication et à la déglutition. (97) (98)

Figure 15 : Photographie montrant une tumeur de la parotide d'après le site internet www.liams.center.blog.net.

L'étude Interphone a donc mobilisé des personnes victimes de l'une de ces quatre tumeurs. Ces cas provenaient de zones urbaines (c'est-à-dire là où la téléphonie mobile est implantée depuis plus longtemps), devaient être âgés de 20 à 60 ans et être actifs dans le but d'avoir la plus forte probabilité d'obtenir des utilisateurs de mobiles durant une période de plus de 10 ans. En ce qui concerne les témoins, l'étude a cherché à obtenir des personnes de sexes, de régions de résidence, et d'âges sensiblement similaires aux cas.

Ensuite, ces acteurs ont répondu à un interrogatoire d'environ une heure dans le but d'apporter des informations sur leurs modes d'usages du téléphone mobile, ou sur leurs expositions professionnelles aux radiofréquences. (99)

En France, l'étude Interphone porte sur un échantillon de 490 patients (160 gliomes, 190 méningiomes, 140 neurinomes) et 639 témoins. Cette étude conclut qu'un excès de risque significatif pour les tumeurs étudiées associé à la consommation téléphonique mobile n'est pas envisageable.

Cependant dans cette même étude, en ce qui concerne les gliomes, les auteurs suggèrent une proportion plus importante d'utilisateurs réguliers chez les cas que chez les témoins : OR = 1,15 (IC 95 % : 0,65-2,05). Mais ces mêmes auteurs

estiment que ces résultats sont statistiquement non significatifs et devront être vérifiés dans les analyses internationales des autres pays de l'étude Interphone. En épidémiologie, un facteur de 1,15 est une valeur relativement faible par rapport aux augmentations du risque. A titre de comparaison, un grand fumeur va avoir un risque d'être touché par un cancer du poumon 20 fois supérieur à un non-fumeur (OR = 20). (100)

En Allemagne, une autre étude de type cas témoins a été mise en place pour mettre en évidence une éventuelle relation entre l'utilisation des téléphones mobiles et l'apparition de neurinomes de l'acoustique. Cette étude démontre que le risque de neurinome augmente avec l'exposition au bruit : OR = 2,31 (IC 95 % : 1,15-4,66), le rhume des foins : OR = 2,20 (IC 95 % : 1,09-4,45), mais pas avec l'usage de téléphones mobiles : OR = 0,67 (IC 95 % : 0,38-1,19).

En Allemagne encore, une étude de type cas témoins s'est penchée sur la possibilité d'un lien entre l'utilisation d'un téléphone portable et l'apparition de gliomes et de méningiomes. En général, l'utilisation d'un téléphone mobile n'a pas été associée au risque de tumeur cérébrale. Pour les gliomes, l'odds ratio trouvé est de 0,98 (IC 95 % : 0,74-1,29). Les méningiomes ont révélé un odds ratio de 1,09 (IC 95 % : 0,35-3,37). Les auteurs concluent qu'il n'y a pas d'augmentation du risque pour les utilisateurs de téléphones mobiles. En ce qui concerne les gliomes, cette étude n'apporte donc pas la même conclusion que l'étude française mais renforce les dires des auteurs français qui déclaraient que leur résultat était statistiquement non significatif. (101)

Au Danemark et en Suède, une étude également de type cas témoins s'est instaurée pour mettre en avant une relation entre l'usage des téléphones portables et la survenue d'une tumeur des parotides. Cette étude a été réalisée chez tous les patients âgés de 20 à 69 ans dont on a diagnostiqué une tumeur des glandes parotides entre 2000 et 2002. Pour les utilisateurs réguliers, indépendamment de la durée, le risque estimé pour les tumeurs bénignes était de 0,9 (IC 95 % : 0,5-1,5), celui pour les tumeurs malignes était encore plus bas et de 0,7 (IC 95% : 0,4-1,3). Des résultats similaires ont été obtenus pour des utilisations supérieures à 10 ans. Donc les auteurs en ont conclu que l'hypothèse d'un risque accru de cancer des glandes parotides dû à l'usage du téléphone mobile n'était pas d'actualité.

Au Danemark encore, une autre étude cas témoin a montré qu'une relation possible entre l'utilisation du téléphone mobile et la survenue de gliomes et méningiomes n'était pas envisageable. Cette étude a été réalisée entre septembre 2001 et août 2002. Ils ont recensé 252 gliomes, 175 méningiomes chez des patients âgés de 20 à 69 ans, ainsi que 822 témoins. Pour les gliomes de haut grade, l'usage du téléphone portable n'a été associé à un risque accru de cancer bien au contraire : OR = 0,58 (IC 95 % : 0,37-0,90). Pour les gliomes de bas grade et les méningiomes, les résultats obtenus ont été respectivement un OR de 1,08 (IC 95 % : 0,58-2,00) et un OR de 1,00 (IC 95 % : 0,54-1,28). Le risque estimé étant très proche de 1, les auteurs ont conclu que les ondes électromagnétiques n'induisaient aucun risque accru de ces tumeurs. (102)

Au Japon, l'usage des téléphones mobiles qui s'est rapidement développé a augmenté les interrogations du public au sujet de l'existence d'éventuels effets sur la santé provoqués par les ondes électromagnétiques. Plusieurs études de type cas témoins ont là encore été réalisées.

La première s'est instaurée dans le but une fois de plus d'évaluer le risque d'apparition de gliomes et de méningiomes associés à l'usage des téléphones mobiles. Cette étude a mobilisé 88 patients atteints de gliomes, 32 atteints de méningiomes, 102 cas d'adénomes de l'hypophyse et 683 témoins. Une fois de plus les auteurs ne mettent pas en évidence d'augmentation significative du risque de développer des tumeurs de type gliome ou méningiome liée à l'utilisation du téléphone mobile chez ces personnes.

La deuxième s'est mise en place dans l'agglomération de Tokyo chez des personnes âgées de 30 à 69 ans. Elle a eu pour objectif de mettre en évidence un lien entre l'utilisation des téléphones mobiles et l'apparition de neurinome de l'acoustique. Cette étude était composée d'une centaine de cas de neurinomes et de 339 témoins. Les résultats se suivent et se ressemblent, aucun d'entre eux ne montre qu'il y a une augmentation significative du risque de neurinome de l'acoustique : OR = 0,73 (IC 95 % : 0,43-1,23). (103)

Dans le cadre du programme Interphone, une étude cas témoin a été réalisée dans 5 pays européens portant sur 1209 cas de gliomes et 3299 témoins. Là encore, il s'agit d'établir un lien entre la survenue de gliomes et l'utilisation du téléphone mobile. Les

données relatives à l'usage des téléphones ont été obtenues par entretien : usage régulier, nombre d'utilisations, durée des communications,...

Les résultats n'ont montré aucune relation entre le risque de survenu de gliomes et le contact avec les ondes électromagnétiques. Au contraire les auteurs ont trouvé une diminution du risque de gliome chez les usagers réguliers de téléphones portables : OR = 0,76 (IC 95 % : 0-0,89). Ce type de résultat a également été apporté par d'autres études concluant donc qu'il n'existe pas de lien entre l'apparition de gliomes et l'usage de portables.

Cette diminution statistiquement significative montre les limites des études cas témoins en matière de risques sanitaires.

Actuellement, l'étude Interphone est la plus grande étude épidémiologique menée sur les rapports entre les tumeurs intracrâniennes et l'usage des téléphones mobiles. De plus, les résultats de cette étude demeurent les plus représentatifs de l'état actuel et les plus fiables car elle réunit le plus grand nombre d'utilisateurs cumulant au moins 10 années d'exposition. (104) (105) (106)

En mai 2010, le Groupe d'étude Interphone a publié une synthèse globale des résultats observés dans les études réalisées dans les 13 pays participants.

Par type de tumeurs étudiées, on obtient ces conclusions :

- le risque de gliome :

  Pour les usagers de téléphones à court terme (de 1 à 4,7 ans) : sur 7 études, seulement une montre un très faible accroissement du risque. Pour les autres études, on ne retrouve aucun rapport entre l'utilisation d'un mobile et la survenue d'un gliome avec un risque inférieur à l'unité.

  Pour les usagers ayant été en contact avec le téléphone durant une période à moyen terme (de 3,8 à 9 ans) : on obtient comme résultat un OR légèrement supérieur à l'unité après une période d'exposition inférieure à 6,5 ans, mais un OR inférieur à l'unité après une durée d'utilisation supérieure à 6,5 ans. Ainsi après analyse de ces résultats, les chercheurs estiment qu'il n'existe aucun rapport de cause à effet entre le risque de gliome et l'exposition aux ondes électromagnétiques émises par le téléphone portable.

Cependant, pour un usage durant une période à long terme supérieure à 10 ans, les données sont rares et les chercheurs suggèrent que les risques concernant les tumeurs à évolution lente ne peuvent être totalement écartés.

- le risque de méningiome :

En rassemblant toutes les études traitant de l'éventuel rapport entre les méningiomes et l'utilisation du mobile, les chercheurs sont parvenus à la conclusion qu'il n'existe aucune preuve cohérente d'un risque accru de méningiomes en fonction de l'exposition aux radiofréquences. Cette conclusion est partie du fait que toutes les études ont révélé des estimations de risque qui sont inférieures ou proche de l'unité.

Néanmoins, le problème avec ce type de cancer est que les méningiomes sont, à la différence des gliomes, des tumeurs à évolution très lente dont la latence est de 30 ans ou plus. Ainsi une partie des cas des études, dont le méningiome a été diagnostiqué dans les années 90, ont pu voir la survenue de leur maladie avant leur premier contact avec les téléphones portables. Donc ces résultats, en rapport avec les méningiomes, apportent une preuve moins forte en ce qui concerne l'absence d'association que les résultats négatifs correspondant aux gliomes.

