

21 mars 2003

**Rapport à
l'Agence Française
de Sécurité Sanitaire Environnementale :**

Téléphonie mobile et santé

**Jean-Marie Aran, Jean-Charles Bolomey, Pierre Buser,
René de Seze, Martine Hours, Isabelle Lagroye, Bernard Veyret**

Table des matières

1	INTRODUCTION	4
1.1	MISSION DU GROUPE D'EXPERTS.....	4
1.2	MÉTHODE.....	5
1.3	AUDITION DES OPÉRATEURS DE TÉLÉPHONIE MOBILE.....	5
1.4	RAPPORTS FRANÇAIS RÉCENTS.....	5
1.5	RAPPELS SUR LA TÉLÉPHONIE MOBILE.....	6
1.5.1	<i>Introduction aux systèmes de communication sans fil</i>	6
1.5.2	<i>Fonctionnement de la téléphonie mobile</i>	9
1.5.3	<i>Téléphones mobiles et DAS</i>	12
1.5.4	<i>Téléphones mobiles et évolution des usages</i>	14
1.5.5	<i>À propos du rayonnement ELF des mobiles</i>	16
1.5.6	<i>Exposition aux stations de base, comparaison aux autres sources</i>	16
2	ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES EFFETS SANITAIRES	20
2.1	ÉPIDÉMIOLOGIE.....	20
2.1.1	<i>Préambule</i>	20
2.1.2	<i>Etudes sur les téléphones mobiles</i>	22
2.1.3	<i>Etudes sur les stations de base</i>	29
2.1.4	<i>Conclusion sur l'épidémiologie</i>	30
2.2	ÉTUDES EN LABORATOIRE.....	31
2.2.1	<i>Études humaines</i>	31
2.2.2	<i>Études animales</i>	34
2.2.3	<i>Études cellulaires</i>	45
2.2.4	<i>Mécanismes</i>	51
2.2.5	<i>Conclusion sur les études expérimentales</i>	52
2.3	EFFETS INDIRECTS.....	53
2.3.1	<i>Conduite automobile</i>	53
2.3.2	<i>Compatibilité électromagnétique (CEM)</i>	54
2.3.3	<i>Craintes générées par la téléphonie mobile</i>	54
3	PROGRAMMES DE RECHERCHE EN COURS	57
3.1	FRANCE.....	57
3.1.1	<i>Opérateurs de téléphonie mobile</i>	57
3.1.2	<i>Participations aux programmes internationaux</i>	57
3.1.3	<i>Etude " Interphone "</i>	57
3.1.4	<i>Comobio+</i>	58
3.2	EUROPE.....	58
3.2.1	<i>Grande-Bretagne</i>	58
3.2.2	<i>Italie</i>	58
3.2.3	<i>Finlande</i>	59
3.2.4	<i>Allemagne</i>	59
3.2.5	<i>Pays-Bas</i>	59
3.3	6 ^{ÈME} PCRD DE L'UNION EUROPÉENNE.....	59
3.4	MONDE.....	60
3.4.1	<i>Organisation Mondiale de la Santé</i>	60
3.4.2	<i>Etude Interphone</i>	60
3.4.3	<i>Japon</i>	61
3.4.4	<i>USA</i>	61
3.4.5	<i>Australie</i>	61
3.4.6	<i>Industrie</i>	61
3.5	CONCLUSION SUR L'ACTIVITÉ DE LA RECHERCHE DANS LE MONDE.....	62
4	ESTIMATION DU RISQUE PAR LE GROUPE D'EXPERTS	63

4.1	TÉLÉPHONES MOBILES	63
4.2	STATIONS DE BASE.....	64
5	GESTION DU RISQUE.....	66
5.1	ÉLABORATION DES LIMITES D'EXPOSITION.....	66
5.1.1	<i>Élaboration des valeurs limites par l'ICNIRP</i>	66
5.1.2	<i>Recommandation européenne</i>	67
5.2	MESURES GOUVERNEMENTALES	68
5.3	MESURES PRISES PAR LES OPÉRATEURS.....	68
5.4	SITUATION INTERNATIONALE.....	68
6	RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE	70
6.1	MESURES GOUVERNEMENTALES	70
6.2	PRIORITÉS DE RECHERCHE.....	70
6.2.1	<i>Priorités définies par l'OMS</i>	70
6.2.2	<i>Recommandations de recherche du groupe d'experts</i>	71
6.2.3	<i>Laboratoire dédié</i>	71
6.2.4	<i>Base de données actualisée</i>	72
6.3	COMMUNICATION.....	72
6.4	GESTION DES RISQUES.....	73
6.4.1	<i>Sites "sensibles"</i>	73
6.4.2	<i>Enfants</i>	75
6.4.3	<i>Principe de précaution</i>	75
7	GLOSSAIRE.....	77
8	RÉFÉRENCES	79
9	RÉSUMÉ.....	85
9.1	CONTEXTE DU TRAVAIL ET MISSION DU GROUPE.....	85
9.2	RAPPEL SUR LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET LA TÉLÉPHONIE MOBILE	85
9.3	MISE À JOUR DES CONNAISSANCES	86
9.4	PROGRAMMES DE RECHERCHE EN COURS	87
9.5	GESTION DU RISQUE.....	87
9.6	RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE.....	88
9.7	GESTION DES RISQUES.....	89
10	ANNEXE : CURRICULUM VITÆ DES MEMBRES DU GROUPE D'EXPERTS	90
11	ANNEXE : RECHERCHE FINANCÉE PAR LES OPÉRATEURS	92
11.1	RECHERCHES EN DOSIMÉTRIE	92
11.2	RECHERCHES BIOLOGIQUES ET MÉDICALES	93
11.3	SCIENCES HUMAINES.....	94
12	ANNEXE : MESURES GOUVERNEMENTALES.....	95
13	ANNEXE : MESURES PRISES PAR LES OPÉRATEURS DE TÉLÉPHONIE MOBILE	98
13.1	LA CONTRIBUTION À L'EFFORT DE RECHERCHE	98
13.2	LES TÉLÉPHONES MOBILES.....	98
13.3	LES ANTENNES-RELAIS	98
13.4	LES ACTIONS DES POUVOIRS PUBLICS	99
13.5	LE TÉLÉPHONE MOBILE ET LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE	100
13.6	DES CAMPAGNES ET DES OUTILS POUR INFORMER.....	100
13.7	LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS	101
14	ANNEXE : BASE DE DONNÉES DE L'OMS (AU 15 MARS 2003)	102

1 INTRODUCTION

1.1 Mission du groupe d'experts

Durant les deux dernières années, le développement de la téléphone mobile s'est poursuivi en France et le nombre de 38 millions d'utilisateurs est maintenant atteint. Au-delà du GSM (deuxième génération) va se développer la troisième génération (UMTS) avec de nouvelles antennes et de nouveaux terminaux. Devant la multiplication de ces sources d'ondes, des craintes ont été exprimées et des questions posées quant aux effets sanitaires éventuels.

En janvier 2001, le rapport d'un groupe d'experts a été remis à la Direction Générale de la Santé. Ce document, intitulé "les téléphones mobiles, leurs stations de base et la santé", donnait l'état des lieux des connaissances, faisait des recommandations de recherche et de gestion des risques. Deux ans après la remise de ce rapport, une mise à jour était nécessaire. Or, dans le cadre de la création de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale, l'une des premières missions attribuées à cette agence avait été l'émission d'un avis sur "téléphonie mobile et santé". C'est ainsi que l'AFSSE a rassemblé un groupe d'experts à qui elle a donné pour tâche de rédiger un rapport suivant la lettre de mission datée du 14 novembre 2002, qui indique que :

« Selon la loi n° 2001-624 du 17 juillet 2001 portant diverses dispositions d'ordre social, éducatif et culturel et notamment son article 19, point III relatif aux terminaux et installations radioélectriques de télécommunications, l'AFSSE doit procéder à une actualisation du rapport remis en février 2001 au Directeur Général de la Santé par le groupe d'experts "téléphonie mobile et santé". À cet effet, l'AFSSE souhaite réunir un groupe d'experts de divers horizons scientifiques [...] Ce groupe d'expert aura pour mission de faire le point sur :

1- les données scientifiques concernant les effets biologiques et sanitaires des radiofréquences (RF) associées à la téléphonie mobile qui ont été publiées depuis le précédent rapport, en vue d'apprécier dans quelle mesure ces données récentes modifient ou complètent les conclusions du rapport 2001, respectivement sur l'exposition aux champs des antennes des téléphones et sur l'exposition aux champs des stations relais.

2- les programmes d'étude et de recherche initiés en France et au plan international sur le sujet, dans le but de déterminer si des travaux majeurs sont en cours ou à paraître prochainement, qui pourraient conduire à prévoir un nouveau travail de synthèse au cours des années à venir, et dans le but d'identifier les domaines de recherche qui seraient insuffisamment couverts.

3- les diverses mesures mises en oeuvre en France depuis 2001, en réponse aux recommandations du rapport 2001, en vue de déterminer celles qui resteraient à mettre en oeuvre ; un point sur la situation des discussions scientifiques et administratives au niveau de l'Union Européenne est également nécessaire. »

La composition du groupe d'experts était la suivante :

Jean-Marie Aran (*directeur de recherche Inserm*)
Jean-Charles Bolomey (*professeur d'Université, Supélec*)
Pierre Buser (*membre de l'Académie des Sciences*)
Dr. René de Seze (*directeur de recherche Ineris*)
Dr. Martine Hours (*chargé de recherche Inrets/Université de Lyon*)
Isabelle Lagroye (*maître de conférences EPHE*)
Bernard Veyret (*directeur de recherche CNRS*)

Le curriculum vitæ de chacun des membres est donné en annexe 10. Le Dr. Gilles Dixsaut de l'AFSSE a participé aux réunions du groupe en tant que secrétaire scientifique.

1.2 Méthode

Le groupe d'experts s'est réuni pour la première fois le 21 novembre 2002, puis une ou deux fois par mois jusqu'à la remise du rapport le 21 mars 2003. Des comptes-rendus ont été communiqués aux membres du groupe d'experts après chaque réunion.

Les rapports récents nationaux ou étrangers ont été examinés, ainsi que toutes les publications parues depuis le 1^{er} janvier 2001 ou celles qui manquaient dans le rapport de 2001 qui comportait une liste d'environ 1000 références. Les publications incluses étaient issues de revues scientifiques à comité de lecture. Les références aux travaux réalisés dans le cadre du programme Comobio ont été faites à partir des documents fournis par les chercheurs. Quelques résumés du congrès de la BEMS¹ qui se tiendra à Hawaii en juin 2003 ont été inclus pour permettre de présenter des résultats très récents.

Selon les bonnes pratiques de l'analyse du risque, l'examen des données publiées a été systématiquement collectif. De plus, sur un sujet donné, c'est l'ensemble des données disponibles qui a été pris en compte, en privilégiant les résultats confirmés de manière indépendante par d'autres équipes. Ainsi, aucune conclusion n'est fondée sur un seul résultat.

Le temps imparti au groupe d'experts pour rédiger le rapport ayant été bref, on a choisi de privilégier :

- la mise à jour des connaissances scientifiques, et
- l'analyse des mesures prises par les pouvoirs publics et les opérateurs en réponse aux recommandations du rapport remis à la DGS en 2001.

1.3 Audition des opérateurs de téléphonie mobile

Conformément à la demande datée de novembre 2002 de la DGS à l'AFSSE, une audition des opérateurs a eu lieu le 10 janvier 2003. Cette réunion rassemblait le groupe d'experts ainsi que le délégué général de l'AFOM² et les responsables "santé" des trois opérateurs. Un compte-rendu intégral de cette réunion est disponible sur le site Internet de l'AFSSE.

À cette occasion, il a été demandé aux opérateurs de fournir des documents que l'on retrouvera en annexes de ce rapport (annexe 11 : financement de projets de recherche et annexe 13 : mesures prises en réponse aux recommandations du rapport de 2001).

1.4 Rapports français récents

La référence principale pour le présent rapport est celle du rapport remis en janvier 2001 à la DGS. Il est dénommé "rapport de 2001" ci-dessous. Ce rapport est disponible à la Documentation Française³ et sur le site Internet de la DGS⁴ en français et en anglais.

D'autres rapports récents ont été publiés en France depuis janvier 2001 :

- L'Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques (OPECST) a confié aux sénateurs J.-L. Lorrain et D. Raoul la rédaction d'un rapport "Téléphone mobile et santé". Au cours de l'élaboration de celui-ci, les rapporteurs ont auditionné de nombreuses personnalités, organisé un colloque au Sénat et participé à plusieurs débats. Ce rapport comprend quatre chapitres consacrés à l'exposition des données techniques, un chapitre consacré à la perception des risques liés à la téléphonie mobile et, enfin, de nombreuses recommandations dont certaines, très concrètes. Le texte complet en français ainsi qu'un résumé en anglais sont disponibles sur le site de l'OPECST⁵.
- En novembre 2002, a été publiée une étude intitulée "télécommunication et santé" réalisée par l'INERIS⁶ pour l'Autorité de Régulation des Télécommunications (ART)⁷. L'objectif était, comme

¹ Bioelectromagnetics Society

² Association Française des Opérateurs Mobiles

³ Janvier 2001, ISBN 2 11 004958-8

⁴ <http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/index.htm>

⁵ <http://www.senat.fr/opekst/rapports.html>

⁶ Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels

⁷ <http://www.art-telecom.fr/>

pour le présent rapport, d'analyser les résultats publiés depuis janvier 2001 "au regard des inquiétudes du public".

- La Commission de Sécurité des Consommateurs (CSC) a émis le 4 décembre 2002 son deuxième avis sur la téléphonie mobile, qui est disponible sur Internet¹. Il faisait suite à celui de septembre 1997.

1.5 Rappels sur la téléphonie mobile

1.5.1 Introduction aux systèmes de communication sans fil

Systemes sans fil et interrogations sur les effets sanitaires

Les systèmes de téléphonie mobile se développent rapidement en même temps que les interrogations persistantes qu'ils suscitent sur de possibles effets sur la santé. La mobilité, tant appréciée des utilisateurs, implique une exposition permanente aux ondes électromagnétiques, conséquence inéluctable de tout système sans fil (wireless). Depuis les tout premiers temps de la TSF (Télégraphie Sans Fil), l'un des avantages majeurs que l'on reconnaît aux ondes électromagnétiques est bien de pouvoir se propager sans support matériel. Un autre avantage de ces ondes est de se déplacer avec la vitesse de la lumière, et de pouvoir transmettre, à des cadences de plus en plus élevées, des informations propres à satisfaire la fringale inépuisable de communication des utilisateurs. Ces avantages ont été largement exploités avec la radio et la télévision. De son côté, le radar utilise efficacement ces mêmes propriétés pour de nombreuses applications tant civiles que militaires. Enfin - le sait-on ? - même la téléphonie conventionnelle (non mobile) met partiellement en œuvre des liaisons sans fil sur certains segments terrestres ou spatiaux. Toutefois, comparée à la téléphonie mobile, la téléphonie conventionnelle ne met en œuvre que des liaisons entre points fixes (relais terrestres ou satellites), à partir desquels les communications sont acheminées par fil vers des usagers fixes.

La téléphonie mobile ne constitue donc que le dernier acte, sans doute bien provisoire, d'un long cheminement mené sans discontinuer, depuis plus d'un siècle, en fonction de l'évolution de la technologie et de la demande socio-économique du moment. Il est légitime de se poser la question de savoir si, sur le plan sanitaire, la communication sans fil introduit une discontinuité remarquable dans la cohabitation entre humains et ondes.

Les questions posées de façon récurrente à propos de la téléphonie mobile sont principalement de deux ordres technique et biologique : à quel rayonnement est-on exposé et quel est le niveau d'exposition créant des effets néfastes reconnus sur la santé ? Alors que subsistent des interrogations à la seconde question, au contraire, il est possible d'éclaircir celles qui portent sur les aspects techniques. Cette situation résulte, notamment, des améliorations très significatives apportées aux techniques dosimétriques auxquelles on doit une bonne connaissance des niveaux d'exposition.

Le rapport prend la suite de nombreux autres publications et mises à jour traitant des effets sur la santé des téléphones mobiles. Il n'est donc pas question de reprendre ici une présentation exhaustive des différents systèmes déjà utilisés, ou susceptibles de l'être dans les prochaines années. On se contentera de les rappeler brièvement en soulignant leurs caractéristiques principales en termes d'exposition. Par ailleurs, il est apparu qu'il pouvait être utile de contribuer à la clarté des débats contradictoires et au rapprochement des points de vue par une rigueur accrue au niveau des définitions et des concepts utilisés. Le sujet est complexe, et il n'est pas toujours possible de s'en tenir à des analogies simples, souvent limitées et parfois même trompeuses. C'est pourquoi, quelques courts paragraphes ont été introduits pour pallier des imprécisions sources d'incompréhensions et de vaines discussions.

Les ondes électromagnétiques porteuses d'informations

Les ondes électromagnétiques sont largement utilisées pour le transport de l'information. Toutefois, deux remarques s'imposent : d'une part, une onde "pure", dont l'amplitude et la fréquence

¹ <http://www.securiteconso.org/>

sont constantes dans le temps, ne contient aucune information. D'autre part, l'information à transmettre (voix, image, son, texte, etc.), une fois convertie en signal électrique, occupe un spectre de fréquences trop basses pour être directement émise au moyen d'une antenne. La solution consiste donc à utiliser une onde dite porteuse, de fréquence suffisamment élevée, pour être efficacement rayonnée par une antenne de dimension raisonnable. Avant d'être émise, cette onde porteuse est "marquée" par l'information à transmettre. Cette opération de marquage porte le nom de "modulation". Un exemple élémentaire est celui de la transmission de signaux codés en Morse qui revient à émettre un signal porteur dont l'amplitude est découpée selon une séquence de points et de traits. Dans ce cas, il s'agit de modulation d'amplitude (AM), le marquage de l'onde porteuse s'effectuant sur son amplitude. Il s'agit également de modulation d'amplitude dans le cas des ondes émises par des radars à impulsions. Au contraire, les ondes modulées en fréquence (FM) ont une amplitude qui est constante.

La téléphonie mobile met en œuvre des techniques de modulation numérique complexes. De plus, la même fréquence porteuse est utilisée pour transmettre plusieurs messages indépendants qu'il convient de ne pas mélanger. Ainsi, la modulation proprement dite de chacun des messages est suivie d'un rassemblement des différents messages modulés véhiculés par la même porteuse. Il existe plusieurs modalités (protocoles d'accès) permettant d'y parvenir, qui fixent les conditions d'accès d'un utilisateur au réseau de transmission. On peut ainsi affecter à chaque utilisateur, soit un créneau temporel (AMRT¹), soit une bande de fréquence (AMRF²) soit encore un code particulier (AMRC³). À la réception, la séparation des différentes communications s'effectue, respectivement, dans le domaine temporel, fréquentiel ou à partir de codes.

Dans tous les cas, l'onde émise par un émetteur se présente sous la forme d'une porteuse modulée. Le spectre de la porteuse modulée se répartit de part et d'autre de la fréquence porteuse, sur une étendue qui dépend de l'information à transmettre, du système de modulation et du protocole d'accès. La largeur relative du spectre de la porteuse par rapport à la fréquence de la porteuse est en général de l'ordre de quelques pour cent. Les mécanismes de rayonnement et de propagation (interaction avec les obstacles, pénétration dans les tissus biologiques, etc.) dépendent de la fréquence porteuse et non pas du type de modulation.

La démodulation désigne l'opération inverse de la modulation permettant de récupérer l'information contenue dans une porteuse modulée. Dans une chaîne de réception, c'est l'opération la plus délicate en raison du bruit, capté par l'antenne ou engendré par la chaîne de réception, qui se superpose au signal utile. La démodulation nécessite l'utilisation d'un circuit "non-linéaire". L'aspect non-linéaire est absolument essentiel pour faire réapparaître, puis, isoler les différentes composantes spectrales de l'information. Pour que la démodulation s'effectue dans de bonnes conditions, il est impératif que le rapport signal à bruit avant démodulation soit supérieur à un certain seuil, qui dépend du type de modulation. C'est ce seuil qui permet de définir la sensibilité de la chaîne de réception.

En raison d'une possible analogie avec la réponse de systèmes biologiques aux ondes électromagnétiques (cf. 2.2.4), on retiendra que les effets non-linéaires, propres à effectuer une démodulation de la porteuse modulée, ne peuvent se manifester tant que l'amplitude du signal demeure inférieure au bruit propre de ce système. Il n'y a pas de raison avérée de penser que les tissus biologiques effectuent une démodulation des ondes électromagnétiques auxquels ils sont soumis. A titre d'exemple, ce n'est pas parce que l'on se trouve exposé à l'onde porteuse modulée d'un émetteur de radio AM que l'on perçoit l'information ayant servi à marquer la porteuse. On n'entend ni parole, ni musique... à moins que, circonstance tout à fait anecdotique mais déjà observée au voisinage d'émetteurs puissants, un mauvais plombage dentaire ne joue le rôle de démodulateur à l'intérieur de la boîte crânienne, le son démodulé étant transmis à l'oreille par l'intermédiaire de la mâchoire : un contact imparfait entre métaux de nature différente peut en effet se comporter comme une diode non linéaire à fort niveau de champ.

¹ Accès Multiple à Répartition dans le temps, en anglais Time Division Multiple Access (TDMA)

² Accès Multiple à Répartition en Fréquence, en anglais Frequency Division Multiple Access (FDMA)

³ Accès Multiple à Répartition par Code, en anglais Code Division Multiple Access (CDMA)

Antennes, milieux de propagation et exposition aux ondes électromagnétiques

Les antennes constituent un composant incontournable dans tout système sans fil. C'est en effet l'antenne qui assure l'interface entre un circuit électronique (émetteur ou récepteur) et le milieu de propagation. On peut aussi considérer que les antennes effectuent la conversion d'un signal électrique en onde électromagnétique (émission), ou vice-versa (réception). Une antenne apparaît ainsi comme un "connecteur" avec le milieu dans lequel le rayonnement se propage. Vis-à-vis des problèmes d'exposition en téléphonie mobile, les deux aspects de l'émission et de la réception sont à prendre en compte. Une personne, où qu'elle soit, est en effet soumise au rayonnement électromagnétique ambiant, notamment à celui des stations de base... ou à celui provenant des autres personnes de son voisinage utilisant leur téléphone mobile. L'utilisateur de téléphone mobile est, de plus, soumis au rayonnement de son propre mobile. Le niveau d'exposition est directement proportionnel à la puissance émise, et dépend, de façon très variable, de la distance à l'antenne d'émission, de la nature de cette antenne et des conditions de propagation.

Les antennes peuvent prendre des formes très différentes, principalement en fonction de la bande de fréquence à couvrir et de la puissance à émettre. Les récepteurs radio sont souvent munis d'antennes individuelles intégrées, telles des cadres pour les fréquences les plus basses (ondes longues et moyennes) ou des dipôles dépliables pour les fréquences plus élevées (bande FM). Pour les gammes de télévision, les antennes sont le plus souvent disposées à l'extérieur, sur les toits ou sur les balcons (antennes Yagi, paraboles), afin de mieux capter les ondes. Pour la radio et la télévision, les antennes ne fonctionnent qu'en régime de réception. Pour la téléphonie mobile, au contraire, les antennes fonctionnent simultanément à l'émission et à la réception, dans des bandes de fréquences disjointes, mais proches. On distinguera les antennes fixes des stations de base et les antennes des téléphones mobiles, puis on précisera, dans les paragraphes suivants, les niveaux d'exposition liés au fonctionnement de ces antennes.

La répartition spatiale du champ électromagnétique rayonné par une antenne est en général complexe. L'amplitude, mais aussi la structure de l'onde varient avec la distance. À grande distance néanmoins, une antenne, quelle que soit sa dimension, peut être assimilée à une source ponctuelle rayonnant de façon non uniforme dans les différentes directions. En espace libre, le champ décroît de façon inversement proportionnelle à la distance. Lorsqu'une direction de rayonnement est privilégiée, l'antenne est dite directive. En général, une antenne est d'autant plus directive que ses dimensions sont grandes devant la longueur d'onde. Le gain d'une antenne mesure, par comparaison à une antenne isotrope, son aptitude à concentrer la puissance qu'elle émet dans la direction de rayonnement. Le "champ proche" d'une antenne revêt une structure beaucoup plus compliquée. Par rapport au champ rayonné à grande distance en espace libre, le champ proche décroît très rapidement, dans le cas des petites antennes, et au contraire moins rapidement, dans le cas des grandes antennes. Il est donc utile de connaître la distance à laquelle on passe du champ proche au "champ lointain".

En téléphonie mobile, les milieux de propagation sont variés. Loin de se propager en espace libre "dégagé", les ondes se réfléchissent et se diffractent sur les obstacles rencontrés. Ces phénomènes permettent des liaisons indirectes (sans vue directe entre antenne et téléphone mobile) et s'accompagnent d'une atténuation du champ électromagnétique. C'est particulièrement le cas en milieu urbain (immeubles) ou en intérieur (parois, murs, mobilier). Elles passent à travers les ouvertures (fenêtres) et sont partiellement ou totalement absorbées par les murs, les tissus biologiques, etc. En règle générale, plus la fréquence augmente et plus l'absorption par les milieux traversés est élevée. Cette propriété s'applique donc plus particulièrement aux milieux biologiques. La profondeur sur laquelle les ondes pénètrent dans ces milieux est d'autant plus faible que la fréquence est plus élevée. À titre d'exemple, la pénétration des ondes dans les tissus est plus importante dans le cas des ondes FM, de fréquence porteuse voisine de 100 MHz, que dans celui des ondes de téléphonie GSM dont la fréquence porteuse se situe au voisinage de 1 GHz. Cette propriété est prise en compte dans les valeurs limites d'exposition.

1.5.2 Fonctionnement de la téléphonie mobile

Les téléphones mobiles fonctionnent selon le principe cellulaire. Le territoire est divisé en cellules desservies chacune par un émetteur-récepteur fixe appelé station de base. La dimension des cellules varie typiquement de quelques centaines de mètres, en milieu urbain, à quelques kilomètres en milieu rural. Chaque cellule se voit allouer des canaux à répartir dans une bande de fréquence donnée. La station de base qui lui est affectée assure la communication avec les mobiles situés dans la cellule au moyen d'une antenne. Il s'établit entre la station de base et le mobile une liaison bilatérale, en émission et en réception. Le contrôle du bilan de puissance est assuré par la station de base qui, selon les conditions de liaison et de trafic, ajuste au mieux la puissance du mobile et celle de la station de base. Le contrôle s'effectue dans le sens d'une minimisation de la puissance émise par le mobile, ce qui a pour effet d'accroître son autonomie, en ménageant sa batterie, et de réduire la puissance dissipée dans la tête de l'utilisateur.

Les systèmes de téléphonie diffèrent principalement par leur protocole d'accès et leur bande de fréquence. Le Tableau 1.5.2 résume les principales caractéristiques des systèmes actuellement déployés et de ceux qui le seront prochainement. On a plus particulièrement indiqué les paramètres caractéristiques de la porteuse modulée qui ont un impact sur les conditions d'exposition, à savoir : la fréquence, le mode d'accès, l'éventuelle modulation d'enveloppe, les puissances des stations de base et des mobiles.

Système	Bande de fréquence	Protocole d'accès	Modulation d'enveloppe	Puissance Mobile	Puissance Station de base
Tetrapol	400 MHz	AMRF (FDMA)	NON		
Tetra	400 MHz	AMRT (TDMA)	OUI	1-3 W	10-40 W
GSM900 (2G) GPRS (2,5G) EDGE	900 MHz	AMRF/AMRT (TDMA)	OUI	2W crête (250mW moyen)	10 à 20W
GSM 1800 (2,5G) GPRS EDGE	1800 MHz	AMRT (TDMA)	OUI	1 W crête (125mW moyen)	10 à 20W
UMTS (3G)	2 GHz	AMRC (WCDMA)	NON (°)	<200mW	10 à 20W

Tableau 1.5.2 : Principales caractéristiques des systèmes de communications mobiles

(°) Le contrôle de puissance peut induire une variation de puissance rapide toutes les 0,66 ms.

En Europe, les systèmes de 2^{ème} génération (2G) utilisés sont les suivants : le Tetrapol et le Tetra pour les réseaux radioélectriques indépendants, le GSM 900 et le GSM 1800 pour les réseaux de téléphonie publique. Intégrés au GSM, le système GPRS, déjà déployé, et le système EDGE, considéré comme une évolution possible du GPRS, constituent la génération dite 2,5. Cette génération doit permettre d'obtenir des débits compris entre 40 kb/s et 100 kb/s. Ces systèmes seront complétés par l'UMTS (3G) qui permettra d'atteindre des débits variables entre 384 kb/s et 2 Mb/s, nécessaires pour les applications multimédia.

À côté de la téléphonie mobile se développent, de façon complémentaire, divers services et systèmes sans fil à plus faible puissance, tels Bluetooth (à 2,45 GHz) et les réseaux locaux sans fil (WiFi : IEEE 802.11b et 802.11g à 2,45 GHz, ou encore IEEE 802.11a ou Hyperlan II autour de 5 GHz). Ces systèmes sont destinés aux liaisons à courte distance et à débit élevé.

Modalités d'accès

Les conditions d'exposition et, plus particulièrement, les caractéristiques de la porteuse modulée dépendent beaucoup des protocoles d'accès. On distinguera les trois principales modalités d'accès, à savoir, l'AMRF, l'AMRT et l'AMRC.

- Accès Multiple par Répartition de Fréquence (AMRF).

L'AMRF affecte un canal de transmission, en voie unidirectionnelle "montante" vers la station de base ou "descendante" vers le téléphone mobile. Ce protocole d'accès implique l'usage de deux fréquences. On dit qu'il y a un "duplex fréquentiel". Le GSM combine l'AMRF à duplex fréquentiel (avec un écart duplex de 45 MHz en GSM 900 et de 95 MHz en GSM 1800) et l'AMRT.

- Accès Multiple par Répartition de Temps (AMRT).

La répartition temporelle est utilisée pour les systèmes GSM 900 et 1800. Pour le mobile, il convient de distinguer plusieurs régimes de fonctionnement :

- Régime de repos éteint : le mobile est éteint. Il n'émet aucun signal.

- Régime de repos allumé (veille) : la station de base procède périodiquement à une localisation du mobile, toutes les quelques minutes. En réponse, le mobile émet quelques impulsions à niveau de puissance maximum.

- Régime permanent fixe : c'est le cas d'une conversation normale. Le mobile émet une série ou "train" d'impulsions d'une durée de 0,577 millisecondes chacune, avec une fréquence de répétition de 217 Hz.

- Régime permanent mobile : lorsque la communication est établie et que le mobile se déplace, l'amplitude du train d'impulsions varie sous l'effet du contrôle par la station de base. Les variations de la puissance émise par le téléphone mobile se font dans un rapport de 1 à 1000. Le passage d'une cellule à l'autre, c'est-à-dire le changement de cellule, s'accompagne également d'un ajustement de la puissance du mobile.

- Régimes transitoires : de tels régimes existent en phase d'appel (numérotation). La puissance émise par le mobile est initialement maximale puis réduite progressivement au niveau minimum permettant d'obtenir une bonne qualité de liaison.

L'existence de ces différents régimes montre bien la grande variabilité des signaux émis par un mobile. Aussi, dans l'interprétation des résultats d'expérimentations utilisant des mobiles comme source d'exposition, convient-il de bien préciser et contrôler le niveau de puissance et le régime temporel dans lesquels ces expérimentations ont été menées.

Le fonctionnement de la station de base diffère sensiblement de celui des mobiles. Une même station de base dispose généralement de plusieurs canaux d'une largeur de 200 kHz lui permettant de "traiter" plusieurs utilisateurs. Un premier canal correspond à la balise (BCCH) qui est utilisée à des fins d'identification et de contrôle des mobiles. Ce premier canal ne fonctionne pas en mode "pulsé", toutes les tranches d'utilisation étant utilisées, éventuellement de façon artificielle. L'enveloppe de la porteuse du canal de balise est donc constante. D'autres canaux, de même largeur que celui de la balise, sont affectés au trafic (TCH). Le nombre de ces canaux, ainsi que le remplissage de ces canaux dépend du nombre d'utilisateurs. Lorsqu'un canal est incomplet (moins de 8 utilisateurs) il apparaît une modulation d'enveloppe de la porteuse modulée. Au contraire, un canal complet se présentera comme le canal de balise. On peut ainsi dire que, d'une certaine manière, les émissions d'une station de base sont moins régulièrement "pulsées" que celles des mobiles. Par contre, elles présentent bien une modulation d'enveloppe dans les canaux de trafic.

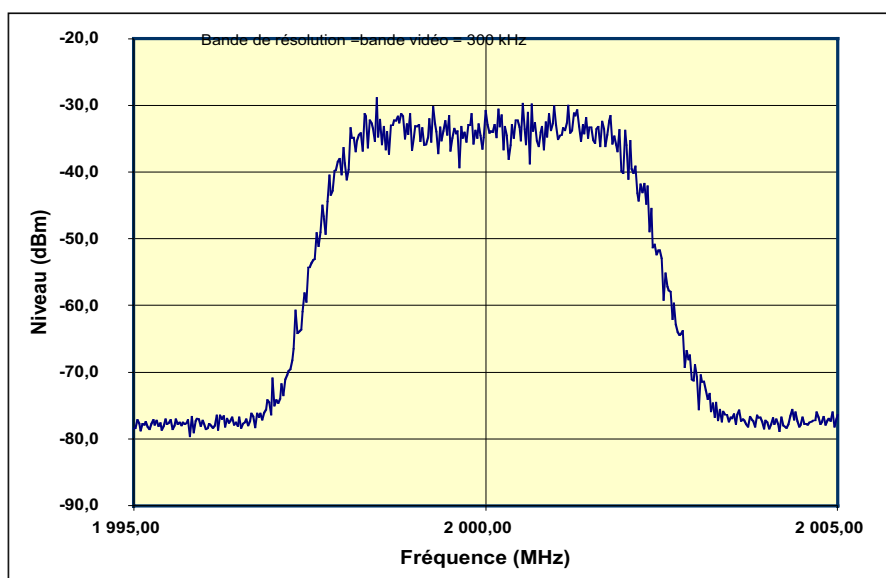


Figure 1.5.2bis : Exemple de spectre de signal UMTS, protocole AMRC

La Figure 1.5.2bis donne un exemple de spectre de signal UMTS correspondant à un protocole d'accès AMRC. Par comparaison à la Figure 1.5.2 relative au protocole AMRT, on remarque un adoucissement des variations de spectre et l'absence attendue de caractère "pulsé". Dans les deux cas pourtant, il s'agit de modulation numérique. Ceci démontre que le caractère "pulsé" n'est pas lié, comme on pourrait le penser, à la nature numérique de la modulation, mais, au contraire, principalement au protocole d'accès.

1.5.3 Téléphones mobiles et DAS

Débit d'Absorption Spécifique (DAS)

Pour les téléphones mobiles, c'est le Débit d'Absorption Spécifique (DAS) qui est utilisé pour quantifier le niveau d'exposition de l'utilisateur, et plus particulièrement de sa tête. Le DAS représente la densité de puissance dissipée par unité de masse de tissu. La recommandation européenne qui sert de référence stipule que la valeur maximale du DAS intégré dans 10 g de tissu ne doit pas excéder 2 W/kg. La norme américaine fixe la valeur maximale du DAS intégré dans 1 g de tissu à 1,6 W/kg.

La valeur du DAS d'un mobile dépend en grande partie de son antenne qui est elle-même fortement couplée au corps du téléphone mobile, parfois même y est intégrée, mais aussi à la main et à la tête de l'utilisateur. En fait, le téléphone mobile, la main et la tête constituent une antenne complexe équivalente dont les propriétés sont très sensiblement différentes de celles du mobile seul. Les technologies d'antennes les plus courantes sont le monopôle court, l'hélice, l'antenne intégrée dans le corps du boîtier ou dans une partie du couvercle du boîtier (modèles déployables). En général, les deux dernières solutions sont les meilleures pour diminuer le DAS, principalement en raison de l'éloignement de l'antenne par rapport à la tête.

Au cours des trois dernières années, on a observé une modeste diminution des valeurs maximales de DAS. Actuellement, le DAS des téléphones mobiles du commerce s'échelonne typiquement entre 0,15 W/kg et 0,7 W/kg. Des prélèvements périodiques sur la chaîne de fabrication permettent de contrôler que cette valeur est bien vérifiée d'un téléphone mobile à l'autre pour un modèle donné.

Mesures de DAS

Au cours des trois dernières années, on a pu assister à une amélioration de la procédure normative du protocole de mesure de DAS, notamment grâce aux travaux menés dans le cadre du programme Comobio du RNRT. L'amélioration porte, tout à la fois, *i)* sur les appareils de mesure (sondes, détecteurs, fantôme anatomique), *ii)* sur le contrôle des paramètres expérimentaux (calibrage de sondes, étalonnage des liquides diélectriques) et *iii)* sur une recherche plus exhaustive du pire-cas d'exposition (3 fréquences de test, 2 positions). Les mesures sont faites selon la norme CENELEC avec une précision de 30%.

Efficacité de rayonnement et sensibilité

Les mesures normatives portent sur le DAS. Toutefois, un téléphone mobile qui présente un faible DAS n'est pas nécessairement un "bon" téléphone qui "accroche" le réseau. En effet, un téléphone qui n'émettrait pas aurait un DAS excellent... mais ne serait d'aucune utilité, car incapable d'établir une liaison avec une quelconque station de base. Aussi, la qualité d'un téléphone mobile peut-elle avantageusement faire intervenir des grandeurs telles que :

- l'efficacité de rayonnement émis (rapport entre la puissance effectivement rayonnée vers la station de base à la puissance totale émise par le mobile),
- la sensibilité (niveau minimum de puissance captée par le mobile permettant d'assurer une liaison de qualité acceptable avec la station de base).

Ces deux grandeurs, efficacité de rayonnement et sensibilité, peuvent être mesurées, soit en chambre anéchoïde, soit en chambre réverbérante, selon des procédures expérimentales dont la validation est en cours de discussion au sein de l'action européenne COST 273. La systématisation de ces mesures permettra de compléter utilement les mesures de DAS.

Les téléphones mobiles utilisent des technologies de circuits électroniques très élaborées, ce qui permet d'obtenir des sensibilités élevées et, par voie de conséquence, d'utiliser des puissances réduites. À titre indicatif, la sensibilité d'un mobile varie, selon les modèles, entre -90 dBm et -104 dBm¹. Par comparaison, la sensibilité d'un récepteur radio FM est de -87 dBm, soit proche de celle d'un téléphone mobile, tandis que celle d'un récepteur TV (-67 dBm) est nettement moins bonne.

On rappelle que la puissance d'émission du téléphone mobile est maximale quand la liaison est mauvaise et donc quand le nombre de barrettes affichées sur l'écran est faible.

Essais de mobiles sur des volontaires

On a maintenant une meilleure connaissance de l'impact qu'a l'utilisateur sur l'efficacité de rayonnement de son téléphone mobile. Alors que l'on ne disposait que de résultats de simulations numériques, au demeurant médiocrement corrélées aux mesures sur fantômes, des mesures ont été effectuées sur un échantillon de 15 utilisateurs volontaires et 5 modèles de téléphones mobiles (Boyle, 2003). Les résultats des mesures dans différentes configurations ont permis d'estimer les effets de la main, de la tête et du corps entier : téléphone seul, téléphone tenu par la main loin de la tête ou près de la tête, téléphone au voisinage de la tête avec un support sans pertes, etc. De plus, les contributions relatives de la tête, de la main et du corps entier ont été comparées à celles obtenues avec un fantôme. Ces essais avec volontaires n'ont été possibles que par utilisation d'une base de mesure rapide permettant d'effectuer, typiquement, une mesure du champ rayonné à 20 fréquences en 3 minutes environ. Il en ressort que *i)* les fantômes sont bien représentatifs des pertes observées avec les volontaires et *ii)* que les pertes dues à la main sont le plus souvent prédominantes. L'efficacité de rayonnement diffère, en moyenne, de 17% entre les volontaires et les fantômes. Les pertes moyennes sont similaires dans le corps des volontaires et dans les fantômes. Cependant, les pertes dépendent fortement de la position de la main et du modèle de téléphone. Par exemple, les antennes intégrées de type PIFA présentent des pertes relativement importantes dans la main, mais faibles dans la tête. Le téléphone dépliant testé par Boyle présente le couplage le plus fort avec la main, sans pour autant présenter un DAS aussi faible que celui escompté pour ce type d'antennes. C'est une antenne en hélice qui présente les pertes dans la tête les plus élevées.

Réduction du DAS

La réduction du DAS a été considérée sous différents angles. Le principe des "kits mains libres" repose sur l'éloignement du mobile par rapport à la tête de l'utilisateur. Comme on le sait, le téléphone est alors placé dans une poche, fixé à la ceinture, etc. Un haut parleur miniature, relié au téléphone par un fil de liaison, est introduit dans l'oreille de l'utilisateur. L'efficacité de ce genre d'arrangement a fait l'objet d'une certaine polémique (e.g. Zombolas 2002). En effet, des mesures initiales avaient montré que le niveau de champ au voisinage du haut parleur était parfois supérieur à ce qu'il était au voisinage du téléphone. Cependant, il a été démontré que ces mesures étaient effectuées dans de mauvaises conditions, à savoir, avec un capteur de trop grande dimension et sans tenir compte de la

¹ la sensibilité moyenne de -100 dBm correspondrait à un dix millième de millionième de milliwatt !

présence du corps de l'utilisateur le long du fil de liaison. Le fil de liaison, dont les dimensions sont de l'ordre de quelques longueurs d'ondes, peut en effet jouer un rôle d'antenne. De fait, il est apparu que le corps, par son absorption jouait un rôle significatif dans la réduction du DAS au niveau du haut-parleur. Plus précisément, il suffit que le fil soit au contact du corps de l'utilisateur sur quelques centimètres pour obtenir un effet réducteur satisfaisant. Globalement, on a trouvé que l'usage du kit main libre procurait une réduction du DAS par un facteur 10, avec toutefois une certaine variabilité dans l'efficacité dépendant notamment du kit, du mobile et de la façon dont est disposé le fil de liaison (Oliver et al. 2003, Manning 2001). C'est d'ailleurs principalement pour les mobiles à faible DAS que les effets sont les plus variables. En conclusion, les kits sont bien à recommander pour l'utilisateur lorsqu'il veut diminuer l'exposition dans une situation de mauvaise réception. Pour un mobile donné, il est préférable d'utiliser le kit recommandé par le constructeur. Il convient enfin d'ajouter qu'il n'y a, pour le moment, pas de procédure normative prévue pour le test des kits mains libres.

D'autres procédés ont été proposés pour réduire le DAS des téléphones. Ils reposent sur des principes différents. Ainsi des pastilles absorbantes collées sur le boîtier du mobile sont-elles censées réduire la puissance dissipée dans la tête de l'utilisateur, et donc le DAS. C'est effectivement ce que l'on peut observer, avec cet inconvénient majeur que, simultanément, c'est l'efficacité de rayonnement du mobile et donc sa sensibilité qui s'en trouvent réduites. La station de base exige donc du mobile de travailler à puissance plus élevée, de telle sorte que le DAS effectif n'est pas meilleur que sans pastille absorbante dont l'effet principal est de réduire la portée des liaisons.

Un autre procédé a consisté à tenter de protéger la tête de l'utilisateur au moyen d'un écran réflecteur métallique situé entre la tête et le mobile. Malheureusement, compte tenu des dimensions des réflecteurs, en tous cas inférieures à celles du boîtier du mobile, il s'agit davantage de diffraction que de réflexion. D'une certaine manière, les ondes contournent le réflecteur, ce qui compromet l'efficacité du dispositif. Dans le même esprit, il a été suggéré d'utiliser des antennes directives, dont le rayonnement serait à l'opposé de la tête de l'utilisateur. Là encore, les lois de la physique sont telles qu'il est difficile d'imaginer que, compte tenu des dimensions de l'antenne par rapport à la longueur d'onde, un tel effet directif puisse être effectivement atteint. Globalement, les mesures effectuées sur plusieurs modèles de pastilles absorbantes, écrans réflecteurs ou blindages de boîtier n'ont révélé aucune efficacité (Oliver et al. 2003, Manning 2001).

De nouveaux matériaux (conducteurs magnétiques composites) ont été récemment utilisés à la place des substrats diélectriques conventionnels permettant d'obtenir des antennes de faible épaisseur, large bande et directivité élevée. De plus, ces matériaux permettraient de piéger les ondes de fuite en grande partie responsables du champ rayonné vers la tête de l'utilisateur ainsi que du couplage entre différentes antennes montées sur le même boîtier (GSM, Bluetooth, etc.). Des différences de niveau entre les rayonnements dirigés vers la tête et vers l'espace sont estimées à 5 ou 7 dB. Une telle directivité du rayonnement est évidemment antagoniste de l'isotropie qui est en général recherchée pour que l'utilisateur n'ait pas à s'orienter de façon spécifique en fonction de la direction d'arrivée des ondes issues de la station de base.

1.5.4 Téléphones mobiles et évolution des usages

Depuis peu, on observe une nette évolution des usages des terminaux mobiles, bien que la vocation première du téléphone mobile demeure la communication vocale. On note les tendances suivantes :

- l'impact des messages courts peu coûteux (Short Message Service SMS / texto). On compose des messages courts de 160 caractères au maximum en regardant l'écran du téléphone mobile. Cela implique une modification de l'exposition de la tête. Le marché des SMS connaît une croissance gigantesque. Ce sont des milliards de messages SMS qui sont envoyés chaque année, à raison d'un coût unitaire de 0,15 euros environ par SMS.

- l'impact visuel lié à la couleur et à la présence de caméras, avec possibilité d'envoi de photos, de dialogue visiophonique sous les nouveaux standards. Le GPRS est aujourd'hui opérationnel et offre un débit de l'ordre d'une trentaine de kbit/s. Plus tard, EDGE et l'UMTS offriront des possibilités nouvelles comme la visioconférence ou l'échange de séquences vidéo, grâce à des débits accrus

jusqu'à quelques centaines de kbit/s. L'exposition correspondante est voisine de celle des SMS, avec toutefois des durées d'utilisation prolongées.

- l'effet I-mode : NTT/DoCoMo a introduit en 1999 l'I-mode, repris en France par Bouygues Télécom. Au Japon, l'I-mode a eu un succès considérable et semble gagner son pari en Europe. L'I-mode donne principalement un accès à une forme simplifiée d'Internet et à divers services sous GPRS.

- le développement des jeux en mode connecté: ils permettent de jouer à plusieurs personnes à distance, grâce en particulier aux applications JAVA qui semblent très prometteuses.

Le débit nécessaire aux nouveaux services multimédia nécessitant un accroissement de la fréquence porteuse, une conséquence importante est que les mesures de DAS deviennent de plus en plus délicates (sensibilité, perturbation) en raison de la faible pénétration des ondes dans les tissus, de l'ordre de quelques millimètres. Mais inversement, les terminaux sont tenus à une certaine distance du corps humain qui se retrouve ainsi en "champ lointain". Aux fréquences supérieures à 3 GHz, la longueur d'onde est de moins de 10 cm et il suffit de quelques cm pour pouvoir considérer que le champ a une structure d'onde plane. Dans une telle situation, la densité de puissance incidente par unité de surface peut être avantageusement utilisée pour prédire le niveau de DAS dans les tissus et faire office de grandeur de référence. Ainsi, J.Wang et O.Fujiwara (2002) ont montré, par simulation numérique dans le cas d'un dipôle demi-onde, que pour des fréquences comprises entre 3 et 6 GHz, il existe une étroite corrélation entre le DAS maximal dans un fantôme de tête et la densité de puissance surfacique incidente. Si cette densité de puissance est inférieure à 10 W/m^2 à une distance supérieure à une demi-longueur d'onde, alors le DAS moyenné dans 10 ou 10 g de tissu n'excède pas 1,6 ou 2 W/kg, respectivement. Ce résultat, qui simplifierait considérablement les tests de conformité aux normes d'exposition, demande encore à être validé dans le cas de terminaux réels.

Systeme	Débit utile	Application	Impact DAS	Commentaires
GSM 900/1800	13 kbit/s	Services vocaux	Exposition tête	Réduction possible du DAS avec kit mains libres
GSM 900/1800	Signalisation bas débit	SMS / TEXTO	Exposition à distance de la tête	
GSM 900/1800	9 kbit/s	WAP mode circuit	idem	Lent et coûteux Peu ou pas utilisé
GSM / GPRS	30 kbit/s	-WAP mode paquets -Transferts de fichiers - Envoi de photos	Exposition à distance de la tête, mais prolongée	Puissance moyenne émise peut être plus importante qu'en GSM (utilisation de plusieurs TS)
EDGE	60 à 100 kbit/s	WAP ou services MMS	idem	Idem
UMTS	64 à 384 kbit/s	Vidéoconférence, Séquences vidéos, Transfert de fichiers etc .	Exposition à distance, sauf en mode phonie	Autre forme d'onde, complexité du CDMA

Tableau 1.5.4 : résumé des applications possibles avec les différents systèmes, des débits correspondants et des modifications d'exposition.

L'extension de l'usage des téléphones mobiles en tous lieux conduit à s'interroger sur le DAS en provenance du rayonnement ambiant. La contribution des antennes de stations de base sera analysée dans le paragraphe suivant. Celle des téléphones mobiles proches a été estimée bien que les téléphones mobiles des autres usagers soient plus éloignés que celui de l'utilisateur. En effet, en milieu confiné, automobile, ascenseur, train, etc., il faut prendre en compte le rayonnement des mobiles d'un ensemble d'usagers. En raison de l'incohérence des différentes émissions, ce sont les puissances rayonnées qui s'ajoutent. En faisant une hypothèse très conservatrice – toute la

puissance émise est dissipée dans les usagers - on peut montrer (Toropainen, 2003) qu'il n'y a aucun risque de dépassement du niveau de la restriction de base ICNIRP du DAS corps entier (0,08 W/kg) : il faudrait au moins 80 usagers dans le volume d'une automobile (1,5m x 1,5m x 1,5m), 320 dans un ascenseur (2,5m x 2,5m x 5m) ou 1600 dans un wagon de chemin de fer (3m x 5m x 20m) pour que les limites soient dépassées !

1.5.5 À propos du rayonnement ELF des mobiles

Il est souvent fait référence au rayonnement ELF¹ (ou plutôt TBF, pour Très Basse Fréquence, en Français) des mobiles et des stations de base. Pour être tout à fait clair, il faut distinguer le rayonnement intentionnel (ou essentiel) du rayonnement non-intentionnel (ou non-essentiel). Le rayonnement intentionnel correspond à la porteuse modulée qui est émise par l'antenne du mobile ou celle de la station de base. Comme on l'a expliqué plus haut, ces antennes sont conçues pour une bande de fréquences situées autour de la fréquence porteuse, à savoir 900 ou 1800 MHz. En aucun cas de telles antennes ne sauraient rayonner des ondes ELF, en particulier à 217 Hz.

L'existence de champs ELF au voisinage immédiat du mobile relève du rayonnement non intentionnel. À proximité de circuits électriques et électroniques dans lesquels circulent des courants ELF, il existe un champ quasi-statique très faible. C'est ce qui se passe également dans le cas des circuits des téléphones mobiles. Ce sont les appels de courant de batterie lors de l'émission des impulsions en GSM, dont la fréquence de répétition est de 217 Hz, qui en sont principalement responsables. Le champ magnétique qui résulte de ces courants s'atténue très rapidement avec la distance. De plus, très souvent, la batterie n'est pas située du côté de la tête de l'utilisateur, de telle sorte que le champ magnétique à 217 Hz est quasiment négligeable. Des mesures effectuées au voisinage du mobile révèlent des champs magnétiques de l'ordre de quelques dixièmes de microteslas, soit beaucoup moins que les niveaux de référence en champ magnétique qui, à cette fréquence, sont égaux à 23 microteslas, pour l'exposition de la population générale.

Se pose également la question de la possible existence de champs ELF à l'intérieur des tissus biologiques, induits par une onde "pulsée" de type GSM. Comme on l'a déjà souligné, cette existence nécessiterait un comportement non linéaire de ces tissus qui, à ce jour, n'a nullement été mis en évidence à ces fréquences. Par exemple, la modification observée de certains enregistrements d'EEG n'a pas pu être imputée à un quelconque effet non-linéaire identifié.

1.5.6 Exposition aux stations de base, comparaison aux autres sources

Champ rayonné en fonction de la distance

Vues de loin, les antennes de stations de base se présentent sous la forme d'un container allongé en plastique, d'une hauteur variant typiquement entre 1,5 m et 3 m, à l'intérieur duquel se trouvent les éléments rayonnants. D'une certaine manière, elles peuvent être considérées comme un projecteur d'ondes. La forme allongée ainsi que les dimensions des antennes confèrent aux ondes qu'elles rayonnent des propriétés assez particulières.

A grande distance, au-delà de quelques dizaines de mètres, le pinceau est étroit dans un plan vertical, ouvert sur 120° dans un plan horizontal. La forme de ce pinceau, et notamment son ouverture verticale qui est de l'ordre de 6°, explique pourquoi le champ rayonné au sol, en espace dégagé, passe par un maximum à une distance de l'ordre de 250 m à 300 m. Pratiquement, l'antenne est montée sur un pylône et orientée pour que le faisceau passe au dessus des toits. Dans la direction du maximum de rayonnement, le champ s'atténue de façon inversement proportionnelle à la distance. A titre d'exemple, on peut citer le cas² de la modélisation d'une antenne macrocellulaire à 900 MHz, rayonnant un champ de 15 V/m à 10 m, 7 V/m à 20 m et 3 V/m à 50 m. Un tel comportement du champ se manifeste, dès lors que l'on sort de la zone de champ proche de ces antennes. Pour des antennes de ce type, d'une hauteur typique de 1,8 m, la distance³ au-delà de laquelle on peut considérer que le champ décroît de façon inversement proportionnelle à la distance

¹ extremely low frequency : extrêmement basse fréquence (< 300 Hz)

² Cet exemple, issu du rapport « Zmirou », p.49, concerne une antenne macro-cellulaire à 900MHz. Il est repris dans le rapport de l'OPECST.

³ La distance sur laquelle s'étend le champ proche d'une antenne est dite distance de « Rayleigh » ; elle est donnée approximativement par la formule simple suivante : $d=h^2/2\lambda$, où h est la hauteur de l'antenne et λ la longueur d'onde.

est typiquement de l'ordre de 6 et 12 m, à 900 et 1800 MHz, respectivement. La connaissance de la puissance et du gain d'une antenne permet de calculer très simplement le niveau d'exposition en vue directe de l'antenne, qui peut ainsi être comparé aux niveaux de référence.

Dans la zone de champ proche de l'antenne, le champ dans le faisceau s'atténue moins rapidement qu'en espace dégagé à grande distance. On peut en effet montrer (et l'on observe) qu'il décroît de façon inversement proportionnelle à la racine carrée de la distance. Le périmètre de sécurité délimite une zone située à proximité de l'antenne dans laquelle les niveaux d'exposition dépassent les niveaux de référence. Il peut être déterminé simplement en chambre anéchoïque, au moyen de techniques de champs proches. Les mesures ainsi effectuées peuvent être transposées au cas des antennes installées, dans la mesure où l'environnement proche des antennes sur site est généralement dégagé et donc très comparable à celui d'une chambre anéchoïque. Des mesures systématiques effectuées sur un grand nombre d'antennes de stations de base, tant GSM 900 que 1800, ont montré que la distance de sécurité varie linéairement avec la puissance, et non comme la racine carrée de la puissance comme le laisserait attendre l'expression du champ rayonné à grande distance. La distance de sécurité calculée à partir de cette expression est en général surestimée.

Mesures sur site

Alors que le champ dans l'axe du faisceau et à proximité de l'antenne peut être calculé avec précision, soit éventuellement mesuré, au contraire, le calcul du champ en un point de la cellule couverte par la station de base est relativement imprécis. Les mesures sur site sont nécessaires pour avoir une bonne estimation statistique des niveaux d'exposition. De ce point de vue, on dispose maintenant d'un grand nombre de mesures effectuées selon le protocole bien défini de l'ANFr. Selon ce protocole, les mesures sont effectuées de façon sélective en fréquence, émetteur par émetteur, selon trois directions de polarisation orthogonales. Pour une station de base donnée, la mesure du niveau d'exposition s'effectue sur le canal de balise (BCCH), dont on a rappelé la stabilité. Les canaux de trafic (TCH) potentiels sont pris en compte de façon forfaitaire en multipliant le niveau du canal de balise par la racine carrée d'un nombre fixé forfaitairement selon l'environnement. À titre indicatif, ce nombre varie entre une zone de haute densité de trafic et une petite agglomération, de 6 à 3 pour les émissions GSM 900 et de 8 à 3 pour les canaux GSM 1800. De plus, l'ANFr a déterminé un facteur correctif permettant de rendre compte de l'évolution du trafic pendant la journée. Les mesures peuvent être également réalisées pour d'autres types d'émissions, radio, TV, radar, etc. Les résultats sont présentés en niveau de densité de puissance exprimée en millième de la limite du décret du 3 mai 2002, à la fréquence considérée. Une base de donnée nationale, disponible sur le site de l'ANFr, regroupe quelque 650 points de mesure, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur de bâtiments (figure 1.5.6 ci-dessous).

Des mesures ont été publiées récemment sur la ville de Salzburg en Autriche.¹ Cette municipalité avait demandé l'instauration d'une valeur limite de 1 mW/m^2 ($0,6 \text{ V/m}$ à 900 MHz). Ceci n'a pas été inclus dans la réglementation locale, mais les mesures ont montré que ces valeurs limites très basses n'étaient pas acceptables. En effet, des valeurs 40 fois supérieures sont couramment mesurées dans la ville, la moyenne des mesures se situant entre 10 et 200 mW/m^2 (2 et $8,6 \text{ V/m}$).

¹ http://www.bakom.ch/imperia/md/content/english/funk/emvemvu/rp_01_e.pdf

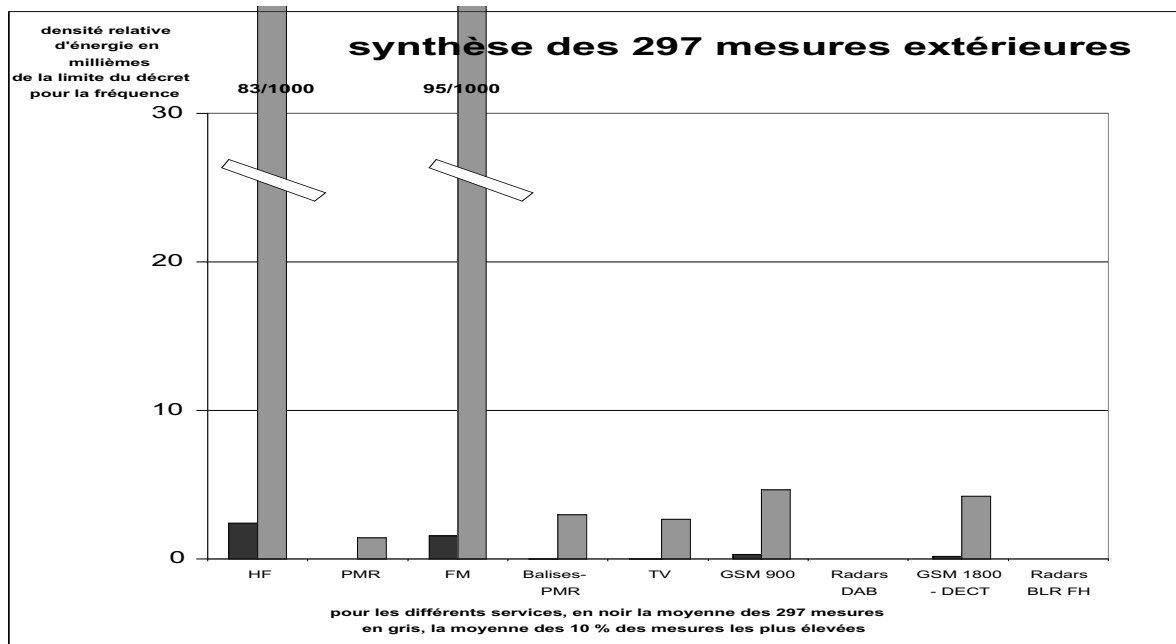


Figure 1.5.6 : synthèse des mesures de l'ANFr en extérieur. Les densités de puissance mesurées sont exprimées en ordonnée en millièmes de la valeur limite à la fréquence considérée. En noir est représentée la moyenne des mesures et en gris la moyenne des 10% les plus élevées.

Comparaison aux autres émissions

Très souvent, les émissions des stations de base sont comparées à celles d'émetteurs de radio ou de télévision. Le tableau 1.5.6bis facilite une telle comparaison en termes de fréquence de modulation d'enveloppe, de puissance et de rayon moyen de la zone de couverture.

La fréquence porteuse des émissions de FM et TV est plus basse que celle des téléphones GSM 900 et 1800. Elle est comparable à celle des systèmes TETRA. Il en résulte que la pénétration des ondes FM et TV dans les milieux biologiques est plus importante pour la FM et la TV que pour les signaux GSM et l'absorption locale moindre. En termes d'implantation, les antennes de FM et TV sont montées sur des pylônes dont la hauteur peut atteindre 300 m. Leur gain est très comparable à celui des antennes de stations de base. Les puissances émises sont sensiblement plus élevées qu'en téléphonie, en raison de la nécessité de couvrir des zones plus étendues, jusqu'à 50 km pour la TV. Les émetteurs de TV ont une puissance de l'ordre de 20 kW, alors que celle des émetteurs de FM varie entre quelques kW et une dizaine de kW. À titre d'exemple, on peut estimer à 300 kW environ la puissance de l'ensemble des émetteurs TV (6) et FM (27) situés sur la tour Eiffel. Une telle puissance correspondrait à environ 30000 antennes de stations de base.

En ce qui concerne la modulation, les ondes FM sont pratiquement dénuées de modulation d'enveloppe. Les ondes TV, au contraire, peuvent être considérées comme "pulsées", en raison des impulsions de synchronisation des images dont les fréquences de répétition sont de 50 Hz, pour le renouvellement des images, et 15625 Hz pour la synchronisation de ligne.

Service	Appellation	Bande de fréquence	Puissance maximale rencontrée ¹	Porteuse modulée	Rayon moyen de couverture
Radiodiffusion	Ondes kilométriques (GO)	148,5-283,5 kHz	2 MW	Modulation d'enveloppe AM Non pulsée	400 km
Radiodiffusion	Ondes hectométriques (PO)	525 – 1605 kHz	600 kW	Modulation d'enveloppe AM Non pulsée	100 km
Radiodiffusion	Ondes décamétriques (OC)	2-30 MHz en plusieurs sous bandes	12 émetteurs de 500 kW	Modulation d'enveloppe AM Non pulsée	Propagation ionosphérique Cibles distantes en milliers de km
Radioamateurs	Ondes décamétriques HF	2 – 30 MHz en plusieurs sous bandes	1 kW	Modulation d'enveloppe AM Non pulsée	Portée de liaison de quelques dizaines à des centaines de km
CB Citizen Band ou Canaux Banalisés	CB Bande 27	26,965- 27,225 MHz	1 à 4 W	Modulation d'enveloppe (AM) cste (FM) Non pulsée	Quelques kilomètres
Télévision	Bande I	47-68 MHz	Quelques centaines de W	Modulation d'enveloppe (Image+Son) impulsions synchro	10 km
Radiodiffusion	Bande FM	87,7 – 108 MHz	Quelques centaines de Watts	Enveloppe cste	10 km variable selon les émetteurs
Télévision	Bande III	174-223 MHz	≤ 1kW	Modulation d'enveloppe (Image+Son) impulsions synchro	30 à 50 km
Radiocommunications de sécurité	Tetrapol	400 MHz			10km max
Radio-communications privées Numériques	TETRA	400 MHz			

Télévision	Bandes IV et V	470-862 MHz	10 W à 20 kW	Modulation d'enveloppe (Image+Son) impulsions synchro	De quelques centaines de mètres à 50 km
Radio-communications publiques cellulaires	GSM 900 – Mobiles (MS)	890 (880) – 915 MHz	< 2 W crête	Modulation d'enveloppe pulsée	
	GSM 900 – Station de Base (BTS)	935 (925) – 960 MHz	< 50 W	Modulation d'enveloppe pulsée	
Radars Navigation aérienne	Bande L	1220-1370 MHz	2 MW crête	Emissions d'impulsions RF	
	Bande S	2700-2900 MHz	2 MW	Emissions d'impulsions RF	
Radio-communications publiques cellulaires	GSM (DCS)1800 – Mobiles (MS)	1710 – 1785 MHz	< 1 W crête	Modulation d'enveloppe pulsée	
	GSM (DCS)1800 – Station de Base (BTS)	1805 – 1880 MHz	< 50 W	Modulation d'enveloppe pulsée	
Liaisons radio courte portée	WLAN 802.11b/11.g WIFI Bluetooth	2400- 2483,5 MHz	< 100 mW	Etalement de spectre Saut de fréquence	

Tableau 1.5.6bis : Caractéristiques de différents types d'émetteurs de différents systèmes de communication

¹ accès antenne

2 ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES EFFETS SANITAIRES

2.1 Épidémiologie

Avant d'aborder l'examen des différentes études épidémiologiques publiées sur le sujet, il a paru utile aux auteurs du rapport de rappeler en préambule certains aspects méthodologiques fondamentaux en épidémiologie. Le respect des règles énoncées conditionne la validité des études.

2.1.1 Préambule

1- L'épidémiologie étudie les caractéristiques des pathologies au sein d'une population, et leurs déterminants. À ce titre, toute étude qui s'intéresse à un trouble de l'état de santé¹ d'un groupe de personnes, et qui cherche à le caractériser en fonction de critères démographiques ou de tout autre facteur est une *étude épidémiologique*.

2- L'épidémiologie est une science d'observation du vivant. À ce titre elle est foncièrement marquée par la notion de variabilité, notamment *variabilité de la mesure* ; c'est pourquoi toute mesure d'épidémiologie sera accompagnée de son intervalle de confiance (intervalle au sein duquel la vraie mesure a la plus grande chance de se situer) : en général, il s'agit d'un intervalle à 95%, indiqué de la façon suivante : RR = 2,1 [IC 95% :1,1-3,2] veut dire que le « vrai » risque relatif (mesuré à 2,1 dans l'échantillon) a 95 % de chance de se retrouver dans l'intervalle allant de 1,1 à 3,2.

3- Il est rarement possible d'étudier une population dans sa totalité. L'épidémiologie définit donc une population d'étude, qui est une partie (un échantillon) de la population. Cet échantillon se doit d'être *représentatif* de la population pour laquelle on veut tirer des conclusions. La sélection des sujets devra donc répondre à des critères très précis de représentativité et la population d'étude comme la population de référence doivent être clairement identifiées.

4- En raison de ces notions de variabilité et de représentativité, l'épidémiologie suit des règles élaborées au fil du temps et acceptées par la totalité de la communauté scientifique épidémiologique. Ces règles sont décrites dans le guide des bonnes pratiques épidémiologiques.

Les seules études qui permettent d'étudier une relation de cause à effet pouvant exister entre un facteur (que l'on appellera alors facteur de risque) et un effet sanitaire sont les études dites « analytiques » (c'est-à-dire qu'elles ont pour objet l'analyse de la relation cause-effet). Ces études sont essentiellement les études de cohortes et les études cas-témoins, plus accessoirement les études transversales.

- les études de *cohorte* permettent d'étudier une population exposée au facteur que l'on veut étudier et une population non exposée, afin de comparer la fréquence d'une pathologie dans les deux groupes.
- les études *cas-témoins* étudient un groupe de personnes atteintes d'une maladie et un groupe de personne indemnes de cette maladie afin de comparer l'exposition passée de ces deux groupes au facteur de risque que l'on veut étudier.
- les études transversales : après définition et reconstitution d'une population d'étude, la recherche de l'exposition d'intérêt, celle des facteurs confondants et celle du statut pathologique de chaque sujet sont réalisées de façon concomitante : en raison de ce caractère simultané, ces études ne se justifient que dans le cadre de l'étude d'une symptomatologie (ou d'une pathologie) ayant un temps de latence d'apparition bref par rapport à l'exposition.

Ces trois types d'étude utilisent des données d'exposition et de pathologies recueillies pour chaque individu de l'étude et permettent la prise en compte des facteurs confondants (c'est-à-dire des facteurs qui sont reliés eux aussi au facteur étudié et à la maladie, et qui pourraient interférer dans la relation facteur-pathologie étudiée).

¹ définition de la santé par l'OMS : état de complet bien-être physique, mental, et social et non seulement l'absence de maladie ou d'infirmité

La pathologie et l'exposition doivent avoir été déterminées de façon indépendante ; c'est-à-dire que ceux qui déterminent l'exposition d'un sujet ne doivent pas connaître le statut pathologique de l'individu (et vice-versa).

Couramment effectuées, les études suivantes ne permettent pas d'étudier la relation causale entre un facteur et une pathologie. Elles peuvent simplement susciter des hypothèses, mais ne peuvent en aucun cas les valider ; il s'agit :

- des études d' "agrégats" (clusters).
- des études "écologiques" : il s'agit d'études dont les données concernent des groupes d'individus, et non les individus eux-mêmes.

5- Une étude épidémiologique est donc informative si :

- elle répond aux critères de qualité méthodologique couramment admis ("bonnes pratiques d'épidémiologie"),
- elle a une bonne puissance statistique. La puissance statistique d'une étude épidémiologique dépend de plusieurs facteurs : niveau du risque relatif recherché ; fréquence de l'exposition dans la population de référence ; incidence de la pathologie dans la population de référence ; taille de la population étudiée. Ainsi, plus un risque est faible, moins une exposition est fréquente (ce qui était le cas pour l'usage du téléphone mobile il y a quelques années) ou plus elle est importante (ce qui est le cas actuellement de ce même usage), et plus une pathologie est rare, plus la taille de l'échantillon étudié devra alors être importante pour avoir une puissance statistique suffisante permettant de mettre en évidence ce risque,

la mesure d'exposition est précise et non biaisée (l'indicateur d'exposition utilisé doit permettre de classer correctement la personne exposée quant à son degré d'exposition). Il s'agit d'un point particulièrement crucial car il n'est souvent pas facile de déterminer la dose d'exposition effectivement reçue par un individu.

Enfin, pour permettre de conclure à l'existence d'une relation causale entre un facteur d'exposition et une atteinte sanitaire, il faut que les études épidémiologiques répondent aux critères de causalité suivants :

- la causalité sera plus facilement admise suivant le type de l'étude : les cohortes sont supérieures aux études cas-témoins, qui sont elles-mêmes supérieures aux études transversales,
- les études écologiques et les études d'agrégats ne sont que des études de corrélation suscitant des hypothèses mais ne permettant pas de répondre à la question de la causalité,
- elles suivent les critères de Austin Bradford Hill¹ :
 - force de l'association trouvée : elle est classiquement mesurée sous la forme du Risque Relatif, c'est-à-dire le facteur par lequel la probabilité d'avoir un effet dans une population de personnes exposée par rapport à une population non exposée est augmentée². Ce critère est indispensable pour pouvoir conclure à une relation de cause à effet,
 - les résultats d'études réalisées de façon indépendantes les unes des autres doivent être consistants³,
 - l'association doit être spécifique (ce critère « un facteur - un effet » est élargi dans un processus pathologique pouvant avoir plusieurs causes intriquées),
 - il existe une relation dans le temps entre l'exposition et l'effet (c'est-à-dire : l'exposition doit précéder l'effet, et prendre en compte le temps de latence nécessaire connu par la clinique pour voir apparaître cet effet),
 - il existe une relation dose-effet (plus l'exposition est importante, plus la probabilité de voir se développer l'effet est grande = le risque relatif croît avec la dose d'exposition.),

¹ Le premier critère est un critère indispensable mais non suffisant. Les autres critères ne sont pas indispensables, mais plus les autres critères sont observés, plus la relation causale est vraisemblable.

² Plus ce risque relatif est grand ($RR > 2$), plus la relation mise en évidence a des chances d'être réelle, et moins elle peut être le fruit du hasard ou de facteurs confondants.

³ Ce n'est pas sur les résultats d'une seule étude épidémiologique positive que l'on peut déterminer la responsabilité d'un facteur dans la survenue d'un effet, mais sur ceux de plusieurs études qui trouvent le même type de relation (même facteur d'exposition, même pathologie).

- il existe une plausibilité biologique (le facteur mis en cause agit suivant un processus qui correspond aux connaissances biologiques que l'on a par ailleurs concernant le mode d'action de ce facteur),
- il existe une cohérence entre l'interprétation de la relation cause-effet mise en évidence et ce qui est connu de l'histoire naturelle de la maladie et de ses caractéristiques biologiques,
- il est possible de reproduire la relation dose-effet lors d'études expérimentales.

2.1.2 Etudes sur les téléphones mobiles

Conclusions du rapport de 2001 : *Les travaux épidémiologiques concernant le risque de tumeurs crâniennes sont concordants et n'autorisent pas à conclure à un rôle des RF dans l'apparition de ces formes de cancer, dans les conditions de ces observations, c'est à dire après des périodes d'induction relativement courtes (5 à 6 ans au maximum). Si ces résultats sont rassurants, ils ne permettent pas d'exclure des effets à long terme. Mais ils ne donnent aucune indication en leur faveur.*

Effets non spécifiques

Santini R et al. (2001) Pathol Biol 49 : 222-226

Il s'agit d'une étude transversale effectuée auprès d'un groupe de personnes étudiant ou travaillant dans une école d'ingénieurs. Un questionnaire relatif à l'utilisation ou non d'un téléphone mobile et d'un ordinateur, aux caractéristiques du téléphone mobile utilisé et à son intensité d'usage, portant aussi sur le ressenti de certains symptômes (généraux ou locaux) a été distribué. La fréquence et le nombre des symptômes ressentis ont été comparés chez les utilisateurs de téléphone mobile et chez les non utilisateurs, puis chez ceux qui utilisaient un téléphone mobile par rapport à ceux qui utilisaient un téléphone mobile et un ordinateur. Un test de chi² a été réalisé pour comparer les distributions de ces symptômes entre les différents groupes. Les auteurs observent une plus grande fréquence de troubles de la concentration chez les utilisateurs de mobiles émettant à 1800 MHz, et chez ceux qui utilisent à la fois un ordinateur et un téléphone mobile. Les femmes utilisatrices de téléphone mobile ont plus de troubles du sommeil que les hommes. Un sentiment d'inconfort et de chaleur de l'oreille est plus souvent ressenti chez ceux qui téléphonent plus longtemps ou plus fréquemment.

Points faibles : les auteurs ne donnent pas d'information sur la population de référence et sur le taux de participation à l'étude (nombre de questionnaires renvoyés par rapport au nombre de questionnaires distribués) ; il n'est donc pas possible d'évaluer la représentativité du groupe de répondants par rapport à la population initialement étudiée.

Les caractéristiques démographiques évoquées dans le texte ne font l'objet d'aucun tableau clair (nombre de sujets dans les diverses catégories), le raisonnement étant uniquement fondé sur des pourcentages.

L'analyse statistique est minimale et peu convaincante. Les résultats sont présentés sous forme de figures ce qui n'est pas très satisfaisant pour l'analyse scientifique de ce type d'études.

Les auteurs négligent le fait que les symptômes généraux pourraient avoir une autre origine. Par ailleurs, le fait de dire que les symptômes observés dans le groupe de ceux qui utilisent téléphone mobile et ordinateurs sont attribuables au téléphone quand il est utilisé conjointement n'est pas satisfaisant, car il n'y a pas de contrôle sur l'autre appareil. Il se pourrait que les troubles soient totalement le fait des ordinateurs seuls, avec ou sans téléphone : or les symptômes n'ont pas été recherchés dans un groupe utilisant des ordinateurs sans téléphone mobile.

Les auteurs ne justifient pas le choix de la coupure à 2 appels /jour ou à 2 minutes par jour. Même dans cette analyse prenant en compte la dose, il se pourrait que ceux qui téléphonent plus, sont aussi de plus gros utilisateurs d'ordinateurs et que les symptômes soient augmentés de ce fait.

Points forts : l'analyse entre ceux qui téléphonent plus et ceux qui téléphonent moins est un peu plus convaincante dans la mesure où le biais de sélection y joue certainement un moins grand rôle. Il semble exister un excès de symptômes locaux chez les plus gros utilisateurs de téléphone mobile.

Conclusion : il s'agit d'une étude méthodologiquement contestable, dont il est difficile de tirer des éléments probants. Elle n'apporte aucune preuve d'un effet de l'usage du téléphone mobile en termes de symptômes généraux, les auteurs ne discutant pas la possibilité d'une autre origine (ordinateur ou

autre) à ces symptômes. La comparaison entre gros utilisateurs et petits utilisateurs est cependant un peu plus consistante et apporte quelques arguments dans la discussion sur la responsabilité possible du téléphone mobile en matière de symptomatologie locale, bien que le choix du seuil ne soit pas expliqué et que l'effet puisse aussi être lié à un facteur de confusion.

Oftedal G et al (2000) Occup. Med 50(4) : 237-245

Sandström M et al (2001) Occup. Med 51(1) : 25-35

Il s'agit d'une étude transversale d'utilisateurs de téléphone mobile de type GSM ou analogique en Suède et en Norvège, dans le but d'étudier la prévalence des symptômes " subjectifs " chez les utilisateurs de téléphone mobile, l'hypothèse des auteurs étant que les GSM (signal pulsé) donnent plus souvent des symptômes subjectifs que les analogiques (signal continu). L'échantillon a été tiré au sort dans les registres d'un opérateur de téléphonie mobile concernant les sociétés abonnées pour un utilisateur donné. Le questionnaire a été envoyé par voie postale à 8879 utilisateurs de GSM et 8113 utilisateurs d'analogiques. Il comprend, outre des questions sur les symptômes et sur le mode d'utilisation du téléphone mobile, des questions de caractérisation démographique, sur l'usage d'autres appareils, sur les emplois et sur des facteurs psychosociologiques de stress. Les taux de réponse ont été de 58 % en Norvège et 66 % en suède. une deuxième enquête auprès des non répondants a permis de rechercher l'existence d'un possible biais de sélection. L'analyse est basée sur l'analyse de variance et la régression logistique multivariée permettant de prendre en compte les facteurs confondants. 31% des norvégiens et 13 % des suédois ont éprouvé des symptômes, lors de l'usage de téléphone mobile ; ces symptômes sont essentiellement des sensations de chaleur de (ou derrière) l'oreille, des sensations de brûlures au visage et des maux de tête. L'usage d'ordinateurs paraît être un facteur confondant important dans la prévalence des symptômes généraux (excepté pour les symptômes locaux). Après prise en compte des facteurs confondants, les utilisateurs de GSM présentent significativement moins de symptômes (fatigue, mal de tête, sensation de chaleur) que les utilisateurs de téléphones de type analogique. Les symptômes augmentent toutefois dans les deux groupes avec la durée et le nombre des communications.

Points faibles : Il s'agit d'une étude transversale concernant les seuls utilisateurs de mobiles ; il n'est donc pas possible à partir de cette étude de dire que les utilisateurs de téléphones mobiles ont une prévalence de symptômes plus importante que les non utilisateurs.

Points forts : il s'agit d'une étude méthodologiquement très bien conçue, avec étude de faisabilité, recherche d'un biais possible lié aux non répondants, taille d'échantillon importante, tirage au sort aléatoire, prise en compte des facteurs confondants et suivi par un comité scientifique international. l'analyse est bien conduite. Les auteurs discutent clairement leurs résultats et envisagent diverses explications intéressantes ; ils soulignent que leur hypothèse initiale n'est pas vérifiée.

Conclusion : il s'agit d'une bonne étude, méthodologiquement bien conçue. Le système GSM semble être moins souvent à l'origine de symptômes que l'analogique. elle ne permet pas de dire que les utilisateurs de téléphone mobile ont plus de symptômes que les non utilisateurs ; toutefois, il y a des éléments convaincants de relation dose-effet (les symptômes sont plus fréquents quand l'usage du téléphone mobile augmente).

Effets neurologiques

Il n'existe pas d'études épidémiologiques sur ce thème en relation avec le téléphone mobile. Quelques études existent sur l'impact sur le système nerveux d'exposition professionnelle aux champs électromagnétiques ELF, mais elles sont peu concluantes, notamment du fait d'une évaluation très indirecte de l'exposition et de la non prise en compte de certains facteurs de risque professionnels.

Effets sur la grossesse

Cette question ne se pose pas en ce qui concerne l'usage individuel du téléphone mobile, ni en population générale (les statistiques du Registre Centre-Est des malformations ne donnent aucun élément ne venant à ce jour accréditer l'hypothèse d'une action sur le fœtus).

Effets cancérigènes

Les nouvelles études épidémiologiques parues sur ce sujet sont encore très peu nombreuses,

d'autant plus que certaines des publications nouvelles concernent soit une étude déjà publiée soit plusieurs fois la même étude :

- Tumeurs du cerveau

Johansen C et al. (2001) JNCI 93: 203-207

Voir également les commentaires de Hardell ainsi que la réponse de Johansen (in JNCI (2001) 93: 952-995)

Johansen rapporte l'analyse d'une étude de cohorte de personnes ayant souscrit un abonnement de téléphonie mobile auprès de deux opérateurs danois entre le 1^{er} janvier 1982 –date du début de l'implantation de la téléphonie mobile au Danemark– et le 31 décembre 1995. Les fichiers d'abonnement ont permis de recueillir pour chaque abonné, le type d'abonnement souscrit (Analogique 450 ou 900, GSM), la date de début de l'abonnement, et la date de fin d'abonnement (pour les seuls abonnés au GSM). Ces données ont été croisées avec celles du registre danois des cancers, ce qui a permis d'obtenir les informations (type de cancer, date) concernant les abonnés ayant eu un cancer. Au total, 420.095 abonnés (soit 80,3 % des abonnés individuels) ont pu être intégrés dans l'étude. Aucun excès de cancer ($SIR^1 = 0,89$; 0,86-0,92) n'a été observé ; en particulier, les tumeurs du cerveau et des tissus nerveux ($SIR = 0,95$; 0,86-0,92), des glandes salivaires ($SIR = 0,72$; 0,29-1,49) et les leucémies ($SIR = 0,97$; 0,78-1,21) ne sont pas plus fréquentes chez les abonnés au téléphone mobile. Il n'existe pas de relation avec l'âge au premier abonnement, ni avec le temps de latence, ou même la durée d'utilisation des GSM. Il n'existe pas d'excès de tumeurs dans les zones de la tête directement exposées aux radiofréquences, ou de certains types cellulaires (en particulier, il n'y a pas d'augmentation des neurinomes de l'acoustique). Un léger excès (non significatif) de cancers du testicule ($SIR = 1,12$; 0,97-1,30) est observé, qui pourrait être le fait d'un facteur confondant non pris en compte (niveau socio-économique plus élevé des utilisateurs de téléphone mobile, et plus grande fréquence de ce type de cancer dans ce milieu).

Points faibles : Le simple fait d'être abonné à un réseau de téléphonie mobile n'est pas forcément synonyme d'exposition : en effet, dans un foyer plusieurs personnes pourraient avoir utilisé le téléphone mobile sans être répertoriées comme telles et donc intégrées dans l'analyse, l'abonné n'étant pas forcément l'utilisateur dans un certain nombre de cas. Cependant, ce phénomène est certainement marginal.

Dans la mesure où les données de consommation et les niveaux effectifs d'exposition ne sont pas disponibles, les auteurs ont approché l'intensité d'exposition soit par la durée d'abonnement pour les GSM, soit par l'ancienneté de l'exposition pour les analogiques et les GSM. Par ailleurs, les auteurs n'ont pas pu prendre en compte la notion d'utilisation des kits mains libres qui permettent de diminuer l'exposition. Il ne s'agit que d'une mesure indirecte qui peut ne pas être bien corrélée à la dose réelle cumulée d'exposition.

Le recul (temps de latence), en ce qui concerne le GSM, est encore insuffisant.

Points forts : Il s'agit d'une étude de cohorte pour laquelle l'évaluation de la santé (apparition de cancers) et de l'exposition ont été faites de façon totalement indépendante, puisqu'il s'agit de données collectées *a priori* et pour d'autres fins.

La puissance de l'étude est bonne, avec un très bon taux d'exhaustivité du recueil de données tant en termes de suivi des personnes que de collecte de l'information sur les abonnements.

Dans l'hypothèse d'un effet de copromotion de la croissance des cellules cancéreuses, la latence pourrait être très courte, les effets pouvant donc être déjà observés au cours de ce suivi assez bref, surtout si l'exposition est très intense comme le laissent penser les habitudes récentes en matière de téléphonie mobile.

Aucun élément ne va dans le sens d'une relation cause-effet entre l'usage du téléphone mobile et l'apparition de tumeurs de la tête (pas d'effet de la latence, de la durée, de la localisation des tumeurs dans des zones exposées...).

Le délai d'observation est suffisant pour l'usage de téléphones analogiques qui sont ceux pour lesquels certaines études montrent la possibilité d'un impact.

Conclusion : Il s'agit d'une bonne étude, méthodologiquement bien conçue ; aucun élément ne suggère l'existence d'une association entre téléphones analogiques et tumeurs de la tête ou leucémies. Cependant, cette étude n'est pas très informative en l'état car malgré un nombre élevé de

¹ SIR: Standard Incidence Ratio : rapport standard d'incidence

sujets, l'imprécision de la mesure de l'exposition faite selon une méthodologie indirecte a certainement abaissé la puissance de l'étude ; le manque de recul en ce qui concerne les GSM ne permet pas de conclure sur la non existence d'une relation GSM-Tumeurs de la tête. La prolongation du suivi et la prise en compte de données supplémentaires (facteurs de confusion, données d'exposition) devraient permettre d'affiner dans un délai assez bref cette analyse.

Hardell L and al. (2001) European J Cancer Prev 10 : 523-529

Il s'agit d'un complément d'analyse aux articles de 1999 et 2000, précédemment analysés dans le rapport de 2001.

Une étude cas-témoins a permis d'analyser 209 cas de tumeurs du cerveau en Suède et de 425 témoins, appariés sur l'âge, le sexe et la région. Il s'agissait de cas de tumeurs malignes diagnostiqués de 1994 à 1996, auxquels ont été associés des cas de tumeurs bénignes au cours de l'année 1996. Un questionnaire portant sur l'utilisation des téléphones mobiles, sur les antécédents d'exposition à des rayons X, et sur les emplois antérieurs des sujets a été administré par voie postale et associé à un appel téléphonique réalisé par une infirmière pour compléter les questionnaires insuffisamment remplis. Le questionnaire était ensuite codé sans connaissance du statut (cas ou témoin). L'examen anatomo-pathologique et la localisation de la tumeur ont été recueillis pour 198 cas. Il n'y a pas d'augmentation du risque chez les personnes employées auparavant dans les activités industrielles de l'électronique, des télécommunications, de la distribution d'électricité ou des transports par chemin de fer. Il n'y a également aucun excès chez les utilisateurs de téléphone mobile, excepté pour les tumeurs (10 tumeurs malignes et 3 tumeurs bénignes) localisées autour de l'antenne du côté de la tête où la personne tenait son téléphone ($RR^1 = 2,6 ; 1,0- 6,7$). L'exposition était essentiellement due au téléphone de type analogique.