- le risque de neurinome de l'acoustique :

Tous les résultats s'accordent à conclure qu'il n'y pas de lien entre l'utilisation du mobile et un risque accru de neurinome car les études ont estimé des risques inférieurs ou proche de l'unité, quelle que soit la période d'usage du mobile. De même, les études révèlent que l'usage du téléphone portable du même côté ne majore pas le risque de survenue de ce cancer dans cet endroit le plus exposé aux radiofréquences. Sauf une étude apporte un résultat différent indiquant un risque accru associé à l'usage ipsilatéral du téléphone durant au moins une période de 10 ans précédant le diagnostic : OR = 3,9 (IC 95 % : 1,6-9,5). Donc une fois de plus, on constate des résultats contradictoires et ne permettant pas d'exclure totalement un éventuel risque. De plus, ce type de cancer peut provoquer la surdité, ce qui amènerait les

patients à utiliser leurs mobiles du côté opposé à celui où la tumeur s'est déclarée.

Toutefois, là encore, comme le méningiome, le neurinome de l'acoustique est une tumeur à évolution lente dont le temps de latence est long. Ainsi les neurinomes sont souvent présents, durant plusieurs années précédant le diagnostic. Il est possible qu'une majeure partie de ces malades, ayant vu leurs tumeurs être diagnostiquées durant une période de 5 ans après leur première usage du mobile, aient déjà contracté cette maladie avant qu'ils ne débutent leur utilisation du téléphone portable.

Il faut donc chercher dans l'exposition intervenue plusieurs années précédant le diagnostic (au-delà de 10 ans) afin de pouvoir trouver des résultats potentiellement significatifs concernant l'étiologie du neurinome et d'exclure un quelconque lien de cause à effet. Mais ces données sont faibles et celles disponibles en grand nombre permettent uniquement d'écarter un risque d'accroissement de cette pathologie en relation avec l'utilisation du mobile dans les dix années qui ont précédé le diagnostic de la tumeur.

- le risque de tumeur de la glande salivaire :

  Une seule étude montre une élévation du risque de tumeur de la glande salivaire chez les gros utilisateurs de mobiles, mais cette étude a mobilisé très peu de cas et l'intervalle de confiance trouvé était très large.

Pour le reste des études, les auteurs mettent en avant l'absence de preuves crédibles d'un risque accru de ces tumeurs car les résultats révèlent des estimations légèrement inférieures à l'unité.

Donc la grande majorité des travaux menés dans le cadre de l'étude Interphone ne démontrent pas de rapport entre l'exposition aux ondes électromagnétiques et un risque accru de survenue de ces tumeurs. (107) (108) (109)

Cependant, quelques incertitudes demeurent. En effet, on a vu que des études de certains pays apportaient comme résultats une très légère augmentation de gliomes en relation avec l'exposition à des ondes électromagnétiques provenant de mobiles. De plus, concernant ces gliomes, le risque relatif d'avoir ce type de tumeurs semblait

plus élevé chez les sujets ayant déclaré une utilisation habituelle du téléphone du même côté que celui de leur tumeur. De même, d'autres études montrent une augmentation, à la limite de la signification, du risque de tumeurs du même côté de l'utilisation du téléphone portable et inversement une diminution significative du risque pour un usage du mobile du côté opposé à la survenue de la tumeur.

Concernant ce lien suggéré entre le côté habituel d'utilisation du mobile et la localisation de la tumeur, une étude finlandaise récente apporte une autre conclusion. Apres plusieurs expériences, cette étude démontre que la localisation de la tumeur n'était pas associée de façon cohérente avec la latéralité et la durée d'utilisation des téléphones mobiles.

En conclusion, les chercheurs émettent l'hypothèse que ces résultats montrant cette augmentation du risque ipsilatéral et cette diminution controlatérale seraient causés par des biais de mémorisation.

b) L'étude de Hardell

Il s'agit d'une méta-analyse réalisée en Suède par l'équipe du docteur Lennart Hardell. Cette méta-analyse est composée de 16 études cas témoins et de 2 études de cohorte. Ces études se consacrent à la relation entre le téléphone portable et les cancers au niveau de la tête au cours des douze dernières années.

Les résultats de ces études, publiés en 2008, ont été comparés à ceux d'Interphone.

Concernant les tumeurs de la glande salivaire, Hardell démontre qu'il n'y a aucune relation entre l'utilisation d'un mobile et la survenue de ces tumeurs, c'est d'ailleurs le seul résultat commun à ces deux grandes études.

En effet, pour les autres types de tumeurs, des divergences, certes sensibles, existent entre les travaux du groupe Hardell et ceux des chercheurs d'Interphone.

Concernant les gliomes, Interphone avait conclu à une absence de risque accru de ces tumeurs lié à l'usage d'un téléphone portable, alors que Hardell, pour une période d'usage de 5 ans, a obtenu comme résultat un OR de 1,6 (IC à 95 % : 1,1-2,4). De même, pour une utilisation d'au moins 10 ans depuis la première exposition, Hardell a obtenu comme résultat un OR de 3,6 (IC à 95 % : 1,7-7,5). Cela signifie donc que le risque d'avoir un gliome est au moins multiplié par 3 lorsqu'une personne

est soumise à un rayonnement électromagnétique depuis 10 ans. De ce fait, Hardell n'apporte pas la même conclusion qu'Interphone et prétend que le téléphone mobile augmente le risque de gliome. Ce risque est notamment multiplié par 2 pour les malades prétendant utiliser leur mobile du même côté que la survenue de la tumeur.

De même, s'agissant des méningiomes, les chercheurs d'Interphone écartent un risque accru de méningiomes lié à l'usage du mobile car ils obtiennent comme résultat un OR proche de l'unité voir inférieur. Alors que Hardell, pour une utilisation de plus de 10 ans, trouve un risque multiplié par 2 lors de l'usage du mobile avec un OR de 2,1 (IC à 95 % : 1,1-4,3).

Pour les neurinomes de l'acoustique, le constat est plus sévère car Hardell, dans deux études, prétend que l'usage du mobile augmente le risque par 4 de voir survenir ce type de cancer. (110) (111)

c) D'autres études épidémiologiques

D'autres études épidémiologiques ont vu le jour et leurs résultats ont été rapportés dans le tableau 3.

On constate donc que les résultats se rapprochent de ceux d'Interphone et de Hardell. (112)

Etudes	Tumeurs	Durée d'utilisation du mobile en années	OR	Intervalle de confiance à 95 %
Takebayashi	Gliome Gliome Gliome	2,2 – 4 ,6 4,7 – 6,5 >6 ,5	0,92 1,85 0,60	0,37 – 2,28 0,78 – 4,46 0,20 – 1,78
Shuz	Gliome Gliome Gliome	<5 >5 >10	0,92 1,31 0,95	0,86 – 1,27 0,77 – 2,26 0,74 – 1,23
Lonn	Gliome Gliome Gliome	<5 >5 >10	0,9 0,8 0,9	0,6 – 1,2 0,6 – 1,2 0,5 – 1,6
Lakhola	Gliome Gliome Gliome	0,5 – 4 5 – 9 >10	0,9 0,75 0,92	0,69 – 1,16 0,51 – 1,08 0,48 – 1,77
Klaeboe	Gliome Gliome Gliome	<2 2 – 5 >6	0,6 0,6 0,7	0,4 – 1,0 0,4 – 0,9 0,4 – 1,2
Inskip	Gliome Gliome Gliome	<0,5 >0,5 >3 >5	0,6 0,9 0,9 0,6	0,3 – 1,1 0,5 – 1,6 0,5 – 1,5 0,3 – 1,4
Christensen	Gliome de haut grade Gliome de haut grade Gliome de haut grade Gliome de bas grade Gliome de bas grade Gliome de bas grade	1 – 4 >5 >10 1 – 4 >5 >10	0,59 0,55 0,48 0,86 0,87 1,64	0,43 – 1,75 0,32 – 1,02 0,19 – 1,28 0,43 – 1,75 0,41 – 1,85 0,44 – 6,12
Hepworth	Gliome Gliome	<10 >10	0,93 1,11	0,77 – 1,13 0,7 – 1,79

Tableau 3 : Résultats des autres études épidémiologiques.

d) Les conclusions pouvant être tirées de ces études

Durant les 30 dernières années, de nombreuses études scientifiques concernant ce problème sanitaire, avec pour le moment des résultats débattus et contradictoires, ont vu le jour. Certaines personnes pensent que ces efforts de recherche sont encore insuffisants, cependant les progrès scientifiques acquis dans ce domaine sont loin d'être négligeables.

A ce jour, la communauté scientifique n'a pas démontré une relation réelle entre l'usage du téléphone mobile et un risque augmenté de survenue de tumeurs cérébrales. L'OMS a même conclu, suite à une analyse approfondie de la littérature scientifique de ces 30 dernières années, que l'exposition à des radiofréquences provenant des téléphones portables ou autres technologies ne met pas en danger la santé de la population française. (22)

Cependant, même si la grande majorité des études portant sur les champs électromagnétiques montrent une absence d'élévation du risque de cancer, certaines d'entre elles apportent des résultats divergents et accentuent l'inquiétude des français. Mais ces résultats contradictoires peuvent être issus de travaux présentant des failles pouvant provoquer des erreurs d'estimation du risque.

En effet les études Interphone et de Hardell peuvent faire l'objet de critiques.

Tout d'abord, pour obtenir des résultats scientifiquement interprétables, la mesure de l'exposition : la dosimétrie, est indispensable. Cette dosimétrie, par l'intermédiaire de la mesure du DAS, a pour mission d'évaluer la puissance des radiofréquences absorbée par un milieu biologique (une personne ou un animal). Or certaines études, révélant un effet néfaste imputable aux ondes électromagnétiques, ne font aucunement mention d'une quelconque dosimétrie.

Ensuite, les différents biais rencontrés en épidémiologie et dont nous avons vu la définition précédemment peuvent faire varier les résultats.

En effet l'étude Interphone fait l'objet de divers biais : concernant le biais de sélection, l'étude Interphone a exclu les enfants car l'échantillon était limité aux personnes âgées de 20 à 60 ans. Alors que nous savons que ce type de personnes utilise d'avantage les téléphones portables que les adultes.