Points faibles : Les résultats associant tumeurs du cerveau à l'usage de téléphone mobile concernent un petit nombre de cas, eux-mêmes ne représentant pas un ensemble de pathologies homogènes. Les auteurs de ce fait n'ont pas pu analyser les données en fonction des types cellulaires et de la dose d'exposition. Le texte de la publication ne permet pas d'avoir d'information sur la représentativité des cas : en effet, seuls les sujets vivants au moment de l'étude ont pu être interrogés. Dans l'article précédent, il était noté que les cas analysés correspondaient à 30 % des cas diagnostiqués. Enfin, on peut se demander si un biais d'information ne pourrait expliquer la relation mise en évidence ; les sujets malades rapportant plus souvent leur utilisation au côté où ils savent que se situe la tumeur. Les facteurs de confusion pris en compte dans l'analyse ne sont pas clairement identifiés.

Points forts : L'évaluation de l'exposition a été faite en aveugle sans que l'investigateur ne connaisse le statut du sujet, ce qui permet d'éviter un biais dû à l'investigateur.

Conclusion : En raison du petit nombre de cas concernés, et des possibilités de biais liés au recrutement des cas et au mode de recueil de l'information sur les expositions, l'étude ne permet pas de conclure à l'existence d'une relation cause-effet.

Hardell L and al. (2002) European J Cancer Prev 11 : 377-386

Hardell L and al. (2002) Int J Radiat Biol 78 : 931-936

Hardell L and al. (2003) Int J Oncol 22 : 399-407

Les trois articles concernent tous la même étude cas-témoins réalisée en Suède entre le 1^{er} janvier 1997 et le 30 juin 2000. Les cas sont les personnes nouvellement atteintes (cas incidents) de tumeurs du cerveau, déclarées aux registres du cancer des 4 régions participant à l'étude et encore vivantes au moment de l'étude. Un témoin par cas, apparié par sexe, âge et région a été choisi au hasard dans les registres de population. L'information a été recueillie à l'aide d'un questionnaire adressé par voie postale. Le même questionnaire que celui de l'étude précédente a été utilisé, auquel ont été adjointes quelques questions concernant l'usage de téléphone sans fil. Un appel téléphonique a complété le questionnaire si les experts estimaient ne pas avoir de données suffisamment détaillées pour pouvoir coder l'exposition. L'analyse des informations par des experts, en vue de la codification de l'exposition au téléphone, a été réalisée en aveugle. L'analyse statistique a utilisé la régression logistique, conditionnelle dans certains articles (ou non conditionnelle dans le dernier) afin

¹ RR: Risque Relatif

d'étudier la relation " exposition au téléphone mobile – pathologie ". L'analyse a concerné 57,7 % des cas diagnostiqués. L'usage de téléphone de type analogique est associé à un léger excès de risque de tumeurs cérébrales ($OR^1 = 1,3$; 1,02- 1,6). Le risque associé au téléphone de type analogique augmente quand on prend en compte un délai de latence de plus de 10 ans, ou la latéralité de la tumeur. L'analyse du type cellulaire de la tumeur montre que cet excès concerne essentiellement le neurinome du nerf acoustique ($OR=3,5$; 1,8-6,8 ou 4,4 ; 2,1-9,2 suivant le type d'analyse en régression). Il existe une relation avec la durée d'exposition pour les téléphones de type analogique et les téléphones sans fil, ainsi que pour les astrocytomes de haut grade et le GSM.

Points faibles : Ces articles sont des répliques d'une même étude, ce qui peut laisser penser à des personnes non spécialistes, d'autant qu'il s'agit d'études positives. Un des articles donne des résultats partiels sur une partie des tumeurs malignes. Il n'est pas très habituel de donner des résultats anticipés avant que la totalité des données n'ait été recueillie et analysée. Du 1^{er} article aux articles suivants, les seuils choisis pour effectuer les regroupements, soit de temps de latence, soit de durée de communication, sont différents, ce qui pourrait expliquer les différences observées entre les divers résultats.

Il est très difficile de comprendre comment les auteurs ont fait pour décider que le cas et le témoin sont concordants ou non quant à la latéralité de la tumeur et de l'oreille exposée au téléphone mobile. Cette approche ne paraît pas très légitime.

Les auteurs n'ont pas pu prendre en compte la spécificité de chaque appareil téléphonique utilisé par les sujets : or, on sait que d'un appareil à l'autre les niveaux de puissance et la zone effectivement exposée sont très variables. L'exposition attribuée à chaque individu manque certainement de ce fait de sensibilité.

Les auteurs n'approchent la dose que par la durée ; le nombre d'appels peut aussi intervenir puisque c'est au début d'un appel que la puissance est maximale alors qu'elle diminue notablement par la suite.

Un nombre important de cas incluables, dont les personnes décédées, n'ont pu être interrogés ; il se pourrait qu'un certain biais de sélection ait été introduit de ce fait. L'enquêteur par téléphone a pu être informé du statut de la personne enquêtée au téléphone ; de ce fait un biais d'information a pu également intervenir, malgré le protocole d'interview, quant à l'évaluation de la latéralité ou de la consommation téléphonique, le sujet malade associant *a posteriori* le côté où se situe la tumeur au côté d'utilisation du mobile.

Il semble que les sujets enquêtés connaissent l'objectif de l'étude : l'argument des auteurs disant qu'il n'y avait pas de débat sur les téléphones sans fil, et donc que le résultat positif montre qu'il n'y a pas de biais de ce fait ne paraît pas correct : en effet, les sujets font, à notre avis, entre les téléphones mobiles et les téléphones sans fil un total amalgame.

La différence de risque entre les cas de neurinomes ayant eu une utilisation ipsilatérale par rapport à la localisation de leur tumeur est relativement peu importante par rapport à ceux qui ont eu une utilisation contro-latérale. Or on sait que l'énergie est absorbée dans les premiers centimètres autour de l'oreille exposée et que l'exposition est négligeable dans l'autre partie du cerveau. Si l'on accepte l'hypothèse des auteurs, on s'explique mal alors les niveaux de risque très proches observés (ipsilatéral : $OR = 4,2$; 1,6-11/ controlatéral : $OR = 3,7$; 1,4-9,8).

Points forts : l'étude est la plus importante étude cas-témoin réalisée à ce jour dans ce domaine. Elle a une bonne puissance statistique, avec une médiane d'exposition suffisamment importante pour être informative dans l'hypothèse d'une action promotrice.

Un contrôle des diagnostics des cas signalés aux Registres de Cancers a été réalisé pour exclure les cas ne répondant pas aux critères d'inclusion (type, date de diagnostic). La localisation des tumeurs a été faite sans que l'expérimentateur sache si le cas était ou non exposé au téléphone mobile.

L'exposition des témoins et celle des cas de moins de 1 an n'a pas été prise en compte.

L'enquêteur au téléphone devait suivre un protocole strict pour réaliser le complément d'enquête, dans le but d'éliminer la subjectivité de l'enquêteur.

Les seuils de rupture de classes sont choisis de façon à diviser les témoins en trois groupes d'exposition de taille égale, ce qui est une pratique courante en épidémiologie, surtout s'il n'existe aucune hypothèse de seuil de dose ou de temps de latence. Elle peut cependant ne pas s'avérer la

¹ OR: Odds ratio

plus pertinente. Les choix d'analyse par durée et latence sont corrects et classiques quand on ne dispose pas de plus d'information.

Conclusion : Il s'agit d'une étude pour laquelle de nombreux aspects méthodologiques sont bien expliqués et paraissent avoir permis de maîtriser au mieux certains biais. Certains éléments vont dans le sens d'un excès de tumeurs lié à l'usage du téléphone de type analogique. Plusieurs points toutefois soulèvent des questions, et ne permettent pas d'affirmer la relation cause-effet suggérée. Cette étude est donc un élément parmi d'autres du débat. Ces résultats doivent être confirmés par d'autres études de méthodologie différente avant d'être considérés comme probants.

Muscat et al., (2002) Neurology, 58:1304-1306

Cette publication concerne spécifiquement les neurinomes de l'acoustique recueillis dans le cadre de l'étude cas-témoin sur les tumeurs du cerveau publiée en 2000. 90 patients atteints de neurinome et 86 patients (appariés sur l'âge, le sexe, la race) provenant d'autres services de deux hôpitaux New-Yorkais ont fait l'objet d'un entretien avec un enquêteur. Un questionnaire structuré a permis de recueillir des informations sur des habitudes de vie, l'usage de téléphone mobile, des facteurs professionnels et médicaux. En plus, des questions sur la fréquence de l'usage du téléphone mobile (nombre d'appels, et durée) des questions sur les appareils utilisés, la latéralité de l'usage étaient posées et les factures téléphoniques étaient utilisées pour valider les dires des personnes. Le diagnostic des tumeurs était vérifié sur les comptes-rendus d'anatomie pathologique. Les modèles de régression logistique multivariée ont permis de calculer les odds-ratios, ajustés sur un certain nombre de variables (âge, CSP,...). Le côté d'utilisation du téléphone a été étudié, en analysant spécifiquement les patients ayant une tumeur ipsilatérale. Les patients atteints de neurinome sont moins nombreux à utiliser des téléphones mobiles et en ont un usage moins intensif que les témoins (OR pour plus de 60 heures d'usage = 0,7 ; 0,2-2,6) . Un excès non significatif est observé chez les patients ayant un usage (pour la plupart irrégulier) du téléphone mobile depuis plus de 3 ans ; cet excès est calculé sur seulement 11 cas. Il n'existe pas d'excès du côté de la tumeur.

Points faibles : Il s'agit d'une étude dont la puissance statistique est faible, compte-tenu des odds-ratios recherchés.

Le fait de choisir des témoins hospitaliers a pu entraîner un biais de sélection dans la mesure où les cas peuvent venir d'une population très différente (service d'ORL très spécialisé) des témoins. Il est manifeste que les témoins sont plus nombreux à venir du secteur commercial, et pourraient de ce fait avoir un usage professionnel plus important du téléphone mobile.

Il est difficile de contrôler le fait qu'un patient atteint de neurinome ait pu changer le côté d'usage de son téléphone avant qu'il ne prenne conscience de sa surdité, ce qui pourrait expliquer qu'il n'y ait pas d'excès du côté ipsilatéral d'usage du téléphone mobile. Comme dans toutes les études cas-témoins, cet aspect de l'étude est extrêmement difficile à maîtriser.

Points forts : L'étude est de bonne qualité méthodologique [contrôle des diagnostics, questionnaire structuré, contrôle des informations obtenues sur l'usage des téléphones par les factures, prise en compte de la seule part du patient (la part d'autres utilisateurs de l'appareil du patient a été évaluée et ôtée....)].

La méthodologie statistique est de bonne qualité, et a notamment pris en compte dans l'analyse la catégorie professionnelle des sujets ce qui a sans doute maîtrisé plus ou moins complètement le biais évoqué ci-dessus.

Conclusions : il s'agit d'une étude de bonne qualité méthodologique ; toutefois, son manque de puissance fait qu'elle n'est pas informative, ce qui ne permet pas de la compter comme une étude négative, même si aucun élément ne suggère une relation cause-effet.

Auvinen A et al (2002) Epidemiology 13: 356-359

Il s'agit d'une étude cas-témoins portant sur les tumeurs du cerveau et celles des glandes salivaires. Les cas sont sélectionnés dans le registre des cancers finlandais, les témoins étant sélectionnés dans le registre de la population. L'information sur les expositions au téléphone mobile provient des deux opérateurs finlandais de téléphonie mobile, permet de savoir si les cas et les témoins sont abonnés à un des opérateurs, si l'abonnement concerne un téléphone analogique (900MHz) ou GSM (900Mz), ainsi que la durée de l'abonnement et la date de souscription. Il existe un léger accroissement du risque de gliome (OR = 2,1 ; 1,3-3,4 ; significatif) chez les utilisateurs de

téléphone de type analogique, cet excès semblant augmenter avec la durée d'abonnement à ce type de téléphone. Aucun excès n'est observé pour les autres types de tumeurs ; de même cet excès ne semble pas concerner les utilisateurs de GSM (OR = 1,0 ; 0,5-2,0).

Points faibles : Le simple fait d'être abonné à un réseau de téléphonie mobile n'est pas forcément synonyme d'exposition : en effet, dans un foyer plusieurs personnes pourraient avoir utilisé le téléphone mobile, l'abonné n'étant pas forcément l'utilisateur dans un certain nombre de cas. Ce phénomène est certainement marginal ; cependant, il pourrait avoir introduit un biais si les cas sont plus nombreux à avoir été des bénéficiaires de téléphone mobile sans avoir été abonnés ou/et si les témoins sont plus souvent à la fois abonnés et utilisateurs.

De même, certains cas et certains témoins ont pu être des usagers du téléphone mobile par le biais de leur employeur, cette information n'étant pas disponible dans les registres utilisés, il est vraisemblable qu'une certaine proportion de sujets n'a pas été comptabilisée comme exposée. Si ce mode d'usage est plus important chez les cas que chez les témoins, un biais a également pu être introduit. Toutefois, cela paraît peu vraisemblable au vu de la répartition très similaire des professions.

Dans la mesure où les données de consommation ne sont pas disponibles, les auteurs ont approché l'intensité d'exposition par la durée d'abonnement. Par ailleurs, les auteurs n'ont pas pu prendre en compte la notion d'utilisation des kits mains libres qui permettent de diminuer l'exposition. Il ne s'agit donc que d'une mesure indirecte qui peut ne pas être bien corrélées à la dose réelle cumulée d'exposition.

L'analyse par type de tumeurs et par strate de durée d'usage est très vite peu puissante, compte tenu des petits effectifs alors observés. L'étude sur les tumeurs salivaires est relativement peu puissante.

La durée d'utilisation, en ce qui concerne le GSM, est encore faible (< deux ans).

Points forts : Il s'agit d'une étude cas-témoins pour laquelle l'évaluation de la santé (apparition de cancers) et de l'exposition ont été faites de façon totalement indépendante, puisqu'il s'agit de données collectées " *a priori* " et pour d'autres fins, donc sans qu'un biais d'information soit introduit à ce niveau. Il est également vraisemblable qu'aucun biais de sélection ne soit intervenu pour la constitution des deux groupes malades/non malades.

Plusieurs facteurs confondants ont pu être pris en compte (niveau socio-économique, type d'emploi, résidence).

Conclusion : Il s'agit d'une bonne étude, méthodologiquement correcte. Cependant, cette étude n'est pas très informative en l'état du fait de l'imprécision de la mesure de l'exposition faite selon une méthodologie indirecte et du manque de puissance statistique dès que l'on analyse plus finement les données ; le manque de recul en ce qui concerne les GSM ne permet pas de conclure sur la non existence d'une relation GSM-Tumeurs du cerveau ou tumeurs des glandes salivaires. Certains éléments vont dans le sens d'un excès de tumeurs lié à l'usage du téléphone de type analogique.

- Tumeurs de l'œil

Johansen C. et al. 2002, Br J Cancer 86 : 348-349.

Suite à l'étude de Stang et al. (2001), qui rapportait une augmentation du risque de mélanome de l'œil en relation avec l'usage du téléphone mobile multiplié par un facteur 4, les auteurs ont mis en parallèle au Danemark l'évolution du taux d'incidence de ce cancer rare et celle de l'usage du téléphone mobile depuis 1943. Ils ont utilisé pour cela les données du Registre Danois des Cancers ainsi que les informations sur les abonnements souscrits pour le téléphone mobile fournies par le Bureau Danois des Télécommunications. Les auteurs n'ont observé aucune augmentation du taux d'incidence du mélanome de l'œil alors que le nombre des abonnements au téléphone mobile a augmenté exponentiellement depuis le début des années 1980. Les auteurs en concluent qu'il n'existe aucun élément permettant de conforter l'hypothèse d'une association entre téléphone mobile et mélanome de l'œil. Ceci étant dit, ils estiment que l'œil est hors d'une zone exposée aux radiofréquences du téléphone mobile, et que ce résultat est conforme à ce qui était attendu. Ils pensent que les résultats de Stang sont liés à un facteur confondant non pris en compte.

Points faibles : Il ne s'agit que d'une étude descriptive dont l'objectif n'est pas de tester l'hypothèse d'une association. La période d'utilisation du téléphone mobile pourrait être encore trop brève pour laisser apparaître les effets des radiofréquences.

Etre abonné au téléphone mobile ne préjuge pas que l'on en est l'utilisateur, même si c'est

vraisemblable. De plus, cela ne prend pas en compte l'intensité de l'exposition.

Points forts : Les données recueillies sont non biaisées car elles ont été recueillies *a priori* pour d'autres usages et de façon indépendante.

L'étude ne montre aucune tendance à l'accroissement du nombre de mélanomes de l'œil alors que l'augmentation des abonnés a débuté plus de 10 ans auparavant. Ce délai est déjà suffisamment important dans le cadre d'une hypothèse d'un effet de type promotion cancéreuse des radiofréquences, ce qui est l'hypothèse testée par le Centre International de Recherche sur le Cancer dans son étude Interphone.

Conclusion : aucun élément de cette étude descriptive ne soutient l'hypothèse d'un excès de risque de mélanome de l'œil dû à l'utilisation du téléphone mobile. Mais cette étude ne peut être considérée comme prouvant l'inexistence d'un risque.

- Leucémies

Aucun excès de leucémie n'a été mis en évidence dans l'étude d'abonnés au téléphone mobile citée ci-dessus (Johansen C et al., 2001).

2.1.3 Etudes sur les stations de base

Cancers

Depuis la publication du rapport de 2001, il n'existe pas de nouvelle étude en population générale recherchant une association entre le fait de vivre au voisinage de stations de base et d'avoir un cancer.

Il faut rapprocher cette question des études faites antérieurement dans diverses municipalités (Hawaï, Sydney, San Francisco et Grande Bretagne) qui n'ont pas démontré l'existence de relation entre la présence de tours de télévision et un excès de cancers. Il faut noter que dans la plupart des études, il s'agissait d'études de corrélation géographique ; seule l'étude de Maskarinec était une étude cas-témoin sur les leucémies de l'enfant : la faible puissance de l'étude de Maskarinec, l'évaluation de l'exposition la plupart du temps uniquement basée sur la distance aux tours, la non prise en compte des facteurs confondants en font des études peu informatives.

La récente étude effectuée dans la région de Rome autour des émetteurs de Radio-Vatican (Michelozzi et al. 2002) a montré un excès de cas de leucémies chez l'enfant (8 cas pour 4 attendus), avec l'excès principal dans la zone de 4 à 6 km (5 pour 2,5 attendus), les excès observés dans les autres zones étant basés sur un ou deux cas observés. Un des tests de tendance décroissante avec la distance est significatif mais est difficile à retenir car basé sur de très petits chiffres (zone < 2 km : 1 cas pour 0,2 attendu ; zone 2-4 km : 2 cas pour 0,9 attendus...).

Les mêmes limites que dans les études précédentes sont observées :

- analyse de corrélation géographique, ne permettant pas d'établir de lien de causalité,
- tests multiples (prise en compte de la distance suivant de nombreuses hypothèses : distance simple, carré de la distance, inverse de la racine carrée...),
- estimation de l'exposition par la seule distance,
- quelques mesures ponctuelles et faites sans analyse de spectre, dans l'environnement très proche de la station (< 1 km) ont montré un dépassement des valeurs limites d'exposition en ce point, mais des mesures sur 24 h, notamment dans la zone des 4-6 km ne montrent pas de niveaux élevés : ces éléments de métrologie n'apportent en définitive que peu d'information,
- peu d'information sur le calcul des SIR alors que la tranche d'âge considérée est caractérisée par des taux de leucémies très variables passant par un pic vers 5-8 ans
- pas de possibilité de données individuelles et de prise en compte des facteurs confondants, à l'exception d'une correction au niveau de chaque zone par un indice de niveau socio-économique.

Cette étude ne permet pas de changer la conclusion précédente : il n'existe pas d'élément convaincant de l'existence d'un risque de leucémie autour des émetteurs de radiodiffusion.

Symptômes subjectifs

Santini T et al. 2002, Pathol Biol, 2002, 50 : 369-373.

Il s'agit d'une étude transversale portant sur 530 sujets volontaires dans le but d'étudier la relation

entre l'existence de symptômes décrits sous le terme de " maladie des radiofréquences " et le fait d'être exposé aux radiofréquences émises par les stations de base de téléphonie mobile, l'exposition étant évaluée par la distance de la personne à une station de base. Les proportions de plaintes sont comparées dans les groupes de personnes considérées comme exposées aux RF (divers groupes de personnes à moins de 300 m d'une antenne) et dans le groupe de personnes habitant à plus de 300 m, qui sert de référence. Les plaintes sont plus fréquentes lorsque l'on se rapproche des stations de base. Les femmes se plaignent plus souvent que les hommes parmi les sujets situés à moins de 300 m d'une station de base, alors qu'il n'existe pas de différence entre les sexes au-delà de 300 m.

Points faibles : Les auteurs ont fondé le recrutement de leur population d'étude sur le volontariat ; ils ne précisent d'ailleurs pas par quel canal est passé l'invitation aux personnes volontaires. Il existe de ce fait un biais de sélection certainement important, les personnes volontaires étant vraisemblablement concernées (inquiètes) par la question des radiofréquences. La non représentativité de l'échantillon ne peut donc absolument pas permettre la généralisation de la conclusion.

La mesure de l'exposition est basée sur l'évaluation par chaque individu de son éloignement par rapport à l'antenne. Il est vraisemblable que les individus souffrant de symptômes qu'ils associent aux radiofréquences ont mieux " repéré " les antennes dans leur environnement que ceux qui n'ont pas de symptômes, entraînant de ce fait un biais dans l'évaluation de la distance aux antennes.

Les auteurs négligent le fait que les symptômes décrits sont des symptômes dits " subjectifs ", fréquemment rencontrés dans de nombreuses situations de stress et qu'ils pourraient de ce fait traduire l'état de stress de ces personnes. Cette explication est vraisemblable, dans la mesure où l'on sait que la puissance maximale mesurée au sol se situe entre 150 et 300 m et non entre 0 et 100 m comme le suggèrent les commentaires des auteurs.

Enfin, la méthodologie statistique est très peu élaborée, reposant uniquement sur la comparaison de pourcentages (et sans que la notion de variabilité de la mesure apparaisse). De nombreux tests de Chi 2 ont été réalisés, rendant possible le fait qu'une partie des tests significatifs soit le fait du hasard.

Points forts : aucun

Conclusion : Cette étude n'est pas informative et ne permet pas de conclure à l'existence d'une relation entre l'exposition aux radiofréquences des stations de base et les symptômes étudiés contrairement à ce qu'en concluent les auteurs.

2.1.4 Conclusion sur l'épidémiologie

Les études sont contradictoires : certaines sont plutôt négatives (il s'agit plus souvent d'études de cohorte pour lesquelles il existe vraisemblablement peu de biais mais des insuffisances en matière de délai et de mesure de la dose d'exposition). Quelques études cas-témoins ou transversales évoquent l'existence d'un risque essentiellement lié aux téléphones de type analogique mais leur puissance est souvent assez faible, et des questions méthodologiques se posent (biais de sélection, biais d'information, insuffisance de la mesure d'exposition).

Il est donc encore trop tôt pour conclure sur ce risque. Seule la répétition d'études bien menées permettra de répondre à cette question.

Les quelques études transversales sur les symptômes locaux paraissent attester de l'existence d'une telle symptomatologie chez certains individus, les démonstrations de l'existence d'une symptomatologie générale sont moins convaincantes en raison du manque de prise en compte des facteurs de confusion possibles.

Certains domaines sont insuffisamment ou ne sont pas encore explorés : rôle de l'âge ? leucémies ? rôle sur les pathologies neurologiques ?

Les études sur les symptômes ou autres pathologies à proximité des antennes de stations de base sont inexistantes ou inadéquates. Dans la mesure où les niveaux de champs observés dans l'environnement de ces antennes sont peu importants, il est admis que des études épidémiologiques seront très difficiles (voire impossibles) à réaliser dans les populations environnantes et seront vraisemblablement peu informatives. Dans ces conditions et compte-tenu du fait que le risque attendu, s'il y a risque, est très faible, il paraît plus judicieux de réaliser des études dans des populations fortement exposées aux radio-fréquences (par exemple, professionnellement) et d'extrapoler seulement dans un second temps les résultats aux populations générales.

2.2 Études en laboratoire

2.2.1 Études humaines

Conclusions du rapport de 2001 : *Les publications récentes relatives aux travaux de type expérimental précisent ce qui était déjà décrit concernant l'effet d'une exposition sur certaines fonctions cognitives, chez l'animal comme chez l'homme.*

De nombreuses études humaines réalisées avec des téléphones réels ou des émetteurs simulant une exposition réelle montrent des effets sur des fonctions cognitives et l'électroencéphalogramme (EEG). Les systèmes d'exposition utilisés sont très variables d'une étude à l'autre : téléphones commerciaux émettant au maximum (250 mW) ou à leur puissance usuelle (40% de la puissance maximum), antennes similaires à celles d'un téléphone alimentées par un générateur externe (puissance variable), etc. Les terminaux peuvent être fixés sur des supports à plus ou moins grande distance de la tête (plaqués ou à quelques centimètres), posés à côté de la tête, ou tenus à la main.

Le système d'exposition fictive qui sert de contrôle peut être visuellement similaire, mais il existe un échauffement des téléphones lié au fonctionnement de la batterie et des circuits RF qui est difficile à imiter. Lors de l'émission, il existe également un bruit intrinsèque émanant de la carte support des circuits électroniques qui ne peut pas être mimé ou difficilement, dans le téléphone en émission fictive. Dans les expériences les plus soignées, un écran thermique ou/et phonique est placé entre le téléphone et la tête : cet artifice éloigne la source de la tête, ce qui tendrait à atténuer des effets éventuels. Ces paramètres doivent être soigneusement vérifiés lors de l'interprétation des études ne montrant pas d'effets lorsqu'ils sont pris en compte, ainsi que dans le cas des études positives lorsqu'ils ne le sont pas (biais de l'échauffement ou de la stimulation sonore).

Système nerveux

Dans leur revue, Cook et al. (2002) relèvent que l'électroencéphalogramme (EEG), les potentiels évoqués et certaines tâches cognitives sont modifiés sous exposition aux signaux de la téléphonie mobile. Les auteurs signalent que ces expériences sont délicates et difficiles à interpréter, notamment en ce qui concerne l'EEG. De plus, aucune conclusion n'est donnée sur le rôle de la modulation dans les effets des RF. Des améliorations aux protocoles expérimentaux sont proposées pour confirmer ces résultats. Par exemple, il est suggéré de classer les sujets suivant leur activité EEG au repos afin de minimiser la dispersion des résultats. De même, il est conseillé de tenir compte des facteurs pouvant augmenter la variabilité intra- et inter-sujets dans les expériences de cognition (état psychologique, heure du test, prise de médicament, etc.). La plupart de ces recommandations ont déjà été mises en œuvre dans les expérimentations les plus récentes. De même, Hossmann et Hermann (2003) ont analysé les résultats publiés sur les fonctions cognitives, le sommeil et les pathologies. Ils notent que la plupart des effets rapportés sont de faible amplitude, tout au moins s'il s'agit d'actions non thermiques. D'autres conséquences indirectes existent tels que les accidents de voiture mais aussi le "stress" que peut causer l'utilisation d'un téléphone mobile par une personne située à proximité. Ils suggèrent d'explorer d'avantage ces effets indirects probablement plus "dangereux" que des effets biologiques éventuels.

Sur six tests d'activité cérébrale, Edelstyn et Oldershaw (2002) ont rapporté des différences sur deux tests d'attention et un de calcul. Dans les trois cas, une amélioration des performances était constatée, comme c'était le cas pour Preece (1999)¹ et Koivisto (2000)² avec des tests différents. Lors d'un congrès récent, Koivisto a indiqué que les résultats de son groupe n'étaient pas reproduits dans leurs dernières expériences (Koivisto et al., 2003).

Huber et al. (2002) ont montré des effets des RF sur l'EEG de veille et de sommeil chez l'homme après exposition de la tête à un GSM 900 MHz pendant 30 min. Il est montré une augmentation de la puissance EEG dans la bande alpha avant l'installation du sommeil pendant une phase de sommeil superficiel. L'exposition à un champ électromagnétique non pulsé n'avait pas cet effet sur l'EEG.

C'est bien sûr l'oreille qui est la plus proche du téléphone mobile. Il n'a pas été décrit dans la littérature médicale de pertes d'audition. Ozturan et al. (2002) ont mesuré un paramètre sensible au

¹ Preece et al. 1999, Int J Radiat Biol, 75(4):447-456

² Koivisto et al., 2000, Neuroreport, 11(8):1641-1643.

niveau de l'oreille : les émissions oto-acoustiques (EOA). Aucune baisse de l'audition ni modification des EOA n'ont été mesurées avant et après une exposition de 10 min au téléphone mobile.

Peu d'études ont concerné des patients atteints de pathologies. Une modification des potentiels évoqués visuels a été décrite chez des patients atteints de narcolepsie, mais sans comparaison avec un effet sur des tests similaires chez des volontaires sains (Jech et al., 2001). Les auteurs concluent que les RF suppriment l'excessive tendance au sommeil et accroissent la performance dans une épreuve cognitive exigeant vigilance et attention. Quant aux potentiels visuels, il se produit certaines modifications, mais qui sont loin d'être significatives.

Burch et al. (2002) ont trouvé que la concentration d'un métabolite de la mélatonine dans l'urine était diminuée lors de l'utilisation prolongée de téléphones mobiles associée à une exposition à un champ magnétique à 60 Hz.

Systeme immunitaire

Radon et al. (2001) ont exposé des volontaires à des signaux GSM afin de rechercher des altérations éventuelles de la concentration salivaire de mélatonine (hormone des rythmes biologiques), de cortisol (hormone du stress), et de deux autres molécules du système immunitaire. Les volontaires étaient exposés en double aveugle aux ondes émises par une antenne, à une intensité correspondant à celle qui existe à 20 m dans le faisceau d'une antenne de station de base (environ 20 V/m). Chaque personne était testée durant 20 séances de 4 heures, de jour ou de nuit. Aucune différence significative n'a été observée entre les phases d'exposition réelle et les phases d'exposition fictive. Cette étude corrobore les résultats négatifs de de Seze (1999)¹ sur la concentration de mélatonine et de cortisol dans le sang avec des expositions de plus longue durée à des téléphones mobiles émettant à puissance maximale. La dosimétrie dans l'étude de Radon est cependant insuffisante et ne permet pas de conclure à un niveau d'exposition sans effet en termes de DAS local.

Kimata (2002) a trouvé que l'exposition aux téléphones mobiles augmente les réponses cutanées inflammatoires liées à la poussière ménagère et la réaction au pollen de cèdre japonais, mais n'a pas d'action sur les réponses cutanées créées par l'histamine chez des patients atteints de pathologies cutanées de type eczéma. Les RF augmentent aussi le taux plasmatique de molécules d'origine inflammatoire. Autrement dit, les RF favoriseraient les réponses cutanées suscitées par des allergènes en association avec la libération de ces molécules.

Symptômes

Deux études de provocation ont été pratiquées en aveugle sur des volontaires sains pour déterminer la réalité des symptômes subjectifs et des sensations éprouvées lors de l'exposition à des téléphones mobiles GSM (Koivisto et al., 2001). L'exposition durait 60 min ou 30 min. Les symptômes étudiés étaient les maux de tête, la fatigue, les démangeaisons, la rougeur et la sensation de chaleur sur la peau. Aucune différence n'a été observée entre les phases d'exposition réelle et d'exposition fictive. Ces résultats confirment les autres études du même groupe de recherche et ceux d'autres équipes nordiques.

L'hypothèse de l'existence d'une hypersensibilité a été testée en Finlande pour des téléphones mobiles chez des personnes se déclarant hypersensibles à l'électricité, dans des expériences pratiquées en double aveugle (ni la personne ni l'expérimentateur n'étaient informés durant l'exposition de sa nature réelle ou fictive) (Hietanen et al., 2002). Les sources étaient constituées par un téléphone mobile de type analogique à 900 MHz (NMT) et deux téléphones mobiles de type numérique à 900 et à 1800 MHz (GSM). Chaque personne était soumise en une journée à 3 ou 4 sessions de 30 min (réelle ou fictive) et devait décrire les symptômes ressentis. La pression artérielle, le rythme cardiaque et la fréquence respiratoire étaient mesurés toutes les 5 min. La plupart des symptômes rapportés étaient situés au niveau de la tête, mais leur occurrence était plus fréquente pendant les phases d'exposition fictive. De plus, aucun volontaire n'a pu distinguer les expositions réelles des expositions fictives. Ces résultats sont en accord avec d'autres expérimentations analogues.

De leur côté, Sandström et al., (2001) ont comparé les effets de téléphones mobiles NMT (analogiques) et GSM (numériques). Leur hypothèse de départ, invalidée par cette étude, est que les

¹ De Seze et al., J Pineal Res., 1999, 27(4):237-242.

utilisateurs de GSM auraient rapporté plus de symptômes que les utilisateurs de NMT. Néanmoins, la sensation de chaleur sur l'oreille était plus rare chez les utilisateurs de GSM (à noter que le réseau NMT est devenu marginal depuis cette étude). Une autre observation était la corrélation significative entre la durée des appels et l'incidence des sensations de chaleur derrière et autour de l'oreille, ainsi qu'avec les maux de tête et la fatigue.

Un cas isolé d'apparition de symptômes locaux de la face a été rapporté, chez un patient exposé par accident au champ proche d'une station de base (Hocking et Westerman, 2001). L'exposition n'a pas été quantifiée ni par calcul ni par des mesures. Il apparaît extrêmement étonnant que de tels effets aient été causés aux faibles niveaux émis par les stations de base, même à proximité immédiate sinon au contact. En effet, avant la mise en œuvre de protocoles de coupure, de nombreux personnels ont été exposés dans des conditions similaires directement dans le faisceau à courte distance d'émetteurs en fonctionnement et il n'a jamais été rapporté d'incident de ce type.

Échauffement

Adair et al. (2001a) ont étudié les effets thermiques des micro-ondes chez l'homme. Des volontaires ont été soumis à une exposition locale à un DAS de 15,4 W/kg sur 1 g correspondant à un DAS corps entier de 1 W/kg. Les valeurs de DAS utilisées les plus élevées sont supérieures aux limites d'exposition pour les travailleurs (10 W/kg local ou 0,4 W/kg corps entier). Les volontaires ont été exposés pendant 45 min à 2450 MHz à des températures ambiantes de 24, 28 et 31°C. Dans les conditions les plus défavorables de 31°C et 700 W/m², l'augmentation du débit sanguin cutané et la transpiration ont efficacement maintenu l'homéostasie (la stabilité) de la température centrale. Dans une autre étude, Adair et al. (2001b) ont comparé les réponses de volontaires à des émissions RF pulsées (impulsions de 65 µs à 10 kHz de récurrence) ou continues à des niveaux thermiques. Les volontaires ont été soumis à des expositions de 45 min à 2450 MHz à des puissances incidentes de 270 et 350 W/m², correspondant à des DAS locaux de 6 et 7,7 W/kg. L'exposition était faite à trois températures ambiantes de 24, 28 et 31°C. La température de la peau à la surface du dos en regard de l'antenne était significativement augmentée dans le cas des ondes pulsées. Il n'a pas été observé de différence de température centrale ou sur d'autres parties du corps. Des manœuvres d'évitement causées par la douleur empêcheraient un séjour trop prolongé à des niveaux d'exposition supérieurs.

Dans le cas des téléphones mobiles, l'échauffement lié à l'absorption des ondes a été calculé autour de 0,3°C au niveau de la peau, et de 0,1°C dans le cerveau. Or, de nombreuses personnes ont la sensation d'un échauffement net lors de l'utilisation prolongée d'un téléphone mobile. Cette sensation est réelle, due en partie à l'interruption du refroidissement cutané par l'air ambiant, en partie à l'échauffement du téléphone par les courants de batterie et le fonctionnement des circuits électroniques. La température habituelle de la peau à température ambiante de 18-20°C est de 31-32°C. Lorsque le téléphone éteint est placé au contact de la joue, la température de la peau se rapproche de la température physiologique interne de 37°C. Lorsque le téléphone mobile est en émission, la température à l'interface de la peau et du téléphone s'équilibre autour de 38-38,5°C. Comparé aux 0,3°C liés à l'absorption du champ radiofréquence, cela signifie que la sensation d'échauffement est expliquée pour un cinquième seulement par l'absorption du champ électromagnétique et pour quatre cinquièmes par le transfert de calories du téléphone vers la peau. Lorsque des effets ou des symptômes sont décrits lors de l'utilisation d'un téléphone mobile, il importe donc d'évaluer la part de l'échauffement due aux calories transmises par le téléphone pour déterminer le rôle des RF.

Systeme vasculaire

En 1998, Braune avait observé que la pression artérielle diminuait au cours du temps chez des volontaires exposés pendant près d'une heure à l'émission d'un téléphone mobile¹. Dans un protocole mieux contrôlé avec une séquence d'exposition, réelle ou fictive, croisée de façon aléatoire, il confirme que la pression artérielle diminue au cours du temps dans son protocole, mais que ce phénomène est observé, l'exposition étant fictive ou réelle (Braune et al., 2002). Ceci indique que ce n'est pas l'exposition au téléphone qui est à l'origine de la variation de pression artérielle observée. Ces deux études démontrent l'intérêt d'un protocole bien conçu pour l'étude des effets physiologiques

¹ Braune et al., Lancet. 1998, 20;351(9119):1857-1858.

des téléphones mobiles, ainsi que la nécessité d'une réplication pour confirmer un effet ou lorsque ce n'est pas le cas, permettre de déceler des biais éventuels.

Paredi et al. (2001) ont étudié l'effet d'une exposition aux téléphones mobiles sur la production de monoxyde d'azote (NO). Le NO est produit lors de certains phénomènes inflammatoires et peut entraîner des effets biologiques tels qu'une vasodilatation. La concentration en NO dans l'air expiré était augmentée de 13% au bout de 10 minutes. Dans le même temps, la température cutanée était augmentée de 2,3 °C du côté du téléphone mobile et pas de l'autre côté, de même qu'était notée une réduction de 27% de la section de passage de l'air par le nez. Il n'est pas précisé si l'augmentation de température cutanée est due aux ondes ou au transfert direct de chaleur. Ces résultats mériteraient une réplication soignée pour être validés.

Dans leur étude sur l'EEG, Huber et al. (2002) ont montré une augmentation du débit sanguin régional pendant l'éveil après exposition de la tête à un GSM-900 pendant 30 min.

Certaines des modifications vasculaires observées pourraient être en partie dues à l'échauffement cutané créé par le téléphone.

Conclusions sur les études humaines

De nombreuses études humaines réalisées avec des téléphones mobiles réels ou des émetteurs simulant une exposition réelle montrent des effets sur le système cognitif et l'électroencéphalogramme (EEG). Cependant, on est loin de dominer toute la variabilité inter-individuelle de l'EEG, même en absence de toute action supposée nocive. Dans ces conditions, rien ne peut permettre de conclure à une souffrance cérébrale et les effets cognitifs ne correspondent pas à un risque pathologique à long terme s'ils sont temporaires. Les effets observés sont de faible amplitude et peu cohérents entre eux : les temps de réaction sont raccourcis, ce qui va dans le sens d'une activation, tandis que les modifications prédominantes de l'EEG (rythmes alpha plus marqués) accompagnent généralement un état de relaxation. Des travaux complémentaires semblent cependant nécessaires pour évaluer la persistance des effets ou leur possible accumulation liée à des expositions répétées. De telles études sont en cours (e. g., étude sur le système cognitif à Montpellier).

2.2.2 Études animales

Système nerveux et comportements

Etant donné que, jusqu'à présent, les téléphones GSM étaient et sont toujours, dans la plupart des cas, placés à proximité de la tête de l'utilisateur, on s'est interrogé sur les effets des ondes électromagnétiques qu'ils émettent sur le système nerveux central, indirectement donc aussi sur les comportements et notamment les phénomènes cognitifs, dont la mémoire, ainsi que sur l'audition et sur certaines pathologies comme par exemple la migraine.

Le nombre des travaux expérimentaux sur l'animal s'est développé au cours des dernières années, notamment à l'occasion du projet Comobio, dont les résultats sont analysés ici, en rapport avec les autres études qui ont été menées dans le monde pendant la même période.

- Barrière Hémato Encéphalique

La barrière hémato encéphalique (BHE), dans les vaisseaux cérébraux et méningés, régule le passage des molécules en solution dans le plasma vers le cerveau. Seules les molécules liposolubles peuvent passer par diffusion au travers des membranes plasmiques des cellules endothéliales. Les autres sont tributaires ou non d'un transport actif biochimique. Elle empêche donc le passage de certaines molécules, notamment les grosses molécules, qui pourraient induire dans le cerveau des phénomènes neurotoxiques, alors qu'elle laisse passer les molécules nécessaires au métabolisme cérébral.

Cette barrière peut être altérée par différents facteurs comme le traumatisme, générateur d'œdème, l'anoxie, l'hypertension, les radiations ionisantes etc. Les migraines, souvent mentionnées dans les plaintes d'utilisateurs de téléphones mobiles, sont notamment associées à une inflammation de la dure-mère. C'est donc tout naturellement que l'on s'est intéressé aux effets potentiels des ondes électromagnétiques émises par les téléphones mobiles, sur cette barrière.

Une augmentation de la perméabilité de la BHE vis-à-vis de facteurs circulants, de leucocytes ou de bactéries est associée à plusieurs pathologies du système nerveux central, telles que tumeurs

cérébrales, sclérose en plaques, infections virales ou bactériennes.

Les premières études avaient en effet montré une perméabilisation de la BHE après exposition à des champs RF faibles, mais ces modifications avaient plus tard été attribuées à d'autres facteurs dont notamment une élévation de la température. Par la suite, les travaux ont montré des résultats contradictoires, bien qu'une grande majorité d'entre eux montrent une absence d'effets. C'est le cas des derniers travaux sur les signaux des téléphones mobiles : plusieurs études récentes confirment l'absence d'altération de la BHE, mais deux autres montrent une perméabilisation augmentée.

Une équipe de l'Air Force aux USA (Mason et al., 2001) a testé l'hypothèse que le stress et/ou l'exposition aux micro-ondes, altère la perméabilité de la BHE à la pyridostigmine, molécule prescrite en traitement préventif aux gaz neurotoxiques, dont la pénétration dans le cerveau pourrait être liée au "syndrome du Golfe". Après habituation aux conditions d'exposition, des rats ont été pseudo-exposés, exposés (0,18-2,48 W/kg, 915 MHz pulsé, pendant 30 minutes) et/ou soumis à un stress de contention. Les auteurs n'ont pas observé d'effet significatif chez les animaux stressés ou non-stressés, exposés ou pseudo-exposés. L'administration de pyridostigmine a provoqué une inhibition de l'acétylcholine estérase de 40 % environ dans le sérum mais aucune inhibition significative dans le cerveau, montrant par là l'intégrité de la BHE.

En 2000, Tsurita et al. ont simultanément mesuré la perméabilité de la BHE, les modifications morphologiques au niveau du cervelet (dégénérescence des cellules de Purkinje) et le poids de rats sous exposition au signal de la téléphonie mobile japonaise (TDMA, 1439 MHz). Les champs étaient émis par un monopôle situé au centre d'un carrousel. Le DAS dans le cerveau était de 2 W/kg pour une moyenne sur le corps entier de 0,25 W/kg. Des groupes de 8 rats ont été étudiés : exposés (1 heure par jour, 5 jours par semaine, pendant 2 ou 4 semaines), pseudo-exposés et contrôle-cage. D'autres rats ont servi de contrôle positif après chocs thermiques au chaud ou au froid. Les modifications de la BHE étaient évalués par deux méthodes : marquage immunohistochimique de l'albumine sérique, et étude du passage du bleu d'Evans, après injection intraveineuse. Aucun effet de l'exposition n'a été observé sur la perméabilité de la BHE ni sur la structure du cervelet et le poids des animaux. Ce résultat est à rapprocher de ceux de Fritze et al. (1997)¹ qui n'ont observé des effets sur la BHE, dans des conditions très similaires, avec des signaux GSM, que pour des niveaux de 7,5 W/kg dans le cerveau.

De même Finnie et al. (2001) ont étudié l'effet de signaux GSM sur la perméabilité de la BHE sur des souris. Les animaux étaient placés dans un système d'exposition en forme de "grande roue" et exposés corps-entier à un DAS de 4 W/kg pendant une heure. Trois groupes d'animaux ont été étudiés : exposés (n=20), pseudo-exposés (n=10), et contrôles-cage (n=10). Le passage d'albumine était mesuré ici aussi par immuno-histochimie. Les contrôles positifs étaient obtenus par injection d'une toxine qui provoque le passage des protéines plasmatiques. Le passage d'albumine était augmenté autour de vaisseaux sanguins ne possédant pas de BHE mais aucune altération de la BHE n'était observée. Ces résultats sont donc en accord avec ceux de Fritze et al. (1997) et de Tsurita (2000) qui n'ont pas observé de perméabilisation de la BHE pour des niveaux de DAS inférieurs à 5 W/kg.

Ces mêmes auteurs (Finnie et al., 2002) ont ensuite réalisé une étude identique, mais lors d'une exposition chronique pendant toute la vie des souris c'est-à-dire 2 ans. Des groupes de souris (de 20 à 40 par groupe) étaient exposés, corps-entier, 1 heure par jour, 5 jours par semaine, donc pendant 104 semaines à 900 MHz modulés à 217 Hz aux DAS de 0,25, 1, 2 et 4 W/kg. Des groupes contrôles-cage et pseudo-exposés permettaient d'évaluer un éventuel effet du stress de confinement. L'ensemble de ces animaux faisait partie d'une étude sur la cancérogenèse lors de l'exposition à vie des souris (Utteridge et al. 2002) (cf. le sous-chapitre sur cancer). Enfin, par injection d'une toxine, un groupe contrôle-positif (n=10) validait la technique utilisée (marquage immunohistochimique de l'albumine sérique) pour l'évaluation de la BHE. La fréquence de traces de passage d'albumine n'était pas altérée aux différents niveaux d'exposition.

Par contre, d'autres études avaient ces dernières années montré une augmentation de la perméabilité de la BHE pour des RF à des DAS relativement faibles (Neubauer et al., 1990², Persson

¹ Fritze et al., 1997, *Neuroscience*, 81(3): 627-639.

² Neubauer et al., 1990, *Bioelectromagnetics*, 11(4): 261-268.

et al., 1997¹, Salford et al., 1997²) et deux études récentes avec les signaux GSM montrent également des altérations de la BHE.

Dans le cadre du programme Comobio, le groupe de Pierre Aubineau à Bordeaux (Töre et al., 2002) a étudié les modifications de la perméabilité des vaisseaux sanguins aussi bien cérébraux que méningés (dans la dure-mère) à des niveaux de DAS compatibles avec les émissions GSM et en contrôlant la pression artérielle. Les effets de ces ondes ont été étudiés chez 50 rats, exposés ou pseudo-exposés, contrôles-cage et contrôles positifs (par infusion d'une solution hyper-osmotique dans l'artère carotide commune). Des précautions particulières ont été prises pour contrôler le stress : habituation des animaux aux conditions d'exposition, c'est-à-dire maintenus, pendant la durée de l'exposition, dans un cône de contention (fusée), et contrôle de la pression artérielle enregistrée en continu, grâce à la mise en place de cathéters dans l'artère fémorale. Des niveaux de DAS de 0,2 à 3 W/kg (moyennés sur le cerveau) ont été utilisés en GSM-900, pendant 2 heures. Les expositions étaient réalisées à l'aide d'une antenne boucle placée au-dessus de la tête et décalée de 5° de façon à éviter l'exposition au niveau des sinus veineux et exposer préférentiellement un hémisphère cérébral. La mesure de la perméabilité des tissus était réalisée grâce à la visualisation par fluorescence d'albumine séreuse de bœuf dans le cerveau et la dure-mère, après fixation et prélèvement. Chez tous les animaux, la pression artérielle est restée entre 100 et 130 mmHg, c'est à dire bien inférieure à la limite de rupture de la BHE donnée chez le rat autour de 170 mmHg. À 3 W/kg, l'examen de la fluorescence n'a pas montré de passage d'albumine chez les contrôles et les animaux pseudo-exposés, que ce soit dans la dure-mère ou dans le cerveau. Chez les rats exposés, une perméabilisation se produit dans la dure-mère et dans les couches profondes du cerveau situé directement sous l'antenne principalement dans l'hémisphère le plus exposé. À 0,75 W/kg, une perméabilisation était visible dans la dure-mère, mais elle se révélait très discrète au niveau du cerveau où seulement quelques vaisseaux isolés semblaient avoir permis le passage du traceur et était absente à 0,2 W/kg. Le seuil de DAS pour la perméabilisation de la BHE se situerait donc entre 0,2 et 0,75 W/kg.

Parallèlement, des rats ont été traités de façon à favoriser l'inflammation de la dure-mère (rats "sympatectomisés") et exposés ou pseudo-exposés. Ils ont tous montré une extravasation importante de l'albumine dans le tissu cérébral, augmentée lors de l'exposition.

Il convient de rappeler ici que Mason et al, cités plus haut, n'ont pas observé d'effet sur la BHE chez des animaux exposés à des niveaux de DAS comparables (2 W/kg) à ceux utilisés par le groupe d'Aubineau. Cette différence de résultats soulève la question de la réversibilité de la perméabilisation : en effet, Aubineau a effectué les mesures immédiatement après une exposition unique de 2 h tandis que Mason et al. ont exposé de manière chronique (1 h/j, 5j/s, pendant 4 semaines).

L'autre étude est celle du groupe Suédois à Lund qui avait déjà démontré des effets des RF sur la BHE (Salford et al., 1994³, 1997³), avec passage d'albumine. Dans les dernières expériences (Salford et al., 2003), les auteurs ont exposé des rats âgés de 12 à 26 semaines, pendant 2 heures, à des signaux GSM, et se sont intéressés non seulement au passage de l'albumine, mais aussi aux lésions neuronales éventuellement associées. Pour cela ils ont utilisé un marquage ARN/ADN révélant les "neurones sombres" (dark neurons) considérés comme signes de lésions neuronales. Trois groupes de 8 rats ont été exposés pendant 2 heures et sacrifiés 50 jours plus tard. Les expositions étaient réalisées dans des cellules TEM connectées directement par câble coaxial à la sortie puissance programmable d'un téléphone GSM classique sans modulation vocale (915 MHz, DAS corps-entier estimé de 2, 20 et 200 mW/kg). Les résultats montrent clairement des traces d'albumine distribuées dans tout le cerveau, ainsi qu'une augmentation significative du nombre de "neurones sombres". Une évaluation qualitative fait ressortir une augmentation du nombre de neurones sombres avec le niveau d'exposition. La distribution aléatoire des neurones sombres dans tout le cerveau ne peut être associée à aucune fonction cérébrale définie, et donc à aucune pathologie connue. Le fait que l'albumine continue à passer encore 50 jours après l'exposition indiquerait que la BHE est toujours affectée, bien que l'on n'en comprenne pas le mécanisme. Pourtant, le caractère réversible des

¹ Persson et al., 1997, *Wireless Networks*: 3, 455-461.

² Salford et al., 1997, *Wireless Networks* 3: 463-469.

³ Salford et al., BEMS 16th Ann Meet, 12-17 Juin 1994, Copenhague, Danemark

altérations de la BHE a été systématiquement retrouvé dans toutes les études (e.g., Lin et Lin, 1982¹ ; Albert et Kerns, 1981²).

En conclusion, autant un grand nombre d'études sérieuses (une quarantaine), jusqu'aux plus récentes, ne montrent aucun effet, notamment après exposition à long terme aux RF, autant les quelques études montrant des altérations significatives sont à considérer. Si certains effets sont clairement dus à un échauffement, d'autres sont obtenus à des niveaux beaucoup plus faibles. Le premier travail à venir sera donc d'essayer d'élucider les raisons de ces discordances. Bien qu'il soit difficile de transposer ces résultats aux conditions d'exposition chez l'homme, il n'en reste pas moins que le rat est LE modèle consacré, notamment dans toutes les études pharmacologiques.

- Modification d'activité neuronale et comportements :

Des travaux récents confirment la possibilité de modification des activités électriques et neurochimiques dans le cerveau sans que des conséquences sur le plan sanitaire puissent être évoquées.

Comme pour la barrière hémato encéphalique, les effets des expositions aux radiofréquences doivent être distingués des effets dus au stress lors de la contention des animaux, contention rendue nécessaire pour la réalisation d'une exposition localisée et calibrée. C'est ce problème qu'ont abordé Stagg et al. (2001) qui ont évalué, au moyen de marqueurs spécifiques du stress comme l' hormone adreno-corticotrophine (ACTH) et la corticostérone sériques, le stress d'animaux entraînés ou non à la contention (2 h /j, 4 j/semaine pendant 3 à 4 semaines), de rats soumis au test de la piscine, et de rats immobilisés et exposés à des RF du signal Iridium (1600 MHz, modulé à 11 Hz). L'immobilisation sans entraînement entraîne une élévation maintenue de ces marqueurs, tandis que l'habituation résulte en une adaptation avec une augmentation transitoire (dans les 40 premières minutes) de ces valeurs suivi d'un retour aux niveaux de base à 120 minutes. Une exposition aiguë de deux heures au signal Iridium aux niveaux de DAS de 0, 16, 1,6 et 5 W/kg moyennés dans le cerveau (BASAR³) ne modifie pas les niveaux sériques d'ACTH et de corticostérone observés chez les rats entraînés et immobilisés pendant deux heures. La mesure de température corporelle (implantation abdominale d'une sonde de température) montre une augmentation transitoire dite "d'adaptation" de 45 minutes lorsque l'animal est placé dans une tube de contention, puis une période de stabilisation dont le déroulement n'est pas affecté par l'exposition aux RF. Enfin, l'étude des marqueurs ODC, Fos et Jun, fortement induits dans le cerveau d'animaux soumis au test de la piscine, ne montre aucune influence de l'exposition aux RF. Cette étude montre l'importance de l'habituation des animaux aux conditions de contention nécessaires à des expositions locales aux radiofréquences des signaux de téléphonie mobile et devrait donc faire de ce protocole d'habituation, un pré-requis à ce type d'expérimentation. De plus, ce travail indique qu'une exposition aiguë à un signal Iridium de niveau non-thermique (BASAR \leq 5 W/kg) n'induit pas de stress mesurable chez les animaux exposés.

Ce paramètre stress a été notamment pris en compte dans un travail récent (Anane et al., 2003) dans lequel les effets d'une exposition tête-seule aux signaux GSM-900 sur un modèle de sclérose en plaque chez le rat ont été étudiés. Il s'agit d'une réaction auto-immune déclenchée par l'injection d'une protéine de la myéline associée à une bactérie. Cette réaction se traduit, au stade initial, dans les 10 jours suivant l'injection, de symptômes cliniques facilement quantifiables (perte de poids, de tonus musculaire, jusqu'à une paralysie progressive des membres), réversible après un pic vers le 15^{ème} jour post-injection. Ces expériences ont été menées sur des animaux habitués à la contention nécessaire à l'exposition et sur des animaux non-habitués. L'exposition (2 h/j pendant 21 j à des niveaux de DAS de 1,5 et 6,0 W/kg) ne modifie pas le décours temporel de l'évolution des symptômes par rapport aux animaux contrôles mais dans les deux cas, les symptômes ont été plus marqués chez les animaux contrôle-cage que chez les autres, pseudo-exposés ou exposés. Les auteurs en concluent que, d'une part les expositions ne modifient pas le développement des symptômes et que, d'autre part, le stress (de contention) entraîne une diminution de l'intensité de la réaction auto-immune.

¹ Lin JM, Lin F, 1982, Radiat Res 89: 77-87.

² Albert EN, Kerns JM, 1981, Brain Res 230: 153-164.

³ brain average SAR : DAS moyenné dans le cerveau

D'une manière plus spécifique, certains travaux ont tenté de mettre en évidence une modification significative d'activités neuronales basales lors de l'exposition aux radiofréquences.

Ainsi, Beason et Seem (2002) rapportent une diminution ou une augmentation de l'activité électrique spontanée, chez l'oiseau anesthésié, dans 52% (69 sur 133) des neurones enregistrés dans le cerveau et dans le cervelet, pendant l'exposition à des émissions GSM-900 (DAS moyen calculé de 0,05 W/kg). L'exposition était réalisée à l'intérieur d'une cavité résonnante. La position axiale des électrodes d'enregistrement (micro-pipette à haute impédance) était censée éviter qu'elles fonctionnent en antenne boucle et stimulent électriquement directement les neurones. Sur 3 des 69 neurones qui répondaient aux émissions GSM, ils ont testé la réponse aux émissions continues et n'ont pas observé de réponse. L'ensemble de ces résultats permet de conclure qu'il se produit une modification de l'activité des neurones lors de l'exposition aux émissions GSM (modification de $\pm 10\%$ de l'activité de base). Trop peu de neurones ont été testés avec les émissions continues pour qu'on puisse en tirer une conclusion. Il faut noter le long délai entre le début de la stimulation et la "réponse" des neurones, ainsi que la persistance des effets après l'arrêt de la stimulation (de 100 à 300 s). Cela suggère que l'effet est certainement soit de nature thermique ou métabolique bien que, selon les auteurs, les niveaux d'exposition soient bien en-dessous de ceux produisant un échauffement significatif. Une telle modification d'activité est aussi observée par Tattersall et al. (2001) sur des neurones de l'hippocampe *in vitro* (tranches) lors d'expositions aux RF.

Mausset et al. (2001) dans le cadre du projet Comobio, décrivent une méthode de détection immunohistochimique et de quantification par analyse d'image, de neurotransmetteurs dans le système nerveux central. Ils ont appliqué ces méthodes à l'étude du GABA¹ dans le cervelet de rats après exposition pendant 2 h, à l'aide d'une antenne boucle à des signaux GSM-900 ou continus. Les niveaux de DAS étaient de 6 et 48 W/kg respectivement. Les animaux étaient sacrifiés immédiatement après l'exposition. Des animaux pseudo-exposés et des contrôles positifs (injection d'un inhibiteur de l'enzyme de dégradation du GABA) ont été parallèlement étudiés. Les résultats indiquent une diminution statistiquement significative de l'étendue du marquage dans les cellules de la couche de Purkinje à 6 W/kg avec une diminution très nette de la densité optique des trois couches cellulaires à 48 W/kg. Les modifications des taux de GABA dans le système nerveux central peuvent avoir des implications physiologiques sinon physio-pathologiques. Néanmoins, à ce stade des expérimentations, il est vraisemblable que l'effet constaté à ces forts niveaux d'exposition soit de nature thermique.

De même, Testylier et al. (2002) décrivent une diminution significative de la libération d'acétylcholine, mesurée par microdialyse au moyen d'une canule implantée dans l'hippocampe, chez le rat libre de ses mouvements et exposé à des champs RF (2450 MHz). Lors de l'exposition diurne pendant une heure, les auteurs n'observent pas de modification dans la libération d'ACh à 3,3 W/kg mais une diminution significative à 6,5 W/kg. Ils observent aussi une diminution de la libération d'ACh lors d'expositions nocturnes, pendant 14 h, à des champs de 800 MHz modulé à 32 Hz (0,325 W/kg) et notamment une absence de l'augmentation de libération d'ACh qui se produit normalement chez les animaux contrôles au début de la nuit et qui est liée à leur période d'éveil et d'activité locomotrice.

Toujours en ce qui concerne les effets des ondes GSM sur l'activité neuronale, Bontempi a établi, dans le cadre du projet Comobio, une cartographie complète et dynamique de l'activité fonctionnelle de l'ensemble des structures cérébrales chez le rat exposé à des signaux GSM-900. Cette cartographie a été réalisée à l'aide des méthodes combinées du (¹⁴C)2-désoxyglucose (2DG) qui concerne le métabolisme cérébral, et du marquage c-fos qui est un gène précoce utilisé pour mesurer l'activité neuronale. Après une phase d'habituation, les animaux étaient exposés tête-seule pendant 2 h à des DAS de 0,75, 1,5, 3, 6 et 9 W/kg pour le marquage c-fos, et 3 et 6 W/kg pour le marquage 2DG. L'exposition aiguë affecte sélectivement certaines régions cérébrales, surtout les régions corticales, notamment le cortex temporal, très peu les régions plus profondes loin de l'antenne. À noter aussi que des différences significatives avec les pseudo-exposés, tant au niveau de l'activité neuronale que du métabolisme cérébral, apparaissent pour des niveaux de DAS de 1,5-3 W/kg, et pas nécessairement pour les niveaux plus forts de 6-9 W/kg.

¹ acide gamma amino butyrique

Certains groupes ont tenté d'observer des variations d'activité neuronale et du comportement chez les mêmes animaux exposés. Ainsi Bontempi et Edeline, dans une deuxième étude Comobio, ont évalué l'activité neuronale chez des animaux soumis à une épreuve comportementale mettant en jeu les processus mnésiques (mémoire de travail et mémoire de référence au cours d'un apprentissage), juste après exposition ou pseudo-exposition à des signaux GSM-900, à des DAS de 1 et 3,5 W/kg, pendant 45 min. Aucun déficit mnésique n'est détectable après exposition dans les deux épreuves de mémoire utilisées, malgré l'observation d'une hypoactivité neuronale.

Des études antérieures des processus mnésiques chez l'animal exposé à des RF (Lai, 1994¹, Wang et Lai, 2000²) avaient démontré une altération de la mémoire de travail. Par contre, Dubreuil et al. (2002), dans le cadre du projet Comobio, n'ont pas trouvé de modification des mémoires de travail et de référence chez des rats exposés au signal GSM-900 (tête-seule). Les rats étaient soumis à deux épreuves d'apprentissage testant respectivement l'une et l'autre mémoire. Ils étaient exposés quotidiennement pendant les 45 minutes qui précédaient les tests d'apprentissage. Les deux niveaux de DAS utilisés étaient de 1 et 3,5 W/kg.

Une tentative de réplification stricte des expériences de Lai de 1994 a été menée par Cobb et al. (2002) et s'est soldée par un échec. Une autre tentative est actuellement menée par le groupe de J.-C. Cassel à Strasbourg dans le cadre du programme Perform B.

En conclusion, quelques modifications d'activités électriques ou neurochimiques neuronales ont été observées à des niveaux n'engendrant pas d'effets thermiques. Ces modifications ne semblent pas retentir sur les fonctions cognitives, les comportements et la mémoire et n'évoquent aucune notion de pathologie.

- Protéines de stress

Les premiers signes d'une réponse cellulaire à des agressions (chimiques, thermiques etc.) sont l'apparition ou une sur-expression de protéines dites de choc thermique (Heat Shock Proteins, HSP) ou protéines de stress. Elles protègent les protéines d'une dégradation enzymatique, empêchent ou stimulent l'expression de certains gènes, jouant par là un rôle majeur dans la prévention des mutations et l'apparition de certains cancers. Enfin, elles permettent l'expression de certaines hormones. L'expression de ces protéines est donc un excellent indicateur du stress imposé aux cellules. Certaines études ont porté sur ces protéines lors de l'exposition aux RF.

Ainsi, de Pomerai et al. (2000)³ ont montré l'activation du gène codant pour une protéine de stress (hsp16) chez un vers transgénique (*Caenorhabditis elegans*) après exposition à des RF à 750-1000 MHz avec un DAS calculé extrêmement faible (0,001 W/kg). La question s'est immédiatement posée de savoir si cette sur-expression était due à un choc thermique induit par les micro-ondes (bien que le niveau de DAS soit en théorie bien en dessous du niveau pouvant induire un effet thermique) ou s'il s'agissait d'une action spécifique directe, non-thermique, des expositions. Les auteurs montrent qu'un effet équivalent n'est détecté qu'après une exposition à 28°C, tandis que les vers étaient exposés à une température de 24°C, ce qui permet de distinguer l'effet des RF observé d'un effet thermique. Ce groupe anglais a donc entrepris une nouvelle étude (de Pomerai et al., 2002). Ils ont tout d'abord observé une augmentation quasiment identique en hsp16 chez des larves de vers exposés aux micro-ondes (0,001 W/kg) pendant 20 heures à température constante (25°C), et chez des larves non-exposées mais maintenues pendant la même durée à 28°C. Cependant la croissance des larves était accélérée de 18% sous exposition et leur maturation en vers adultes de 28 à 40%. À l'inverse, l'échauffement de ces mêmes cultures à 28°C provoquait l'effet opposé sur ces deux paramètres biologiques. Ceci constitue pour les auteurs la preuve que les effets déjà observés sur des vers transgéniques ne provenaient pas d'un échauffement par les micro-ondes.

Par contre, Di Carlo et al. (2002) ont étudié les niveaux de HSP70 et la résistance à l'hypoxie d'embryons de poulet exposés à des champs électromagnétiques RF (915 MHz, DAS calculé de 1,7 W/kg). Sur la base de résultats précédents obtenus avec des champs ELF (60 Hz), ils ont étudié l'effet d'expositions répétées (20 à 60 minutes, une fois par jour pendant 4 jours d'incubation) vis-à-

¹ Lai H et al., 1994, *Bioelectromagnetics* 15(2): 95-104.

² Wang B, Lai H, 2000, *Bioelectromagnetics* 21(1): 52-56.

³ De Pomerai et al., 2000, *Nature*, 405 : 417-418.

vis de l'hypoxie. L'hypothèse ici est qu'une exposition aiguë protégerait de l'hypoxie par induction de l'expression d'HSP70, tandis que des expositions répétées "épuiseraient" l'expression des HSP70 et entraîneraient donc une sensibilisation à l'hypoxie. La résistance à l'hypoxie est testée le 4ème jour d'incubation. Les auteurs montrent que l'exposition aux RF pendant 30 ou 60 min une fois/jour diminue la résistance des embryons à l'hypoxie. Ils étendent aux RF, sans preuve expérimentale, les résultats obtenus sur HSP70 avec les champs ELF. Ils en concluent que l'utilisation journalière d'un téléphone mobile pourrait entraîner diverses pathologies, notamment le cancer et la maladie d'Alzheimer, via la potentialisation d'un stress oxydant. L'extrapolation à l'homme d'effets obtenus sur l'embryon de poulet, en utilisant un protocole relativement complexe, sans disposer de plus de tous les arguments expérimentaux des hypothèses avancées, ne paraît pas rigoureuse scientifiquement. L'hypothèse énoncée, en particulier l'effet sur l'expression d'HSP70, demande donc à être démontrée. Il semble que ce soit l'objet d'une seconde étude du même groupe (Shallom et al., 2002) qui, utilisant le même protocole, montre une augmentation de l'expression de HSP70 dans les embryons après un traitement aigu avec les RF. Cependant, aucune référence n'est faite à ce travail dans l'autre publication (Di Carlo et al., 2002).

En conclusion, l'expression de molécules de stress pour des niveaux de DAS inférieurs à ceux engendrant des effets thermiques semble se confirmer. Si cette sur-expression traduit effectivement un stress auquel sont soumises les cellules, il conviendrait d'étudier leur évolution sur le long terme.

Cependant, les études réalisées chez des mammifères ont montré un seuil de DAS nécessaire pour observer une augmentation de HSP est plus élevé, de l'ordre de 7 W/kg^1 . D'autres études sur l'expression des protéines HSP dans des cellules humaines lors d'exposition aux micro-ondes sont cependant contradictoires (voir chapitre 2.2.3).

Génotoxicité

Les effets des ondes électromagnétiques sur les altérations de l'ADN continuent d'être recherchés. En effet celles-ci peuvent être les promoteurs de nombreuses pathologies, dont notamment le développement de cancers.

Trosic et al. (2002) ont systématiquement recherché des traces de génotoxicité chez des rats exposés d'une façon chronique à des micro-ondes (2450 MHz, DAS de 1-2 W/kg corps-entier, 2 h/j, 7 j/semaine, pendant 2 à 30 jours) en utilisant le test des micro-noyaux dans les érythrocytes immatures. Ils ont observé une augmentation de ces cellules dans le sang, significative seulement après le 2ème jour d'exposition, et une augmentation du nombre de micro-noyaux au 8ème jour par rapport aux animaux témoins, ces deux valeurs redevenant normales au 30ème jour.

Ces résultats démontrent des effets des RF sur l'érythropoïèse dans la moelle osseuse, avec un mécanisme probable d'adaptation ou de récupération (élimination pancréatique des cellules micronuclées chez le rat) à court ou moyen terme. Ces données ne permettent pas de préciser les mécanismes à l'origine de l'augmentation des micro-noyaux, qui peuvent provenir de la cassure des chromosomes ou d'une altération du fuseau mitotique. Etant donné que les niveaux de DAS utilisés ici sont relativement élevés, il conviendrait de continuer ces études en utilisant des niveaux nettement plus faibles.

Il faut notamment signaler que Vijayalaxmi et al. (2001c), en exposant des rats à 2450 MHz avec un DAS corps-entier de 12 W/kg, mais pendant seulement 24 h, n'observent pas d'augmentation des micro-noyaux dans les cellules de la moelle osseuse. Au vu de ces deux études, le phénomène d'adaptation mériterait des études complémentaires spécifiques.

Sykes et al. (2001) ont testé l'hypothèse d'un effet des radiofréquences GSM-900 sur le phénomène de réversion de recombinaison de l'ADN. La recombinaison de l'ADN étant un mécanisme de réparation de l'ADN, la réversion de recombinaison peut, à l'inverse, être impliquée dans la genèse de dommages de l'ADN, pouvant aboutir à des mutations et donc à la cancérogenèse. Des souris transgéniques (souris pKZ1) sont utilisées pour l'étude des inversions de recombinaison intrachromosomique en réponse à des agents génotoxiques. Cette souche particulière s'est révélée être un modèle de mutagenèse très sensible. L'existence d'inversions de recombinaison

¹Fritze K. et al. (1997), *Neuroscience*, 81: 627-639

Cleary SF et al. (1997), *Bioelectromagnetics* 18: 499-505.

est révélée par la production de β galactosidase. Les auteurs ont pu montrer que des agents génotoxiques comme la Mitomycin C ou l'irradiation X entraînent dans cette souche de souris une augmentation significative du nombre d'inversions dans les tissus hépatiques.

La fréquence d'inversions de recombinaison a été déterminée dans le foie des souris après exposition à un signal GSM-900 à un DAS de 4 W/kg (exposition corps-entier dans des tubes placés dans un guide d'ondes). des expositions de 30 minutes/jour pendant 1, 5 ou 25 jours avec une dose totale de 7,2 kJ/kg. Dans ces conditions, l'exposition aux RF est "non thermique" puisque la température basale des animaux n'augmente pas. Les animaux sont sacrifiés trois jours après la dernière exposition et une étude histologique est réalisée.

Aucune différence dans la fréquence d'inversion de recombinaison n'est montrée entre les animaux exposés facticement et les animaux exposés durant 1 et 5 jours. Cependant, une réduction significative de la fréquence d'inversion de recombinaison est détectée chez les souris exposées pendant 25 jours comparé à la fréquence d'inversion spontanée. Dans ce dernier groupe cependant, une perte de poids est notée aussi bien chez les souris contrôles qu'exposées, ce qui pourrait refléter un stress de confinement des animaux dans les tubes (aucune habituation n'est mentionnée par les auteurs).

Bien que la signification biologique des effets détectés reste inconnue, les hypothèses avancées par les auteurs sont nombreuses. Un effet des RF répresseur sur la prolifération ou sur les enzymes de réparation par recombinaison est suggéré, bien qu'aucun effet sur ces deux paramètres n'ait été prouvé à l'heure actuelle. Il semble donc qu'une diminution de la fréquence d'inversion de recombinaison intrachromosomique soit beaucoup plus délicate à interpréter qu'une augmentation. Les auteurs suggèrent que l'effet observé à 25 jours d'exposition pourrait correspondre à une adaptation à des dommages à l'ADN de faible intensité. Or, les études de génotoxicité *in vitro*, en particulier celles utilisant le test des comètes, ne montrent généralement pas d'effets génotoxiques des RF à ce niveau de DAS (voir chapitre 2.2.4.1).

Un autre modèle de souris transgénique (Big Blue mice[®]) a été utilisé par Takahashi et al. (2002) pour l'étude de l'effet d'un signal de téléphonie mobile japonais (AMRT à 1500 MHz) notamment sur certaines mutations et des paramètres comme la gliose et l'apoptose dans le cerveau des animaux. La tête des souris était préférentiellement exposée à des DAS de 0,67 et 2 W/kg pendant 4 semaines à raison de 90 min/j, 5 j/semaine.

Les auteurs n'ont observé aucun signe de gliose (proportion anormalement importante des cellules gliales) ou de lésions dégénératives sur le plan histopathologique, ni d'apoptose ou de prolifération des cellules gliales sous exposition aux RF. La fréquence de mutations ne varie pas de façon significative par rapport aux contrôles. Ces résultats montrent que les RF ne sont pas mutagènes et ne créent pas de lésions des cellules gliales. Les auteurs écartent la possibilité d'un risque cancérogène, au niveau du cerveau, lié aux signaux de la téléphonie mobile.

Cancer

Les limitations des études *in vitro* peuvent être en partie levées avec les études de cancérogenèse chez l'animal. Au cours des deux dernières années, plusieurs études de cancérogenèse, qui nécessitent des expositions de l'ordre de un à deux ans, ont été publiées. Ces études animales, avec les études épidémiologiques, ont une importance majeure dans l'évaluation du pouvoir cancérogène des agents chimiques et physiques.

L'étude de Zook et Simmens (2001) est sûrement l'une des plus importantes en termes de "bioassay" pour l'investigation d'un effet cancérogène et promoteur de radiofréquences de la téléphonie mobile (signal Iridium de 836 MHz, continu ou modulé à 11 Hz). Les animaux exposés sont issus de femelles ayant reçu ou non le chimique cancérogène EthylNitrosoUrée (ENU) à 2, 5 ou 10 mg/kg. Le niveau de DAS moyenné dans le cerveau est de 1 W/kg et l'exposition a duré 24 mois à raison de 6 heures/jour, 5 jours/semaine. Les résultats ne montrent pas d'effets cancérogènes ou promoteurs des radiofréquences d'un signal Iridium.

L'intérêt de ce travail vient de l'ampleur du nombre de conditions d'exposition (contrôle cage, exposition factice, 3 doses d'agent chimique et 2 signaux RF) et de l'exhaustivité de l'étude histopathologique (volume, multiplicité, localisation, nombre et degré de malignité des tumeurs, estimation des tumeurs nerveuses -spinales et crâniennes- et de la moelle épinière, des tumeurs du cerveau -astrocytome, oligodendrogliome, gliome mixte-, des tumeurs non cérébrales -pituitaire,

thyroïde, surrénales, mammaires et autres).

Le groupe allemand de Bartsch (2002) a mis en œuvre un modèle de tumeur mammaire chimio-induite chez le rat pour étudier l'effet promoteur de tumeur d'un signal GSM-900 au cours de trois expérimentations réalisées sur trois ans. Les tumeurs étaient induites par le diméthylbenz[a]anthracène (DMBA). Les trois expériences indépendantes et conduites selon le même protocole ont démarré le même jour anniversaire (et donc sans influence de la saison). Le signal GSM-900 était utilisé à un niveau de $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ soit 17,5 à 70 mW/kg de DAS corps-entier (la limite d'exposition pour le public est de 80 mW/kg). Les animaux étaient sacrifiés quand la première tumeur atteignait 1-2 cm de diamètre.

La latence d'apparition et l'incidence des tumeurs malignes et bénignes n'était pas affectée par l'exposition. Dans la première expérience, la latence était supérieure chez les animaux exposés (effet de "protection") mais pas pour les deux autres expériences. En conclusion, aucun effet co-promoteur des signaux GSM n'a été mis en évidence.

Des expérimentations analogues viennent d'être faites à Bordeaux et d'autres sont en cours en Autriche et en Chine.

L'effet promoteur de tumeur des RF liées à la téléphonie mobile a également été évalué par Heikkinen et al. (2001) avec un modèle de cancer radio-induit chez la souris. Des souris CBA/S (50 animaux / groupe) sont irradiées (excepté le groupe contrôle cage) par 4 Gy de rayons X puis exposées à des signaux RF 1,5 heure/jour, 5 jours/semaines pendant 78 semaines (soit 1 an et demi). Un groupe d'animaux est soumis à un signal analogique NMT de 902.5 MHz CW et à un niveau de DAS de 150 mW/kg corps-entier, tandis qu'un deuxième groupe de souris est exposé à un signal GSM-900 (modulé à 217 Hz) à un niveau de DAS de 35 mW/kg. Un groupe d'animaux est exposé de façon factice aux RF après avoir été irradié par les rayons X.

Une étude histopathologique systématique est réalisée à la fin de l'exposition avec une contre-expertise sur les tissus de 5 animaux par groupe, ainsi qu'une analyse hématologique. Les résultats de cette étude montrent que l'exposition aux signaux NMT et GSM n'affecte pas l'effet cancérigène des rayonnements ionisants (en particulier sur les leucémies et les lymphomes). Cependant, une modification dans l'un des paramètres immunitaires étudiés (concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine) et des altérations non cancéreuses (par exemple, pour le signal analogique, une diminution de l'inflammation hépatique ainsi qu'une dilatation de l'utérus plus importante sont notées par rapport aux animaux exposés facticement) sont détectées. Ces effets, d'après les auteurs, n'ont aucune conséquence en termes d'effet cancérigène.

Les auteurs concluent, par rapport à l'hypothèse de travail, en l'absence d'un effet promoteur de tumeurs des RF de la téléphonie mobile.

Une autre étude de promotion a été réalisée par un groupe japonais (Imaida et al. 2001). Le modèle utilisé est celui de la promotion de tumeurs cutanées induites chez la souris par badigeonnage de 7,12-diméthylbenz(a)anthracène (DMBA, 100 μg /souris). Les auteurs ont traité des souris par le DMBA et les ont réparties en quatre groupes : un contrôle négatif ou DMBA (30 souris), un contrôle positif ou DMBA-TPA, le TPA étant un puissant promoteur de tumeurs (30 souris), un groupe pseudo-exposé ou DMBA-Sham (48 souris), et un groupe exposé au signal TDMA à 1490 MHz ou DMBA-RF (48 souris). L'exposition était de niveau non-thermique avec un DAS local (au niveau de la peau des animaux) de 2 W/kg avec un DAS corps entier de 0,084 W/kg. Le choix du modèle des tumeurs de la peau est justifié par la fréquence du signal, à laquelle les ondes sont majoritairement absorbées dans la peau. L'exposition a été réalisée pendant 19 semaines à raison de 90 minutes /jour, 5 jours/semaine. Les animaux ont été sacrifiés une semaine après la dernière exposition aux RF et une étude histopathologique réalisée. Aucune tumeur n'a été détectée chez les souris DMBA-sham et les souris DMBA-RF, tandis que respectivement 3,3% et 96,6% des souris DMBA et DMBA-TPA portaient des tumeurs de la peau. Les auteurs concluent clairement en l'absence d'effet co-cancérigène des RF de 1490 MHz au niveau de DAS correspondant à la limite d'exposition.

Enfin, une réplique des expérimentations de Repacholi et al. 1997¹ vient d'être publiée (Utteridge et al., 2002). Pour mémoire, le groupe de Repacholi montrait un doublement des

¹ Repacholi et al., 1997, Radiat. Res., 147, 631-640.

lymphomes chez des souris prédisposées à développer cette maladie (souris E μ -Pim1) après exposition à un signal GSM-900 (DAS moyen corps entier de 0,0078 à 4,2 W/kg, 30 minutes /jour pendant 18 mois, les souris étant libres de leurs mouvements).

L'étude du groupe d'Utteridge avait pour but non seulement la confirmation des résultats antérieurs, mais également une amélioration des conditions d'exposition et une extension de l'étude. En ce sens, il ne s'agit pas là d'une étude stricte de réplication, mais d'une étude de confirmation. Ainsi, dans l'étude récente, des souris E μ -Pim1 ont été exposées au GSM-900 (898,4 MHz) dans des conditions de contention pour une meilleure caractérisation dosimétrique de l'exposition. Les animaux (40/groupe) ont été exposés plus longtemps soit une heure/jour, 5 jours/semaine pour un total de 104 semaines d'exposition effective à 4 niveaux de DAS corps entier : 0,25 ; 1, 2 et 4 W/kg. L'exposition était non thermique, même pour les plus hauts niveaux de DAS (vérification indépendante). Différents contrôles (120/groupe) étaient inclus dans le protocole avec des souris transgéniques et non-transgéniques pseudo-exposées et contrôles cages et 30 contrôles positifs de chaque souche ayant reçu de l'éthylnitrosourée (50 mg/kg). Une palpation des animaux était réalisée 2 fois par semaine. Une étude histopathologique a été réalisée à la fin des expositions et une autopsie faite sur les animaux décédés prématurément. Les auteurs ne montrent aucune influence significative des RF sur le poids des animaux, leur durée de vie et l'incidence des tumeurs de type lymphome lymphoblastique ou autres (tous les types de tumeurs ont été recherchés). Les auteurs concluent que l'exposition à long terme aux RF de la téléphonie mobile n'induit pas une augmentation de lymphomes chez des souris prédisposées et ne confirment donc pas l'étude antérieure réalisée par le groupe de Repacholi.

Très attendu, ce travail a fait l'objet de nombreux commentaires et critiques (Letters to the Editor, Radiation Research, 2003, 159 : 274-278). En particulier, la forte incidence de lymphomes chez les souris E μ -Pim1 pseudo-exposées dans cette étude comparée à la première étude (74% versus 28%) pourrait avoir masqué un effet des RF.

Il semble donc nécessaire d'attendre les résultats des études de confirmation en cours (Perform A et étude chinoise) pour une interprétation fiable de ces différentes études.

Lors de l'évaluation des effets cancérogènes des RF par le groupe de 2001, peu d'études étaient disponibles. Adey et al. (1999¹, 2000²) avaient réalisé ce type d'étude et concluaient en l'absence d'effet cancérogène des RF de niveau non thermique de la téléphonie mobile. Toutes les études de cancérogenèse sont négatives, pour les modèles standards, pour des expositions en configuration exposition corps-entier et exposition locale (tête-seule ou principale) aux niveaux de DAS correspondant aux normes d'exposition. Dans une revue récente, Nelson (2001) aboutit aux mêmes conclusions.

Reproduction et développement

Tous les effets sur la fertilité ou tératogènes qui ont été rapportés jusqu'à présent lors d'expositions aux radiofréquences sont dus à une hyperthermie (voir revues dans : Krewski et al., 2001), que les expositions soient seules ou en association avec d'autres agents potentiellement toxiques (Nelson et al., 2001 ; Cheever et al., 2001). Deux études ont plus particulièrement examiné les effets d'expositions pré et néo-natales sur le comportement post-natal des animaux. L'une avec des micro-ondes ultra-large-bande (UWB³, Cobb et al., 2000), montre quelques modifications plus ou moins aléatoires de quelques paramètres comportementaux (vocalisations, fréquence d'accouplement). L'autre (Bornhausen et Scheingraber, 2000⁴) ne montre aucune modification des comportements de rats en apprentissage après que ceux-ci ont été exposés aux signaux GSM-900 pendant toute la gestation à des niveaux de DAS de 0,0175 à 0,075 W/kg.

Système immunitaire

L'exposition aux champs électromagnétiques a souvent été présentée comme induisant une diminution des défenses immunitaires et donc favorisant le développement de diverses pathologies.

¹ Adey et al., 1999, Radiat Res 152(3): 293-302.

² Adey et al., 2000, Cancer Research 60, 1857-1863

³ ultra wide band

⁴ Bornhausen M, Scheingraber H., 2000, Bioelectromagnetics, 21(8):566-574.

Depuis les travaux de Veyret et al. (1991)¹ et Elekes et al. (1996)² qui montraient la modification de divers paramètres caractérisant le système immunitaire, sans conséquences biologiques ni à fortiori sanitaires, seule la communication récente de Gatta et al. (2003) peut être citée : des souris ont été exposées aux signaux GSM-900 aux DAS de 1 et 2 W/kg, 2 h/j pendant 7 jours consécutifs, après sollicitation du système immunitaire par injection d'ovalbumine. Les auteurs n'ont pas observé de modification de la prolifération des cellules T Ag-dépendantes et la production de cytokines. Les effets des ondes de la téléphonie mobile sur le système immunitaire paraissent donc mineurs.

Oreille interne

Peu d'études ont porté sur les effets sur l'oreille interne qui est pourtant le premier organe, après la peau, rencontré par les ondes GSM.

Des études sur l'animal ont été réalisées par le groupe de C Marino en Italie, et celui de JM Aran en France dans le cadre du projet Comobio. Utilisant des antennes boucle et des expositions chroniques à des niveaux de DAS de 1 à 4 W/kg, ces deux équipes n'ont pas trouvé d'effets sur les otoémissions acoustiques, manifestation de l'activité des cellules ciliées externes de l'organe de Corti, chez le rat (Marino et al. 2000) et le cobaye (Aran et al., 2002), ni sur les seuils des potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral, chez le cobaye (Aran et al., 2002). La même équipe a récemment montré dans une étude préliminaire (Aran et al. 2003) l'absence de synergie avec un agent toxique, la gentamicine³ lors d'expositions à 2 W/kg dans l'oreille (2 h/j, 5 j/semaine, 4 semaines), l'antibiotique étant administré chaque jour 1 heure avant l'exposition. Une telle synergie aurait pu se produire si l'exposition aux radiofréquences modifiait la barrière hémato-labyrinthique, comme il a été suggéré pour la barrière hémato-encéphalique. D'autres études sont en cours dans le cadre du projet Européen GUARD. Les dernières études chez l'homme n'ont pas non plus montré d'effets (Ozturan et al., 2002).

Conclusion sur les études animales

Une revue exhaustive des effets des micro-ondes chez l'animal a été publiée en 2002 par Z. Sienkiewicz, intitulée : "Biological effects of microwaves : animal studies"

Les conclusions de cette revue sont les suivantes : "...actuellement, les études biologiques chez l'animal n'ont pas apporté des preuves indiscutables que l'exposition aiguë ou chronique à de faibles niveaux de micro-ondes pourrait être préjudiciable à la santé humaine. En particulier les études animales n'ont pas montré que l'exposition à des faibles niveaux augmente les risques de quelque forme de cancer, ou altère significativement le comportement, ou affecte en quelque manière le fonctionnement cérébral. De même, il apparaît qu'il n'y a pas de conséquences tératologiques ou sur la reproduction, de nouveau aussi longtemps que les températures ne s'élèvent pas, mais il faut reconnaître que quelques études ont fait apparaître des possibilités d'effets qui demandent davantage de recherches et de répliques..."

L'examen des publications les plus récentes confirme cette conclusion lorsque les niveaux d'exposition n'engendrent pas d'échauffements significatifs.

Cependant, la comparaison des différents résultats n'est pas aisée, notamment en raison de l'aspect chronique ou aigu des expositions, eu égard à la réversibilité de certains phénomènes (notamment avec la barrière hémato-encéphalique). Ces deux approches ont leurs mérites mais devraient être plus systématiquement justifiées, les études chroniques étant plus significatives en termes d'effets sanitaires.

Enfin, le cas de la barrière hémato-encéphalique pose problème : une très grande majorité de travaux publiés dans des revues de qualité reconnue, démontre une absence d'effet des RF à bas niveau de DAS sur la BHE. Cependant, dans le cadre de Comobio, certains travaux obtenus dans des laboratoires indépendants, mais utilisant des systèmes et des paramètres d'exposition comparables, ont montré : 1- une perméabilisation de la BHE ; 2 - une modification de certains paramètres métaboliques au niveau du cerveau ; et 3 - aucun retentissement sur les processus

¹ Veyret et al. 1991, Bioelectromagnetics 12(1): 47-56.