Pour le biais de mémoire, celui-ci se retrouve essentiellement dans les études analysant le risque de survenue d'une tumeur du même côté que l'usage du mobile. En effet, certaines personnes sont convaincues que le téléphone est la cause de la maladie et vont facilement indiquer le même coté d'usage du mobile que celui où la tumeur est apparue. Au contraire, d'autres malades vont estimer que l'utilisation du mobile est dépourvue de tout lien avec la pathologie et ainsi ces personnes vont révéler, par erreur, se servir du mobile du côté opposé où la tumeur s'est développée.

Au sujet du biais d'information, la recherche de l'exposition aux téléphones mobiles est vraiment très délicate et il n'est pas évident d'avoir par un interrogatoire les précisions concernant l'exposition aux radiofréquences (fréquence, durée d'utilisation du téléphone mobile). En effet, l'étude avait retenu comme définition d'un usage régulier une personne utilisant le téléphone mobile au moins une fois par semaine durant six mois. Nous savons maintenant que cette définition est largement en deçà de la réalité. De ce fait, on pourrait avoir une sous-estimation de l'éventuel risque.

En plus des problèmes de biais, l'étude a écarté certaines tumeurs cérébrales notamment les tumeurs du neuroépithélium et les lymphomes du cerveau, alors que deux études britanniques ont révélé une augmentation de ces dernières chez des souris subissant un rayonnement électromagnétique. Par ailleurs, seulement six des treize pays participant à l'étude se sont penchés sur les citoyens vivant dans une zone rurale. Or, ces derniers sont également soumis aux radiofréquences au même titre que les citadins du fait de l'espacement des stations de base.

Concernant l'étude de Hardell, ce travail suscite quelques commentaires :

Parmi les 16 études cas témoins, seulement 11 d'entre elles mentionnent quelques données avec un recul égal ou supérieur à 10 ans.

Les résultats trouvés dans l'analyse principale de l'étude ne sont statistiquement pas significatifs car les intervalles de confiance ne sont pas en mesure de conclure à un lien entre l'utilisation du téléphone portable et la pathologie observée.

Le nombre de sujets ayant utilisé le mobile pendant une période supérieure à 5 ans est très faible. Compte tenu du faible effectif, ces études n'ont pas assez de force pour être démonstratives et représenter la réalité. (113) (114) (115)

Donc les études épidémiologiques sont délicates à mener car elles font face à une réelle difficulté de caractériser le rapport entre l'exposition aux ondes électromagnétiques et la longue durée de développement d'un éventuel cancer. Ce manque de recul concernant l'exposition aux radiofréquences ne permet pas d'émettre une réponse définitive. Malgré les progrès apportés dans ce domaine, il reste encore certaines lacunes concernant les effets des ondes électromagnétiques. Ainsi la recherche, par l'intermédiaire de mise en place d'études approfondies, doit se poursuivre pour les combler.

e) Les futures études épidémiologiques

- l'étude MOBI-KIDS :

  Cette étude, financée par l'Union européenne et coordonnée par le Centre de recherche en épidémiologie environnementale (CREAL), est une étude de type cas témoin multicentrique internationale se calquant sur le modèle de l'étude Interphone.

  Ce projet a été lancé en mai 2009 dans plusieurs pays dont l'Allemagne, l'Autriche, l'Espagne, la France, la Grèce, l'Italie, les Pays-Bas, l'Israël, l'Australie, le Canada et la Nouvelle-Zélande.

  Contrairement à l'étude Interphone qui ne prend pas en compte les jeunes personnes, l'étude MOBI-KIDS va donc se consacrer aux enfants et aux jeunes adultes de 10 à 24 ans. Pour se faire, cette étude a mobilisé 4000 jeunes. Dans le but d'analyser avec précision un éventuel risque de survenue de tumeur cérébrale lié à une exposition aux rayonnements électromagnétiques émis par les mobiles, les conditions d'utilisation des portables et la durée des appels passés par ces personnes vont être décortiquées.

  En effet, Martine Hours, coordinatrice scientifique de MOBI-KIDS, estime que « Le cerveau des enfants étant plus petit et leur crâne moins épais, les champs électromagnétiques pénètrent davantage et impactent une plus grande surface cérébrale. S'il y avait un risque, les effets apparaîtraient donc d'autant plus rapidement chez un enfant ». Compte tenu que les enfants, avec un système nerveux pas encore totalement mature, soient la cible principale

de cette étude, cette dernière va donc pouvoir clarifier la situation en ce qui concerne les possibles effets des radiofréquences sur le développement. (116) (117) (106)

- l'étude COSMOS :

  Il s'agit d'une étude de type cohorte qui fut lancée en mai 2009 dans 5 pays européens : le Royaume-Uni, le Danemark, la Suède, la Finlande et les Pays-Bas. L'objectif est d'étudier les possibles dangers pour la santé, notamment l'apparition de cancer, provoqués par l'utilisation du téléphone portable à long terme. En effet cette étude nous donne rendez-vous en 2040 car 250000 utilisateurs de téléphone portable vont être suivis dans ces cinq pays pendant 20 à 30 ans pour pallier au manque de recul des études actuelles et prendre en compte le long temps de latence des tumeurs cérébrales. Cette étude va donc suivre l'état de santé des personnes sur plusieurs dizaines d'années.

  Pour réaliser cette étude, les organismes de recherche ont contacté les opérateurs mobiles dans chaque pays concernés qui leur ont fourni une liste de clients pouvant potentiellement participer à l'étude. Les personnes sélectionnées souhaitant participer à l'étude ont rempli un questionnaire apportant des informations sur la manière d'utilisation du mobile, le but étant de détecter les gros utilisateurs de téléphones portables. Elles seront ensuite contactées environ une fois par an durant une première phase qui va s'étendre sur cinq ans.

  Même si elle se penchera essentiellement sur le risque d'augmentation de tumeurs cérébrales, elle évaluera aussi l'impact potentiel des radiofréquences sur le développement de certaines maladies neurologiques, comme par exemple les maladies d'Alzheimer ou de Parkinson.

  Pour obtenir des résultats totalement impartiaux, c'est le Gouvernement Britannique et les industriels du téléphone portable qui financent cette étude, et cette dernière est en plus coordonnée par un groupe indépendant pour ne pas voir les sponsors influencer la recherche. (118) (116) (106) (119)

Aujourd'hui, dans l'objectif d'alléger l'inquiétude des français, un gros effort de recherche s'est instauré afin d'étudier le lien entre l'exposition aux ondes

électromagnétiques et le cancer. Même si le rythme est moins soutenu qu'à la fin des années 90, le fait de démontrer si les radiofréquences sont susceptibles de posséder des effets cancérogènes reste une priorité. Dès à présent, aucun effet sanitaire néfaste imputable à une exposition aux ondes électromagnétiques n'a été démontré avec certitude. Cependant, la recherche va s'efforcer de déterminer si des effets moins évidents ne pourraient pas malgré tout résulter de l'exposition aux radiofréquences, et compte tenu du manque de recul, d'apporter une réponse concrète quant au risque de développement de cancer par l'intermédiaire d'étude épidémiologique prenant en compte le long temps de latence des tumeurs cérébrales.

f) Les différents rapports de la dernière décennie

En plus de l'étude Interphone et de Hardell, plusieurs rapports ont vu le jour après l'inquiétude grandissante à l'égard des téléphones portables.

Faisons le point sur ces différents rapports :

- Rapports d'expertise de l'Afsset :

  En 2003 et en 2005, l'Afsset a effectué un bilan scientifique des connaissances issues de publications internationales sur les éventuels risques sanitaires liés à la téléphonie mobile. L'Afsset a tiré comme conclusion de préconiser une attitude de précaution, prenant en compte l'existence d'un risque potentiel des téléphones portables.

  En octobre 2009, avec plus de recul l'Afsset (maintenant Anses) a réédité l'expérience de 2003 et 2005 en publiant une mise à jour des connaissances scientifiques sur les effets sanitaires et biologiques de la téléphonie mobile. Cette mise à jour prend en compte les nouvelles technologies en cours de développement. Le rapport indique que le niveau de preuve, concernant les études épidémiologiques, est insuffisant pour affirmer un lien entre l'utilisation régulière du téléphone mobile et une augmentation du risque de survenue de tumeurs intracrâniennes. De plus les études biologiques de ce rapport ont conclu à une absence d'effet cancérogène.

Ce rapport finit par conclure, suite à l'absence une fois de plus de réelles réponses définitives, la nécessité de poursuivre les études, tant épidémiologiques que sur les effets biologiques. (106) (120)

- Rapport du Mobile Telecommunications and Health Research Programme (MTHR) britannique :

  C'est en septembre 2007 que ce rapport fut rendu public. Ce rapport ne donne aucune réponse affirmant que l'exposition aux rayonnements des téléphones portables majore le risque de cancer du cerveau. Mais là encore les auteurs estiment que d'autres études sont nécessaires compte tenu des longs délais d'apparition des tumeurs malignes après l'événement qui les a provoquées. Il conclut donc qu'il est encore trop tôt pour affirmer avec certitude que le téléphone mobile peut être ou non à l'origine des cancers. (106) (121)

- Rapport de l'Office fédéral suisse de l'environnement (OFEV, anciennement OFEFP) :

  L'OFEV est le service fédéral suisse compétent en matière d'environnement évaluant régulièrement le risque sanitaire éventuellement provoqué par l'exposition aux rayonnements non ionisants. Nous l'avons vu précédemment, ce rapport corrobore la décision du CIRC de classer les rayonnements électromagnétiques de basse fréquence dans la catégorie «peut-être cancérogène pour l'homme » pour cause de leucémie accru chez les enfants exposés à la maison à des champs magnétiques basse fréquence.

  Quant aux champs électromagnétiques à plus haute fréquence utilisés dans la téléphonie mobile, ce rapport, suite à de nombreuses expériences, met l'accent sur des perturbations du sommeil chez l'homme, sur des problèmes de comportement chez certains animaux et des anomalies du métabolisme de certaines cellules en culture. Mais compte tenu du manque de connaissances, actuellement, il n'est pas aujourd'hui possible de déterminer dans quelle mesure ces effets représentent un risque pour la santé. (106) (122)

- Rapport du Programme de recherche allemand sur la téléphonie mobile (DMF) :

  Entre 2002 et 2008, ce rapport s'est penché sur les risques chroniques, notamment les risques de cancer, que pouvaient provoquer les téléphones mobiles. Il s'est basé essentiellement sur des études effectuées sur des modèles animaux.