² Elekes et al., 1996, Bioelectromagnetics, 17, 246-248.

³ antibiotique de la famille de la streptomycine

cognitifs et les comportements qui ont pu être testés. Les conséquences d'une perméabilisation éventuelle de la BHE dans ces conditions ne sont donc pas claires. Peut-être s'agit-il d'un effet transitoire, puisque la réversibilité des altérations est rapportée. Pourtant, Salford et al. (2003) montrent des effets à long terme. Il faut également reconnaître que la qualité scientifique des revues dans lesquelles publie le groupe de Salford depuis de nombreuses années ne constitue pas une garantie, et que les résultats du groupe d'Aubineau n'ont pas encore été soumis pour publication.

L'ensemble de ces éléments ne permet pas de conclure à un effet pathologique de l'exposition des animaux aux RF, en dessous des niveaux qui engendrent des effets résultant d'une élévation significative de la température. Néanmoins, il faudra expliquer pourquoi certains travaux montrent des effets biologiques aux faibles niveaux d'exposition.

2.2.3 Études cellulaires

Génotoxicité in vitro

Conclusions du rapport de 2001 : *Les publications relatives à l'apparition de micro-noyaux dans des cellules exposées aux RF demandent aussi réplification. Elles ne sont pas les premières à s'intéresser à des expositions de durée relativement longue (24 heures en continu, voire plusieurs jours) ; on notera à cet égard que d'autres études sont 'négatives'. Cependant, si des expositions ininterrompues d'aussi longue durée sont peu réalistes dans la vie quotidienne, elles suggèrent des voies d'exploration de l'effet d'expositions répétitives, dont l'effet cumulé est incertain ; des travaux sont d'ailleurs en cours dans ce domaine.*

Le groupe d'experts a donc conclu en 2001 que la grande majorité des études publiées montraient que des expositions aiguës à des RF de bas niveau de puissance, en particulier de la téléphonie mobile, ne sont pas capables d'altérer directement l'ADN des cellules. Il posait cependant la question des expositions de longue durée ou cumulées. Différentes études récentes confortent cette conclusion et apportent des éléments aux questions posées.

Le groupe de McNamee (2002a, 2002b) a récemment montré l'absence de dommage à l'ADN et de micro-noyaux dans des leucocytes humains (5 donneurs sains) exposés pendant 2 heures à un signal à 1900 MHz continu ou modulé (modulation rectangulaire avec 6,7 msec ON et 13,3 ms OFF). Les niveaux de DAS utilisés étaient de 0,1 ; 0,26 ; 0,92 ; 2,4 et 10 W/kg avec maintien de la température à $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Différents contrôles étaient inclus (incubateur, exposition factice, contrôle positif). Ainsi, dans cette étude, la modulation du signal n'entraîne pas l'apparition d'effets biologiques.

L'étude de d'Ambrosio et al (2001) est contradictoire puisque ces auteurs montrent qu'une exposition de 15 minutes à un signal de 1748 MHz continu avec une modulation de phase (modulation GMSK utilisé pour le protocole GSM) induit significativement la formation de micro-noyaux (+30%) dans des lymphocytes humains (donneurs sains). Le débit d'absorption spécifique (DAS) maximal est donné à 5 W/kg et le DAS moyenné est de l'ordre de 2,2 W/kg, proche des limites d'exposition locale pour le public. En revanche, le signal continu non modulé ne provoque aucune altération. On peut cependant noter que les auteurs n'ont pas utilisé d'exposition factice, ce qui représente une faiblesse. De plus, le même groupe a récemment présenté en congrès des résultats montrant l'absence d'augmentation d'aberrations chromosomiques quand les expositions au signal présentant la modulation GMSK sont réalisées avec un meilleur contrôle du DAS¹.

Ces travaux entretiennent donc la polémique sur l'hypothèse que la modulation d'un signal radiofréquence pourrait être à l'origine d'effets biologiques (expériences du groupe de Litovitz sur l'enzyme ornithine décarboxylase).

L'étude de Tice et al (2002) montre que différents signaux américains de téléphonie mobile (TDMA, PCS, CDMA, analogue) n'entraînent ni des dommages immédiats, ni la formation de micro-noyaux dans des cellules de sang humain pour des expositions de 3 heures à des DAS inférieurs à 5 W/kg. Ce travail évoque cependant la possibilité d'un effet génotoxique des RF pour des temps d'exposition de 24 heures en continu, à des niveaux de DAS supérieurs à 5 W/kg. Les faiblesses de

¹ G. D'Ambrosio et al. -5^{ème} Congrès International de « the European BioElectromagnetics Association », Helsinki, Finlande, 6-8 septembre 2001

ce travail résident dans le fait que les cellules d'un seul donneur ont été exposées aux conditions induisant des micro-noyaux et qu'aucun dommage immédiat à l'ADN n'est observé dans les mêmes conditions d'exposition, ce qui rend toute extrapolation ou généralisation prématurée. Un programme de réplication de ces résultats est en cours dans ce groupe et, en parallèle, dans un groupe italien (M.R. Scarfi).

Dans le travail de Li et al (2001) en revanche, aucun dommage n'est détecté dans l'ADN de fibroblastes de souris après 2, 4 et 24 heures d'exposition aux signaux CDMA et FDMA à des niveaux de DAS de 3 à 5 W/kg. Un traitement par la protéinase K ne modifie pas la réponse aux RF, suggérant ainsi l'absence de liaisons protéines-ADN qui représentent un autre type de dommages à l'ADN.

De même l'exposition de cultures cellulaires (fibroblastes C3H10T1/2) à des signaux de téléphonie mobile à 835,62 ou 847,74 MHz (3 à 5,1 W/kg) pendant 3 à 24 heures ne provoque pas d'augmentation significative des micro-noyaux (Bisht et al., 2002).

À des niveaux de DAS équivalents, aucune lésion de l'ADN (aberrations chromosomiques et micronoyaux) n'est détectée dans des lymphocytes humains (quatre donneurs) exposés pendant 24 heures au signal FDMA à 835,62 MHz et 4,4 ou 5 W/kg (Vijayalaxmi et al. 2001a) et au signal CDMA à 847,74 MHz) et 4,9 ou 5,5 W/kg (Vijayalaxmi et al. 2001b).

Ainsi, ces différentes études suggèrent que le seuil de DAS pour observer *in vitro* une augmentation de micro-noyaux – si cet effet était confirmé – se situerait au-delà de 5 W/kg.

Récemment, Mashevich et al. (2003) ont utilisé une nouvelle approche : l'étude de l'aneuploïdie (perte ou gain de matériel chromosomique) et de la réplication asynchrone d'un chromosome de cellules du sang périphérique humain. Ces phénomènes peuvent conduire à une instabilité chromosomique propice au développement de cancer. Le chromosome 17 a été choisi car il porte le gène suppresseur de tumeur p53. Les cellules de 5 donneurs sains furent exposées à un signal continu à 830 MHz pendant trois jours à différents niveaux de DAS : 1,6 à 2,3 W/kg ; 2,6 à 3,5 W/kg ; 4,0 à 4,8 W/kg et 7,8 à 8,8 W/kg. Au cours de l'exposition, la température était maintenue inférieure à 38°C. Les contrôles de température effectués ont montré que les paramètres évalués n'évoluent pas pour des températures inférieures à 38°C. Les auteurs montrent que le DAS de plus bas niveau n'avait pas d'effet (DAS < 2,3 W/kg), tandis que l'aneuploïdie et la réplication asynchrone du chromosome 17 augmentent de façon significative pour les DAS supérieurs à 2,6 W/kg.

Ce type d'approche est encore marginal en cytogénétique et ces tests ne constituent pas une référence, contrairement au test des aberrations chromosomiques par exemple. De plus, ne considérer qu'un seul chromosome parmi les 23 paires de chromosomes humains ne permet pas d'appréhender le phénomène de façon globale. Il n'est donc pas clair que ce type d'approche présente un pouvoir pronostique supérieur aux techniques cytogénétiques "classiques". De plus, les cellules ne sont pas synchronisées, ce qui peut induire de faux-positifs pour le test de réplication asynchrone. Enfin, le travail ne fait pas mention des différences inter-individuelles.

Il est intéressant de noter qu'aucun effet n'est observé au niveau de DAS correspondant aux limites pour les expositions locales aux radiofréquences. Cependant, sur la base de cette étude, la marge de sécurité est faible. Il semble donc important de poursuivre ce type d'étude, en complément d'une approche cytogénétique de référence et avec une dosimétrie de qualité.

Les travaux de Maes et al (1996¹, 1997²) sont fréquemment cités en référence comme preuve d'une interaction positive entre les radiofréquences des téléphones mobiles et la mitomycine C, agent mutagène connu. En résumé, ces études montraient que des lymphocytes de donneurs sains présentaient davantage d'échanges de chromatides sœurs (lésions de l'ADN) après traitement par la mitomycine C lorsqu'ils étaient préalablement exposés pendant 2 heures à un signal GSM-900 (synergie nette à 1,5 W/kg mais très faible à 0,3 – 0,4 W/kg).

Dans un travail récent, Maes et al (2001) se proposaient de confirmer et d'étendre leurs résultats antérieurs. Des lymphocytes humains ont été exposés à un signal GSM-900 continu, un signal "pseudo-aléatoire" (conversation réelle) ou un pseudo-signal (fictif) pendant 2 heures avant le traitement par la mitomycine C. La gamme de DAS testée avait été élargie (0 ; 0,4 ; 2 ; 3,5 ; 5,5 et

¹ Maes et al., 1996, Environmental Mol. Mutagenesis, 28: 26-30.

² Maes et al., 1997, Mutation Research, 393(1-2):151-156.

10 W/kg) pour évaluer la possibilité d'une relation dose-effet et un deuxième agent mutagène, les rayons X, a été utilisé.

L'absence d'effet génotoxique des radiofréquences seules est confirmée et aucune synergie n'est mise en évidence pour la formation d'aberrations chromosomiques et les échanges de chromatides sœurs, quelque soit le mode de signal testé et l'agent génotoxique utilisé. Cependant, on peut noter une sensibilité des cellules de certains donneurs lors du traitement combiné RF et mitomycine C, qui n'est pas significative lorsque la totalité des donneurs est considérée. On peut regretter qu'aucune information sur les critères de sélection des donneurs ne soit donnée et noter que le nombre de donneurs par condition d'exposition reste faible (maximum de 4 sujets par condition).

La transformation néoplasique des cellules peut être liée aussi bien à l'induction de dommages à l'ADN (mutations, micro-noyaux, aberrations chromosomiques, etc.), qu'à une surexpression d'oncogènes ou l'inhibition de l'apoptose, etc. En utilisant un modèle de transformation cellulaire *in vitro*, Roti Roti et al (2001) montrent l'absence d'un effet initiateur ou promoteur du processus de transformation cancéreuse de deux signaux de téléphonie mobile américains (CDMA et FDMA) à un niveau de DAS de 0,6 W/kg. Un effet initiateur des radiofréquences a été évalué en exposant les cellules pendant 7 jours en présence ou non d'un promoteur tumoral. L'effet promoteur a été examiné par exposition des échantillons cellulaires aux RF pendant 42 jours après irradiation par des rayons X (4,5 Gy).

Ce travail présente l'intérêt d'utiliser un niveau de DAS compatible avec l'utilisation réelle des téléphones mobiles, des expositions prolongées et enfin d'utiliser un modèle plus complexe que les tests de génotoxicité car tenant compte de la réponse cellulaire « intégrée ».

Une autre étude a permis d'explorer les effets génotoxiques d'un signal RF continu à 2450 et 7700 MHz et à différentes densités de puissance (10, 20 et 30 mW/cm²) sur des lymphocytes humains. Le sang total de deux donneurs sains est exposé pendant 15, 30 ou 60 minutes aux RF. Aucune information n'est donnée sur les échantillons contrôles et le temps de l'exposition. Les lymphocytes sont exposés en phase G0 puis stimulés par la phytohémataglutinine pour effectuer le test des micro-noyaux après blocage de la division cellulaire. Les résultats montrent que les deux signaux n'induisent des micro-noyaux qu'au-dessus de 30 mW/cm² pour toutes les durées d'exposition pour les RF de 2450 MHz et à partir de 30 minutes d'exposition pour les RF de 7700 MHz. Les auteurs excluent par ailleurs la possibilité d'effets thermiques dans ce travail (la température dans le milieu de culture ne dépasse pas 37°C au cours de l'exposition). En résumé, même si ce travail n'apparaît pas de grande qualité méthodologique, et bien que les signaux étudiés ne soient pas liés à la téléphonie mobile, on pourra noter que les niveaux de DAS pour lesquels des micro-noyaux sont induits sont très supérieurs aux limites d'exposition du public.

Vijayalaxmi et al. (2000) ont également étudié l'influence de RF de 2450 MHz sur des lymphocytes humains (3 donneurs) sur la formation de lésions précoces à l'ADN (test des comètes) immédiatement ou 4 heures après une exposition de 2 heures à 2,1 W/kg. Aucune fragmentation de l'ADN n'a pu être détectée, ce qui est corrélé à l'étude précédente.

Autres modèles *in vitro*

- Expression des gènes et protéines de stress

Face à une situation qui peut compromettre la survie cellulaire (hyperthermie, ischémie, processus inflammatoires), les cellules expriment des protéines dites de choc thermique (HSP). Les HSPs forment une famille de protéines remarquablement bien conservées au cours de l'évolution. Elles ont été classifiées en fonction de leur poids moléculaire : 27 kiloDaltons (kD), 70 kD, 90 kD, etc. Ces protéines sont exprimées de manière "constitutive", mais certaines sont "inductibles" sous l'effet de différents stress physiques, chimiques ou métaboliques. La distribution cellulaire est différente en fonction de la protéine HSP considérée. Par exemple, HSP27 présente une distribution ubiquitaire, tandis qu'HSP70 est majoritaire dans le système nerveux central mais présente aussi dans d'autres tissus (peau, muscle cardiaque...).

La plupart de ces protéines agissent comme des protéines « chaperones », dans des compartiments cellulaires spécifiques, en se liant à des peptides ou à des protéines en cours de

synthèse, permettant ainsi leur repliement. Elles participent également à la translocation de protéines vers leur site définitif. Elles sont aussi capables de lier des protéines dénaturées afin de rétablir leurs fonctions.

Une élévation modérée de température permet l'induction de toute la famille des HSP et l'obtention d'un état dit de « thermo-tolérance ». Cet état permet non seulement à la cellule de se protéger d'un choc thermique mais aussi d'être moins susceptible à d'autres facteurs de stress, par exemple des facteurs pro-apoptotiques. Ainsi, la réponse des protéines de choc thermique peut être considérée comme un mécanisme universel de défense contre toute forme d'agression. L'hypothèse que les radiofréquences de la téléphonie mobile constitueraient un stress cellulaire a été testée dans différents groupes.

Il a été récemment montré par Leszczinski et al. en 2002 qu'une exposition de 1 heure à un signal GSM-900 de 2 W/kg induisait une augmentation transitoire de l'expression de la protéine HSP27 dans des cellules endothéliales humaines (lignée EA.hy926). Cette expression augmentée est accompagnée de la phosphorylation (activation) de la protéine, laquelle passe par la voie de signalisation impliquant la p38MAPK¹. Sur la base de ces résultats et des différentes fonctions d'HSP27, les auteurs élaborent de nombreuses hypothèses allant de la cancérisation (effet anti-apoptotique de HSP27) à l'altération de la barrière hémato-encéphalique (effet de HSP27 sur la stabilisation des fibres de stress). Réalisée dans le cadre du programme Européen Reflex, cette étude est en cours de réplification.

Kwee et al. (2001) ont exposé une lignée de cellules humaines épithéliales amniotiques transformées (cellules AMA) dans une chambre TEM à un signal GSM-900 de 0,002 W/kg pendant 20 minutes. Différentes températures d'exposition ont été testées : 35 et 37°C, avec un contrôle positif à 40±0,1°C. L'expression des protéines HSP27 et HSP70 a été déterminée par immunofluorescence immédiatement ou 30, 60 et 90 minutes après l'exposition. Les auteurs notent une augmentation transitoire de l'expression de HSP70 après exposition aux RF à 35 et 37°C comparé aux échantillons pseudo-exposés, tandis qu'aucune modification n'est notée pour HSP27. Ils en déduisent que les RF de niveau non-thermique sont capables d'induire l'expression de certaines HSP.

Le travail sur HSP27, néanmoins, n'est pas en accord avec celui de Leszczinski et al. (2002), ce qui suggère que l'expression des HSP pourraient être modulée de façon différentielle en fonction du type de cellules étudiées.

Une autre étude utilisant également des cellules humaines, cette fois des cellules de gliome MO54, ne montre pas d'augmentation de la protéine HSP70 après exposition (2, 4, 8 et 16 heures) à des RF de 2450 MHz de niveau de DAS de 5 et 20 W/kg (Tian et al., 2002).

Pour des niveaux de DAS supérieurs, soit 50 et 100 W/kg, l'expression de HSP70 augmente en fonction du temps et ceci même quand les auteurs ont tenu compte de l'augmentation de 1°C pour le plus haut DAS testé.

Cette étude étant par ailleurs très différente des précédentes (protéine HSP recherchée, type cellulaire, temps d'exposition), on note une contradiction sur le niveau de DAS à partir duquel une induction des protéines HSP peut être observée. On ne dispose donc toujours pas d'indication sur le seuil de DAS capable de modifier l'expression des HSP.

À la suite des observations - à confirmer - de l'augmentation de certaines HSP sous exposition RF, des auteurs australiens (French et al. 2001) ont fait l'hypothèse que les champs émis par les téléphones mobiles favoriseraient le développement du cancer via l'induction de l'expression des protéines HSP. Il s'agit là d'une spéculation théorique (aucune preuve expérimentale n'est apportée) selon laquelle l'exposition chronique aboutirait à une expression augmentée continue des HSP qui serait préjudiciable au fonctionnement des cellules. L'action des micro-ondes de faible puissance sur la dénaturation des protéines est une piste de recherche actuellement explorée.

- Expression d'autres gènes et protéines

Pacini et al. (2002) ont exposé des fibroblastes de peau humaine (lignée Detroit 350) à un

¹ p38MAPK : protéine kinase de poids moléculaire 38 kDa. En phosphorylant des protéines comme HSP27, la p38MAPK se situe en amont d'une des nombreuses cascades de signalisation cellulaire.

véritable téléphone GSM-900 en fonction pendant 1 heure. Le niveau de DAS est estimé à 0,7 W/kg et l'exposition est réalisée dans une pièce thermostatée à °C. Les auteurs montrent que la morphologie cellulaire est altérée sous exposition RF, de même que l'expression de nombreux gènes parmi lesquels des gènes impliqués dans la réponse aux agents stimulant la croissance cellulaire, dans la réponse aux inhibiteurs de croissance cellulaire et dans la réponse apoptotique. Les auteurs indiquent par exemple que le gène pro-apoptotique *bax* voit son expression significativement altérée sans préciser dans quel sens varie cette expression. De tels résultats obtenus dans des conditions d'exposition très critiquables (l'utilisation d'un téléphone réel ne permet pas une exposition homogène des cellules en culture) rendent l'étude peu crédible et ne permettent surtout pas de prédire d'éventuelles conséquences physiopathologiques.

- Activités électriques

Différentes études ont suggéré des effets des RF de la téléphonie mobile sur certaines activités cérébrales (sommeil, EEG, activité cognitive, etc. voir chapitre 2.2.2.1). Pour tester l'hypothèse d'effets des RF sur l'activité neuronale en relation, en particulier, avec la mémoire, en référence aux travaux de Lai qui utilisait des signaux radar et non ceux de la téléphonie mobile, Tattersall et al. (2001) ont exposé des tranches d'hippocampe de rat à un signal RF continu de 700 MHz, dans une gamme de DAS de 0,0016 à 0,0044 W/kg calculé à partir de mesures de température et pendant 5 à 15 minutes. Ce signal est choisi pour être proche de celui utilisé par De Pomerai, pour lequel une induction du gène *hsp16* dans la souche transgénique de *Caenorhabditis elegans* était détectée. Dans ce travail, aucun effet n'est détecté sur le potentiel post-synaptique d'excitation, tandis que des modifications du potentiel de champ évoqué sont observées pour l'amplitude des pics des populations dans une zone des tranches (CA1). Au plus bas niveau de DAS, on note une augmentation de 20% réversible dès l'arrêt de l'exposition et des résultats incohérents pour le plus haut niveau de DAS. Des variations importantes entre expériences et au sein d'une même série de mesure existent cependant. L'effet des RF sur des bouffées épileptiformes (fréquence de 0,1 à 0,3 Hz) induits par un agent chimique (4-aminopyridine) est également étudié. Il est montré que les RF à 50 V/m préviennent partiellement ou complètement ces bouffées dans la région CA3 de près de 40% des tranches d'hippocampe testées. L'effet d'une augmentation de température de 1°C n'induit pas de modification similaire à celle observée avec les RF, montrant, d'après les auteurs, la nature non-thermique des effets décrits après exposition aux RF. On peut cependant noter que seulement 4 tranches sont testées pour un effet attendu sur 40% des tranches, soit sur 1 seule tranche. Sur la base d'études réalisées dans la gamme ELF sur la même thématique, les auteurs postulent que des champs électriques de faible amplitude joueraient un rôle dans l'effet des RF, non liés à la téléphonie mobile, rapporté dans ce travail. Il semble que la forte variabilité des réponses observées affaiblissent la portée de cette étude qui requiert néanmoins un suivi.

- Prolifération et cycle cellulaires

Higashikubo et al. (2001) ont évalué l'effet de signaux américains de téléphonie mobile à 847,74 MHz (CDMA) et 835,62 MHz (FDMA) sur la progression de cellules gliales humaines U87MG et de fibroblastes de souris C3H 10T1/2 dans le cycle cellulaire en suivant l'incorporation de bromodésoxyuridine (BrdU). Des modifications dans la progression dans le cycle cellulaire constituent l'un des marqueurs les plus sensibles d'une agression environnementale. Le choix de deux types cellulaires très différents est délibéré afin de déterminer d'éventuelles spécificités de réponse cellulaire. Le niveau de DAS utilisé est de 0,6 W/kg et les cellules sont exposées à 37°C contrôlés dans un système de lignes de transmission radiales. Les cellules sont soumises à une exposition de courte durée de 2 à 13 heures (effet aigu) ou prolongée pendant 24, 48, 72 ou 96 heures (effet cumulatif). Le marquage BrdU est réalisé soit au début de l'exposition pour les expositions de courte durée, soit à la fin de l'exposition pour les expositions longues (30 minutes suivies d'une période de chasse du BrdU de 3,5 heures, soit une durée d'exposition maximale de 100 heures). L'analyse est réalisée par cytométrie de flux et les paramètres suivis sont le passage des cellules en phase G1, G2 et S ainsi que la probabilité de division cellulaire.

Dans les conditions d'exposition testées et quel que soit le signal étudié, les résultats ne montrent aucun effet des radiofréquences sur la progression des cellules dans le cycle cellulaire.

On peut noter que les auteurs mentionnent dans leur résumé l'existence d'un effet significatif des

RF sur la progression en phase de plateau des cellules fibroblastiques après l'exposition la plus longue, qui n'est pas retrouvé dans les sections résultats ou discussion.

- Endocytose en phase fluide

Lors de son travail de thèse, N. Mahrouf (2002) a étudié à l'Institut Gustave Roussy les effets de l'exposition à des signaux GSM de cellules en culture sur l'endocytose en phase fluide. Ce phénomène correspond à l'entrée dans les cellules de substances circulant dans le milieu extracellulaire. Plusieurs mécanismes complémentaires existent. Le seul qui paraît altéré par les micro-ondes ou par des champs électriques est celui qui met en jeu une invagination de la membrane cellulaire sans l'implication de récepteurs membranaires.

La stimulation de l'endocytose a lieu aussi bien par l'application de champs électromagnétiques de type GSM que par les champs électriques pulsés de basse fréquence qui leur correspondent (217 Hz). Ceci suggère fortement que c'est la composante électrique du champ électromagnétique qui est responsable de cette stimulation. L'existence de ce phénomène n'est pas spécifique d'un type cellulaire. Cette stimulation dépend de la puissance du champ électromagnétique et de l'intensité du champ électrique, avec des seuils similaires (1,3 W/kg) et un caractère de type tout ou rien. La stimulation ne se produit que pendant l'exposition au champ et elle est rapidement réversible dans le temps. Les variations de fréquence et de durée des impulsions électriques n'ont pas d'effets sur la stimulation de l'endocytose en phase fluide. Les implications de ces résultats qui seront prochainement publiés ne sont pas claires car les seuils observés sont élevés par rapport aux niveaux correspondant à l'utilisation d'un téléphone mobile. Néanmoins il sera intéressant de savoir si cette observation peut être reliée à celles faites sur la perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique.

- Calcium

Le calcium est un ion très important au niveau cellulaire et est l'un des seconds messagers cellulaires. Des variations de la concentration intracellulaire de calcium sont en particulier à l'origine de multiples processus physiologiques qui diffèrent selon le type des cellules.

Plusieurs études avaient montré que l'exposition à des champs magnétiques dans la gamme des ELF pouvaient altérer les concentrations en calcium en particulier dans les cellules du système immunitaire (lymphocytes, cellules Jurkat, etc). Un groupe s'est récemment intéressé aux effets des ondes radiofréquences sur ce paramètre important.

Cranfield et al. (2001) ont ainsi étudié l'effet d'une exposition (2 fois 10 minutes) à des signaux GSM (915 MHz, 2 W/kg) sur la concentration en ions calcium par dans une lignée de lymphocytes humains. La technique de la microscopie fluorimétrique confocale était utilisée pour mesurer la concentration de calcium dans les lymphocytes activés ou non par le PHA¹. Aucune altération de la concentration de calcium n'a été observée sous exposition GSM. Il s'agit là de la deuxième étude négative montrant qu'une exposition GSM ne perturbe pas la concentration de calcium.

Des expériences anciennes avaient montré qu'un "afflux" d'ions calcium des parois cellulaires pouvait être provoqué par l'exposition à des micro-ondes modulées à basse fréquence. Aucune étude de réplication n'ayant été positive et des biais expérimentaux ayant été décelés, cette hypothèse est maintenant abandonnée.

Conclusion sur les études cellulaires

Les études *in vitro* permettent de définir des voies d'étude, de tester des hypothèses et de déterminer des mécanismes pour des effets biologiques mis en évidence par les expérimentations animales.

L'absence d'effet génotoxique des RF de bas niveau de DAS est confirmée pour des expositions de courte durée (30 minutes à 3 heures). Certaines études ont utilisé des expositions de longue durée (un à quarante-deux jours) aux signaux de la téléphonie mobile : pour des niveaux de DAS inférieurs ou égaux à 2 W/kg, aucun effet génotoxique n'est démontré et, pour les niveaux de DAS supérieurs, les résultats sont contradictoires, notamment en fonction du paramètre étudié. Une des raisons pourrait être la qualité des systèmes d'exposition, en particulier en termes de régulation de la température. À titre d'exemple, il est connu que l'hyperthermie est capable d'induire des micro-

¹ PHA = PhytoHemAgglutinine, substance qui provoque la transformation lymphoblastique.

noyaux. Il est donc fondamental de pouvoir distinguer entre les effets des RF et les effets thermiques.

Ainsi, plus que la durée de l'exposition, c'est le niveau de DAS qui pourrait être le facteur critique pour l'existence d'effet génotoxique *in vitro*. Il restera à déterminer si les conditions de thermostation sont bien réunies pour des expérimentations à ces niveaux élevés de DAS.

Les autres études qui méritent actuellement de l'attention sont celles sur les HSP dont les résultats pour l'instant restent difficiles à interpréter et ne permettent donc pas d'affirmer aujourd'hui que les RF induisent un "stress" cellulaire.

Certains chercheurs (e.g., Leszczynski 2001), préconisent que soient amplement développées les nouvelles approches de la génomique et de la protéomique pour aider à lever les incertitudes qui subsistent dans l'évaluation des risques sanitaires des téléphones mobiles. Ces méthodes permettent une évaluation quantitative des altérations de l'expression des gènes et de la production de protéines mais posent de nombreux problèmes d'interprétation en raison de la multiplicité des résultats fournis et du manque de références résultant d'une technologie récente. Cela dit, il n'est pas certain, que des résultats, même positifs, obtenus *in vitro* sur préparation réduite, soient transposables à l'organisme entier.

Toute étude positive *in vitro* confirmée devrait faire l'objet d'une validation par des études *in vivo*. On peut notamment préconiser des expérimentations chez les mammifères pour valider les études mettant en évidence une augmentation de l'expression des protéines de choc thermique dans des cellules mammifères.

2.2.4 Mécanismes

Les rapports précédents avaient tenté de clarifier la nature thermique ou non-thermique des effets biologiques publiés ou recherchés. Il est bon de rappeler une nouvelle fois que les effets thermiques sont tout simplement ceux qui sont dus à l'élévation de température d'un tissu biologique. Les mécanismes de l'apparition de ce type d'effets sous exposition micro-onde sont bien connus et la recherche actuelle porte donc surtout sur l'existence éventuelle d'effets non thermiques. La plupart des projets de recherche sur ces effets correspondent donc, suivant les recommandations de l'OMS à des niveaux de DAS situés au-dessous de ceux qui sont connus pour induire des effets thermiques.

À l'échelle de la cellule, et *a fortiori* à celle de la molécule, toute absorption localisée d'énergie est dissipée très rapidement et ne conduit pas à un échauffement localisé (cela serait moins vrai pour des matériaux magnétiques pour lesquels le DAS local peut être très supérieur à celui de tissus non-magnétiques environnants. C'est le cas de la magnétite).

Les modèles récents d'interaction des RF avec les matériaux biologiques indiquent qu'aucun phénomène non-linéaire n'est prévisible aux fréquences utilisées en téléphonie mobile (autour de 1 GHz) à faible niveau de puissance incidente ($< 100 \text{ W/m}^2$) (Adair, 2003). Les phénomènes de rectification des signaux dus aux mouvements des charges à travers les membranes, se produisent jusqu'à 10 MHz seulement (Pickard et Morros, 2001).

Les hypothèses récentes d'un groupe slovène (Kotnik et Miklavcic, 2000a; Kotnik et Miklavcic, 2000b) suggèrent que la membrane pourrait être le site spécifique d'une absorption des RF plus importante que dans l'intérieur de la cellule ou dans le milieu intercellulaire. Cette hypothèse, qui doit être confirmée expérimentalement et théoriquement, ne correspond pas à un échauffement majeur de la membrane.

Quelques questions restent ouvertes concernant les mécanismes d'interaction :

- quelles peuvent être les conséquences biochimiques de gradients de température très localisés et très brefs ?
- les ions présents dans des cages ou des canaux peuvent-ils absorber de manière significative les RF malgré la présence de molécules d'eau ?
- les micro-ondes peuvent-elles affecter les liaisons faibles entre protéines et, par là, affecter leur fonctionnalité ?

Il reste qu'à ce jour, aux fréquences utilisées en téléphone mobile, le seul mécanisme auquel on peut se référer est l'échauffement dû à l'absorption des ondes. Si donc des effets biologiques bien caractérisés sont découverts à des niveaux de DAS n'entraînant pas d'échauffement significatif, de nouvelles hypothèses et expérimentations devront être construites.

2.2.5 Conclusion sur les études expérimentales

Panorama des études

En guise de résumé, on peut tracer le panorama des types d'études pratiquées en laboratoire et constater dans le tableau ci-dessous que les études sur l'animal et sur la cellule sont également distribuées, avec un tiers des expérimentations en cours, tandis que les études humaines sont moins nombreuses. Le détail de ces données, issues de la base de données de l'OMS, est présenté dans les tableaux en annexe 14.

Études	En cours	Terminée	Total
Humaine	19	51	70
Animale	30	82	112
Cellulaire	36	71	107

Systemes d'exposition

Durant les deux dernières années, des progrès techniques importants ont continué à apparaître dans la conception des systèmes d'exposition. Ceci a permis de mieux caractériser l'absorption des ondes par les cellules ou les animaux et d'obtenir des niveaux de DAS plus homogènes. Il s'en est suivi une amélioration constante et majeure de la qualité des résultats expérimentaux obtenus. De ce point de vue, la comparaison n'est pas toujours valide entre les résultats récents de qualité et d'autres plus anciens où la dosimétrie était souvent défailante (utilisation de téléphones mobiles placés près d'animaux ou de cellules, etc.).

Effets non thermiques ?

Devant les polémiques présentes autour de la nature thermique ou non-thermique des effets biologiques des champs électromagnétiques, il faut constater que l'essentiel des études menées actuellement est réalisé à des niveaux proches des limites d'exposition, c'est-à-dire à des niveaux non-thermiques (environ 50 fois au-dessous des niveaux connus pour générer des effets thermiques). Ainsi, dans quelques années, on devrait avoir des éléments suffisants pour déterminer si des effets existent dans cette gamme de niveaux de puissance faible.

Exposition intermittente

À travers l'analyse des résultats les plus récents, y compris ceux qui ne sont pas publiés et donc pas explicitement analysés ici, il apparaît que des expositions intermittentes seraient, plus que les expositions continues, susceptibles de générer des effets biologiques. Les expositions intermittentes sont pratiquées par certains laboratoires pour imiter l'exposition réelle aux RF qui est le plus souvent irrégulière dans le temps. Le rythme des phases "on" et "off" est par exemple de 10 min et 30 min respectivement. Il n'y a jusqu'à présent aucune certitude que ce type d'exposition soit source d'effets biologiques, ni aucun mécanisme qui puisse l'expliquer. Néanmoins, c'est là un paramètre des expositions en laboratoire dont il faudra mieux cerner le rôle.

Exposition chronique à faible niveau de DAS

L'une des questions les plus souvent posées, à juste titre, est celle des effets éventuels liés à l'accumulation de la dose, c'est-à-dire le cas des niveaux faibles pendant des expositions longues corps-entier. Il est remarquable de constater qu'aucune des études de ce type, réalisées sur des animaux sains, n'a montré de développement de pathologies, en particulier liées au cancer. Dans les études sur le cancer sur des animaux sensibilisés, une seule a montré une accélération du développement tumoral et une étude récente similaire s'est avérée négative. L'ensemble de ces données, obtenues à des niveaux de DAS non thermiques, mais au-dessus des valeurs limites (1,5-2,3 W/kg), semble montrer aujourd'hui qu'on ne peut attendre chez l'animal de développement de pathologies graves lors d'expositions longues à des niveaux de DAS relatifs aux téléphones mobiles. Cette conclusion est encore plus vraie *a fortiori* pour les niveaux de champs très bas correspondant aux stations de base.

Qualité des études

En dépit de l'amélioration sensible des systèmes d'exposition signalée plus haut, on peut constater que, dans l'ensemble, le niveau des revues scientifiques, tel qu'il est mesuré à l'aide du facteur d'impact, n'est pas élevé, pour la plupart des résultats rapportés ici. En effet, plusieurs des données récentes qui montraient des effets et qui ont suscité particulièrement l'attention des médias ont été publiées dans des revues "mineures", tandis que les résultats négatifs l'étaient dans des revues majeures... De même, on peut déplorer que plusieurs revues n'aient pas les compétences pour juger de la qualité de la dosimétrie.

De plus, des biais expérimentaux importants ont été constatés dans plusieurs des articles analysés : l'expérimentation en aveugle reste trop rare, les contrôles positifs manquent souvent, etc. On voit donc l'intérêt d'une approche multi-disciplinaire fédérée dans des programmes tels que Comobio en France et ICEmB en Italie.

Dans les analyses collectives de la littérature scientifique, ces éléments défectueux sont pris en compte mais ils ne sont rarement dans les rapports journalistiques de travaux individuels.

Une amélioration de la qualité des études suivant les codes de bonne pratique en laboratoire et de la qualité des revues scientifiques choisies pour publier devrait, dans l'avenir, permettre une analyse du risque plus sérieuse.

2.3 Effets indirects

2.3.1 Conduite automobile

Le seul effet pour lequel les études épidémiologiques ont montré l'existence d'un risque avéré pour l'homme du fait de l'usage du téléphone mobile est l'accident de la route. Ainsi, en 1997, Redelmeier et Tibshirani¹ avaient montré l'existence d'un risque de 4,3 (CI 95% 3,0-6,5) chez 699 conducteurs au Canada, possesseurs de téléphones mobiles, ayant été impliqués dans un accident de voiture pour ceux qui avaient utilisé leur téléphone mobile dans les 10 minutes précédant l'accident. Rothman et al, en 1999, avaient montré à partir de la cohorte d'utilisateurs de téléphone mobile qu'ils suivaient que le risque de décès par accidents de voiture augmentaient avec le temps de communication quotidien :

- < 1 minutes/jour – 5 décès par accident de voiture / 100 000
- 1-3 minutes/jour – 10 décès par accident de voiture / 100 000
- > 3 minutes/jour – 12 décès par accident de voiture / 100 000

Récemment, Laberge-Nadeau et al, (2003), dans le cadre d'une étude transversale auprès des souscripteurs d'assurance automobile ont calculé, pour les hommes passant plus de 20 appels par jour (pour les femmes au delà de 30 appels par jour), un risque d'avoir un accident multiplié par deux, risque ajusté sur le nombre de kilomètres annuels faits par le souscripteur². Ce type d'analyse est important car les études montrent que les personnes le plus fréquemment sur la route sont également celles qui passent le plus de communications par téléphone mobile, en particulier en conduisant : il s'agit souvent d'un usage professionnel.

De nombreux travaux en ergonomie de la conduite, dont Pachiaudi a fait la synthèse dans un rapport de l'INRETS (Pachiaudi, 2001), ont étudié l'impact de l'usage du téléphone mobile sur la conduite. Après avoir présenté les aspects méthodologiques des études comportementales en conduite automobile, Pachiaudi souligne les principales modifications comportementales lorsqu'une personne téléphone au volant :

- Un délai de prise de ligne court, témoignant de l'abandon " toutes affaires cessantes " d'une activité (conduite) pour une autre activité (communication) : une étude de 129 accidents liés au téléphone au Japon a montré que 42 % de ces accidents avaient lieu lors de la prise de ligne.
- Une augmentation de la charge mentale, se traduisant entre autres par une accélération cardiaque et un stress accru.
- Peu ou pas de réduction de la vitesse de conduite, qui devient de plus très variable (à-coups sur la pédale d'accélération).

¹ Redelmeier DA, Tibshirani RJ., 1997, N Engl J Med., 336(7):453-458.

² En accidentologie, il est très important d'ajuster sur le nombre de km faits par une personne car plus elle est sur la route, plus son risque d'accident augmente.

- Des déviations de trajectoire avec des mouvements latéraux plus amples,
- Une modification du champ visuel avec une fixité plus grande vers l'avant, moins de surveillance périphérique (moins de contrôle des rétroviseurs et des cadrans) et moins de changements de la direction du regard.

- Une augmentation du temps de réaction.

- Une diminution de la distance inter-véhiculaire (au lieu d'une augmentation pour raison de sécurité, destinée à compenser la dégradation des performances pendant la communication).

Ces observations sont faites aussi bien lors des opérations de numérotation que de la phase de communication.

Contrairement aux idées reçues, Pachiaudi conclut que le kit mains-libres ne résout pas le problème du risque accidentel associé à la communication téléphonique lors de la conduite. En effet, le problème principal révélé par cette synthèse montre que la modification la plus importante est la baisse de vigilance, laquelle est indépendante de la préhension ou non d'un combiné téléphonique: "le kit mains-libres libère les mains, pas l'esprit".

2.3.2 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Au vu des résultats de nombreuses études de CEM sur les interférences éventuelles des téléphones mobiles avec les implants actifs et en particulier les stimulateurs cardiaques (pacemakers), la conclusion est que l'immunité des implants modernes est satisfaisante et qu'aucun accident n'a été à déplorer.

La question de l'interdiction d'utilisation des téléphones mobiles en milieu hospitalier est actuellement débattue. Il semble que le risque associé avec la proximité d'appareillages critiques soit moindre qu'on ne le craignait (e.g., Morrissey et al., 2002). Cependant, le groupe d'experts ne se prononce pas sur le bien-fondé du maintien de la règle d'exclusion des téléphones mobiles des hôpitaux.

Concernant les niveaux de référence actuels qui portent sur la CEM des équipements électroniques, il est souvent objecté qu'ils sont plus bas que ceux relatifs à l'exposition humaine. En effet, la norme CENELEC est de 3 V/m pour les équipements à comparer à la valeur limite de l'ICNIRP de 41 V/m à 900 MHz pour la protection sanitaire. Cette différence s'explique par les modes d'interaction qui diffèrent entre les systèmes électroniques et les tissus biologiques. L'activité biologique est basée essentiellement sur des processus biochimiques tandis que les équipements électroniques ont un fonctionnement reposant sur l'électromagnétisme et peuvent présenter une très grande sensibilité aux champs parasites. De plus, dans les appareils électroniques, les champs électromagnétiques se couplent directement avec les composants et connexions des circuits, ce qui peut facilement produire des dysfonctionnements. L'organisme n'a pas cette sensibilité car l'énergie électromagnétique n'est pas concentrée localement : à l'échelle microscopique les tissus sont vus par les ondes comme un matériau quasi homogène. La comparaison entre les niveaux de référence CEM et sanitaire n'est donc pas pertinente.

2.3.3 Craintes générées par la téléphonie mobile

Situations de stress

La complexité des études sur les risques environnementaux tient au fait que certains des symptômes avancés comme pouvant être dû à une action toxique d'un composé chimique ou d'un facteur physique peuvent également être des symptômes observés en situation de stress.

En effet, si des symptômes tels que la fatigue, les difficultés de sommeil, les maux de tête, le changement d'humeur, la baisse de la libido... peuvent tout à fait être des symptômes d'une action toxique, il est plus fréquent qu'ils soient observés lorsque des personnes sont mal à l'aise dans leur environnement ou sont sujettes à une crainte concernant une situation (environnementale ou non) difficile à vivre, cette crainte se focalisant alors particulièrement sur le risque sanitaire. Ces mêmes symptômes ont été également décrits dans des situations très variées comme dans les situations d'intolérance aux odeurs, le "sick building syndrom", le syndrome de la guerre du Golf, le syndrome d'intolérance au prothèse en silicones ... Ces aspects sont connus depuis déjà de nombreuses années ; le Centre National Américain des Statistiques de Santé a publié en 1970 un rapport sur ce

sujet (Dupuy 1970 cité par Lipscomb et al., 1992a¹). Plusieurs études épidémiologiques ont exploré cette question lors de situations environnementales générant des angoisses (ref. Roth et al., 1985² ; Shusterman, 1991³ ; Neutra, 1991⁴ ; Lipscomb et al., 1992,a), notamment en relation avec les champs électromagnétiques (Levallois, 2002). Ces derniers auteurs suggèrent de toujours prendre en compte dans l'analyse de problèmes environnementaux des éléments tels que le sexe (les troubles sont plus fréquemment décrits par les femmes), l'origine sociologique et ethnique, et les craintes des sujets vis à vis des problèmes environnementaux.

Il n'en reste pas moins que ces symptômes représentent une réelle atteinte de la santé (au sens de l'OMS) et qu'ils représentent un problème important de santé publique. Les remèdes cependant ne sont pas forcément là où la plupart des gens le pensent. L'un d'entre eux, nécessaire mais non suffisant, est un exercice de très grande pédagogie auprès des personnes concernées (Lipscomb et al., 1992b⁵).