  Aucune conclusion positive n'est sortie de ce rapport quant au lien entre les radiofréquences et l'augmentation de risque de cancer. (106)

- Rapport du comité scientifique des risques émergents de la Commission européenne :

  Ce sont des experts européens du SCENIHR (Scientific committee on newly identified health risks) qui sont à l'origine de ce rapport publié en 2007. Ce rapport reprend les seuils limites d'exposition fixés en 1998 par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP), et constate qu'en dessous de ces valeurs, aucun effet néfaste sur la santé n'a pu être démontré en ce qui concerne les rayonnements électromagnétiques. (106) (123) (124)

- Rapport de l'Académie nationale des sciences américaine : Conseil national de recherche (National Research Council) :

  Ce rapport publié en 2008 se concentre en priorité sur le développement de la recherche dans le domaine de la connaissance des risques. En effet, il cherche notamment à caractériser l'exposition des enfants et des femmes enceintes aux ondes électromagnétiques. De ce fait, le rapport prévoit une étude épidémiologique se consacrant aux enfants et aux femmes enceintes. (106) (124)

- Rapport du Centre de collaboration nationale en santé environnementale (NCCEH) :

  Au Canada en 2008, le NCCEH cherche à savoir si l'usage d'un téléphone mobile pourrait majorer le risque de tumeurs intracrâniennes. Ce rapport confirme, compte tenu des taux d'incidence faibles et stables voire déclinants

des cancers du cerveau au Canada, qu'il n'existe pas actuellement de preuves suffisantes pour affirmer un lien de cause à effet entre l'utilisation du téléphone mobile et les tumeurs intracrâniennes. (106) (124)

- Rapport Bioinitiative :

Ce rapport a été publié en août 2007 par le Bioinitiative Working Group. Contrairement aux autres rapports, il met en avant d'autres conclusions bien moins rassurantes et demeure le plus inquiétant en termes de nocivité des ondes électromagnétiques car les scientifiques démontrent de nombreux impacts négatifs des radiofréquences. En effet, ils rapportent des effets sur les gènes, des perturbations non réparables de l'ADN, des effets déclenchant des processus de mise en œuvre des protéines de stress, un risque accru de cancers cérébraux, des altérations du système immunitaire, des modifications du taux de production de la mélatonine et des processus de développement de la maladie d'Alzheimer.

De plus le rapport Bioinitiative a été validé et soutenu par la haute autorité européenne : l'Agence Européenne de l'Environnement (EAA), et également validé par le Parlement Européen par un vote le 04/09/2008.

Le groupe de travail Bioinitiative a réalisé un nouveau rapport en 2012. Ce rapport se base sur 1800 nouvelles études scientifiques. Il estime que les risques pour la santé que font encourir les radiofréquences se sont accentués depuis 2007. Ces risques se résument par un développement accru de gliomes, une perturbation du développement cérébral chez les jeunes enfants ou une altération du système de reproduction. (125) (126) (127) (42)

- Rapport irlandais Health effects of electromagnetic fields:

Il s'agit d'une synthèse des études épidémiologiques analysées en 2006, et mis à jour en 2007 par le Department of Communications Marine and Natural Resources. Ce rapport recherche également des réponses quant à l'impact des ondes électromagnétiques émises par les téléphones portables sur la santé des utilisateurs notamment la survenue de tumeurs cérébrales. Les conclusions restent les mêmes, en deçà des limites fixées par les

recommandations internationales, il n'y pas de majoration de risque de cancer suite à une exposition aux radiofréquences.

Néanmoins, compte tenu de l'usage récent des téléphones portables, les auteurs de ce rapport n'excluent pas d'éventuels effets néfastes sur la santé se profilant pour des durées d'exposition supérieures aux données actuelles et préconisent donc la mise en place d'importantes études de grande qualité dans le futur. (106) (128)

- Rapport de l'Institut national de santé publique du Québec :

  En mars 2011, cet institut s'est penché sur les antennes relais en effectuant un état des lieux sur ces dernières. Il en a conclu ce que nous avons dit précédemment : les antennes relais ne produisant qu'un faible niveau d'exposition aux radiofréquences, ainsi pour la population générale ou celle vivant à leur proximité, la probabilité d'un risque sur la santé provoqué par les antennes relais peut être considérée comme faible ou inexistante.

  Néanmoins, les spécialistes n'écartent pas les craintes de particuliers vivant à proximité d'antenne relais, certains de ces citoyens s'estiment victimes de réels problèmes de santé et accusent les ondes électromagnétiques d'être la cause de ces troubles. (106)

3) L'électro-hypersensibilité

Certaines personnes prétendent ne pas supporter les ondes électromagnétiques provoquant chez elles divers types de symptômes plus ou moins supportables. Ces personnes attribuent la cause de ces troubles aux technologies de type téléphonie mobile dont font partie, en plus des antennes relais et du téléphone portable, le Wi-Fi, le Wi Max, le Bluetooth,… Cette intolérance n'a donc pas le même impact chez toutes les personnes ; certaines d'entre elles déclarent être tellement affectées par de graves symptômes que leur seule solution est de modifier totalement leur mode de vie, alors que d'autres sont faiblement atteintes et réagissent en évitant ces champs électromagnétiques. Ce phénomène a conduit les personnes les plus touchées à vivre dans les rares régions non couvertes par le réseau mobile car la vie en ville s'est révélée insupportable. Ces personnes se décrivant elle-même sous le

nom d'électro-hypersensibles réclament la création de « zones blanches » : terrain déserté par tous champs électromagnétiques, dans le but de vivre en toute quiétude.

Cependant, seule la Suède reconnait l'hypersensibilité électromagnétique comme un handicap provoqué par l'environnement. En France, avant que l'Afsset ne définisse précisément son identité, elle était jusque-là ignorée par les pouvoirs publics. Pourtant ces derniers sont bien loin de soutenir les personnes sensibles, notamment en 2010 où ils ont ordonné l'expulsion de ces personnes de la forêt de Saoû dans la Drôme où ils avaient trouvé refuge. Ce fait met l'accent sur le désengagement de l'Etat dans ce syndrome.

Cette pathologie, reconnue et décrite par l'OMS, est en nette développement et peut être très handicapante ; elle provoque chez les personnes électro-hypersensibles plusieurs types de symptômes variant d'une personne à l'autre : maux de tête, vertiges, douleurs musculaires et articulaires, troubles de la concentration et de la mémoire, fatigue, stress, acouphènes, insomnie, irritabilité, brûlures, éruptions cutanées,…

Depuis la première description de ce phénomène en 1991, on ne peut qu'admettre que de plus en plus de personnes se plaignent de ces symptômes, ces derniers disparaissant comme par magie lors de l'éloignement des sources émettrices d'ondes électromagnétiques. A titre d'exemple, en Allemagne, la prévalence a fait un bond de 6 % en 2001 à 9 % en 2004. En Autriche, la prévalence a atteint le chiffre de 13 %.

Cependant le débat persiste sur ce sujet quant au lien entre l'exposition aux ondes électromagnétiques et les symptômes décrits par ces personnes. De ce fait, des études ont vu le jour dans le but de rechercher les causes de ces signes cliniques. En effet des causes de nature psychologiques ont déjà été évoquées pour définir l'étiologie de ce syndrome.

La plupart des études avaient comme protocole le fait d'exposer le sujet à un champ électromagnétique réel ou fictif. Il s'agissait d'études en double aveugle : le chercheur et le sujet ne savent pas si le champ est réel ou fictif. Le sujet doit ensuite révéler s'il a détecté ou non un champ et rapporter d'éventuels symptômes. Sur 31 études menées de cette manière, 24 ont démontré qu'il n'existait aucun lien entre

une exposition aux ondes électromagnétiques et la survenue de tels symptômes. En effet, certaines personnes ressentaient des symptômes aussi bien lors d'une exposition fictive que lors d'une exposition réelle, ou étaient dans l'incapacité de déceler la présence de champs électromagnétiques. Ce travail effectué en 2005, compilant les 31 autres études réalisées aux quatre coins du globe, apportait comme conclusion : « Les symptômes décrits par les personnes souffrant de « électro-hypersensibilité » peuvent être sévères et parfois handicapants. Cependant, il s'est avéré difficile de montrer dans des études en aveugle que l'exposition à des champs magnétiques pouvait déclencher ces symptômes. Ceci suggère que l'électro-hypersensibilité serait sans rapport avec la présence de champs électromagnétiques, bien que des recherches supplémentaires sur ce phénomène soient nécessaires. ». Une autre étude s'est déroulée au Japon dans le but de connaitre les types de champs électromagnétiques susceptibles de provoquer les symptômes retrouvés chez les personnes hypersensibles. Un questionnaire a été envoyé à 200 japonais, 75 personnes ont répondu dont 95% de femmes. La majorité des participants ont rapporté des symptômes tels que des maux de tête, une fatigue, des troubles de la mémoire ou de la concentration. La source principale de ces signes cliniques décrits est le téléphone portable. Même si cette étude peut faire penser à un lien entre ces symptômes et les ondes électromagnétiques, la plupart des participants souffraient aussi de problèmes économiques et sociaux (perte d'un emploi, niveau socio-économique bas,…).

L'OMS a également porté un intérêt à cette intolérance car sa directrice de 1998 à 2003, le docteur Gro Harlem Brundtland, se déclarait elle-même hypersensible aux rayonnements électromagnétiques. Pourtant en 2005, l'OMS a publié un aide-mémoire affirmant qu'il n'existe aucune « base scientifique permettant de relier les symptômes de l'hypersensibilité électromagnétique à une exposition aux champs électromagnétiques ». Elle n'écarte pas le fait que cette électro-hypersensibilité provienne d'un trouble psychiatrique ou d'un état d'anxiété. L'OMS en a conclu qu'il n'existait pas de preuve scientifique démontrant un rapport entre ce syndrome et l'exposition aux ondes électromagnétiques, malgré tout, quelle qu'en soit la cause, elle déclare qu'il s'agit d'un problème handicapant caractérisé par divers symptômes non spécifiques mais réels pouvant varier fortement d'un individu à l'autre.