L'étude de Santini sur les symptômes ressentis autour des antennes de station de base est une parfaite illustration de cette question. L'augmentation du nombre de symptômes lorsque l'on se rapproche des antennes est certainement la traduction d'un stress ressenti de façon plus intense lorsque l'on se rapproche de ce qu'on croit être un danger, alors que l'exposition réelle la plus importante se situe à distance de celui-ci. Une enquête journalistique récente recense les inquiétudes des riverains d'antennes relais.⁶

Ceci, cependant, ne préjuge en rien de l'existence d'une réelle sensibilité de certains individus à des seuils de pollutions environnementales plus faibles que pour la majorité des gens, cette hypothèse n'étant cependant pas encore vérifiée de façon satisfaisante à ce jour (Neutra, 1991 ; cf. 2.2.1)).

Craintes générées par la modulation ELF autour des stations de base

Certaines associations ou médias évoquent la présence de champs électromagnétiques d'extrêmement basses fréquences (ELF à 217 Hz) émises par les stations de base, ainsi que le caractère cancérigène de ces ELF. Ces deux affirmations résultent de confusions. L'OMS dans sa déclaration OMS /1 du 23 janvier 2002 a précisé qu'il s'agissait, de la part de certains journalistes, d'une déformation de la position adoptée par l'OMS et par le CIRC (centre international de recherche sur le cancer) organisme dépendant de l'OMS.

Il n'y a pas d'émission de champs ELF à proximité d'une station de base : le rayonnement intentionnel est concentré autour de la fréquence porteuse. Quant au rayonnement non intentionnel (50 ou 217 Hz), il est filtré par des blindages et a fait l'objet de mesures lors de la campagne réalisée par l'ANFr, au cours de l'année 2001.

Proximité des stations de base

Les antennes relais de radiotéléphonie émettent un faisceau de radiofréquence étroit, situé dans un plan presque parallèle au sol. Pour une antenne courante en agglomération, la puissance rayonnée est au maximum de l'ordre de quelques dizaines de watts, c'est-à-dire plusieurs milliers de fois inférieure aux puissances rayonnées par certains émetteurs de radio, de télévision. Pourtant ces émetteurs existent depuis longtemps sans avoir engendré de craintes et n'ont pas fait l'objet de beaucoup d'études. La puissance dans le faisceau diminue très rapidement avec la distance pour ne plus émerger du bruit de fond lié aux autres sources au-delà d'une centaine de mètres en ville. La puissance reste très faible en dehors du faisceau, c'est pourquoi un bâtiment situé sous l'antenne ou à proximité immédiate de l'antenne, n'est pas affecté ou de manière très marginale par le rayonnement, en raison des caractéristiques du faisceau.

Depuis plusieurs années, certains élus locaux ont pris position pour exiger l'éloignement des stations de base à distance des habitations, (300 mètres généralement), notamment à la demande d'associations. Il convient d'attirer l'attention sur le fait que, compte tenu des caractéristiques des faisceaux de ces antennes, un éloignement des stations de base à distance des habitations et donc

¹ Lipscomb et al., 1992a, Arch Environ Health, 47(4):263-269.

² Roth et al., 1985, Psychosom Med., 47(2):164-173.

³ Shusterman et al., 1991, Environ Health Perspect., 94:25-30.

⁴ Neutra R., 1991, Environ Health Perspect., 94:31-38.

⁵ Lipscomb et al., 1992b, Arch Environ Health, 47(4):270-273.

⁶ Piro P. *Antennes relais comment sortir de la crise ? – Enquête.* 60 M Consommateurs. n°369. Février 2003.

des utilisateurs de mobiles conduit à une augmentation des puissances émises par les téléphones mobiles.

De plus, pour maintenir la qualité de la transmission et en raison de la présence au niveau des mobiles et des stations de base d'un contrôle automatique de puissance, des canaux supplémentaires doivent être installés sur les stations de base pour servir un plus grand nombre d'utilisateurs et cela conduit à l'augmentation de la puissance totale de la station de base, surtout si la puissance par canal est, elle aussi, augmentée. Pour la population en général dans la zone de couverture des antennes, la diminution espérée du niveau d'exposition liée à l'éloignement des stations de base est largement compensée par cette augmentation de puissance. Par ailleurs, à proximité d'un pylône ou d'une station de base en toiture, le public se trouve en dehors du faisceau (en dessous) alors qu'à distance, il a une plus grande probabilité de se trouver dans le faisceau.

Le Conseil d'État, saisi au sujet de tels arrêtés municipaux dans deux communes, a, dans un arrêt du 22 août 2002, pris en ce domaine une décision qui fera jurisprudence. Le Conseil, se fondant sur les conclusions du rapport de 2001, a estimé que "les arrêtés des maires des deux communes sont illégaux pour édicter des mesures d'interdiction générales et absolues, dans la mesure où l'atteinte à la santé publique ne peut sérieusement être admise".

Effets cumulatifs à long terme

La question est souvent posée de l'éventuelle accumulation d'effets lors d'expositions longues à faible niveau, comme c'est le cas des stations de base. Cette problématique n'est évidemment pas propre aux champs électromagnétiques.

La réponse d'ordre expérimental qui peut être donnée aujourd'hui est que de nombreuses études à long terme ont été réalisées chez l'animal et ce à des niveaux de DAS relativement élevés (autour du W/kg). Or, les résultats de ces nombreuses études sont négatives, sauf celle des souris transgéniques de Repacholi et al. (1997) qui n'a pas été confirmée. Il est plus que probable que des expositions similaires à des niveaux de DAS beaucoup plus faibles seraient également négatives.

En fait, la réponse tient beaucoup aux connaissances sur les mécanismes des effets : il s'agit de savoir si les effets biologiques éventuels sont avec ou sans seuil. Un effet à seuil est un effet qui survient au-delà d'une certaine dose administrée de produit ou ici une exposition suffisante aux RF. En deçà de cette dose, le risque est considéré comme nul. Ainsi, un bruit de puissance inférieure à une certaine valeur-seuil ne peut pas, même à long terme, provoquer de dommage au système auditif alors qu'un bruit bref mais intense y suffit.

L'objectif est donc de déterminer le niveau de DAS en dessous duquel la probabilité de survenue d'un effet dit « critique » sera en théorie nulle : la dose maximale sans effet nocif observable (DMSENO ou NOAEL en anglais¹). Pour ces effets à seuil de dose, principalement les effets non cancérogènes, le schéma de construction se décompose systématiquement en trois étapes : (i) la détermination de l'effet critique, (ii) la détermination de la dose critique et (iii) l'application de facteurs d'incertitude qui tient compte notamment des différences entre espèces et individus et des variations entre les conditions expérimentales et les conditions réelles d'exposition de la population.

On peut donc conclure en termes d'énergie et de puissance : pour un effet à seuil de puissance (exprimé en DAS), une exposition longue au-dessous du seuil (énergie totale importante) ne provoque pas d'effets biologiques.

Si l'effet est du type sans seuil (comme par exemple pour les radiations ionisantes), alors le raisonnement ne tient pas et il faut envisager qu'une accumulation de dommages puisse se produire. C'est la problématique des faibles doses. Dans le cas des RF, le consensus actuel est que les effets biologiques sont de type 'avec seuil' et que donc, il n'existe pas d'accumulation d'effets lors de longues expositions à faible niveau de DAS.

¹ No Observed Adverse Effect Level

3 PROGRAMMES DE RECHERCHE EN COURS

3.1 France

3.1.1 Opérateurs de téléphonie mobile

Les opérateurs français ont initié la recherche en France dans les années 1994 et ont depuis fourni un effort important correspondant à 2,3 millions d'euros par an durant les deux dernières années. Les travaux de recherche qu'ils ont financés depuis le début de l'année 2001 sont décrits dans l'annexe 11. Ces recherches couvrent de nombreux domaines : dosimétrie, biologie et médecine et même sociologie et ethnologie.

3.1.2 Participations aux programmes internationaux

Guard

Le programme GUARD (Potential adverse effects of GSM cellular phones on hearing) est un programme de recherche financé pour trois ans par la Communauté européenne impliquant deux laboratoires Français (Bordeaux et Lyon) parmi les neuf laboratoires partenaires. Ce programme porte sur les effets des micro-ondes GSM uniquement sur l'oreille, l'audition et les fonctions cognitives associées à l'audition. Le programme inclut des recherches expérimentales chez l'homme et chez l'animal, en faisant varier les niveaux et les durées d'exposition.

Reflex

Le programme Reflex est l'un des programmes de recherche financés pour trois ans par la Communauté européenne et impliquant un laboratoire français (Bordeaux) parmi les douze laboratoires partenaires. Reflex est l'acronyme de « Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards from Low Energy Electromagnetic Field (EMF) Exposure Using Sensitive in vitro Methods » et concerne donc uniquement des études cellulaires. Les principaux thèmes abordés dans Reflex sont la génotoxicité, l'expression génique et protéique, la différenciation, le système immunitaire, l'apoptose et la transformation cellulaire.

Perform B

Ce programme de recherche a pour but de confirmer les études montrant des effets biologiques des radiofréquences et identifiées comme importantes. Ces études sont d'une part le travail du groupe de Litovitz aux Etats-Unis qui montrait une expression accrue de l'enzyme ornithine décarboxylase (ODC) et d'autre part les études du groupe de Maes en Belgique qui suggéraient la possibilité d'une interaction positive avec un agent chimique génotoxique. Quatre laboratoires collaborent à ce programme dont un laboratoire français (Bordeaux) qui coordonne les études. Ce programme a été bien noté par la Communauté européenne au cours de son évaluation scientifique, mais n'a pas été jugé prioritaire. Le financement de Perform B vient donc des industriels qui obligent à la publication des résultats et n'ont aucun droit de regard sur les publications qui seront issues de ces travaux.

3.1.3 Etude "Interphone"

La France est l'un des treize pays participant à l'étude Interphone menée par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) (cf. les détails concernant cette étude dans le paragraphe Monde ci-dessous). L'étude est menée sur les régions lyonnaise et parisienne : ce sont les deux premières régions à avoir bénéficié du développement des réseaux de téléphonie mobile, et pour lesquelles le délai de latence était suffisant pour justifier d'une participation informative à l'étude. L'étude française est axée sur les tumeurs malignes du cerveau, les méningiomes et les neurinomes du nerf acoustique ou du nerf facial. Les tumeurs de la glande parotide ne sont pas étudiées en

raison de la très grande dispersion des centres de traitement de ces tumeurs et du fait qu'il n'existe pas de Registre du Cancer dans ces régions pour permettre le repérage des cas.

Le financement de l'étude française est principalement réparti à part égale entre des fonds provenant de l'Union Européenne, et l'Union Internationale Contre le Cancer (via le CIRC), et l'Association pour la Recherche sur le Cancer (ARC) soit 31 % chacun, la part de financement par les opérateurs ayant été volontairement limitée à 6 % du budget total. Il faut noter que les contrats signés avec les opérateurs sont entièrement basés sur le respect des conventions signées avec l'Union Européenne. En particulier, les opérateurs n'ont aucun droit de regard sur les publications qui seront issues de ces travaux.

3.1.4 Comobio+

À la suite du projet Comobio qui était labellisé par le RNRT, tous les acteurs étaient convenus qu'une suite devait être donnée à cet effort de recherche sans de délai trop important entre les deux projets. Le rapport de 2001 et celui de l'OPECST étaient très clairs à ce sujet. Les chercheurs, industriels, associations et ministères avaient exprimé leur souhait que l'effort français dans ce domaine ne faiblisse pas. Or, le projet Comobio s'est terminé en novembre 2001 et c'est seulement récemment que le Ministère de la Recherche a envisagé le démarrage du programme Comobio+ de recherche de type biologique¹. Ce projet complètera le projet Adonis du RNRT qui traite de dosimétrie. Un appel d'offres pour Comobio+ est prévu prochainement.

3.2 Europe

L'action COST 281 "Potential Health Implications from Mobile Communication Systems" rassemble les différents programmes nationaux de 22 pays et constitue une source précieuse de renseignements sur les activités de recherche respectives de ses membres. On peut consulter son site à l'adresse : <http://www.cost281.org/>

Cette action organise de nombreux colloques sur des thèmes variés, publie une lettre et des synthèses scientifiques régulières et coordonne des missions de courte durée (e.g., "les enfants et la téléphonie mobile").

La plupart des pays européens participent aux programmes de recherche du 5^{ème} PCRD et/ou ont lancé des programmes nationaux coordonnés. Des programmes nationaux coordonnés sont donnés en exemple ci-dessous :

3.2.1 Grande-Bretagne

En Grande-Bretagne le programme MTHR² a été initié en réponse au rapport Stewart de 2000. Il est financé par l'état et les industriels à hauteur de 10 millions d'euros.

Les projets actuellement en cours sont au nombre de 13, couvrant l'épidémiologie (Interphone, une étude cas-témoins sur la leucémie, une étude pilote de cohorte, etc.), des études humaines (fonctions cognitives, cardio-vasculaire, système vestibulaire, conduite automobile, etc.), des études cellulaires (calcium, etc.), des mesures diélectriques, de la dosimétrie sur le signal TETRA.

Deux nouveaux projets viennent de démarrer : une étude épidémiologique sur les enfants près des stations de base (leucémies et autres cancers), et une autre sur les symptômes subjectifs chez les utilisateurs de téléphones mobiles.

3.2.2 Italie

La recherche dans ce pays est extrêmement active : les projets sont financés essentiellement par l'Europe ou par le gouvernement. Le programme principal, soutenu par le Ministère de l'Education des Universités et de la Recherche (MIUR) s'intitule "Protection de l'homme et de l'environnement des

¹ <http://www.recherche.gouv.fr/discours/2003/dtelemobile.htm>

² mobile telephone and health research <http://www.mthr.org.uk/>

émissions électromagnétiques". La recherche est coordonnée par le CNR (Centre National de la Recherche) et par l'ENEA (Agence pour les nouvelles technologies, l'énergie et l'environnement). Le programme est mis en œuvre par 59 équipes de recherche de l'université, le CNR, l'ENEA et l'industrie. *De nombreux sujets sont couverts* : dosimétrie, mesures de champs, réduction des niveaux, biologie, etc.

Les équipes de bioélectromagnétisme sont coordonnées au sein de l'ICEmB (centre inter-universitaire d'étude des interactions des champs électromagnétiques avec les systèmes biologiques : 10 universités, 5 universités associées, et 10 laboratoires publics et privés). La fondation "Elettra 2000" a été créée en 1998 pour informer le public et contribuer au financement de la recherche.

3.2.3 Finlande

Depuis de nombreuses années existe un programme national majeur de recherche en Finlande, financé par le gouvernement et l'industrie de la téléphonie mobile (opérateurs et constructeurs). Actuellement, le programme est dénommé "La Vita". Il comporte de nombreux projets de recherche sur les thèmes suivants : études chez l'homme des fonctions cognitives, du système cardiovasculaire ; recherche de biomarqueurs des effets sur la cellule ; études animales sur l'oreille interne (audition et équilibre) ; dosimétrie de l'homme et des cellules en culture, etc.

3.2.4 Allemagne

La fondation FGF¹ a initié en Allemagne la recherche en bioélectromagnétisme en 1992. Depuis cette date cet organisme qui collecte des fonds publics et privés a financé la recherche à hauteur de 10 millions d'euros.

En parallèle avec le FGF, le Bureau Fédéral de Radioprotection (BfS) soutient la recherche en interne et dans des équipes universitaires. Durant la période 2002-05, le BfS aura dépensé 8,5 Millions d'euros sur ce thème, le Ministère de la Recherche 2 millions d'euros et le Ministère de l'Economie 5 millions d'euros.

3.2.5 Pays-Bas

Le "Conseil de la Santé" néerlandais a émis des recommandations de recherche² qui incluent entre autres mesures la création d'un "centre d'expertise" qui coordonnerait la recherche dans ce domaine aux Pays-bas, en collaboration étroite avec les organismes nationaux (NWO : Organisme néerlandais de recherche scientifique, ZonMw : Organisme néerlandais de recherche médicale et STW : fondation pour les sciences technologiques) et internationaux.

3.3 6^{ème} PCRD de l'Union Européenne

À la suite des 8 programmes de recherche lancés dans le cadre du 5^{ème} PCRD (Interphone, Perform, Reflex, etc.), des initiatives ont été prises par les chercheurs, par le COST 281 et par la Commission pour poursuivre l'effort de recherche au sein du 6^{ème} PCRD. C'est ainsi que l'action coordonnée "EMF-PACE" a été récemment proposée ("effects of the exposure to electromagnetic fields: from science to public health"). Il s'agit de créer un réseau à partir des réseaux actifs dans la recherche sur les effets sanitaires des champs électromagnétiques (programmes européens et nationaux). Le directeur pressenti pour cette action est P. Ravazzani de Milan, actuel pilote du programme GUARD. En principe, 1 million d'euros ont été attribués à ce programme, qui comporte trois volets :

- veille scientifique, base de données, etc.
- conseil auprès d'organismes en vue de l'harmonisation des normes d'exposition et de la communication du risque
- identification des nouvelles technologies, coordination des recherches.

¹ <http://www.fgf.de/english/index.html>

² <http://www.gezondheidsraad.nl/adviezen.php?ID=629>

3.4 Monde

3.4.1 Organisation Mondiale de la Santé

Les objectifs du programme "champs électromagnétiques" de l'OMS sont les suivants :

1. traiter au niveau international les préoccupations exprimées quant aux effets potentiels de l'exposition aux champs électromagnétiques;
2. recenser la littérature scientifique et produire périodiquement des rapports actualisés sur la question des effets;
3. recenser les lacunes dans les connaissances scientifiques justifiant d'encourager la recherche dans des domaines où elle est susceptible de déboucher sur une meilleure évaluation du risque sanitaire;
4. encourager les programmes de recherche sérieux et bien définis;
5. publier dans la série "EHC" des monographies reprenant les résultats des travaux et apportant des conclusions en matière d'évaluation du risque sanitaire ;
6. *faciliter l'élaboration de normes internationalement acceptables pour l'exposition aux champs électromagnétiques;*
7. mettre à la disposition des autorités nationales et autres organismes compétents des renseignements sur la gestion des programmes de protection contre les champs électromagnétiques, y compris des monographies consacrées à la perception et à la prise en charge du risque et à la communication d'informations à son sujet;
8. proposer des conseils aux autorités, nationales ou autres, dans le domaine des effets sanitaires et écologiques des champs électromagnétiques et des mesures ou activités de protection requises en rapport avec ceux-ci.

Une base de données sur les études terminées ou en cours est disponible sur Internet et coordonnée avec celle de l'IEEE : <http://www-nt.who.int/peh-emf/emfstudies/database.cfm> (cf. annexe 14).

3.4.2 Etude Interphone

Devant les questions qui ont été posées à la Communauté scientifique, et les insuffisances méthodologiques des études publiées sur ce sujet, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a mis en place une étude dont les objectifs sont les suivants :

- Évaluer si l'utilisation de téléphones mobiles est cancérigène,
- Évaluer si les radiofréquences émises par les téléphones mobiles sont cancérigènes.

Le type d'étude choisi est la réalisation d'une étude cas-témoin de population, ciblée sur les régions urbaines où la prévalence d'utilisation de téléphones mobiles était la plus importante dans le passé et sur les tumeurs chez les adultes âgés de 30 à 59 ans (optimisation du rapport coût-efficacité de l'étude). Les maladies étudiées sont les tumeurs cérébrales (malignes et bénignes), les tumeurs des glandes salivaires (parotide), des nerfs acoustique et facial et les leucémies.

Les 13 pays participants sont les suivants :

Allemagne, Australie, Canada, Danemark, Finlande, France, Israël, Italie, Japon, Norvège, Nouvelle Zélande, Royaume-Uni, Suède.

L'étude Interphone a été mise en place dans le but d'être une étude réellement informative ; pour cela, des efforts particuliers ont été faits au niveau méthodologique :

- 1- pour avoir une puissance statistique suffisante pour détecter un risque relatif de 1,3-1,5 : plus de 5000 cas de tumeurs cérébrales, plus de 800 neurinomes doivent ainsi être récoltés,
- 2- Pour mesurer au mieux l'exposition individuelle de chacun aux RF :
 - Mise en place d'un questionnaire très standardisé pour éviter des biais d'information,
 - Prise en compte des doses individuelles, en tenant compte des niveaux de consommation de chaque individu : nombre et durée des communications, ancienneté de l'usage), mais aussi type d'appareils utilisés (DAS, antennes), information sur les réseaux des opérateurs dans chaque pays, utilisation de kits mains-libres, utilisation dans les transports etc...
- 3- Pour contrôler la qualité (cas incidents, exhaustivité, confirmation des diagnostics),
- 4- Pour étudier la localisation de la tumeur par rapport aux zones exposées,

5- Pour prendre en compte les facteurs confondants (autres sources de champs électromagnétiques, autres rayonnements, antécédents médicaux..).

Pour cela, deux sous-comités (mesure de l'exposition et suivi méthodologique épidémiologique) ont été mis en place pour mettre en place le protocole, suivre le déroulement de l'étude et résoudre les questions qui peuvent se poser en cours de réalisation. Des études de validation ont eu lieu sur différents aspects (mesure de l'exposition, qualité de la localisation radiologique, qualité du questionnaire, qualité de la base de données).

Les données de chaque pays doivent parvenir au CIRC avant la fin de l'année 2003. Les premiers résultats devraient être disponibles à la fin de l'année 2004.

L'étude " INTERPHONE " ne répondra pas à toutes les questions concernant le risque de cancer lié à l'usage du téléphone mobile. Elle en sera cependant un élément important. Si elle est négative, elle ne permettra pas de clore le débat en ce qui concerne un usage très précoce et intensif du téléphone par les jeunes (en effet, lors de la mise en place de l'étude les jeunes étaient encore peu touchés par le phénomène, il était donc impossible de les étudier).

Les programmes de recherche existant dans certains pays actifs sont donnés ci-dessous en exemple :

3.4.3 Japon

Le ministère des PTT est l'organisme qui fédère les efforts de recherche au Japon.

L'association des industries radio japonaise (ARIB) finance depuis longtemps des projets de recherche qui sont réalisés dans des laboratoires¹ industriels et universitaires.

Quatre opérateurs japonais (NTT DoCoMo, KDDI, J-PHONE, TU-KA Cellular Tokyo ont décidé récemment de lancer en commun un programme de recherche sur les effets des signaux de la téléphone mobile japonaise en génotoxicité cellulaire. L'expérimentation sera effectuée par le laboratoire du Mitsubishi Chemical Safety Institute.

3.4.4 USA

À la suite du programme de recherche du WTR² financé par l'industrie américaine, une série de projets de recherche a été lancé sous la supervision de la FDA avec l'aide de la CTIA³ (CRADA⁴). Des études de génotoxicité sur la cellule en culture sont actuellement effectuées dans le cadre de ce projet en Italie, Allemagne et aux USA. Des études épidémiologiques sont prévues :

(<http://www.fda.gov/cdrh/wireless/fdarr.pdf>).

Le NIEHS⁵ prévoit d'effectuer une étude à long terme sur l'animal dans le cadre du NTP⁶.

3.4.5 Australie

Le NHMRC⁷, équivalent de l'Inserm en Australie, finance un programme de recherche multi-centrique à hauteur de 4 millions d'euros par an. Il est envisagé de créer en Australie un laboratoire "sans mur" dédié au bioélectromagnétisme.

3.4.6 Industrie

Le MMF (Mobile Manufacturer Forum)⁸ est une association qui rassemble les principales sociétés de fabricants de téléphones mobiles (Alcatel, Ericsson, Mitsubishi Electric, Motorola, Nokia,

¹ <http://www.arib.or.jp/english>

² Wireless Technology Research

³ Cellular Telecommunications & Internet Association

⁴ Cooperative Research and Development Agreement (<http://www.fda.gov/cellphones/ctia-research-plan.html>)

⁵ National Institute for Environmental Health Sciences (<http://www.niehs.nih.gov/oc/crmtnws/2001jun/cellphon.htm>)

⁶ National Toxicology Program

⁷ National Health and Medical Research Council

⁸ <http://www.mmfa.org/>

Panasonic, Philips, Sagem, Siemens et Sony Ericsson). Depuis sa création en 1998 cette association finance pour partie des projets de recherche dans le monde en collaboration avec des organisations nationales ou internationales. Le MMF a investi 12 millions d'euros dans ces programmes de recherche. Les principaux programmes actuellement soutenus sont

- Interphone,
- Perform A et B,
- une étude de réplication sur le cancer chez le rat en Chine,
- des études théoriques sur les mécanismes d'interaction,
- un ensemble de projets sur l'homme au Karolinska de Stockholm,
- des études de dosimétrie et le programme MTHR en Grand Bretagne.

L'association des opérateurs GSM¹ qui représente la plupart des acteurs dans le monde, finance également certains de ces programmes ainsi que d'autres en propre.

3.5 Conclusion sur l'activité de la recherche dans le monde

- L'essentiel de l'activité de recherche se trouve actuellement en Europe grâce au 5^{ème} PCRD, au soutien des constructeurs et opérateurs et à la présence de nombreux laboratoires compétents. Cette recherche devrait se poursuivre dans le cadre du 6^{ème} PCRD.
- En Europe, l'action COST 281 joue un rôle important de coordination de la recherche en collaboration avec la Commission Européenne et l'EBEA.
- Des rencontres ont eu lieu et d'autres sont programmées entre la Corée du Sud, le Japon, l'UE et les USA, afin de coordonner les activités de recherche.

¹ GSM Association

4 ESTIMATION DU RISQUE PAR LE GROUPE D'EXPERTS

Dans le cadre de l'évaluation des risques associés à des facteurs de l'environnement, une procédure systématique d'analyse des éléments scientifiques disponibles a été développée qui permet de caractériser le risque ou même de le quantifier quand c'est possible. Ce processus d'estimation comporte quatre étapes qui sont appliquées ici aux téléphones mobiles puis aux stations de base :

4.1 Téléphones mobiles

Phase 1 : Peut-on identifier un danger ?

Émissions d'ondes : Pour le système GSM, les champs électromagnétiques sont des micro-ondes de fréquence porteuse située entre 900 et 1900 MHz, modulée en amplitude et en phase. La puissance moyenne se situe entre 125 et 250 mW quand le téléphone mobile est à pleine puissance et le rayonnement est approximativement isotrope. Les champs émis sont non-ionisants et ne peuvent affecter directement les liaisons chimiques dans les molécules biologiques. Un échauffement peut se produire dans les tissus si le niveau d'absorption (DAS) est suffisant.

Hypothèses concernant des pathologies liées à ces émissions : La cible des ondes émises par les téléphones mobiles étant la tête (environ la moitié de la puissance émise est absorbée dans la tête), ont été envisagées des pathologies liées aux tissus correspondants : co-promotion de tumeurs, altération de l'audition, altérations neurologiques et/ou neuro-endocriniennes, affections cutanées. La recherche mondiale a été et reste active sur ces différents thèmes.

Phase 2 : Peut-on évaluer une relation dose-effet ?

Au-dessus des seuils d'effet thermique : il existe des seuils de sensibilité pour la peau et de perméabilisation pour la barrière hémato-encéphalique, correspondants à des DAS élevés (7 W/kg environ). Quelques effets génotoxiques ont été rapportés avec des seuils autour de 7 W/kg.

Il n'est pas exclu que des effets biologiques apparaissent au niveau de la peau qui est échauffée non par les ondes émises par le téléphone mobile mais du fait du transfert de calories par le terminal et de la diminution de convection près de la tête.

Au-dessous des seuils d'effet thermique : Des résultats qui demandent réplification ont été annoncés pour la perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique avec des seuils de DAS, ainsi que pour l'expression des protéines de choc thermique. Quelques rares effets de type génotoxiques ont été rapportés pour des DAS de 5 W/kg et plus.

Phase 3 : Quelles sont les populations exposées et à quel niveau ?

Il y a actuellement 38 millions d'utilisateurs en France (enfants, adultes, etc.)

La puissance effectivement absorbée dans la tête est de 100 mW environ, avec un DAS de 0,5 W/kg dans les 10 g les plus exposés. Ceci correspond à un échauffement de la périphérie du cerveau de moins de 0,1°C. En pratique, le DAS est de 0,1 W/kg environ durant une conversation dans de bonnes conditions de réception. En France, la durée moyenne d'utilisation est de quelques minutes par jour seulement.

Dans le cas d'une durée quotidienne d'appels d'une heure (en mode émission), on peut estimer que les tissus les plus exposés dans la tête de l'utilisateur absorbent, dans le pire-cas et dans 10 grammes, une énergie de 25 joules par jour.¹

Phase 4 : Peut-on quantifier un risque sanitaire pour les populations faisant usage du téléphone mobile ?

¹ énergie = DAS en W/kg x durée en secondes / rapport de masse = 0,7 x 3600 / 100 = 25 joules par jour

Cancer : A ce jour, dans la mesure où aucun risque cancérigène n'est établi, il n'existe pas de risque unitaire¹ : la revue monographique du Centre International de Recherche sur le Cancer sur les effets cancérigènes des radiofréquences n'aura lieu qu'après la publication de l'étude Interphone. L'agence américaine EPA² n'a pas établi de potentiel cancérigène des RF. Il est donc impossible d'effectuer une quelconque quantification du risque cancérigène, celui-ci n'étant pas établi.

Autres pathologies : Les valeurs réglementaires sur lesquelles on peut se baser sont celles qui conduisent à éviter les effets thermiques localisés. En ce qui concerne les téléphones mobiles, la valeur limite pour le DAS local est de 2 W/kg (sur 10 g). Sachant que le rapport dose effectivement reçue sur DAS_{limite} doit être inférieur à l'unité, on peut constater que c'est le cas pour tous les modèles de téléphones mobiles distribués en France.

4.2 Stations de base

Phase 1 : Peut-on identifier un danger ?

Emissions d'ondes : Pour le système GSM, les champs électromagnétiques sont des micro-ondes de fréquence porteuse située entre 900 et 1900 MHz, modulées en amplitude et en phase. Le faisceau est essentiellement horizontal avec une ouverture de quelques degrés et généralement de 120° d'ouverture dans le plan horizontal. La puissance d'un émetteur est de 20 W environ et la puissance maximale au sol est observée à une distance de 200 m environ de l'antenne.

Pathologies possibles liées à ces émissions : l'exposition est "corps-entier", c'est-à-dire que tous les tissus et organes sont potentiellement exposés (sauf les plus profonds dans l'organisme). Ont donc été envisagées des pathologies liées aux tissus correspondants : tératogenèse, co-promotion tumorale, affections de la peau, migraines, pathologies psychosomatiques.

Phase 2 : Peut-on évaluer une relation dose-effet ?

Au dessus des seuils d'effet thermique : la relation entre la dose et les effets d'échauffement (hyperthermie) est connue chez l'animal au delà de 4 W/kg.

Au dessous des seuils d'effet thermique : aucun effet-dose n'est connu pour les effets biologiques observés à bas niveaux de DAS corps-entier.

Phase 3 : Quelles sont les populations exposées et à quel niveau ?

Travailleurs : Ils sont soumis aux mêmes niveaux de champs que le public car, depuis un an environ, ont été instaurées des procédures d'arrêt des antennes lors des interventions (aussi bien l'antenne de l'opérateur qui fait l'intervention que celles des autres opérateurs).

Public : La puissance absorbée se situe autour de 8 µW/kg (soit 0,08 W/kg /10000 puisqu'un facteur 10000 au dessous des valeurs limites exprimées en puissance est constatée dans les mesures de l'ANFr) avec un maximum constaté de 800 µW/kg environ.

On peut estimer que, dans le cas où une personne est exposée pendant 24 heures aux ondes des stations de base à un niveau de 0,4 W/m² (soit 4 V/m à 900 MHz), situation estimée comme étant le pire-cas, les tissus de l'organisme les plus superficiels absorberont une énergie de 0,6 joules par jour par 10 grammes de tissus³.

Phase 4 : Peut-on quantifier un risque sanitaire pour les populations aux alentours des antennes de station de base ?

Cancer : A ce jour, dans la mesure où aucun risque cancérigène n'est établi, il n'existe pas de

¹ risque unitaire : un excès de risque unitaire (ERU) est la probabilité supplémentaire – par rapport à un sujet non exposé – qu'un individu a de contracter un cancer s'il est exposé toute sa vie à 1 unité de dose de toxique. L'ERU est également la pente de la courbe dose-réponse.

² EPA = Environmental Protection Agency : il s'agit de l'agence américaine chargée d'évaluer les risques sanitaires d'origine environnementale

³ énergie = DAS x durée / rapport de masse = 7,5 x 10⁻⁴ W/kg x 86400 secondes /100 = 0,65 joules par jour

risque unitaire : la revue monographique du Centre International de Recherche sur le Cancer sur les effets cancérigènes des radiofréquences n'aura lieu qu'après la publication de l'étude Interphone. L'agence américaine EPA¹, elle non plus, n'a pas établi la cancérogénicité des radiofréquences. Il est donc impossible d'effectuer une quelconque quantification du risque cancérigène, celui-ci n'étant pas établi.

Autres pathologies : Les seules valeurs réglementaires sont celles qui conduisent à éviter l'apparition d'effets sanitaires observés chez l'animal, avec un facteur de réduction de 50 (par exemple : $4,5 \text{ W/m}^2$ à 900 MHz pour le public). Sachant que le rapport dose effectivement reçue sur $\text{DAS}_{\text{limite}}$ doit être inférieur à l'unité, on peut constater ce rapport pour les stations de base est toujours très inférieur à l'unité.

La conclusion à l'issue de ce processus, portant séparément sur les téléphones mobiles et les stations de base, est qu'il est actuellement impossible de quantifier le risque sanitaire, ni pour le cancer ni pour les autres pathologies, car les dangers n'ont pas été établis et car la relation dose-réponse n'est pas connue pour les niveaux d'exposition actuels situés au-dessous des seuils d'échauffement.

¹ EPA = Environmental Protection Agency : il s'agit de l'agence américaine chargée d'évaluer les risques sanitaires d'origine environnementale

5 GESTION DU RISQUE

5.1 Élaboration des limites d'exposition

5.1.1 Élaboration des valeurs limites par l'ICNIRP

Le processus d'élaboration des limites d'exposition est décrit ici pour le cas de l'ICNIRP (Commission Internationale de Protection contre les Radiations non Ionisantes). C'est en effet l'une des organisations qui jouent ce rôle dans le monde et la recommandation européenne et le décret de mai 2002 sont fondées sur ses recommandations.

Cette commission internationale est un groupe d'experts indépendants établi pour évaluer l'état des connaissances sur les effets des rayonnements non ionisants (RNI) sur la santé humaine et le bien-être et pour conseiller sur une base scientifique. L'ICNIRP donne des avis scientifiques à l'OMS sur tous les aspects des RNI et de la santé. L'ICNIRP admet que l'acceptabilité et l'adoption d'un système complet de protection exigent également des données et des évaluations basées sur des considérations sociales, économiques et politiques. L'ICNIRP considère que ces sujets doivent être traités par les gouvernements nationaux et leurs autorités. Cependant, l'ICNIRP peut fournir des informations de base pour de telles évaluations.

La recherche sur les éventuels effets sanitaires délétères des RNI a été effectuée depuis plusieurs décennies. Des milliers d'articles scientifiques ont été publiés et leur nombre continue d'augmenter chaque année. La recherche inclut l'épidémiologie, les études humaines, animales et cellulaires. L'évaluation des nombreux articles scientifiques exige l'expertise de différentes disciplines médicales et scientifiques. N'importe quelle observation ou étude unique peut indiquer la possibilité d'un risque sanitaire lié à une exposition spécifique. Cependant, l'évaluation des risques exige une information sur les études qui répondent à des critères de qualité. La littérature publiée dans des revues à comité de lecture fournit habituellement des informations qui permettent de juger si ces critères sont satisfaits. L'évaluation des risques établis exige normalement une information confirmée de plusieurs de ces études. L'ICNIRP, en effectuant ses revues critiques, surveille l'accumulation des nouvelles données scientifiques pour à mettre à jour ses évaluations du risque sanitaire. Celles-ci sont basées sur la totalité de la science, et non pas simplement sur les connaissances nouvelles.

Le processus d'évaluation employé par l'ICNIRP se compose de trois étapes. Il est inévitable que certaines phases de ce processus nécessitent un jugement scientifique, et que les détails du processus puissent changer selon la question en cause. Par conséquent, la description ci-dessous fournit des directives globales et non des règles strictes.

Les trois étapes sont :

- L'évaluation de chaque étude en fonction de leur pertinence et de la qualité des méthodes employées. Ceci peut avoir comme conséquence l'exclusion de quelques études, ou l'assignation de différents poids aux études, selon leur qualité méthodologique. De tels jugements doivent être faits à la lumière de l'hypothèse à évaluer, car la capacité d'une étude de contribuer à cette évaluation peut changer selon l'hypothèse.

- Pour chaque effet de santé évalué, un examen de toute l'information appropriée est exigé. Au début, cette revue est normalement faite séparément pour des études épidémiologiques, pour les études humaines, animales et *in vitro*, avec des rapprochements ultérieurs appropriés.

- En conclusion, les résultats de ces étapes sont combinés dans une évaluation globale comprenant une évaluation de la cohérence des données humaines, animales et *in vitro*.

Les comités permanents de l'ICNIRP, avec l'aide des membres consultants, mettent en œuvre les deux premières étapes de ce processus, tandis que la Commission en collaboration avec les Comités permanents prend en charge la dernière étape.

L'évaluation des risques exige qu'un effet soit confirmé et qu'il soit délétère pour la santé humaine.

Dans la plupart des cas, une relation quantitative entre l'exposition et l'effet délétère peut prendre la forme d'un seuil et il est alors possible d'énoncer un niveau d'exposition au-dessous duquel l'effet

délétère peut être évité. Si les données disponibles permettent l'identification d'un effet délétère, mais pas la détection d'un seuil, une autre stratégie de réduction des risques doit être utilisée. Le rôle de l'ICNIRP comme corps scientifique est alors d'analyser le risque en fonction des conséquences qui pourraient être envisagées. Cependant, l'acceptabilité de tels risques est fondée aussi sur des considérations sociales et économiques, qui sont en dehors du mandat de l'ICNIRP.

En développant ses recommandations, l'ICNIRP considère les effets de santé directs et indirects, aigus et chroniques. Des facteurs de réduction sont inclus, pour tenir compte des incertitudes quantitatives dans la base de données scientifiques et la variabilité biologique de la réponse des organismes. Un jugement scientifique est appliqué dans la définition des facteurs de réduction en référence aux stratégies utilisées pour d'autres facteurs. Cette approche de l'ICNIRP, qui a été critiquée par le Comité Scientifique Toxicologie Ecotoxicité et Environnement (CSTEE), tient pourtant compte des particularités des champs électromagnétiques et de la nature bénigne des effets critiques observés.

En ce qui concerne des limites d'exposition, la stratégie générale de l'ICNIRP est de définir une restriction de base en termes de quantité biologiquement pertinente puis, si besoin est, d'associer des niveaux de référence exprimés en termes d'exposition externe directement mesurable (par exemple densité de puissance, champ électrique). La protection contre des effets sanitaires délétères est assurée par la conformité aux restrictions de base. Ces restrictions sont déterminées à partir des effets "critiques" au plus bas niveau de DAS : les effets "critiques" des expositions aiguës à 4 W/kg sont observés sur le comportement de rongeurs et primates. Ils sont réversibles et bénins. Aucun effet d'expositions chroniques autre que des altérations mineures du comportement n'a été observé au-dessous de 0,14 W/kg. De plus, l'organisme humain est mieux que les autres mammifères capable de gérer des apports thermiques. Cette valeur de 4 W/kg est donc conservatrice si l'effet est de nature thermique, ce qui n'est pas connu avec certitude malgré l'augmentation de la température des animaux de 1°C environ.

5.1.2 Recommandation européenne

Au niveau de l'Union européenne, la Recommandation du Conseil relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0 Hz - 300 GHz) qui a été adoptée par le Conseil en juillet 1999, sur la base des lignes directrices de l'ICNIRP, approuvées par le Comité Scientifique Directeur de la Commission, constitue la pièce législative centrale du dispositif communautaire. Cette Recommandation préconise un système de limites d'exposition du public constituées de restrictions de base et de niveaux de référence.

Au terme de la Recommandation, il incombe aux États membres de mettre en œuvre ce cadre de protection de la santé et d'encourager la recherche scientifique. Les États membres sont libres d'adopter un cadre législatif plus restrictif, néanmoins, ce faisant, ils doivent prendre en considération les aspects coût/bénéfice de telles mesures.

L'établissement sous l'égide des Directives "Radio Télécommunication et Équipements Terminaux" ainsi que "Basse Tension" de normes européennes de conformité avec les limites de la Recommandation pour les émissions des appareils de radiotéléphonie et d'autres dispositifs de basse tension doit assurer que ces équipements respectent strictement les limites recommandées. En effet, ces normes d'applicabilité immédiate devront remplacer toute norme nationale existante.

À cet effet, la Commission a donné mandat au CENELEC (M/305) : La norme concernant les téléphones mobiles est déjà publiée. Celles relatives aux stations de base (trois) sont en passe de l'être et prennent en compte les émissions en provenance d'autres stations afin de s'assurer que le niveau d'exposition global n'excède pas les limites européennes.

La Commission a demandé en janvier 2001 au CSTEE de réexaminer, au vu des derniers données scientifiques disponibles en matière de risques pour la santé liés à l'exposition aux champs électromagnétiques, les points suivants :

A- Les limites d'exposition du public aux EMF doivent-elles être révisées pour tenir compte des effets à long terme, non thermiques de ces rayonnements ?

B- Les limites d'exposition de l'annexe de la Recommandation de 1999 sont-elles toujours valides et constitue-t-elle toujours la base adéquate pour la protection des personnes ?

En novembre 2001, le CSTE a estimé que les connaissances nouvelles sur les effets non thermiques des RF ne justifiaient pas de révision des valeurs limites choisies par la Commission en 1999 sur la base des avis du Comité Scientifique directeur, émis en 1998,

En septembre 2002, le CSTE a jugé que le facteur de réduction utilisé dans la Recommandation du Conseil de 1999 et par l'ICNIRP pour couvrir les effets à long terme des EMF n'avaient pas de justification suffisante et qu'il fallait harmoniser les approches d'estimation du risque pour les différents agents physiques préjudiciables à la santé. Il a de même suggéré une réorientation des priorités de recherche pour mieux répondre aux questions soulevées par le développement des nouvelles technologies et davantage répondre aux besoins des gestionnaires de risque.

Dans le cadre des activités de révision de la Recommandation de 1999 prévue pour 2004, et des obligations incombant aux États Membres, la Commission a initié un certain nombre d'activités. Parmi celles-ci, la Commission a publié en mars 2002 un rapport de mise en oeuvre des mesures législatives de protection prises par les États Membres. Ce rapport inclut les éléments d'information relatif aux pays candidats (ce texte se trouve en annexe du rapport de l'OPECST).

Par ailleurs, la Commission a organisé une Conférence sur les aspects réglementaires communautaires de la protection de la santé dans le domaine des rayonnements non ionisants, le 30 novembre 2001 à Luxembourg.

Elle a publié en juin 2002 une communication sur le déploiement des réseaux de téléphonie mobile de troisième génération en y étudiant en particulier ce qui concerne les aspects sanitaires et de communication grand public liés au développement des infrastructures nécessaires à ces réseaux.

La Commission a développé un programme de recherche scientifique spécifique d'un montant de 9 millions d'euros au sein du 5^{ème} programme cadre en finançant en particulier les grandes études PERFORM et INTERPHONE qui produiront des résultats sur les effets cancérigènes des téléphones mobiles en 2004-2005. Elle participe également activement au travail de diverses organisations internationales telles que le programme EMF de l'OMS et a ainsi récemment organisé un colloque sur le Principe de Précaution (Luxembourg, février 2003). Deux autres conférences se tiendront cette année en collaboration avec l'OMS, l'une sur les risques spécifiques pour les enfants, l'autre de présentation des risques sanitaires liés aux ELF.