De son côté, l'association ARTAC (Association pour la Recherche Thérapeutique Anti-Cancéreuse) a réalisé une étude sur cette intolérance aux rayonnements électromagnétiques. Il s'agit d'un organisme totalement indépendant composé de médecins, de chercheurs, de pharmaciens et de biologistes œuvrant au nom du Serment d'Hippocrate. De ce fait, l'ARTAC ne fait pas l'objet de pression politique ou économique. En 2007 l'ARTAC apporte une réponse contraire à celles révélées précédemment en déclarant qu'il ne s'agit pas de malades psychiatriques ou de simulateurs.

En septembre 2008, son président, le Professeur Dominique Belpomme, docteur en médecine, a instauré une consultation spécialisée sur ce syndrome à l'Hôpital européen Georges-Pompidou dans le but d'accueillir au mieux ces personnes hypersensibles. En un an, pas moins de 500 patients ont foulé l'hôpital Georges-Pompidou suite à la survenue de symptômes soit disant causés par des champs électromagnétiques. Ce chiffre laisse supposer l'existence d'un nombre assez important de personnes touchées en France.

En juillet 2011, aux Etats-Unis, une étude a apporté une réponse similaire à celle de l'ARTAC en affirmant que cette intolérance n'est pas de nature psychologique mais qu'un environnement électromagnétique peut provoquer les symptômes décrits précédemment.

Encore une fois, des doutes persistent quant à la véracité de la cause de ces symptômes. Les malades sont victimes, en plus de leurs symptômes, de l'incompréhension qui touche les personnes atteintes d'une pathologie mal connue. Aujourd'hui, les plus hautes autorités de l'état français et de l'Europe réclament que les souffrances de ces personnes soient entendues et prises en charge par des médecins informés de l'existence et des conséquences de cette pathologie, et demandent la création de « zones blanches » garantissant la protection des malades. (129) (130) (131) (132) (133) (42)

H) La politique générale de santé publique

Contrairement aux antennes relais, le gouvernement se base sur le principe de précaution concernant le téléphone portable. Il estime que ce dernier doit s'appliquer compte tenu du manque de recul scientifique et de la proximité de l'appareil avec le corps humain.

Du fait de sa position envers ce principe et de l'inquiétude en perpétuelle ascension des citoyens français, le gouvernement a fait de ce problème de santé publique une de ses priorités. De ce fait, de nombreux plans de grandes ampleurs vont être mis en place.

1) Les différentes actions du gouvernement

Le gouvernement a pris les choses en main dès décembre 2003 en mettant en place un plan d'action relatif à la téléphonie mobile. Il impose à l'Anses (ex Afsset) de veiller en permanence aux problèmes engendrés par les ondes électromagnétiques et d'effectuer une mise à jour régulière des connaissances.

Ce plan d'action repose sur trois principaux objectifs :

- soutenir la recherche et les études sur les effets sanitaires des rayonnements électromagnétiques,
- renforcer la réglementation afin de limiter l'exposition de la population,
- informer régulièrement les citoyens et les collectivités locales sur les niveaux d'exposition et les effets sanitaires des champs électromagnétiques.

En 2009 a débuté le second Plan national santé environnement. Ce plan devant s'achever en 2013, sa mission est de se pencher sur les ondes électromagnétiques en intensifiant la recherche sur les susceptibles problèmes engendrés par ces radiofréquences.

Le 29 juin 2010, le projet de loi Grenelle 2 a été adopté par le Sénat puis par l'Assemblée nationale. Ce projet propose plusieurs missions appliquées aux champs électromagnétiques dont le fait :

- de renforcer la réglementation et l'information du public sur les ondes électromagnétiques via l'Agence nationale des fréquences (ANFR) et l'Anses,
- d'interdire l'usage du téléphone portable dans les collèges, les écoles élémentaires et les écoles maternelles,
- de recenser les lieux du territoire où l'exposition aux ondes électromagnétiques est sensiblement supérieure à la moyenne nationale. Ce recensement sera effectué par l'ANFR au plus tard au 31 décembre 2012,
- d'augmenter la protection des travailleurs aux rayonnements électromagnétiques,
- d'obliger la vente de mobiles munis d'une oreillette, accompagnée de conseils d'utilisation de celle-ci. (106)

2) La Table ronde

La table ronde « Radiofréquences, santé, environnement » a été organisée en avril 2009 par le gouvernement. Sa mission première était de faire le point sur les connaissances scientifiques et les règlementations en vigueur concernant les technologies utilisant les radiofréquences (téléphonie mobile, antennes-relais). Ce plan a mobilisé des opérateurs et fabricants de téléphones mobiles, des élus et représentants des collectivités territoriales, des associations, des organisations syndicales et des personnalités compétentes dans le but de prévoir d'éventuelles mesures complémentaires en matière de recherche, d'étude scientifique, de réglementation, d'information du public ou d'engagement volontaire.

a) Ses principes

Il en ressort de cette Table ronde plusieurs mesures d'action publique, toutes fondées sur quatre principes :

- la transparence : celle-ci va s'appliquer aux informations à révéler aux riverains, aux utilisateurs, aux particuliers et aux professionnels de santé, ainsi qu'au financement dédié à la recherche et aux dispositifs de mesures.
- l'attention : les plaintes et les craintes des citoyens devront être entendues et prises en charge.

- la précaution : compte tenu de l'incertitude qui accompagne les risques liés aux téléphones portables et du manque de recul et de connaissance, le principe de précaution doit s'imposer.

- la concertation : toutes les informations concernant les ondes électromagnétiques doivent être connues de tous les acteurs de la Table ronde. Ces derniers doivent se réunir, délibérer, négocier ensemble afin de prendre les meilleurs décisions notamment au sujet de la régulation territoriale des installations.

b) Ses mesures

Donc ces mesures d'action publique sont au nombre de 10 et sont les suivantes :

1. Délivrer une information accessible au grand public : un guide traitant longuement les ondes électromagnétiques sera à disposition du public. Egalement un portail internet interministériel « Radiofréquences, santé, environnement » verra le jour afin que les citoyens puissent avoir accès aux documents abordant le sujet et au compte-rendu intégral des débats de la table ronde.

2. Déployer une information ciblée auprès des élus locaux et des professionnels de santé : des documents seront mis à disposition des professionnels de santé pour répondre aux inquiétudes des patients et prendre en charge les personnes hypersensibles. Les élus locaux auront aussi en main toutes les informations dans l'objectif de faire face aux attentes de leurs administrés.

3. Prendre en charge de façon adaptée les personnes hypersensibles : un protocole d'accueil sera réalisé à l'hôpital Cochin. La recherche sur les causes de ces troubles sera approfondie.

4. Une démarche de précaution pour les consommateurs et les salariés : l'usage des mobiles au cœur des écoles primaires sera interdit pour les enfants. L'achat d'un téléphone portable sera obligatoirement accompagné d'une notice d'information pour l'utilisation raisonnée de l'appareil. Les employeurs devront informer les employés, utilisant intensément le mobile pour des raisons professionnelles, sur le bon usage de l'appareil. Sur les points de

vente, un décret va imposer l'affichage du débit d'absorption spécifique (DAS) des mobiles de manière lisible. Cette action vient compléter celles recommandées par le projet de loi Grenelle 2 : l'obligation de fournir un kit mains libres à la vente d'un téléphone portable et l'interdiction de la publicité destinée aux jeunes de moins de 12 ans.

5. Un suivi raisonné des seuils d'exposition : réduire au maximum l'exposition aux radiofréquences sur les lieux de vie ou de travail par la mise en place de nouvelles techniques. Des expériences dont l'objectif est d'évaluer les possibles conséquences, suite à une modification des différents seuils, au niveau de la couverture territoriale ou de la qualité du service vont être mises en place.

6. Un dispositif de contrôle des expositions rénové : l'ANFR, après une concertation avec l'ensemble des parties, va rédiger et mettre en place un nouveau protocole de mesure plus accessible. Dans le but de stopper le financement direct des contrôles d'exposition, une possible redevance due par les opérateurs va être envisagée. L'ANFR va avoir de plus grandes responsabilités avec de plus grandes libertés : elle pourra en effet, à la demande des citoyens, des élus ou des opérateurs, effectuer tout type de contrôle. Ces contrôles seront soit réalisés par l'ANFR elle-même soit délégués à des organismes agréés.

7. Un droit au contrôle individuel des expositions : la création de bornes publiques de mesure en continu du champ électromagnétique sera étudiée. La mesure de l'exposition des citoyens au sein des lieux de vie ou de travail sera facilitée.

8. Des prérogatives renforcées pour les élus locaux : un dossier type, validé par l'ANFR et accessible au public, va être créé par les opérateurs et devra être transmis aux maires au moins 3 mois avant le début des travaux d'implantation d'une antenne. Ce nouveau dossier devra comporter la localisation précise des implantations, les mesures d'impact, la motivation et les dispositions d'intégration paysagère.

9. Un financement de la recherche rénové : un financement de la recherche par une redevance permettant de maintenir l'effort assumé par les opérateurs, tout en mettant un terme aux controverses liées au mode de financement actuel, sera mis en place.

10. Un suivi de la table ronde : ces actions vont être prolongées et appliquées par la mise en place d'un comité de suivi.

Un certain nombre de ces actions ont d'ores et déjà été mises en place.

En effet, sur les points de vente, le décret n°2010-1207 du 12 octobre 2010 impose l'affichage du DAS.

A l'été 2010, un protocole interministériel « radiofréquences, santé, environnement » a été mis en ligne (avec l'adresse suivante : www.radiofrequences.gouv.fr) pour informer les citoyens sur les ondes électromagnétiques.

Des études, dans le but de simuler et d'expérimenter sur le terrain une diminution de l'exposition, ont été réalisées dans diverses communes pilotes. Les résultats de ces études ont été remis début février 2011.

En 2011, la recherche sur les radiofréquences et sur les mesures de champs va être financée par l'Anses avec un fond public de 2 millions d'euros par an.

Les équipes de l'hôpital Cochin à Paris ont élaboré un protocole d'accueil et de prise en charge des personnes électro-hypersensibles. Depuis janvier 2012, ces personnes peuvent obtenir une prise en charge médicale spécifique et coordonnée. Les résultats de cette étude visant à assurer une meilleure prise en charge des personnes souffrantes sont attendus pour 2016. (134)

Cependant, actuellement, l'interdiction du téléphone portable dans les écoles primaires est du ressort du chef d'établissement.

Les bornes publiques de mesure en continu du champ électromagnétique sont pour le moment à l'étude.

I) Les recommandations appliquées aux téléphones portables

En 2007, le ministère de la santé a mis en place des mesures de précaution concernant l'usage du téléphone portable. Suite aux résultats de l'étude Interphone en 2010, ces mesures ont été rediffusées compte tenu de l'absence de certitude réelle quant à l'innocuité totale des téléphones mobiles.

Cette prévention va nous permettre de limiter notre exposition et de la rendre infime. Dans un premier temps, dans n'importe quelle situation, voici ces règles de bon usage de l'appareil nécessaires dans l'objectif de réduire notre exposition :

- Préconiser un usage modéré du téléphone portable ; les conversations prolongées ou inutiles devront être évitées. En effet, la communication téléphonique ne doit pas se poursuivre au-delà de 2 à 3 minutes avec un maximum de 4 à 5 contacts par jour.

- Dès que la situation le permet, préférer le téléphone filaire à la place du mobile.

- Privilégier un téléphone portable à faible DAS.

- Dans les zones de mauvaise réception (visible sur le mobile comportant 1 ou 2 barrettes), le téléphone portable va voir sa puissance s'élever, et par conséquence, notre exposition aux ondes électromagnétiques en fera de même. Donc éviter dès que possible l'usage du mobile dans ces zones où le signal est faible (cave, ascenseur, métro,…). De même, ne pas l'utiliser lors d'un trajet (voiture, train) pour contourner les changements de stations de base car le fait de chercher un nouveau relais augmente la puissance du mobile.

- Dans le but de minimiser l'exposition au niveau de la tête lors de la conversation et plus particulièrement au cours des premières secondes de la communication où les ondes sont les plus puissantes, préférer un kit oreillette afin de permettre un éloignement avec l'appareil (même modeste de 20 cm).

- Du fait des résultats des études démontrant un éventuel effet sur le développement, interdire au maximum l'usage du téléphone portable chez les enfants de moins de 15 ans dont la croissance et le développement de certains organes ne sont pas encore totalement achevés.

En juin 2011, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a conseillé de suivre ces mêmes mesures de prévention.

En 2005, l'Anses aussi se base sur une attitude de précaution et apporte d'autres recommandations quant à l'usage du téléphone portable :

- Inciter les parents à conseiller les enfants sur la meilleure utilisation du mobile afin de limiter au maximum l'exposition, ou souscrire des abonnements limitant les appels.
- Vérifier l'affichage du DAS au niveau des lieux de vente et dans les notices des mobiles.

Concernant le comportement des industriels, des distributeurs et des opérateurs, l'Anses amène d'autres recommandations dont certaines rejoignent les mesures apportées par la Table ronde :

- Adapter les notices d'emploi des mobiles aux adolescents.
- Relancer une campagne d'information du public ayant pour objectif de limiter les expositions aux ondes électromagnétiques.
- Les DAS devront être affichés sur les lieux de vente et dans les notices de téléphone portable.
- Les enfants ne doivent pas représenter une cible dans les campagnes de promotion de la téléphonie mobile.
- Compte tenu des doutes qui existent à propos d'éventuels effets des radiofréquences chez les enfants, abandonner la fabrication et la distribution d'appareils conçus pour ces personnes.
- Ordonner la délivrance d'un kit mains libres optimisé lors de la vente d'un téléphone mobile. (1) (42) (106) (135) (136)

J) Les moyens de protection contre ondes électromagnétiques

Sur le marché, il existe divers moyens de nous protéger des ondes électromagnétiques. On retrouve entre autres :

-des pochettes anti-radiations : il s'agit d'un simple étui pouvant être adapté à n'importe quel mobile. Les pochettes sont composées des matériaux classiques (coton, nylon, synthétique) sauf qu'elles sont également doublées d'un tissu de protection électromagnétique ayant comme caractéristique de stopper les radiofréquences provenant des téléphones mobiles. Ce tissu révolutionnaire est composé de nanofibres d'acier inoxydable et de lin, il est également utilisé pour les vêtements de travail des personnels exposés aux radiations.

Pour recevoir les appels, les pochettes disposent d'un premier compartiment où il faut loger le téléphone. La protection est conservée car ce compartiment est conçu spécialement avec une partie arrière doublée du tissu de protection que l'on place contre le corps.

La pochette comporte un deuxième compartiment, véritable cage de Faraday, car ce dernier est doublé sur chaque face. Le téléphone placé dans ce compartiment est comme éteint. Les ondes ne passent plus (selon les industriels, des tests montrent que les ondes sont bloquées à 99 %). Lorsque le mobile est dans ce compartiment, le téléphone n'a plus accès au réseau, ce point est repris par les industriels pour prouver l'efficacité du produit. Cependant, quelques rares cas de réception téléphonique ont été enregistrés à proximité immédiate d'une station de base.

Pour conserver une efficacité optimale, il faut éviter de laver et de froisser la pochette. (137) (42)

Figure 16 : Photographie d'une pochette anti-radiations d'après le site internet www.electromagnetiqueprotection.com.

Pour protéger l'habitat, on peut disposer :

-de peintures de blindage : il s'agit de peintures électro-conductrices assurant aussi bien la protection contre les ondes hautes fréquences (antennes relais) et les champs de très basses fréquences (courant EDF).

Ces peintures vont être composées de particules de métal qui vont apporter leur pouvoir de protection. Cependant pour éviter des problèmes de corrosion ou d'oxydation pouvant survenir après un certain temps, certaines de ces peintures utilisent exclusivement le carbone.

Les industriels se reposent sur des tests montrant qu'une seule couche peut stopper à 99 % les rayonnements hautes fréquences pour prouver l'efficacité de la peinture.

D'autres produits vont pouvoir être utilisés dans l'habitat pour protéger les citoyens de la pollution électromagnétique notamment des toiles, des rideaux, des baldaquins ou des foulards. Ces derniers vont être composés d'un tissu spécifique conférant la faculté d'arrêter les champs électromagnétiques. Le secret de ce tissu est basé sur la présence d'un fil breveté ; un fil métallique très mince apportant au tissu sa capacité de réfléchir les radiofréquences.

Figure 17 : Photographie du tissu anti-radiations d'après le site internet www.puremaison.fr

Pour l'entretien de ce tissu, la meilleure solution est le lavage à la main. Toutefois, un lavage en machine sans essorage et séchage à une température de maximum 30°C est possible. Le tissu doit toujours être nettoyé dans un sac de lavage et il faut éviter de le laver avec des objets comme des tirettes ou des boutons qui peuvent l'altérer. En ce qui concerne le séchage, il est préconisé de suspendre le tissu de manière à ce qu'il conserve au mieux sa forme. (138)

Pour contrer les possibles effets néfastes des ondes électromagnétiques. Il existe une technologie : le CMO (Oscillateur Magnétique de Compensation). Le principe est de réémettre, au niveau cellulaire, une onde de compensation ultra-faible contrant l'effet électromagnétique provoqué par le téléphone portable. Cette technologie n'absorbe ou ne modifie donc pas le rayonnement de ce dernier. Elle se présente comme une petite coque d'aluminium à fixer à la surface du mobile. (139)

Figure 18 : Représentation du mécanisme CMO d'après le site internet www.cem-vivant.com

En pharmacie, on peut trouver des patchs anti-ondes. Cela se présente sous la forme d'une petite plaquette de 25 millimètres de diamètre, souple et adhésive, devant se coller au dos du téléphone mobile. Composé d'antennes utilisant le

principe de compensation électromagnétique cité ci-dessus, ce patch protègerait l'usager du mobile dans un rayon de 3 mètres en rétablissant l'équilibre énergétique des utilisateurs. Ce dispositif protégerait des effets présumés néfastes des ondes électromagnétiques sans perturber la qualité de réception et d'émission des appels. (140) (141) (42)

Figure 19 : Photographie d'un patch anti-radiations d'après le site internet www.maisondugsm.com.

CONCLUSION

En France et même dans le monde, les ondes électromagnétiques sont au cœur d'un certain nombre de conversations et c'est surtout leur possible danger pour la santé qui fait de ces ondes un sujet plus que d'actualité.

A notre époque, pour des raisons de logistique évidente, on ne peut pas se permettre de supprimer la téléphonie mobile ou d'autres appareils électroniques fonctionnant par l'intermédiaire des radiofréquences. On est donc condamné à ce que les ondes électromagnétiques soient présentes dans la vie de tous les jours et dans le futur.

Mais c'est en particulier les téléphones mobiles qui ont suscité une énorme inquiétude de la part des citoyens, amenant ce problème à être pris au sérieux. De ce fait, de nombreuses études ont vu le jour mais suite aux résultats, il existe un véritable débat sur la possible nocivité des champs électromagnétiques. On assiste à un face à face opposant deux camps.

D'un côté, on a des réponses rassurantes et sécurisantes qui redonnent confiance aux citoyens. Il s'agit des conclusions apportées par la majorité des études traitant le sujet et par les agences nationales et internationales. En effet, la plupart des travaux provenant des études Interphone et des études de Hardell démontrent que les radiofréquences ne sont pas synonymes de danger. De son côté, l'OMS affirme, compte tenu des connaissances actuelles, qu'il n'existe pas de rapport de cause à effet entre les ondes électromagnétiques utilisées dans la téléphonie mobile et un risque pour la santé. Le rapport de l'Afsset reprend les mêmes conclusions. De plus, le 2 février 2009, le SCENIHR a retenu un avis conforme aux analyses de l'OMS et de l'Afsset en garantissant, le tout en s'appuyant sur les résultats de l'ensemble des études épidémiologiques, qu'une « augmentation du risque de cancer due à l'exposition aux radiofréquences est improbable chez l'homme. ».