5.2 Mesures gouvernementales

Dans le Tableau de l'annexe 12 sont rassemblées toutes les mesures prises par les pouvoirs publics, rapprochées des recommandations du rapport de 2001 (et éventuellement de celui de l'OPECST). On peut constater que la plupart des recommandations ont été mises en oeuvre sauf en ce qui concerne l'affichage des DAS sur les points de vente et le renforcement du code de la route.

5.3 Mesures prises par les opérateurs

Les principales actions entreprises par les opérateurs depuis le début de l'année 2001 sont décrites dans le tableau de l'annexe 13, qui a été fourni par les opérateurs à la demande du groupe d'experts.

5.4 Situation internationale

La position de la Commission est résumée sur le site :

http://europa.eu.int/comm/health/ph_determinants/environment/EMF/emf_en.htm

« La recommandation du Conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques invite la Commission "à passer en revue les questions couvertes par cette recommandation, en vue de sa révision et de sa mise à jour, en tenant également compte des effets éventuels qui font actuellement l'objet de recherches, y compris les éléments pertinents en matière de précaution et à établir, dans un délai de cinq ans, un rapport en tenant compte des

rapports des États membres ainsi que des avis et données scientifiques les plus récents". »¹

Dans plusieurs pays des décisions ont été prises visant à adopter ou à réduire les limites d'exposition par rapport à la recommandation de juillet 1999. Les diverses approches nationales peuvent être consultées sur le site de l'OMS : <http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Worldmap5.htm>

Sur ce site sont également présentées les situations de pays hors d'Europe où des décisions quant au choix des valeurs limites réglementaires sont attendues prochainement, en phase avec le processus d'harmonisation des normes suscité par l'OMS (Chine et Russie par exemple).

¹« Rapport de la commission européenne sur la mise en oeuvre de la recommandation du conseil relative a la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques » cité dans le rapport de l'OPECST

6 RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE

6.1 Mesures gouvernementales

Dans le rapport de 2001 étaient préconisées certaines actions à mettre en œuvre pour favoriser le développement de la recherche sur les effets éventuels sur la santé de la téléphonie mobile. Certaines de ces propositions qui concernaient l'organisation et le financement de la recherche n'ont pas encore abouti à ce jour.

Le groupe d'experts avait notamment préconisé qu'une partie importante, voire majoritaire du financement de la recherche provienne des pouvoirs publics, afin de garder la maîtrise de ce domaine de recherche et de garantir ainsi l'indépendance de la recherche. Il avait également demandé que l'effort de financement public mis en œuvre, dans le cadre notamment du programme Comobio, soit poursuivi durant au moins cinq ans. Or, à ce jour, peu de moyens financiers sont alloués par les pouvoirs publics à ce domaine de recherche, pour permettre un réel développement de travaux nouveaux ou de travaux de confirmation de résultats antérieurement publiés, mais non répliqués. Aucun financement pérenne n'a été alloué et aucune action de recherche concernant le domaine des nouvelles technologies de la téléphonie mobile n'a été financée sur des fonds publics.

En ce qui concerne l'organisation de la recherche, était souligné la nécessité de garantir l'indépendance des comités de programmation, de sélection des projets et des équipes de recherche. Les contributions des industriels et opérateurs à l'effort de recherche ne doivent pas interférer avec le choix des thèmes de recherche et le suivi des travaux, le dispositif de financement de la recherche doit permettre de garantir cette indépendance. C'est pourquoi, le groupe d'experts avait préconisé que les financements en provenance de ces industriels et opérateurs transitent, soit directement par l'État, soit par une structure indépendante ou "fondation" à vocation scientifique sous contrôle public. Cette proposition de fondation indépendante a été également reprise dans le rapport de l'OPECST en novembre 2002. Actuellement cette proposition n'a pas encore été suivie d'effet, la structure devant servir d'intermédiaire pour la gestion des fonds de recherche et la définition des axes de recherches n'ayant pas été identifiée.

Par contre, la proposition des experts, relative à la constitution au niveau national de comités permanents d'experts, choisis dans différentes disciplines scientifiques, dont le rôle serait notamment d'établir un bilan des connaissances, de déterminer des thèmes de recherche, de publier des appels d'offres correspondant à ces thèmes et d'attribuer les dotations en financement, devrait trouver un aboutissement dans le cadre de l'AFSSE, de ses comités d'experts spécialisés et de ses appels à propositions de recherches.

Le groupe d'experts confirme les recommandations précédentes de financement pérenne de la recherche dans le cadre d'une fondation à créer.

6.2 Priorités de recherche

6.2.1 Priorités définies par l'OMS

Les recommandations de recherche de l'OMS datent de 2001. Elles seront remises à jour en juin 2003. Celles qui sont présentées sur le site de l'OMS sont les suivantes :

1. Deux études supplémentaires avec exposition à long terme d'animaux devraient être faites pour étudier les phases d'induction de promotion et de progression du cancer. Elles devraient inclure des animaux sains et d'autres traités à l'aide de carcinogènes. L'exposition devrait durer 2 à 6 heures par jour à quatre niveaux de DAS dont le plus élevé juste au dessous de la limite thermique (*De fait 5 des projets de Perform-A couvrent largement cette recommandation*).
2. Une étude sur des souris transgéniques prédisposées aux lymphomes devrait être menée (*une des études de Perform-A correspond à cette recommandation*)
3. Rechercher des populations exposées à des niveaux de micro-ondes importants et effectuer

sur ces populations des études épidémiologiques analytiques.

4. Effectuer des études épidémiologiques sur le cancer autour des stations de base
5. Étudier les effets sur les symptômes tels que maux de tête, altérations du sommeil, effets sur l'audition. Étudier sur des volontaires les effets sur les systèmes neurologique, endocrinien et immunologique.
6. Réaliser quelques expérimentations *in vitro* qui soient informatives sur les seuils des effets et leur reproductibilité pour les effets positifs publiés sur le cycle cellulaire, la prolifération, l'expression des gènes, la transduction du signal et les altérations membranaires.

6.2.2 **Recommandations de recherche du groupe d'experts**

Après examen des conclusions et des priorités données dans les rapports précédents français et étrangers, ainsi que par l'OMS, le groupe d'experts propose les priorités suivantes, correspondant aux sujets les plus urgents à étudier en France et dans le cadre de collaborations internationales :

Nouvelles technologies

La plupart des recherches menées en Europe ont porté sur les signaux GSM 900. Il est toujours d'actualité d'étendre certaines investigations au GSM 1800 en raison de sa pénétration différente dans les tissus.

L'essentiel des études devra néanmoins porter sur les nouveaux signaux des réseaux en déploiement. Il s'agit essentiellement de l'UMTS et du WiFi.

Des études expérimentales devront donc être entreprises à partir de la liste de priorité ci-dessous en analysant dès le départ les éléments disponibles pour l'extrapolation des données acquises aux risques sanitaires éventuels liés à ces nouveaux signaux. Il ne s'agit pas en effet de refaire toutes les études expérimentales sur ces signaux mais de bien déterminer quelles sont les incertitudes associées.

Recherche expérimentale

- Effets sur les tissus les plus exposés au téléphone mobile quand il est placé contre l'oreille
 - oreille interne (système vestibulaire, vertiges),
 - perméabilité et inflammation de la barrière hématoencéphalique et de la dure-mère.
- Protéines de choc thermiques (In vivo en particulier).
- Évolution de paramètres biologiques (immunité, réparation de l'ADN, etc.) en fonction de l'âge chez l'animal.
- Synergie entre RF et :
 - Pathologies,
 - Facteurs de l'environnement.
- Symptômes subjectifs (Études de provocation en laboratoire).
- Suivi du phénomène adaptatif en fonction du temps et de la dose.
- Rôle de l'intermittence dans l'exposition.

Recherche épidémiologique

En préalable à toute étude des troubles subjectifs, leur caractérisation dans la population générale est nécessaire (inclusion dans des études de cohorte préexistantes, etc.).

- **Téléphones mobiles** : extension à terme d'une étude de type Interphone aux enfants.
- **Stations de base** :
 - pas d'étude sur le cancer avant l'obtention des résultats d'Interphone,
 - études de faisabilité d'études analytiques à l'aide des dosimètres individuels et familiaux qui sont en cours de mise au point.
 -

6.2.3 **Laboratoire dédié**

Au vu des besoins importants de recherche en France sur le thème des effets sanitaires éventuels des champs électromagnétiques et des faibles ressources en équipes dédiées à ce type de

recherche, le groupe d'experts recommande la création d'une équipe associant biologistes, médecins et ingénieurs pour compléter le dispositif déjà existant. La création d'une unité mixte de recherche dans un contexte hospitalo-universitaire pourrait répondre à cet objectif.

6.2.4 Base de données actualisée

Il est apparu de nouveau durant la préparation de ce rapport qu'il manque une source d'information fiable et actualisée sur les résultats scientifiques récents. Le groupe d'experts recommande donc la création d'une base de données mise à jour régulièrement. Dans cette base devraient figurer :

- Les rapports français et internationaux avec un résumé et une analyse en français.
- Les publications dans les journaux à comité de lecture, avec pour chaque article un résumé et une critique.
- Des synthèses par thème avec pour chacune une conclusion brève en termes d'effets sanitaires.

La création et l'entretien de cette base qui devrait être mise à jour mensuellement pourrait être confiée à un organisme tel que l'AFSSE qui ferait appel à des experts pour le travail régulier de recensement et d'analyse. Cette base qui servirait de référence serait consultable librement sur Internet.

Il est probable qu'une telle base de données sera parallèlement créée dans le cadre européen. (cf. programme EMF-Pace, plus haut). Dans ce cas, une coordination devra évidemment exister entre les deux entreprises.

6.3 Communication

Dans le rapport "Téléphonie mobile et santé", de l'OPECST, les sénateurs Lorrain et Raoul ont insisté sur la nécessité d'améliorer la formation scientifique du public dans le domaine des champs électromagnétiques et de la téléphonie mobile, afin de ne pas laisser prise au développement de la désinformation et de permettre au public aussi bien qu'aux professionnels concernés d'adopter une attitude raisonnablement vigilante lors de l'exposition à des sources de champs.

Les rapporteurs ont insisté sur la nécessaire formation des jeunes en matière d'électromagnétisme et de raisonnement statistique pour l'appréciation des risques technologiques. Cette formation relève essentiellement des programmes de l'enseignement secondaire, au cours duquel seule une formation mathématique ou physique théorique est dispensée, ne permettant pas aux jeunes de disposer réellement d'un jugement critique et rationnel pour l'appréciation des risques éventuels.

Par contre, une autre voie de formation, qui concerne, non seulement les jeunes, mais l'ensemble de la population repose sur la diffusion de documents d'information par les autorités sanitaires. À cet effet un dépliant relatif aux téléphones mobiles a été diffusé par le ministère chargé de la santé en mars 2002. Ce document n'a été édité qu'à 100.000 exemplaires et rendu accessible sur le site Internet du ministère de la santé. Cette brochure pourrait être mise à jour régulièrement et diffusée à nouveau dès 2003 mais à une beaucoup plus large échelle, par exemple à l'occasion de la publication de nouveaux textes réglementaires ou de rapports scientifiques, tels que la publication du présent rapport présenté à l'AFSSE. De même, une information du public et des pouvoirs publics par les opérateurs, sur l'identification d'un site et avant l'installation d'une station de base apparaît nécessaire pour un meilleur dialogue.

En matière d'élaboration et de diffusion de tels documents d'information, l'Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé (INPES) apparaît comme l'organisme le plus adapté et il pourrait être sollicité en ce sens. Par ailleurs, l'AFSSE a reçu pour mission de "mener toute action d'information ou toute action de formation et de diffusion d'une information scientifique et technique se rapportant à ses missions" (Art. L.1335-3-2 du CSP). L'AFSSE, pourrait donc servir de support scientifique pour l'élaboration de ces documents d'information, dont l'élaboration et la diffusion pourraient être confiés à l'INPES, dans le cadre d'une convention avec l'AFSSE.

Les rapporteurs de l'OPECST ont également insisté sur la nécessité d'une formation adaptée pour les professions médicales qui constituent un relais privilégié en direction de la population. Ces professions devraient pouvoir bénéficier d'une formation continue sous forme de conférences scientifiques ou de journées thématiques. La formation médicale continue, telle qu'elle est actuellement réalisée, notamment avec le concours financier de laboratoires pharmaceutiques est un support mal adapté pour dispenser cette formation, car orientée vers une formation presque exclusivement médicale et non environnementale. Certains opérateurs de téléphonie mobile, et un journal, (Le Quotidien du médecin) ont tenté avec un succès limité d'organiser auprès de médecins et pharmaciens des séances thématiques sur ce sujet. De son côté, l'INPES, n'a pas pour mission d'assurer la formation médicale continue. Par contre, il est dans les missions de l'INPES d'élaborer des documents d'information qui pourraient être destinés aux professions médicales. L'INPES a la capacité d'organiser des cycles de formation, dont le relais local pourrait être assuré, par exemple, par les professeurs de santé publique, sur la base de documents de travail élaborés par l'Institut. Une autre proposition relative à la formation des professions médicales pourrait consister en l'élaboration de fiches ou livrets d'information diffusés par la voie de la presse médicale. Une telle action de formation a été réalisée récemment par le journal Impact Médecine, en collaboration avec l'opérateur Orange et certains experts scientifiques, notamment ceux qui avaient participé à l'élaboration du rapport de 2001. Ce journal vient de diffuser auprès de ses 70.000 lecteurs une brochure intitulée "Les ondes électromagnétiques et la santé". Il est possible d'envisager le renouvellement d'une telle opération, mais de manière institutionnelle par exemple sous l'égide de l'AFSSE et de l'INPES.

6.4 Gestion des risques

6.4.1 Sites "sensibles"

La recommandation du rapport de 2001 est rappelée ci-dessous car la lecture de ce texte a souvent été mal faite et mal interprétée :

« L'objectif de réduire au minimum possible le niveau d'exposition du public concerne en particulier des personnes potentiellement sensibles tels que les enfants ou certaines personnes malades. A cet effet, le groupe d'experts recommande que les bâtiments 'sensibles' (hôpitaux, crèches et écoles) situés à moins de 100 mètres d'une station de base macrocellulaire, ne soient pas atteints directement par le faisceau de l'antenne¹. Cette recommandation n'est pas incompatible avec l'installation d'une antenne de station de base sur le toit de tels bâtiments, car le faisceau incident n'affecte pas, ou de manière tout à fait marginale, l'aire située au-dessous (effet 'jet d'eau'). Le groupe d'experts pense que le respect de ces mesures par les opérateurs est de nature à atténuer les craintes du public, tout spécialement de parents préoccupés par l'exposition de leurs enfants dans les établissements scolaires, d'autant que le groupe d'experts ne retient pas l'hypothèse d'un risque pour la santé des populations vivant à proximité des stations de base compte tenu des niveaux d'exposition constatés. »

Dans la circulaire du 16 septembre 2001, cette recommandation était explicitée et commentée de la façon suivante :

"Dans le rapport « Les téléphones mobiles, leurs stations de base et la santé »², les experts, bien que ne retenant pas l'hypothèse d'un risque pour la santé des populations vivant à proximité des stations de base, recommandent que certaines bâtiments, considérés comme sensibles et situés à moins de 100 mètres d'une station de base macro cellulaire, ne soient pas atteints directement par le faisceau de l'antenne³. Cette recommandation a pour principal objectif d'essayer d'atténuer certaines appréhensions du public qui demeurent à ce jour sans fondement sanitaire.

¹ Le faisceau atteint sa limite latéralement lorsque la puissance de l'onde a chuté d'un facteur 2 par rapport à la puissance directement sur l'axe. Ce faisceau est défini par son ouverture et son orientation dans le plan horizontal (azimut) et dans le plan vertical (inclinaison).

² Rapport du groupe d'experts présidé par le Dr Zmirou, remis au directeur général de la santé en janvier 2001.

³ Le faisceau atteint sa limite lorsque la puissance de l'onde a chuté d'un facteur 2. Ce faisceau est défini dans le plan horizontal et vertical.

Cette recommandation ne concerne que des sites en plein air où des enfants ou des patients, supposés plus sensibles, pourraient passer plusieurs heures par jour (écoles, hôpitaux et crèches disposant d'un espace de plein air) et ne s'applique donc pas aux locaux fermés, dans la mesure où le champ est très fortement atténué par la structure du bâtiment. Ces mêmes experts soulignent également que cette recommandation n'est pas incompatible avec l'installation d'une antenne sur le toit d'un tel établissement, compte tenu du fait qu'un bâtiment situé au-dessous de l'antenne reste en dehors du faisceau. Il n'est donc pas atteint, ou de manière très marginale, par le rayonnement de l'antenne. "

Cette recommandation visait à rassurer, en particulier les parents d'enfants exposés dans les cours d'école. La valeur de 100 m qui avait été choisie correspond à une distance à laquelle le niveau de champ dû à l'antenne se confond avec le niveau "ambiant" créé par toutes les autres sources. Il s'agissait donc d'éviter les situations pouvant être ressenties comme menaçantes du fait de la présence d'antennes visibles des cours d'écoles et non d'exclure les antennes dans un rayon de 100 m autour des écoles. L'objectif de cette recommandation n'a donc pas été atteint à cause d'interprétations erronées. De fait, cet avis associait un traitement de la préoccupation avec l'affirmation de l'absence d'effet sanitaire, c'est-à-dire associait, avec une confusion possible, analyse du risque et gestion de la perception du risque. Il a donc été souvent exprimé que les enfants par exemple sont autant "sensibles" chez eux qu'à l'école, ce qui serait vrai en termes sanitaires si les niveaux d'exposition étaient comparables et si des effets sanitaires spécifiques aux enfants et aux stations de base étaient identifiés ou même soupçonnés.

Recensement à partir des données de l'ANFr

À partir de cette recommandation du rapport de 2001, l'ANFr, afin de disposer d'une base de données fiable pour la constitution des demandes d'autorisations de stations radioélectriques a mis en œuvre un travail de recensement des situations de proximité à moins de 100 mètres, entre stations de base et sites sensibles : *"L'Agence nationale des fréquences (ANFr), en liaison avec les opérateurs de téléphonie mobile, de radio professionnelle et de radiodiffusion, met actuellement en œuvre une campagne de recensement des sites considérés comme sensibles qui pourraient se trouver dans l'axe d'un faisceau à moins de 100 mètres d'une station de base macro cellulaire. Elle procédera ensuite à des évaluations et, si cela s'avère utile, à des mesures de champs radioélectriques dans ces sites afin de s'assurer que les valeurs mesurées sont très inférieures aux valeurs limites d'exposition fixées par la recommandation européenne du 12 juillet 1999. Ces mesures seront rendues publiques et l'ANFR demandera, le cas échéant, aux opérateurs de modifier leurs installations (circulaire du 16 octobre 2001)".*

Les établissements considérés comme "sensibles" choisis par l'ANFr sont ceux contenus dans les fichiers publics répondant le mieux à l'esprit du rapport de février 2001, c'est-à-dire le Fichier Sirene de l'INSEE qui contient plusieurs types d'établissements publics ou privés d'enseignement primaire ou secondaire, d'enseignement technique, les établissements hospitaliers ainsi que les crèches et garderies d'enfants, le Fichier Finess (Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux) du ministère de la santé et le Fichier du ministère de l'éducation nationale.

Ces trois sources ont été croisées afin de conduire à un fichier unique d'établissements "sensibles" qui comporte 95.700 établissements. Un géocodage permettant la transformation des adresses en coordonnées géographiques a été réalisé en s'appuyant sur le fichier Géoroute de l'IGN. Ce fichier ne concerne cependant que les villes de plus de 10.000 habitants soit 65 % de la population. La précision de géocodage est alors de 20 m. Pour les autres zones géographiques, la précision du géocodage obtenue est incompatible avec le besoin exprimé (rayon de 100 m). L'ANFR n'exploite donc à ce jour que 70% des données du fichier d'établissements. Les établissements concernés étant relativement stables, une mise à jour semestrielle a été jugée suffisante.

Hormis l'incertitude de positionnement résultant du géocodage, une question importante se pose pour les établissements qui occupent une surface étendue comme les hôpitaux et les écoles. Face à cette question l'ANFR effectue un tri des établissements par nature et leur attribue une zone circulaire "tampon" de 200 à 500 m de rayon au sein de laquelle la recherche d'émetteurs de radiofréquences est réalisée.

La déclaration relative à la conformité aux exigences de santé est fournie depuis le 1^{er} janvier

2002, mais pour des raisons de délais de réalisation et de préparation des outils informatiques de l'Agence, la précision concernant la présence d'établissements sensibles n'a été rendue obligatoire lors des déclarations d'implantations qu'à partir du 04 décembre 2002

Le recensement des installations autorisées avant le décret du 3 mai 2002 et susceptibles d'être situées à proximité d'un établissement sensible donne les résultats suivants :

- nombre de stations concernées : 14.216 soit 19 % des stations,
- nombre d'établissements susceptibles d'être touchés : 35972

Pour les demandes parvenant actuellement à l'ANFr, environ 20 % des émetteurs sont situés à proximité d'un "établissement sensible".

Des difficultés subsistent actuellement pour réaliser ce recensement, notamment en raison de l'absence de définition stricte des "sites sensibles" et en raison des difficultés rencontrées pour recueillir sur le terrain les informations demandées relatives à la présence éventuelle de sites « sensibles".

Il existe également des difficultés techniques à la réalisation d'un recensement exhaustif en raison de l'imprécision du géocodage dans les zones semi urbaines et rurales, de la difficulté d'une automatisation du traitement des données pour les sites à surface étendue et de l'incertitude quant à la qualité et à l'exhaustivité des données dans les fichiers sources.

Conclusion sur les sites sensibles

En conclusion, il n'apparaît pas de justification sanitaire à cette spécificité des sites dits sensibles, la "sensibilité" étant liée à la perception du risque et non à un risque sanitaire identifié. Or, la recommandation du rapport de 2001 qui visait à rassurer a abouti à un effet inverse. Le groupe d'experts ne retient donc pas la nécessité de cette notion de "site sensible" en rapport avec les stations de base. Cette conclusion s'applique tout particulièrement aux écoles pour lesquelles la perception d'un risque a été la plus aiguë.

6.4.2 Enfants

Sur la question importante posée sur le niveau de risque des enfants, le rapport de 2001 concluait en ces termes : "*Les différentes données conduisent le groupe d'experts à recommander une attitude d'évitement prudent, sans considérer que les données scientifiques actuelles justifient des mesures réglementaires contraignantes.*" Peu de nouveaux éléments sont devenus disponibles depuis cette date malgré la réalisation de plusieurs études, essentiellement de type dosimétrique. On sait maintenant que les modifications des propriétés diélectriques des tissus et de la morphologie de la tête sont mineures après l'âge de deux ans.

La conclusion du groupe d'experts est donc, qu'en attente de nouvelles données scientifiques, et à la lumière des changements d'usage déjà perceptibles correspondant à un éloignement du téléphone mobile de la tête, la conclusion du rapport de 2001 est toujours valable et qu'il faut intensifier la recherche sur ce thème.

6.4.3 Principe de précaution

Un débat a actuellement lieu à l'échelle internationale sur le bien-fondé de l'application du Principe de Précaution dans le domaine des risques sanitaires liés aux champs électromagnétiques (ELF et RF). Ainsi, un débat a lieu lors de la réunion organisée au Luxembourg récemment (voir plus haut). De même, l'IEEE a édité un numéro spécial sur les implications techniques et sociales du Principe de Précaution¹.

La mission du groupe d'experts n'incluait pas de recommandation en ce domaine, mais il a paru utile d'apporter ici des éléments de réflexion en l'attente de décisions politiques supranationales éventuelles et de conclure par rapport aux recommandations du groupe de 2001 qui avait, lui, mission en ce sens.

¹ IEEE Technology and Society Volume 21, Number 4, Winter 2002/2003 Magazine. A publication of IEEE Society on Social Implications of Technology. Special Issue on the Precautionary Principle. Refereed articles and Their Key Conclusions. Guest Editors: Kenneth B. Foster and Paolo Vecchia

Dans le rapport de 2001, on pouvait lire à propos du Principe de Précaution :

« Le principe de précaution est un principe politique de gestion prudente de risques incertains, qui peut s'appliquer dès lors qu'existent des mécanismes plausibles ou des observations – expérimentales ou épidémiologiques – qui lui donnent un minimum de fondement scientifique. Il relève par essence de la gestion des risques, non de leur évaluation qui, elle, doit s'efforcer de demeurer dans l'espace des faits ou des hypothèses fondées scientifiquement et destinées à être éprouvées à l'aide de l'expérimentation ou de protocoles épidémiologiques rigoureux.

[...] dans un document de travail, l'Organisation Mondiale de la Santé¹ met-elle en garde les autorités sanitaires contre l'adoption de mesures, inspirées par le souci légitime de rassurer une opinion publique et de prévenir d'hypothétiques conséquences sanitaires, qui ne seraient pas scientifiquement fondées. Le risque est grand, en effet, que les pressions inégales des opinions publiques ne conduisent les Etats à édicter des 'normes de sécurité' disparates qui ruineraient tout effort d'harmonisation internationale. Le désarroi et les craintes du public ne peuvent qu'en être artificiellement gonflés, sans compter les conflits assurés pour 'règles arbitraires et concurrence déloyale ou entrave aux échanges commerciaux'.

Le principe de précaution ne peut donc justifier des mesures qui n'auraient pas de fondement rationnel. Ainsi, la mise en évidence d'effets biologiques menaçants, s'ils existent, obligerait certainement à agir pour en prévenir les conséquences, mais cela ne suffirait pas pour autant à fonder rationnellement une démarche efficace si les paramètres physiques sur lesquels agir restaient incompris.

Si le principe de précaution est un principe de gestion prudente de risques incertains qui engage l'action des pouvoirs publics, et qui peut se manifester par une vaste gamme de mesures plus ou moins contraignantes – par exemple à caractère réglementaire, administratif, informatif etc. - dont le 'dosage' définit une politique publique, diverses mesures de réduction des expositions peuvent être mises en œuvre par les acteurs industriels, mais aussi par les individus eux mêmes. Le concept « d'évitement prudent » peut se définir ici comme l'ensemble des dispositions volontaires que les personnes privées peuvent prendre pour limiter autant que possible des expositions inutiles et/ou facilement évitables."

Avec cette définition, le groupe de 2001 émettait des recommandations qui s'inspiraient du Principe de Précaution, en particulier pour les téléphones mobiles et conseillait globalement l'évitement prudent pour l'ensemble des situations d'exposition liées à la téléphonie mobile.

Considérant ces conclusions, ainsi que celles exprimées dans le rapport de l'OPECST², le groupe d'experts recommande que l'approche de gestion du risque consiste essentiellement en la réduction de l'exposition moyenne de la population tout en maintenant une couverture satisfaisante. Il s'agit donc d'éviter toute exposition inutile ou superflue et ce particulièrement dans le cas des téléphones mobiles.

Cette conclusion devra être revue à la lumière des nouvelles connaissances scientifiques qui réduiraient les incertitudes évoquées dans ce rapport, ainsi que de définitions et modes d'application du Principe de Précaution qui soient acceptées au niveau international.

¹ Draft Fact Sheet for Final Review. Electromagnetic fields and public health cautionary policies. (6 juillet 2000) ; document consultable sur le site <http://www.who.int/peh-emf/>

² "il convient d'avoir recours à une attitude de prudence et de sagesse plutôt qu'au principe de précaution tel qu'il est notamment défini par la Commission européenne"

7 GLOSSAIRE

2DG: (¹⁴C)2-DésoxyGlucose
2G, 3G : Deuxième et troisième générations de téléphonie mobile
Ach: AcétylCholine
ACTH: Hormone Adreno-CorticoTrophine
ADN : Acide DésoxyriboNucléique
AFOM: Association Française des Opérateurs Mobiles
AM : modulation d'amplitude
AMRC : Accès Multiple à Répartition par Code (voir CDMA)
AMRF : Accès Multiple à Répartition en Fréquence (voir FDMA)
AMRT : Accès Multiple à Répartition dans le temps (voir TDMA)
ANFr : Agence Nationale des Fréquences
ARN : Acide RiboNucléique
ART: Autorité de Régulation des Télécommunications
BASAR: Brain Averaged Specific Absorption Rate
BCCH : BroadCast Channel
BEMS: BioElectroMagnetics Society
BHE: Barrière Hémato-Encéphalique
BrDU: BromoDésoxyUridine
CDMA : Code Division Multiple Access (voir AMRC)
CEM : Compatibilité ElectroMagnétique
CENELEC: Comité Européen de Normalisation en ÉLECtronique et en électrotechnique
CIRC : Centre International de Recherche contre le Cancer
CNRS: Centre National de Recherche Scientifique
COMOBIO: COmmunications MObiles et BIOlogie
COST : COncerted action in the Scientific and Technological domain
CSTEE: Comité Scientifique Toxicologie, Ecotoxicité et Environnement
CSC: Commission de Sécurité des Consommateurs
DAS : Débit d'Absorption Spécifique
dB, dBm: décibel, décibel/ 1 milliwatt
DGS: Direction générale de la Santé
DMBA: 7,12-DiMethylBenz(a)Anthracène
EBEA: European BioElectromagnetics Association
EDGE: Enhanced Data Rates for Global Systems for Mobile Communications Evolution
EEG : ElectroEncéphaloGramme
ELF : Extremely-Low Frequencies voir TBF
ENU: Ethyl NitrosoUrée
EPHE: Ecole Pratique des hautes Etudes
EOA: Emission Oto-Acoustique
FM : modulation de fréquence
g, µg, mg, kg: gramme, microgramme, milligramme, kilogramme
GABA: Gamma AminoButyric Acid (Acide Gamma AminoButyrique)
GMSK: gaussian minimum shift key
GPRS: General Packet Radio Service
GSM : Global System for Mobile
HSP: Heat Shock Protein
Hz, kHz, MHz, GHz : Hertz, kiloHertz, MegaHertz, GigaHertz
IC: Intervalle de Confiance
ICNIRP : International Commission on Non-Ionising Radiation Protection
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
INERIS: Institut national de l'Environnement et des Risques Industriels
INPES: Institut National de Prévention et d'Education pour la santé

Inserm : Institut national de la santé et de la recherche médicale
InVS : Institut de veille sanitaire
MAPK: Mitogen-Activated Protein Kinase
mmHg: millimètre de mercure
MTHR: Mobile Telephone and Health Research
NMT: Nordic Mobile Telephone
NO: Nitric Oxide (Monoxyde d'azote en français)
ODC: Ornithine DéCarboxylase
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
OPECST : Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
PCRD: Programme Cadre de Recherche et Développement
PHA: PhytoHemAgglutinine
OR: Odds Ratio
RF : Radiofréquences
RNI: rayonnement Non Ionisant
RNRT : Réseau National des RadioTélécommunications
RR: Risque Relatif
RTL : Radial Transmission Line
SIR: Standard Incidence Ratio
SMS : Short Message Service
TBF : Très Basses Fréquences, voir ELF
TCH : Trafic CHannel
TDMA : Time Domain Multiple Access (voir AMRT)
TEM: Transverse ElectroMagnetic
TPA: 12-O-Tétradécanoyl- Phorbol 13-acétate
TV : Télévision
UMTS : Universal Mobile Telephony System
UWB: Ultra Wide Band
V, mV : volt, millivolt
V/m : Volt par mètre
WAP: Wireless Application Standard
W/kg : watt par kilogramme
W/m² ; W/cm²: watt par mètre carré ; watt par centimètre carré
W, μ W, mW, kW : watt, microwatt, milliwatt, kilowatt

8 RÉFÉRENCES

- Adair ER, Mylacraine KS, Cobb BL. Human exposure to 2450 MHz CW energy at levels outside the IEEE C95.1 standard does not increase core temperature. *Bioelectromagnetics*, 2001a, 22: 429-439.
- Adair ER, Mylacraine KS, Cobb BL. Partial-body exposure of human volunteers to 2450 MHz pulsed or CW fields provokes similar thermoregulatory responses. *Bioelectromagnetics*, 2001b, 22(4): 246-259.
- Adair RK. Biophysical Limits on Athermal Effects of RF and Microwave Radiation. *Bioelectromagnetics*, 2003, 24: 39-48.
- Anane R, Geffard M, Taxile M, Bodet D, Billaudel B, Dulou PE, Veyret B. Effects of GSM-900 Microwaves on the Experimental Allergic Encephalomyelitis (EAE) Rat Model of Multiple Sclerosis. *Bioelectromagnetics*, 2003, 24: 211-213.
- Aran JM, Carrere N, Hondarrague Y, Dulou PM, Veyret B, Ravazzani P. Does GSM microwaves exposure potentiate ototoxicity ? Congrès « RF Interactions in Humans », Londres, 27-28 Février 2003.
- Aran JM, Chalan Y, Carrere N, Dulou PM, Veyret B. Do GSM microwaves affect hearing ? Experimental studies in the Guinea pig. XXVIth International Congress of Audiology; Melbourne, Australie. *The Australian and New Zealand Journal of Audiology*, 2002, 23: 69.
- Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R, Koskela RS. Brain Tumors and Salivary Gland Cancers Among Cellular Telephone Users. *Epidemiology*, 2002,13: 356-359.
- Bartsch H, Bartsch C, Seebald E, Deerberg F, Dietz K, Bollrath M, Meeke D. Chronic Exposure to a GSM-like Signal (Mobile Phone) Does Not Stimulate the Development of DMBA-Induced Mammary Tumors in Rats: Results of Three Consecutive Studies. *Radiation Research*, 2002, 157(2): 183-190.
- Beason RC, Semm P. Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. *Neuroscience Letters*, 2002, 333: 175-178.
- Bisht KS, Moros EG, Straube WL, Baty JD, Roti Roti JL. The effect of 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA modulated radiofrequency radiation on the induction of micronuclei in C3H 10T(1/2) cells. *Radiation Research*, 2002,157(5): 506-515.
- Boyle KR. Mobile phone antenna performance in the presence of people and phantoms. COST 273 TD(03) 054, Barcelona (SP), 15-17 Jan 2003.
- Braune S, Riedel A, Schulte-Monting J, Raczek J. Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiation Research*, 2002,158(3): 352-356.
- Burch JB, Reif JS, Noonan CW, Ichinose T, Bachand AM, Koleber TL, Yost MG. Melatonin metabolite excretion among cellular telephone users. *Int J Radiat Biol*. 2002, 78(11):1029-1036.
- Cheever KL, Swearingin TF, Edwards RM, Nelson BK, Werren DW, Conover DL, DeBord DG. 2-Methoxyethanol metabolism, embryonic distribution, and macromolecular adduct formation in the rat: the effect of radiofrequency radiation-induced hyperthermia. *Toxicol Lett.*, 2001, 122(1):53-67.
- Consiglio W, Driscoll P, Witte M, Berg WP. Effect of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response. *Accident Analysis and Prevention*, 2002, 861: 1-6.
- Cobb BL, Jauchem JR, Mason PA, Dooley MP, Miller SA, Ziriach JM, Murphy MR. Neural and behavioral teratological evaluation of rats exposed to ultra-wideband electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2000, 21(7):524-537.
- Cobb BL and Adair ER. Radial-arm maze performance in rats following repeated low level microwave radiation. Annual Meeting of BEMS, 2002. Quebec, Canada.

- Cook CM, Thomas AW, Prato FS. Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: A review of recent studies." *Bioelectromagnetics*, 2002, 23(2): 144-157.
- Cranfield CG, Wood A, Anderson V, Menezes KG. Effects of mobile phone type signals on calcium levels within human leukaemic T-cells (Jurkat cells). *Int J Radiat Biol*, 2001, 77(2): 1207-1217.
- d'Ambrosio G, Massa R, Scarfi MR, Zeni O. Cytogenetic damage in human lymphocytes following GMSK phase modulated microwave exposure. *Bioelectromagnetics*, 2002, 23(1): 7-13.
- de Pomerai DI, Dawe A, Djerbib L, Allan J, Brunt G, Daniells C. Growth and maturation of the nematode *Caenorhabditis elegans* following exposure to weak microwave fields. *Enzyme and Microbial Technology*, 2002, 30: 73-79.
- Di Carlo A, White N, Guo F, Garrett P, Litovitz T. Chronic electromagnetic field exposure decreases HSP70 levels and lowers cytoprotection. *J Cell Biochem*, 2002, 84(3): 447-454.
- Dubreuil D, Jay T, Edeline JM. Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields affect the performance of rats in spatial learning tasks? *Behavioural Brain Research*, 2002, 129: 203-210.
- Edelstyn N, Oldershaw A. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport*, 2002, 132(1): 119-121.
- Finnie JW, Blumbergs PC, Manavis J, Utteridge TD, GebSKI V, Davies RA, Vernon-Roberts B, Kuchel TR. Effect of long-term mobile communication microwave exposure on vascular permeability in mouse brain. *Pathology*, 2002, 34(4): 344-347.
- Finnie JW, Blumbergs PC, Manavis J, Utteridge TD, GebSKI V, Swift JG, Vernon-Roberts B, Kuchel TR. Effect of global system for mobile communication (GSM)-like radiofrequency fields on vascular permeability in mouse brain. *Pathology*, 2001, 33: 338-340.
- French PW, Penny R, Laurence JA, McKenzie DR. Mobile phones, heat shock proteins and cancer. *Differentiation*, 2001, 67(4-5): 93-97.
- Gatta L, Pinto R, Ubaldi V, Pace L, Nasta F, Galloni P, Lovisolo G, Marino C, Pioli C. In vivo immune response to antigen is not affected by exposure to GSM-modulated 900 MHz. 25th congrès de la BEMS, 21-27 juin 2003, Maui, USA.
- Hallberg O, Johansson O. Melanoma incidence and frequency modulation (FM) broadcasting. *Archive of environmental health*, 2002, 57(1): 32-40.
- Hamblin DL, Wood AW. Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int J Radiat Biol*, 2002, 78(8): 659-669.
- Hancock PA, Lesch M, Simmons L. The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver. *Accident Analysis and Prevention*, 2002, 862: 1-14.
- Hardell L, Hallquist A, Mild KH, Carlberg M, Pahlson A, Lilja A. Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev.*, 2002a, 11(4):377-386.
- Hardell L, Mild KH, Carlberg M. Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int J Radiat Biol*, 2002b, 78(10): 931-936.
- Hardell L, Mild KH, Carlberg M. Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *Int J Oncol*, 2003, 22(2): 399-407.
- Hardell L, Mild KH, Pahlson A, Hallquist A. Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev*, 2001, 10(6): 523-529.
- Heikkinen P, Kosma VM, Hongisto T, Huuskonen H, Hyysalo P, Komulainen H, Kumlin T, Lahtinen T, Lang S, Puranen L, Juutilainen. Effects of mobile phone radiation on x-ray-induced tumorigenesis in mice. *Radiat Res*, 2001, 156(6): 775-785.
- Hietanen M, Hamalainen A.-M., Husman T. Hypersensitivity Symptoms Associated With Exposure to CellularTelephones: No Causal Link. *Bioelectromagnetics*, 2002, 23: 264-270.
- Higashikubo R, Ragouzis M, Moros EG, Straube WL, Roti Roti JL. Radiofrequency electromagnetic fields do not alter the cell cycle progression of C3H 10T1/2 and U87MG cells. *Radiat Res*, 2001, 156: 786-795.
- Higuchi Y, Nashold BS, Sluijter M, Cosman E, Pearlstein RD. Exposure of the Dorsal Root Ganglion in Rats to Pulsed Radiofrequency Currents Activates Dorsal Horn Lamina I and II Neurons. *Neurosurgery*, 2002, 50(4): 850-856.

- Hocking B, Westerman R. Neurological abnormalities associated with CDMA exposure. *Occup Med (Lond)*, 2001, 51(6): 410-413.
- Hossman KA, Hermann DM. Effects of Electromagnetic Radiation of Mobile Phones on the Central Nervous System. *Bioelectromagnetics*, 2003, 24: 49-62.
- Huber R, Treyer V, Borbély AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *Journal of Sleep Research*, 2002, 11(4): 289–295.
- ICNIRP. General Approach to Protection Against Non-Ionizing Radiation. *Health Physics*, 2002, 82(4): 540-548.
- Imaida K, Kuzutami K, Wang J, Fujiwara O, Ogiso T, Kato K, Shirai T. Lack of promotion of 7,12-dimethylbenz(a)anthracene-initiated mouse skin carcinogenesis by 1.5 GHz electromagnetic near fields. *Carcinogenesis*, 2001, 22(11): 1837-1841.
- Jech R, Onka K, Rika E, Nebuelsk A, Böhm J, Juklíková M, Nevímalová S. Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics*, 2001, 22(7): 519-528.
- Johansen C, Boice JD Jr, McLaughlin J, Olsen J. Cellular telephones and cancer--a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst*, 2001, 93: 203-207.
- Johansen C, Boice JD Jr, McLaughlin JK, Christensen HC, Olsen JH. Mobile phones and malignant melanoma of the eye. *British Journal of Cancer*, 2002, 86: 348-349.
- Jones D. Daedalus: phones and the brain. *Nature*, 2001, 411: 1012.
- Kenyon G. Long-term risk from mobile phones examined. *THE LANCET Oncology*, 2002, 3: 72.
- Kimata H. Enhancement of allergic skin wheal responses by microwave radiation from mobile phones in patients with atopic eczema/dermatitis syndrome. *Int Arch Allergy Immunol* 2002, 129(4): 348-350.
- Koivisto M, Haarala C, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hämäläinen H. GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics*, 2001, 22(3): 212-215.
- Koivisto M. Congrès « RF Interactions in Humans », Londres, 27-28 Février 2003.
- Kotnik T, Miklavcic D. Theoretical Evaluation of the Distributed Power Dissipation in Biological Cells Exposed to Electric Fields. *Bioelectromagnetics*, 2000a, 21(5): 385-394.
- Kotnik T, Miklavcic D. Analytical description of transmembrane voltage induced by electric fields on spheroidal cells. *Biophys J.*, 2000b, 79(2): 670-679.
- Krewski D, Byus CV, Glickman BW, Lotz WG, Mandeville R, McBride ML, Prato FS, Weaver DF. Recent advances in research on radiofrequency fields and health. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 2001, 4(1):145-59.
- Kwee S, Raskmark P, Velizarov P. Changes in cellular Proteins due to environmental Non-ionising radiation. I. HEAT-SHOCK PROTEINS. *Electro- and Magnetobiology*, 2001, 20: 141-152.
- Laberge-Nadeau C, Maagb U, Bellavance F, Lapierre SD, Desjardins D, Messier S, Saïdi A. Wireless telephones and the risk of road crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 2002, 877: 1–12.
- Leszczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, Kuokka R. Non-thermal activation of hsp-27/p38mapk stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation*, 2002, 70: 120-129.
- Leszczynski D. Mobile phones, precautionary principle, and future research. *The Lancet*, 2001, 358: 1733.
- Letter to the editor. Comments on "Long-Term Exposure of E μ - Pim1 Transgenic Mice to 898.4 MHz Microwaves does not Increase Lymphoma Incidence". *Radiation Research*, 2003, 159: 274-278.
- Levallois P. Hypersensitivity of human subjects to environmental electric and magnetic field exposure: a review of the literature. *Environ Health Perspect.*, 2002, 110 (Suppl 4):613-618.
- Li L, Bisht KS, Lagroye I, Zhang P, Straube WL, Moros EG, Roti Roti JL. Measurement of DNA damage in mammalian cells exposed in vitro to radiofrequency fields at SARs of 3-5 W/kg. *Radiation Research*, 2001, 155: 239-247.