De l'autre côté, des groupes de chercheurs internationaux ont publié des rapports fournissant des conclusions préoccupantes quant aux effets délétères des champs électromagnétiques sur la santé des citoyens. Ces effets néfastes ont été retrouvés

dans un certain nombre, même petit, de travaux provenant des études Interphone et de Hardell.

Néanmoins, à l'heure actuelle, on constate que la majorité des spécialistes admettent que les ondes électromagnétiques n'ont pas d'impact sur la santé des usagers, faisant fortement pencher la balance vers une absence de nocivité des radiofréquences. Mais ces spécialistes écartent un danger à court terme. Donc compte tenu du manque de recul et de travaux concernant des utilisations de téléphones mobiles sur une très longue période (supérieures au temps d'incubation des principales tumeurs cérébrales), ainsi que de certains points d'interrogations encore présents, l'application du principe de précaution me semble indispensable.

De ce fait, sans pour autant proscrire les ondes électromagnétiques, il faut s'en méfier. Il existe des gestes simples pour minimiser notre exposition et ainsi nous protéger : utiliser le mobile le moins fréquemment possible et ceci durant une courte période, appeler sans se déplacer et dans des lieux dotés d'un bon réseau, ne pas mettre le téléphone portable sur la table de chevet pendant la nuit, utiliser un kit mains libres, privilégier l'envoi de sms, attendre de mettre à son oreille le mobile tant que le correspondant n'a pas décroché,…

En adoptant ces recommandations, la santé des usagers s'en trouvera préservée. D'autant plus que les études relatives aux divers systèmes de l'organisme sont fondamentalement rassurantes et ne soulignent aucun effet néfaste cohérent. Cependant, concernant les enfants et les adolescents, j'ai constaté un certain nombre d'études révélant un effet négatif des ondes électromagnétiques sur le développement, donc une attention particulière chez ces personnes est primordiale, en attendant avec impatience les résultats de l'étude MOBI-KIDS.

De plus, les études concernant la reproduction ne permettent pas d'écarter avec certitude un éventuel risque sur ce système, un geste simple tel que d'éviter de mettre le portable dans la poche du pantalon permettrait de diminuer fortement la possibilité que ce système soit atteint.

Compte tenu du doute qui persiste quant à la possible nocivité des téléphones portables, les industriels profitent de la situation et commencent à mettre en place des moyens de protection censés diminuer la menace des radiofréquences sur la

santé des français, mais l'efficacité n'est pas clairement établie. Seul le futur nous permettra de savoir si ces produits ont réellement la capacité de nous protéger, ou si la téléphonie mobile va faire un bond en avant en matière de sécurité en réduisant son émission d'ondes électromagnétiques.

Je préconise donc une application totale du principe de précaution en respectant les diverses recommandations limitant notre exposition, surtout chez les enfants et les adolescents, plutôt que de faire confiance aux nouveaux produits mis sur le marché par les industriels.

Bibliographie

1. Anses, alimentation, environnemnt, travail. *ANSES.* [En ligne] www.afsset.fr.

2. **Harris, BENSON.** *Physique: ondes, optique et physique moderne.* s.l. : De Boeck, 1999. p. 34.

3. **Raymond, SERWAY.** *Optique et physique moderne.* s.l. : De Boeck, 1990. pp. 111-112.

4. **Pr Minkouo, TENG.** *L'électromagnétisme.* s.l. : Vernazobres-Grego, 2011. pp. 41-42.

5. Voyage vers l'infiniment petit. [En ligne] www.diffusion.ens.fr.

6. **Jardin des Sciences de l'Université de Strasbourg.** Science citoyen. *Science citoyen.* [En ligne] 2009. http://science-citoyen.u-strasbg.fr.

7. **Pr Minkouo, TENG.** *L'électromagnétisme.* s.l. : Vernazobres-Grego, 2011. pp. 42-43.

8. **Raymond, SERWAY.** *Optique et physique moderne.* s.l. : De boeck, 1990. p. 130.

9. La lumière. [En ligne] www.bioinformatics.org.

10. **Pr Eva, PEBAY-PEYROULA.** *Les ondes électromagnétiques.* s.l. : Université Joseph Fourier de Grenoble, 2010.

11. **Eugene, HECHT.** *Ondes, optique et physique moderne.* s.l. : De Boeck, 1996. pp. 53-55.

12. Dualité onde-corpuscule. [En ligne] www.lpm.u-nancy.fr.

13. **Joseph KANE, Morton STERNHEIM.** *Physique.* s.l. : Dunod, 2004. pp. 692-694.

14. **Pr Minkouo, TENG.** *L'électromagnétisme.* 2011. p. 44.

15. **Raymond, SERWAY.** *Optique et physique moderne.* s.l. : De Boeck, 1990. pp. 413-416.

16. Que sont les radiofréquences? *Portail radiofréquences-santé-environnement.* [En ligne] www.radiofrequences.gouv.fr.

17. Le spectre électromagnétique. *UVED.* [En ligne] 2008. http://e-cours.univ-paris1.fr.

18. **Eugene, HECHT.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 2006. p. 279.

19. **Harris, BENSON.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 1999. p. 362.

20. **Raymond, SERWAY.** *Optique et physique moderne.* s.l. : De Boeck, 1990. p. 133.

21. Rayonnements ionisants. *INRS.* [En ligne] www.inrs.fr.

22. OMS: que sont les champs électromagnétiques? *Organisation Mondiale de la Santé.* [En ligne] 2012. www.who.int.

23. **Raymond, SERWAY.** *Optique et physique moderne.* s.l. : De Boeck, 1990. p. 134.

24. **Eugene, HECHT.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 2006. pp. 282-283.

25. **Harris, BENSON.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 1999. p. 363.

26. **Raymond, SERWAY.** *Optique et physique moderne.* s.l. : De Boeck, 1990. p. 135.

27. **Eugene, HECHT.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 2006. pp. 283-284.

28. Qu'est ce que l'effet de serre? [En ligne] oliams.wordpress.com.

29. **Eugene, HECHT.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 2006. pp. 285-286.

30. —. *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 2006. pp. 287-288.

31. **Harris, BENSON.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 1999. pp. 364-365.

32. **Eugene, HECHT.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 2006. p. 288.

33. **Harris, BENSON.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 1999. p. 365.

34. **Pr Minkouo, TENG.** *L'électromagnétisme.* s.l. : Vernazobres-Grego, 2011. p. 89.

35. **Eugene, HECHT.** *Physique: électrcité et magnétisme.* s.l. : De Boeck, 2006. pp. 148-149.

36. Les aurores Boréales. [En ligne] http://bv.alloprof.qc.ca.

37. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 66-69.

38. Les radiofréquences au quotidien. *Un monde sans fil, les ondes radiofréquences.* [En ligne] www.tpebhl.sitew.com.

39. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. p. 30.

40. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. p. 69.

41. **Fondation santé et radiofréquences.** Téléphone sans fil-Wifi-bluetooth-DECT-UMTS-exposition. *Les ondes en questions.* [En ligne] 2005. www.lesondesenquestions.fr.

42. Notre exposition aux ondes électromagnétiques. *Ondelio.* [En ligne] http://ondelio.wordpress.com.

43. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 64-66.

44. Diagnostic ondes électromagnétiques. *Ondelio.* [En ligne] 2010. www.ondelio.com.

45. Diagnostic et mesure à domicile de la pollution due aux ondes électromagnétiques. *Ondes et confort.* [En ligne] 2011. www.ondes-confort.fr.

46. Mesures et conseils en environnement électromagnétiques et ondes. *CEM onde.* [En ligne] 2010. www.cem-onde.fr.

47. Ondes électromagnétiques: les plaintes se multiplient. *Lepoint.* [En ligne] 2008. www.lepoint.fr.

48. **Olivier, PERROT.** *Cours de rayonnement.* 2010-2011.

49. **Harris, BENSON.** *Physique: ondes, optique et physique moderne.* s.l. : De Boeck, 1999. pp. 92-96.

50. **Eugene, HECHT.** *Ondes, optique et physique moderne.* s.l. : De Boeck, 1996. pp. 60-61.

51. **Joseph KANE, Morton STERNHEIM.** *Physique.* s.l. : Dunod, 2004. pp. 593-595.

52. **Pr Minkouo, TENG.** *L'électromagnétisme.* 2011. pp. 49-50.

53. **Joseph KANE, Morton STERNHEIM.** *Physique.* s.l. : Dunod, 2004. p. 808.

54. **Robert ATLANI, Julien BONIN.** *Rayonnements ionisants: des principes physiques à la médecine nucléaire.* s.l. : Robert Atlani, 2007. pp. 247-248.

55. **Institut National du Cancer.** *Comprendre la radiothérapie.* s.l. : Cancerinfo, 2009. pp. 7-8.

56. —. *Comprendre la radiothérapie.* s.l. : Cancerinfo, 2009. pp. 10-11.

57. —. *Comprendre la radiothérapie.* s.l. : Cancerinfo, 2009. p. 35.

58. Les principes de la radiothérapie. *Institut de radioprtection et de sûreté nucléaire.* [En ligne] 2012. www.inrs.fr.

59. **Dirk, ADANG.** Rayonnement électromagnétique non-ionisant: état des lieux. [En ligne] 2011. www.camip.info.

60. Rayonnements non-ionisants. *CUSSTR.* [En ligne] 2009. www.cusstr.ch.

61. **ICNIRP.** *Guide pour l'établissement.* 2001.

62. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 25-27.

63. —. *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. p. 23.

64. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 80-82.

65. **Institut National du Cancer.** *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. p. 12.

66. **Rapport de Philippe MORENVILLIER, et de Patrice DEBRAY.** *Nouvelles technologies, santé, environnement.* 2009. p. 8.

67. **Raphaelle, HIAULT-SPITZER.** La jurisprudence sur les antennes relais. *Reglementation environnement.* [En ligne] 2011. www.reglementation-environnement.com.

68. **Association nationale pour la sécurité sanitaire dans les technologies sans fil.** Relai téléphonique: le conseil municipal persisite et signe-Varades. *Robin des toits.* [En ligne] http://www.robindestoits.org.

69. —. Procès gagné contre l'installation d'antennes-relais sur un Château d'eau-Lyon. *Robin des toits.* [En ligne] http://www.robindestoits.org.

70. **Rapport de Philippe MORENVILLIER, et de Patrice DEBRAY.** *Nouvelles technologies, santé, environnement.* 2009. p. 9.

71. Une progression constante de la téléphonie mobile. [En ligne] 2006. www.flux-touristiques.com.

72. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 30-34.

73. **Organisation Mondiale de la Santé.** *LE CIRC CLASSE LES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES DE RADIOFREQUENCES COMME « PEUT-ETRE CANCEROGENES POUR L'HOMME ».* 2011.

74. Les conséquences des ondes électromagnétiques sur l'homme. [En ligne] http://les-dangers-des-ondes-electromagnetiques.over-blog.com.

75. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 69-70.

76. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 105-107.

77. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 175-177.

78. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 211-213.

79. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 210-211.

80. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 213-215.

81. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 204-210.

82. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 194-200.

83. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 200-204.

84. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 165-170.

85. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 147-153.

86. —. *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 170-175.

87. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 70-71.

88. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 110-112.

89. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 49-52.

90. L'épidémiologie en pratique. *Fovea.* [En ligne] www.fovea-group.com.

91. **Docteur José, LABARERE.** *Interprétation d'une enquête épidémiologique : type d'enquête, notion de biais, causalité.* 2004.

92. **Hugues, DUFFAU.** *Nouveautés dans la Prise en Charge des Tumeurs cérébrales.*

93. **Jacques, PHILIPPON.** *Limites à la chirurgie des méningiomes.* 2011.

94. Collège des enseignants en neurologie. [En ligne] www.cen-neurologie.fr.

95. Neurinome de l'acoustique. *Le voyage du neurinome.* [En ligne] http://anworld.com.

96. Le neurinome de l'acoustique. *LA CHIRURGIE DU NEURINOME DE L'ACOUSTIQUE .* [En ligne] www.chu-poitiers.fr.

97. **Pr Adrien Christian, RIGHINI.** *Conduite à tenir devant une tumeur de la parotide chez l'adulte.* 2010.

98. Tumeurs de la parotide. [En ligne] http://liams.centerblog.net.

99. **Institut National du Cancer.** *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. p. 3.

100. —. *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. p. 5.

101. —. *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. pp. 5-6.

102. —. *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. pp. 6-7.

103. —. *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. pp. 7-8.

104. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 234-237.

105. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 52-57.

106. **Institut National du Cancer.** *Téléphone mobile et risques de cancer.* 2011.

107. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 57-64.

108. **Institut National du Cancer.** *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. pp. 8-9.

109. **Centre intrenationale de Recherche sur le Cancer.** *Publication de l'étude Interphone sur l'utilisation des téléphones portables et le risque de cancer du cerveau.* 2010.

110. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 237-238.

111. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 65-66.

112. **Courtney CORLE, Milan MAKALE, Santosh KESARI.** *Cell phone and glioma risk: a review of the evidence.* 2010.

113. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 234-236.

114. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 66-69.

115. **Institut National du Cancer.** *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. p. 11.

116. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. p. 243.

117. Press release 11.05.2009. *Mobi-kids.* [En ligne] 2009. www.mbkds.com.

118. La nocivité du mobile connue dans 30 ans selon les scientifiques. *Bio-protection.* [En ligne] www.bio-protection.com.

119. **Institut National du Cancer.** *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. p. 13.

120. —. *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. pp. 18-19.

121. —. *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. p. 20.

122. —. *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009.

123. —. *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. pp. 21-22.

124. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 317-322.

125. **Alain, GEST.** *Les incidences éventuelles sur la santé de la téléphonie mobile.* 2009. pp. 163-164.

126. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 322-324.

127. **Association nationale pour la sécurité sanitaire dans les technologies sans fil.** Le rapport Bioinitiative. *Robin des toits.* [En ligne] http://www.robindestoits.org.

128. **Institut National du Cancer.** *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. pp. 22-23.

129. **Yasuko KATO, Olle JOHANSSON.** *Reported functional impairments of electrohypersensitive Japanese:.* 2012.

130. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. pp. 282-308.

131. **Rapport de Philippe MORENVILLIER, et de Patrice DEBRAY.** *Nouvelles technologies, santé, environnement.* 2009. p. 10.

132. **Association nationale pour la sécurité sanitaire dans les technologies sans fil.** Electro-hypersensibilité aux ondes et champs électromagnétiques. *Robin des toits.* [En ligne] http://www.robindestoits.org.

133. Etude COCHIN-Communiqué de presse: Hypersensibilité électromagnétique. *Priartem.* [En ligne] 2012. http://www.priartem.fr.

134. **Roselyne BACHELOT, Nathalie KOSCIUSKO-MORIZET, Chantal JOUANNO.** *DIX ORIENTATIONS RETENUES PAR LE GOUVERNEMENT SUITE A LA TABLE RONDE.* 2009.

135. **Rapport de Philippe MORENVILLIER, et de Patrice DEBRAY.** *Nouvelles technologies, santé, environnement.* 2009. pp. 13-14.

136. **Institut National du Cancer.** *Téléphones mobiles et risque de cancer : revue bibliographique.* 2009. pp. 23-25.

137. Pochette anti-radiations. [En ligne] http://electromagnetiqueprotection.com/.

138. Baldaquin de protection des ondes hautes fréquences. *Pure maison.* [En ligne] www.puremaison.fr.

139. CMO: comment ca marche? *CEM-vivant.* [En ligne] www.cem-vivant.com.

140. Patch D'Faz contre ondes nocives. [En ligne] www.maisondugsm.com.

141. **Rapport de l'AFSSET.** *Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences.* 2009. p. 104.

[En ligne] : site internet.

Table des figures

Figure 1 : Orientation du champ électromagnétique dans l'espace. 4
Figure 2 : Représentation de la longueur d'onde d'une onde électromagnétique. 5
Figure 3 : Le spectre électromagnétique. 7
Figure 4 : Place de la lumière dans le spectre électromagnétique. 10
Figure 5 : Représentation du champ magnétique terrestre. 14
Figure 6: Représentation du réseau cellulaire en milieu rural et urbain. 15
Figure 7 : Schématisation du faisceau d'ondes émis par l'antenne relais. 17
Figure 8 : Pic d'exposition au contact d'une antenne relais. 18
Figure 9 : Exemple d'une mesure du champ électromagnétique à domicile. 24
Figure 10 : Interaction du rayonnement électromagnétique avec la matière. 26
Figure 11 : Evolution du marché de la téléphonie mobile. 38
Figure 12 : Elévation de la température lors de l'utilisation d'un téléphone portable. 41
Figure 13 : Représentation d'un méningiome par imagerie médicale. 62
Figure 14 : Schéma d'un neurinome de l'acoustique. 63
Figure 15 : Photographie montrant une tumeur de la parotide. 64
Figure 16 : Photographie d'une pochette anti-radiations. 93
Figure 17 : Photographie du tissu anti-radiations. 94
Figure 18 : Représentation du mécanisme CMO. 94
Figure 19 : Photographie d'un patch anti-radiations. 95

Table des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des différents types de rayonnements électromagnétiques et de leurs utilisations. 12
Tableau 2: Champs électromagnétiques mesurés à différentes distances d'une antenne relais..... 39
Tableau 3 : Résultats des autres études épidémiologiques. 72

FACULTE DE PHARMACIE **UNIVERSITE DE LORRAINE**

FACULTÉ de PHARMACIE
18 JUIN 2013
ARRIVÉE

DEMANDE D'IMPRIMATUR

Date de soutenance : 21 juin 2013

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

présenté par : Nicolas KUBAN

Sujet : LES ONDES ELECTROMAGNETIQUES : INNOCUITE OU REEL DANGER POUR LA SANTE ?

Jury :

Président : M. Stéphane GIBAUD
Directeur : M. Philippe MORENVILLIER
Juges : M. Christian LAMBERT des CILLEULS
Mme Virginie PICHON

Vu,

Nancy, le 22/05/2013

Le Président du Jury Directeur de Thèse

Vu et approuvé,

Nancy, le 23 mai 2013

Doyen de la Faculté de Pharmacie
de l'Université de Lorraine,

UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ DE PHARMACIE

Francine PAULUS

Vu,

Nancy, le 10. 6. 2013

Le Président de l'Université de Lorraine,

Université de Lorraine
Le Président

Pierre MUTZENHARDT

N° d'enregistrement : 6473

N° d'identification :

TITRE

Les ondes électromagnétiques : innocuité ou réel danger pour la santé ?

Thèse soutenue le 21 juin 2013

Par Nicolas KUBAN

RESUME

Les problèmes de santé que suscitent les ondes électromagnétiques ne cessent de prendre de l'ampleur. De ce fait, de nombreuses études sur ce sujet ont vu le jour. Bien que la plupart des conclusions apportées par ces travaux soient rassurantes, il n'en reste pas moins que le doute persiste. En effet, hormis un danger écarté pour un usage du téléphone portable à court terme, des travaux concernant une utilisation du mobile sur une très longue période manquent à l'appel. Ces réponses seront amenées par les futures études mises récemment en place (MOBI-KIDS, COSMOS). Donc compte tenu du manque de recul actuel, l'application du principe de précaution est indispensable.

MOTS CLES : ondes électromagnétiques, téléphones portables, danger, cancer, principe de précaution.

Directeur de thèse	Intitulé du laboratoire	Nature
Monsieur P. MORENVILLIER		Bibliographique ■

Thèmes

1 – Sciences fondamentales
2 – **Hygiène/Environnement**
3 – Médicament
4 – Alimentation – Nutrition
5 - Biologie
6 – Pratique professionnelle