- Maes A, Collier M, Verschaeve L. Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromagnetics*, 2001, 22(2): 91-96.
- Mahrour N. L'endocytose, une Fonction Cellulaire qui est stimulée par les Champs Electromagnétiques et qui joue un Rôle dans l'Internalisation de la Bléomycine. Thèse Université Paris V., 2002.
- Manning M, Densley M. On the effectiveness of various types of mobile phone radiation shields. <http://www.dti.gov.uk/cii/docs/R500016att.pdf>
- Marino C, Cristalli G, Galloni P, Pasqualetti P, Piscitelli M, Lovisolò GA. Effects of microwaves (900 MHz) on the cochlear receptor: exposure systems and preliminary results. *Radiat Environ Biophys* 2000, 39(2): 131-136.
- Mashevich M, Folkman D, Kesar A, Barbul A, Korenstein R, Jerby E, Avivi L. Exposure of Human Peripheral Blood Lymphocytes to Electromagnetic Fields Associated With Cellular Phones Leads to Chromosomal Instability. *Bioelectromagnetics*, 2003, 24: 82-90.
- Mason P, Miller SA, Merritt JH, Scholin TL, Mahajan K, Murphy MR. An overview of the airforce research laboratory's current blood-brain barrier (BBB) research effort. 23^{ème} congrès de la BEMS, 10-14 juin 2001, Saint-Paulm, Minnesota, USA.
- Matthews R, Legg S, Charlton S. The effect of cell phone type on drivers subjective workload during concurrent driving and conversing. *Accident Analysis and Prevention*, 2002, 35: 1-7.
- Mausset AL, de Seze R, Montpeyroux F, Privat A. Effects Of Radiofrequency Exposure On The Gabaergic System In The Rat Cerebellum: Clues From Semi-Quantitative Immunohistochemistry. *Brain Res*, 2001, 912(1): 33-46.
- McNamee JP, Bellier PV, Gajda GB, Lavalée BF, Lemay EP, Marro L, Thansandote A. DNA damage in human leukocytes after acute *in vitro* exposure to a 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Radiation Research*, 2002a, 158(4): 534-537.
- Michelozzi P, Capon A, Kirchmayer U, Forastiere F, Biggeri A, Barca A, Perucci CA. Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *Am J Epidemiol* 2002 155:1096-1103.
- McNamee JP, Bellier PV, Gajda GB, Miller SM, Lemay EP, Lavalée BF, Marro L, Thansandote A. DNA damage and micronucleus induction in human leukocytes after acute *in vitro* exposure to a 1.9 GHz continuous-wave radiofrequency field. *Radiation Research*, 2002b, 158(4): 523-533.
- Morrissey JJ, Swicord M and Balzano Q. Characterization of electromagnetic interference of medical devices in the hospice due to cell phones. *Health Physics*. 2002, 82: 45-51
- Muscat JE, Malkin MG, Shore RE, Thompson S, Neugut AI, Stellman SD, Bruce J. Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology*, 2002, 58: 1304-1306.
- Nelson BK, Snyder DL, Shaw PB. Developmental toxicity interactions of methanol and radiofrequency radiation or 2-methoxyethanol in rats. *Int J Toxicol.*, 2001, 20(2):89-100.
- Nelson N. Recent studies show cell phone use is not associated with increased cancer risk. *J Natl Cancer Inst*, 2001, 93: 170-172.
- Nunes L, Recarte MA. Cognitive demands of hands-free-phone conversation while driving. *Transportation Research, Part F*, 2002, 5: 133-144.
- Oftedal G, Wilen J, Sandstrom M, Mild KH. Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occup. Med.*, 2000, 50(4) : 237-245.
- Oliver JP, Chou CK, Balzano Q. Testing the Effectiveness of Small Radiation Shields for Mobile Phones. *Bioelectromagnetics*, 2003, 24 :66-69.
- Ozturan O, Erdem T, Miman MC, Kalcioğlu MT, Oncel S. Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol*, 2002, 122(3): 289-293.
- Pachiaudi G. Les risques de l'utilisation du telephone mobile en conduisant. Synthèse INRETS n°39, 2001, Les collections de l'INRETS.
- Pacini S, Ruggiero M, Sardi I, Aterini S, Gulisano F, Gulisano M. Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene expression, proliferation, and morphology of human skin fibroblasts. *Oncology Research*, 2002, 13(1): 19-24.

- Paredi P, Kharitonov SA, Hanazawa T, Barnes PJ. Local vasodilator response to mobile phones. *Laryngoscope*, 2001, 111: 159-162.
- Pickard WF, Moros EG. Energy deposition processes in biological tissue: Nonthermal biohazards seem unlikely in the ultra-high frequency range. *Bioelectromagnetics*, 2001, 22(2): 97-105.
- Radon K, Parera D, Rose DM, Jung D, Vollrath L. No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. *Bioelectromagnetics*, 2001, 22(4): 280-287.
- Roti Roti JL, Malyapa MR, Bisht KS, Ahern EW, Moros EG, Pickard WF, Straube WL. Neoplastic transformation in C3H 10T(1/2) cells after exposure to 835.62 MHz FDMA and 847.74 MHz CDMA radiations. *Radiation Research*, 2001, 155: 239-247.
- Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR. Nerve Cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones. *Environmental Health Perspectives*, 2003, [Online 29 January 2003]
- Salvucci DD, Macuga KL. Predicting the effects of cellular-phone dialing on driver performance. *Cognitive Systems Research*, 2002, 3: 95-102.
- Sandström M, Wilen J, Oftedal G, Hansson Mild K. Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med (Lond)*, 2001, 51(1): 25-35.
- Santini R, Santini P, Danze JM, Le Ruz P, Seigne M. Enquête sur la santé de riverains de stations relais de téléphonie mobile : I/Incidences de la distance et du sexe. *Pathol Biol*, 2002, 50: 369-373.
- Santini R, Seigne M, Bonhomme-Faivre L, Bouffet S, Defrasne E, Sage M. Symptoms reported by mobile cellular telephone users. *Pathol Biol (Paris)*, 2001, 49(3): 222-226.
- Shallom JM, Di Carlo AL, Ko D, Penafiel LM, Nakai A, Litovitz TA. Microwaves exposure induces Hsp70 levels and confers protection against hypoxia in chick embryos. *J Cell Biochem*, 2002, 86(3):490-496.
- Schuz J, Mann S. A discussion of potential exposure metrics for use in epidemiological studies on human exposure to radiowaves from mobile phone base stations. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 2000, 10: 600-605.
- Sienkiewicz Z. Biological effects of microwaves: animal studies. *National Radiological Protection Board (UK)*, 2002, 38: 943-964.
- Stagg RB, Hawel LH, Pastorian K, Cain C, Adey R, Byus CV. Effect of Immobilization and Concurrent Exposure to a Pulse-Modulated Microwave Field on Core Body Temperature, Plasma ACTH and Corticosteroid, and Brain Ornithine Decarboxylase, Fos and Jun mRNA. *Radiation Research*, 2001, 155(4): 584-592.
- Stang A, Anastassiou G, Ahrens W, Bromen K, Bornfeld N, Joeckel KH. The Possible Role of Radiofrequency Radiation in the Development of Uveal Melanoma. *Epidemiology*, 2001, 12(1): 7-12.
- Sykes PJ, McCallum BD, Hooker AM. Effect of exposure to 900 MHz radiofrequency radiation on intrachromosomal recombination in pKZ1 mice. *Radiation Research*, 2001, 156(5): 495-502.
- Takahashi S, Inaguma S, Cho YM, Imaida K, Wang J, Fujiwara O, Shirai T. Lack of Mutation Induction with Exposure to 1.5 GHz Electromagnetic Near Fields Used for Cellular Phones in Brains of Big Blue Mice. *Cancer Research*, 2002, 62: 1956-1960.
- Tattersall JEH, Scott IR, Wood SJ, Nettell JJ, Bevir MK, Wang Z, Somasiri NP, Chen X. Effects of low intensity radiofrequency electromagnetic fields on electrical activity in rat hippocampal slices. *Brain Research*, 2001, 904: 43-53.
- Testylier G, Tonduli L, Malabiau R, Debouzy JC. Effects of exposure to low level radiofrequency fields on acetylcholine release in hippocampus of freely moving rats. *Bioelectromagnetics*, 2002, 23(4): 249-255.

- Tian F, Nakahara T, Wake K, Taki M, Miyakoshi J. Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg but not at 5 W/kg in human glioma MO54 cells. *Int J Radiation Biol*, 2002, 78(5): 433–440.
- Tice RR, Hook GG, Donner M, McRee DI, Guy AW. Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultures human blood cells. *Bioelectromagnetics*, 2002, 23: 113-126.
- Töre F, Dulou PE, Haro E, Veyret B, Aubineau P. Two-hour Exposure to 2 W/kg, 900 MHz GSM microwaves induces Plasma Protein Extravasation in Rat Brain. 5th International Congress of the European Bioelectromagnetics Association, 6 Septembre 2001
- Toropainen A. Human Exposure by Mobile Phones in Enclosed Areas. *Bioelectromagnetics*, 2003, 24: 63-65.
- Trosic I, Busljeta I, Kasuba V, Rozgaj R. Micronucleus induction after whole-body microwave irradiation of rats. *Mutation Research*, 2002, 521: 73–79.
- Tsurita G, Nagawa H, Ueno S, Watanabe S, Taki M. Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics*, 2000, 21: 364-371.
- Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchela TR. Long-Term Exposure of Em-Pim1 Transgenic Mice to 898.4 MHz Microwaves does not Increase Lymphoma Incidence. *Radiation Research*, 2002, 158: 357–364.
- Vijayalaxmi, Bisht KS, Pickard WF, Meltz ML, Roti Roti JL, Moros EG. Chromosome damage and micronucleus formation in human blood lymphocytes exposed *in vitro* to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (847.74 MHz, CDMA). *Radiation Research*, 2001b, 156(4): 430-432.
- Vijayalaxmi, Leal BZ, Meltz ML, Pickard WF, Bisht KS, Roti Roti JL, Straube WL, Moros EG. Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed *in vitro* to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (835.62 MHz, FDMA). *Radiation Research*, 2001a, 155(1): 113-121.
- Vijayalaxmi, Leal BZ, Szilagyi M, Prihoda TJ, Meltz ML. Primary DNA damage in human blood lymphocytes exposed *in vitro* to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiation Research*, 2000, 153(4): 479-486.
- Vijayalaxmi, Pickard WF, Bisht KS, Prihoda TJ, Meltz ML, LaRegina MC, Roti Roti JL, Straube WL, Moros EG. Micronuclei in the peripheral blood and bone marrow cells of rats exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation; *Int J Radiat Biol.*, 2001c, 77(11): 1109-1115.
- Wang J, Fujiwara O. Safety evaluation of EM absorption in the human head for portable devices above 3 GHz. International symposium on EMC, 9-13 septembre 2002, Sorrento, Italie.
- Zombolas C. Critical assessment of controversial « Which ? » protocol used to test mobile phone hands free kits. International symposium on EMC, 9-13 septembre 2002, Sorrento, Italie.
- Zook BC, Simmens SJ. The effect of 860 MHz radiofrequency radiation on the induction or promotion of brain tumors and other neoplasms in rats. *Radiation Research*, 2001, 155: 572-583.
- Zotti-Martelli L, Peccatori M, Scarpato R, Migliore L. Induction of micronuclei in human lymphocytes exposed *in vitro* to microwave radiation. *Mutation Research*, 2000, 472: 51-58.

9 RÉSUMÉ

9.1 Contexte du travail et mission du groupe

Depuis la publication en janvier 2001 du rapport remis à la Direction Générale de la Santé, le développement de la téléphonie mobile a continué en France et le nombre de 38 millions d'utilisateurs est maintenant atteint. Le questionnement sur les effets sanitaires éventuels des champs électromagnétiques de la téléphonie mobile est resté vivace en France, mais aussi ailleurs en Europe. De nombreux comités d'experts ont été réunis et des rapports publiés (trois rapports en France depuis deux ans). Or, l'AFSSE, nouvellement créée, devait procéder à une actualisation du rapport de 2001. L'agence a donc composé un groupe d'experts à qui elle a donné pour tâche de rédiger un rapport pour la fin du mois de mars 2003, afin de faire le point sur 1) les données scientifiques nouvelles, 2) les programmes de recherche en cours en France et au plan international et les études à mener, et 3) les mesures mises en oeuvre en France en réponse aux recommandations du rapport de 2001 et celles qui resteraient à mettre en oeuvre. Il était également demandé d'auditionner les opérateurs français de téléphonie mobile.

Le présent rapport a donc été rédigé à la demande de l'AFSSE par sept chercheurs [Jean-Marie Aran (directeur de recherche Inserm), Jean-Charles Bolomey (professeur d'Université, Supélec), Pierre Buser (membre de l'Académie des Sciences), le Dr. René de Seze (directeur de recherche Ineris), le Dr. Martine Hours (chargé de recherche Inrets/Université de Lyon), Isabelle Lagroye (maître de conférences EPHE) et Bernard Veyret (directeur de recherche CNRS)]. Le groupe s'est réuni à partir du 21 novembre 2002 et a remis son rapport le 21 mars 2003. Durant ces quatre mois, le groupe d'experts a eu toute liberté pour se réunir et consulter différents acteurs français du domaine.

La méthode employée par le groupe a été celle qui est d'usage dans un processus d'estimation du risque, c'est-à-dire une analyse collective des études spécifiques et de l'ensemble des connaissances acquises afin de dégager des conclusions. Un recensement exhaustif des publications et des rapports récents a donc été effectué afin d'inclure et évaluer les données les plus récentes. La participation de certains des membres du groupe à des congrès ou à des réunions scientifiques, durant la période de préparation du rapport, a également permis de collecter des informations sur des résultats non encore publiés.

9.2 Rappel sur les ondes électromagnétiques et la téléphonie mobile

Dans les nombreux rapports déjà disponibles, en particulier celui de 2001, une description du fonctionnement de la téléphonie mobile était donnée en prenant soin de distinguer les téléphones mobiles des stations de base, qui sont des sources de rayonnement électromagnétique bien distinctes du point de vue de l'utilisateur, bien qu'il s'agisse dans les deux cas d'émetteurs-récepteurs fonctionnant à la même fréquence. Des compléments sont donnés dans le présent rapport pour approfondir les explications sur ces systèmes techniques complexes et corriger certaines interprétations erronées. En effet, s'il reste des incertitudes sur des effets biologiques ou sanitaires éventuels, la connaissance de la déposition des champs électromagnétiques dans l'organisme est acquise et l'on peut dissiper quelques malentendus. Ainsi, le principe de la modulation d'amplitude ou découpage temporel dans le cas du GSM est tel qu'il n'existe pas dans la cible biologique de champs électromagnétiques de très basse fréquence (en particulier à 217 Hz qui correspond à la fréquence de découpage). Il est bon de rappeler également qu'à distance d'une antenne-relais, le niveau de puissance reçue au sol n'est pas à son maximum au pied de l'antenne mais à environ 200 m. Le niveau d'exposition correspondant est toujours très faible et bien inférieur à celui créé par les autres sources de champs électromagnétiques, que sont les émetteurs FM et TV.

En ce qui concerne les téléphones mobiles, la mesure de l'absorption par les tissus de la tête est maintenant standardisée et la valeur du DAS (débit d'absorption spécifique en W/kg) est connue pour chaque modèle mis en service. Le DAS a tendance à baisser en raison des progrès technologiques mais la limite sera bientôt atteinte. Pourtant, la connaissance du DAS associé à un téléphone mobile

ne suffit pas à caractériser complètement son interaction avec la tête car l'efficacité du téléphone devrait aussi être prise en compte. L'utilisateur doit savoir que le téléphone mobile émet à son plus bas niveau quand la liaison avec la station de base est bonne c'est-à-dire quand un plus grand nombre de barrettes s'affiche sur l'écran. L'évolution des techniques et des usages font que le téléphone mobile sera de moins en moins souvent tenu contre la tête mais plutôt relié à un écouteur à l'aide d'un fil (kit mains-libres) ou d'une liaison radio de faible puissance (Bluetooth). Ce changement introduira une baisse majeure du DAS dans la tête.

La situation d'exposition est très différente pour les téléphones mobiles et les stations de base. Ainsi, on peut calculer que l'exposition des tissus est 40 fois plus élevée dans la tête d'une personne qui utilise le téléphone mobile pendant une heure par jour que dans l'organisme d'un individu exposé pendant une journée aux ondes émises par une station de base. Il convient donc de séparer nettement les deux types de sources dans l'analyse des niveaux d'exposition mais aussi dans celle des effets sanitaires potentiels.

9.3 Mise à jour des connaissances

Depuis le début de l'année 2001 une centaine de publications (tableau ci-dessous) sont parues sur les résultats d'études épidémiologiques et expérimentales. Elles sont analysées en détail et critiquées dans le corps du rapport. On peut déplorer le recul encore faible des études épidémiologiques et la qualité souvent limitée des travaux effectués en laboratoire en dépit des progrès importants accomplis sur les systèmes d'exposition.

Études	En cours	Terminée	Total
Humaine	19	51	70
Animale	30	82	112
Cellulaire	36	71	107

Tableau 9.3 Etudes recensées par l'OMS sur les effets des champs électromagnétiques de la téléphonie mobile

Épidémiologie

En ce qui concerne les téléphones mobiles, plusieurs études ont été publiées ou entreprises depuis 2001. Il s'agit d'études de différents types dans plusieurs pays (USA, Danemark, Suède, etc.). Les résultats sont contradictoires : certaines études ne montrent pas d'association entre exposition et pathologies. Il s'agit alors le plus souvent d'études de cohorte (études *a priori*) pour lesquelles il existe vraisemblablement peu de biais mais des insuffisances en matière de délai et de mesure de la dose d'exposition. D'autres études de type cas-témoins (études *a posteriori*) évoquent l'existence d'un risque essentiellement lié aux téléphones de type analogique (antérieur au GSM) mais la puissance des études est souvent assez faible, et des questions méthodologiques se posent. Il est donc encore trop tôt pour conclure sur le risque associé aux téléphones mobiles. Seule la répétition de bonnes études permettra de répondre à cette question. Les résultats de l'étude multinationale Interphone ne seront connus qu'à la fin de l'année 2004 et apporteront des éléments importants sur le risque de cancer.

Certains domaines sont insuffisamment explorés comme le rôle de l'âge, l'association avec les leucémies et les pathologies neurologiques.

Pour ce qui est des stations de bases, les études sur les symptômes à proximité des antennes ont été inexistantes ou inadéquates, mais une étude démarre en Grande-Bretagne sur les leucémies et autres cancers chez l'enfant.

Études humaines

De nouvelles études humaines réalisées avec des téléphones mobiles montrent quelques effets de faible amplitude sur les fonctions cognitives et l'électroencéphalogramme (EEG). Cependant, ces modifications de l'EEG ne révèlent pas de souffrance cérébrale, et ces effets cognitifs ne constituent pas un risque pathologique à long terme s'ils sont temporaires.

Études animales

Les études récentes chez l'animal n'ont pas montré que l'exposition à des faibles niveaux

augmente les risques de cancer ou altère significativement le comportement.

L'ensemble des données disponibles ne permet pas de conclure à un effet pathologique de l'exposition des animaux aux RF, en dessous des niveaux qui engendrent des effets résultant d'une élévation significative de la température. Néanmoins, il faudra expliquer pourquoi certains travaux, en contradiction avec la plupart des autres études, montrent des effets biologiques à des faibles niveaux d'exposition, comme par exemple une perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique.

Études cellulaires

L'absence d'effet génotoxique des RF de bas niveau de DAS est confirmée pour des expositions de courte durée. Dans les études utilisant des expositions de longue durée aucun effet génotoxique n'est démontré pour des niveaux de DAS inférieurs ou égaux à 2 W/kg.

Les études sur les protéines de choc thermique ont donné des résultats qui restent difficiles à interpréter et qui ne permettent pas d'affirmer que les RF induisent un "stress" cellulaire.

Mécanismes

En l'absence d'effets biologiques à faible niveau de DAS qui soient robustes et reproductibles en laboratoire, il est difficile aux théoriciens de concevoir et valider des mécanismes autres que ceux qui correspondent à un échauffement.

Effets indirects

Conduite automobile

Toutes les études s'accordent sur le fait qu'il existe un risque majeur associé à l'utilisation des téléphones mobiles en conduisant. Le risque est notablement accru, même avec utilisation d'une oreillette : "le kit mains-libres libère les mains, pas l'esprit".

Situations de stress

Lorsque des personnes sont mal à l'aise dans leur environnement ou sont confrontées à une situation difficile à vivre, environnementale ou non, leur crainte se focalise particulièrement sur le risque sanitaire. Il faut donc prendre en compte ce facteur "stress" dans l'analyse des craintes exprimées et des symptômes subjectifs rapportés autour des stations de base.

Accumulation des effets

Dans le cas des RF, les nouvelles études confirment que les effets biologiques sont de type "avec seuil" et qu'il n'existe pas d'accumulation d'effets lors de longues expositions à faible niveau de DAS au dessous du seuil.

9.4 Programmes de recherche en cours

L'activité de recherche est importante en Europe où la Commission Européenne, dans le cadre du 5^{ème} PCRD, finance plusieurs projets majeurs de recherche en collaboration avec les états membres et les industriels de la téléphonie mobile. Plusieurs organismes tels que l'OMS et le COST 281 participent à la coordination des programmes de recherche.

En France, après la fin du projet Comobio, l'essentiel de la recherche est effectué dans le cadre des programmes européens ou avec le soutien des opérateurs. Des équipes françaises participent à quatre programmes de recherche européens. Dans le cadre du RNRT, le projet Adonis qui traite de dosimétrie a démarré tandis que le projet Comobio+ sur les études biologiques doit être pris en charge par le Ministère de la Recherche.

Ailleurs en Europe, certains pays tels que l'Italie, l'Allemagne, la Finlande et la Grande-Bretagne ont d'importants programmes en cours.

9.5 Gestion du risque

Estimation du risque par le groupe d'experts

Dans le cadre de l'évaluation des risques associés à des facteurs de l'environnement, une procédure systématique d'analyse des éléments scientifiques disponibles a été développée qui

permet de caractériser le risque ou même de le quantifier quand c'est possible. Ce processus d'estimation comporte quatre étapes qui ont été appliquées par le groupe d'experts aux téléphones mobiles puis aux stations de base.

À l'issue de ce processus La conclusion du groupe d'experts est qu'il est actuellement impossible de quantifier le risque sanitaire, ni pour le cancer ni pour les autres pathologies, car les dangers n'ont pas été établis et la relation dose-réponse n'est pas connue pour les niveaux n'induisant pas d'échauffement.

En particulier, et en accord avec les rapports scientifiques disponibles, le groupe d'expert confirme qu'au vu des connaissances actuelles, il n'est pas possible d'attribuer un effet sanitaire aux ondes émises par les stations de base.

Mesures gouvernementales

Dans le rapport, un tableau rassemble les mesures prises par les pouvoirs publics en réponse aux recommandations du rapport de 2001.

On peut constater que la plupart des recommandations ont été prises en compte. Le financement de la recherche et le renforcement du code de la route sont encore en discussion.

Mesures prises par les opérateurs

Un tableau rassemble les mesures prises par les opérateurs en réponse aux recommandations du rapport de 2001. Les opérateurs ont pris en compte l'essentiel des recommandations de 2001.

9.6 Recommandations de recherche

Fondation de recherche

Une fondation devrait être créée pour permettre un financement satisfaisant de la recherche en termes de budget et pour mieux assurer la crédibilité des résultats. Cette fondation recevrait les moyens nécessaires des ministères et des industriels de la téléphonie mobile. Cette recommandation est en parfait accord avec celles du rapport récent de l'OPECST.

Laboratoire dédié

Un laboratoire devrait être créé associant biologistes, médecins et ingénieurs pour compléter le dispositif de recherche déjà existant en France. La création d'une unité mixte de recherche dans un contexte hospitalo-universitaire conviendrait.

Priorités de recherche

Sur la base des recommandations de recherche élaborées par l'OMS, présentées dans le rapport de 2001 et dans celui de l'OPECST, le groupe d'experts a formalisé certaines priorités :

Nouvelles technologies

- Il est souhaitable d'étendre certaines investigations au signal GSM 1800.
- L'essentiel des études devront néanmoins porter sur les nouveaux signaux des réseaux en déploiement (UMTS et WiFi).

Recherche expérimentale

- effets sur les tissus les plus exposés au téléphone mobile quand il est placé contre l'oreille
 - oreille interne (système vestibulaire, vertiges),
 - perméabilité et inflammation de la barrière hématoencéphalique et de la dure-mère,
- protéines de choc thermique (en particulier chez l'animal),
- évolution de paramètres biologiques (immunité, réparation de l'ADN, etc.) en fonction de l'âge chez l'animal,
- synergie entre RF et :
 - pathologies,
 - facteurs de l'environnement,

- symptômes subjectifs (études de provocation en laboratoire),
- suivi du phénomène adaptatif en fonction du temps et de la dose,
- rôle de l'intermittence dans l'exposition.

Recherche épidémiologique

Caractérisation des troubles subjectifs dans la population générale (inclusion dans des études de cohorte préexistantes, etc.),

Téléphones mobiles : Extension à terme d'une étude de type Interphone aux enfants et adolescents.

Stations de base (aucune étude sur le cancer ne devrait démarrer avant l'obtention des résultats d'Interphone) :

- études de faisabilité pour des études analytiques à l'aide des dosimètres individuels et familiaux qui sont en cours de mise au point.

9.7 Gestion des risques

Sites sensibles

L'objectif de la recommandation du rapport de 2001 concernant les antennes relais situées à moins de 100 m des "sites sensibles" n'a pas été atteint à cause d'interprétations erronées. De fait, cet avis associait un traitement de la préoccupation avec l'affirmation de l'absence d'effet sanitaire, c'est-à-dire associait, avec une confusion possible, analyse du risque et gestion de la perception du risque. Or, il n'apparaît pas de justification sanitaire à cette spécificité des sites dits "sensibles", la "sensibilité" étant liée à la perception du risque et non à un risque sanitaire identifié. Le groupe d'experts ne retient donc pas la nécessité de cette notion de "site sensible" en rapport avec les stations de base.

Principe de précaution

Le groupe d'experts n'avait pas pour mission de faire de nouvelles recommandations en termes de gestion des risques. Il a néanmoins analysé le contexte actuel dans lequel sont appliquées des approches de précaution face à la problématique des champs électromagnétiques. Considérant les conclusions du rapport de 2001, ainsi que celles exprimées dans le rapport de l'OPECST, le groupe d'experts conclut qu'une approche de gestion du risque appropriée consiste essentiellement en la réduction de l'exposition moyenne de la population tout en maintenant une couverture satisfaisante. Il s'agit donc d'éviter toute exposition inutile ou superflue et ce particulièrement dans le cas des téléphones mobiles.

Cette conclusion devra être revue à la lumière

- de nouvelles connaissances scientifiques qui réduiraient les incertitudes évoquées dans le rapport, ainsi que
- de définitions et modes d'application du Principe de Précaution qui seraient acceptés au niveau international.

Enfants

Peu de nouveaux éléments sont devenus disponibles depuis cette date malgré la réalisation de plusieurs études, essentiellement de type dosimétrique. On sait maintenant que les modifications des propriétés diélectriques des tissus et de la morphologie de la tête sont mineures après l'âge de deux ans.

La conclusion du groupe d'experts est donc, qu'en attente de nouvelles données scientifiques, et à la lumière des changements d'usage déjà perceptibles correspondant à un éloignement du téléphone mobile de la tête, la conclusion du rapport de 2001 est toujours valable et qu'il faut intensifier la recherche sur ce thème.

10 ANNEXE : CURRICULUM VITÆ DES MEMBRES DU GROUPE D'EXPERTS

- **Jean Marie ARAN** est directeur de recherche à l'Inserm, Ingénieur ENSERB et Docteur ès sciences naturelles. Il a intégré l'Inserm en 1965 et travaille au Laboratoire d'Audiologie Expérimentale (actuellement Laboratoire de Biologie Cellulaire et Moléculaire de l'Audition) à Bordeaux qu'il a dirigé sous forme d'Equipe ou Unité Inserm de 1976 à 1992. Ses travaux scientifiques, menés dans ce Laboratoire et au Kresge Hearing Research Institute de l'Université du Michigan à Ann Arbor, USA, ont porté essentiellement sur la physiologie et la physiopathologie de l'oreille interne. Il a notamment contribué au développement de nouvelles méthodes électrophysiologiques d'exploration fonctionnelle de l'audition, et à la compréhension des mécanismes ototoxiques de certains agents comme les antibiotiques aminoglycosidiques. Il a été, de 1983 à 2001 rédacteur en chef de la revue internationale *Audiology*. Il participe actuellement au programme de recherche européen GUARD (Potential Adverse Effects of GSM Cellular Phones on Hearing). Il est Chevalier dans l'ordre National du Mérite.

- **Jean Charles BOLOMEY** est professeur à Supélec et à l'Université Paris-Sud (Orsay). Il exerce son activité de recherche dans le Département de Recherche en Électromagnétisme. Il a participé à plusieurs projets européens sur les applications des techniques d'imagerie micro-onde de diagnostic biomédical et de contrôle non-destructif. Il a contribué aux travaux menés dans les domaines de l'hyperthermie, de la thermométrie non-invasive et du traitement des matériaux industriels par micro-ondes. Il a été associé aux études sur les rayonnements Micro-ondes de Forte Puissance (MFP) et à leurs applications militaires, portant sur la phénoménologie des couplages des rayonnements micro-ondes aux systèmes électroniques, et sur la métrologie des champs forts. Ses recherches actuelles portent sur le développement de techniques dosimétriques innovantes, plus particulièrement dans le contexte de la téléphonie mobile, notamment en ce qui concerne les mesures de DAS de téléphones mobiles et la caractérisation du rayonnement des antennes de stations de base. Il est membre de l'IEEE et du Comité Français de Radioélectricité Scientifique (URSI).

- **Pierre BUSER** est ancien élève de l'école normale supérieure d'Ulm, titulaire d'une agrégation de biologie et d'un doctorat d'Etat de science. Il a été assistant puis maître Assistant à la Faculté des Sciences de Paris, puis professeur de Neurosciences à l'Université Pierre et Marie Curie de Paris et directeur de l'Institut des Neurosciences du CNRS à l'UPMC. Il est depuis 1991 professeur émérite à la même Université. Il a été nommé membre Correspondant de l'Académie des Sciences, puis membre de l'Académie des Sciences en 1988. Il a reçu le prix Bing de l'Académie suisse des Sciences médicales et le prix International de la Fondation Fyssen. Ses travaux ont conduit à de nombreuses publications spécialisées dans le domaine des mécanismes cérébraux (neurophysiologie sensorielle, motricité et comportement). Il a également participé à la rédaction de plusieurs ouvrages dans les domaines de la neurophysiologie, de la vision, de l'audition, de la neurobiologie. Il est chevalier de la Légion d'Honneur, officier de l'Ordre national du Mérite et officier des Palmes Académiques.

- **Martine HOURS** est médecin épidémiologiste, spécialiste en Santé Publique et en Médecine du Travail. Elle est titulaire d'une thèse de Sciences, ancien chercheur à l'Université Claude Bernard-Lyon I, d'abord à l'Institut d'Épidémiologie puis à l'Institut de Médecine du Travail où elle a développé des recherches épidémiologiques en Santé au Travail, puis en environnement. Elle a participé aux travaux du Réseau Santé-Déchets, au sein duquel elle a mis en place des études sur les risques professionnels dans la filière des traitements de déchets. Suite à la création de l'Unité Mixte de Recherche Épidémiologique Transport Travail Environnement (UMRETTE), qui a rapproché l'Institut Universitaire de Médecine du Travail de Lyon du Laboratoire d'Épidémiologie Appliqué aux Transports, elle est chargée de recherche à l'Inrets, orientant progressivement ses activités vers la recherche en accidentologie. Elle est la coordinatrice pour la France de l'étude internationale "Interphone" pilotée par l'OMS. Elle est membre de la BEMS et de l'EBEA.

- **Isabelle LAGROYE** est Docteur en Pharmacie et Docteur en Sciences de la vie. Elle est Maître de Conférences au laboratoire de bioélectromagnétisme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, associé au laboratoire PIOM de l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie Physique de l'Université Bordeaux I. Elle travaille depuis 10 ans sur les effets biologiques des ondes électromagnétiques. Elle est actuellement membre du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (Section milieux de vie) et responsable scientifique du programme européen Perform B. Elle participe au programme européen Reflex en étudiant avec son équipe l'influence des ondes GSM sur l'apoptose et l'expression protéique.

- **René de SEZE** est médecin, spécialisé en radiologie, titulaire du DEA "Instrumentation et mesure" et d'un Doctorat d'Université en Sciences de la Vie, sur les effets des micro-ondes sur le système immunitaire de la souris. Il a été Assistant Hospitalo-Universitaire au CHU de Nîmes dans le Service de Médecine Nucléaire et Biophysique Médicale du professeur Miro, puis Médecin Attaché en Biophysique Médicale et en Radiologie. Directeur de Recherches à l'INERIS, sa thématique de recherche est l'étude des interactions des champs électromagnétiques avec les systèmes biologiques et en particulier les effets sur la santé des radiotéléphones cellulaires. Il est vice-président du bureau de la section Rayonnements Non Ionisants de la Société Française de RadioProtection (SFRP/RNI), secrétaire de l'Association Européenne de Bioélectromagnétisme (EBEA), membre du comité de Biologie associé à la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non Ionisants (ICNIRP) et membre de la Société de BioElectroMagnétisme (BEMS).

- **Bernard VEYRET** est ingénieur physicien ESPCI, Docteur ès Sciences, directeur de recherche CNRS au laboratoire de Physique des Interactions Ondes-Matières (PIOM), à l'ENSCP. Il est directeur du Laboratoire de Bioélectromagnétisme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. Il effectue des recherches sur les effets biologiques des champs électromagnétiques depuis 1985. Il est membre de la Commission de l'ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) et président de la Commission K de l'URSI (Union Radio Scientifique Internationale). Il était précédemment responsable scientifique du projet de recherche français Comobio et est responsable du programme européen de recherche Perform-B sur les effets sanitaires éventuels des téléphones mobiles. Bernard VEYRET a assuré la présidence du groupe d'experts.

Curriculum vitæ du secrétaire scientifique du groupe d'experts :

- **Gilles DIXSAUT** est Docteur en Médecine, ancien assistant de faculté-assistant des hôpitaux de Paris, médecin biologiste spécialisé en explorations fonctionnelles. Il est diplômé d'études et de recherches en biologie humaine. Médecin inspecteur général de santé publique, précédemment chargé des domaines relatifs à la recherche et aux technologies médicales, puis aux relations santé-environnement à la Direction générale de la santé, il a en charge actuellement l'évaluation scientifique des risques liés aux rayonnements non ionisants et aux agents physiques à l'Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale. Il est président de la commission santé-biométéorologie du Conseil Supérieur de la Météorologie.

11 ANNEXE : RECHERCHE FINANCÉE PAR LES OPÉRATEURS

11.1 Recherches en Dosimétrie

Dates	Libellé	Etude réalisée par
1998-2001	Contrat de formation et de recherche en dosimétrie (Mesures de rayonnement des stations de base et compatibilité électromagnétique avec les équipements médicaux et hospitaliers)	Bouygues Telecom et France Telecom R&D
1998-2001	Création d'une plate-forme dosimétrique des téléphones mobiles	Supelec
1998-2003	Direction d'un groupe de travail et contribution active en normalisation pour mettre en place des normes européennes sur la mesure de DAS des téléphones mobile, la mise sur le marché et en service de stations de base, et la mesure sur site du champ émis autour d'une station de base	France Telecom R&D
1998-2003	Participation aux actions COST 244, 244bis, 281. Participation aux réunions de l'OMS. Participation aux réunions de coopération du JRC	France Telecom R&D
1999-2001	Projet RNRT COMOBIO Certification des téléphones mobiles (représentativité des fantômes homogènes - Analyse des sondes - Banc de mesure et incertitude - Valorisation)	Alcatel, Supelec, France Telecom R&D, Bouygues Telecom, SFR, Sagem
2000-2001	Etude industrielle Supelec pour évaluer le DAS à partir d'un réseau de neurones	Supelec
2000-2001	Développement d'un système de mesure sur site des champs électromagnétiques ambiants	Supelec
2000-2001	Détermination des périmètres de sécurité autour des antennes de station de base et classification des sites	France Telecom R&D
2000-2001	Analyse des conditions d'intervention des travailleurs sur les antennes de station de base sans périmètre (SAR).	France Telecom R&D
2000-2001	Adaptation d'un banc de mesure de DAS pour les téléphones mobiles et mesures de DAS	France Telecom R&D
2000-2002	Analyse de l'exposition des systèmes de nouvelle génération (Wifi, Bluetooth, Stations terriennes, UMTS, GPRS, EDGE, 60 GHz)	France Telecom R&D
2000-2003	Participation aux réunions des groupes de travail de l'ANFR et contributions techniques sur la mesure et la simulation des niveaux d'exposition aux champs EM	France Telecom R&D, Bouygues Telecom, SFR
2001-2002	Etude industrielle Supelec pour une méthode de mesure des balises GSM	Supelec
2001-2002	Détermination d'un protocole de mesure pour les stations de base UMTS permettant d'extrapoler la mesure à un trafic maximum.	France Telecom R&D
2001-2002	Analyse des périmètres de sécurité multi-bandes multi-fréquences et classification	France Telecom R&D
2001-2002	Détermination d'un protocole de mesure du DAS produit par les kits-piéton et le mobile à la ceinture	France Telecom R&D
2001-2003	Création d'outils de mesure et de simulation des champs électromagnétiques produits par des antennes de station de base, dans le but de permettre aux personnes de connaître leur exposition.	France Telecom R&D
2001-2004	Renouvellement plate-forme dosimétrique des téléphones mobiles	Supelec
2002	Amélioration du système de mesure sur site des champs électromagnétiques ambiants	Supelec

2002	Mission d'expertise sur : - l'analyse des périmètres de sécurité latéraux d'antennes micro/macro en vue d'installation en façade d'immeuble, - l'analyse des périmètres de sécurité d'antennes INDOOR.	France Telecom R&D
2002	Amélioration du banc de mesure de DAS des mobiles pour l'adapter à la 3G	France Telecom R&D
2002-2003	Etude industrielle Supelec sur la classification des DAS des mobiles	Supelec
2002-2003	Etude industrielle Supelec pour une méthode de mesure 3G sur site	Supelec
2002-2003	Analyse environnementale du champ ambiant dans la bande 88 MHz - 2 GHz	France Telecom R&D
2002-2003	Analyse de la faisabilité d'un dosimètre individuel sélectif en fréquence et construction d'un prototype.	France Telecom R&D
2002-2003	Analyse de l'exposition d'un travailleur portant un vêtement de protection sans cagoule entre 88 MHz et 108 MHz	France Telecom R&D
2003	Analyse des conditions de mise en service d'une station de base, i.e. en tenant compte des autres émetteurs présents	France Telecom R&D
2003	Analyse de l'exposition d'un travailleur à l'arrière d'une antenne de station de base.	France Telecom R&D
2003-2005	Projet RNRT ADONIS : - Analyse dosimétrique de l'exposition des têtes d'enfants au radiotéléphone - Mesure du DAS des téléphones mobiles 3G - Mesure des stations de base 3G	France Telecom R&D, Bouygues Telecom, SFR, Alcatel, Supelec, ENST, ENSTB, PIOM, INERIS, Antennessa, LCIE, ERIT
2003-2005	Participation à l'action de recherche coopérative de l'INRIA sur les méthodes numériques d'évaluation du DAS (HEADEXP)	France Telecom R&D

11.2 Recherches biologiques et médicales

Dates	Libellé	Etude réalisée par
1994-2000	Depuis 1994, des études sur les interactions des ondes électromagnétiques avec la cellule, l'animal et l'homme ont été financées par le Centre National d'Etudes des Télécommunications.	CNRS Bordeaux, CHU Nîmes, CNRS Toulouse, Institut Gustave Roussi
1998-2002	Analyse du système d'exposition COMOBIO	France Telecom R&D – IRCOM Limoges
1999-2000	Etude des effets de micro-ondes GSM, 1800 MHz sur un modèle de cancer chez la femelle du rat	CNRS Université Bordeaux I
1999-2000	Pré étude : Evaluation des effets des radiotéléphones sur la santé des utilisateurs : fonctionnement cérébral, capacités fonctionnelles et performances	Faculté de Médecine de Nîmes.
1999-2001	Contrat avec l'association NEB et les universités de Nîmes, Orsay, Bordeaux	NEB, Nîmes, Orsay, Bordeaux
1999-2002	Contrat CIFRE pour la mise en place de système d'exposition	CNRS Université Bordeaux I
1999-2002	Contribution à la dosimétrie des études épidémiologiques	France Telecom R&D (thèse et support technique)
2000-2003	Evaluation des effets des radiotéléphones sur la santé des utilisateurs : tests cognitifs	Faculté de Médecine de Nîmes.
2001	Étude sur les effets des champs GSM sur les récepteurs cérébraux chez le rat.	Université Montpellier 1
2001- 2002	Effets des Ondes Radiofréquences sur l'Apprentissage et la Mémoire chez le Rat	CNRS Orsay

2001-2002	Étude de l'influence des micro-ondes utilisées en radiotéléphonie sur la perméabilité vasculaire encéphalique aux protéines plasmatiques	CNRS Universités Bordeaux I et II
2001-2002	Analyse de la Modulation de l'expression génique de biomarqueurs (HSP, c-fos et c-myc) par des champs électromagnétiques non ionisants	CNRS- Vigicell
2001-2002	Etude des effets du rayonnement GSM sur la perméabilité vasculaire encéphalique aux protéines plasmatiques.	CNRS Université Bordeaux I
2001-2002	Etude des effets d'un téléphone mobile en émission sur des embryons de poulets en incubation	INERIS, INRA de Tours, CHU Ramon y Cajal de Madrid, Supelec et l'APEREB
2001-2002	Étude relative à l'effet des champs GSM sur : - la mémoire du rat, - l'oreille interne, - les neurotransmetteurs chez le rat.	Association Naturalia & Biologia
2001-2003	Effets des ondes radiofréquence sur la peau	CNRS Université Bordeaux I
2002	Analyse de l'influence de l'exposition à des champs électromagnétiques de type GSM-900 MHz sur l'expression de protéines de choc thermique au niveau cérébral chez le rat	CNRS Orsay
2002	Etude de l'expression des protéines de choc thermique (HSPs) après exposition aux signaux GSM-900 et -1800 dans des modèles animaux et cellulaires	CNRS Bordeaux
2002	Étude des relations existant entre l'exposition aux ondes électromagnétiques produites par les téléphones mobiles et les tumeurs primitives cérébrale et du nerf acoustique.	Université Claude Bernard Lyon 1
2002-2003	Contrats pour la réalisation d'un modèle numérique précis d'un rat	ARCS Autriche, ENST Paris
2002-2005	Etude sur le rat des effets des émissions GSM sur deux maladies neurodégénératives : sclérose en plaques et sclérose latérale amyotrophique	Laboratoire PIOM ENSCPB

11.3 Sciences humaines

Dates	Libellé	Etude réalisée par
2002	Analyse de la controverse santé environnement autour des antennes relais de téléphonie mobile	Institut Supérieur d'Ingénierie et de Gestion de l'Environnement
2002-2003	Analyse sociologique des blocages et controverses suscités par l'installation des relais à l'aide d'entretien	Risques et Intelligence, CSO/CNRS
2002-2003	Analyse ethnologique de la perception d'une population confrontée à la présence dans son environnement quotidien d'une station de base	Ateliers d'Arts d'Ethnologie

12 ANNEXE : MESURES GOUVERNEMENTALES

Etat d'avancement du plan d'action des pouvoirs publics, faisant suite à la présentation du rapport de 2001 et propositions du rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) de novembre 2002

Domaine d'action annoncé	Etat d'avancement actuel
<p>Renforcer la recherche sur les effets biologiques et sanitaires de l'exposition aux radiofréquences.</p> <p><i>Proposition OPECST: soutenir la recherche dans les domaines de la biologie de la métrologie et de l'épidémiologie, créer une fondation dédiée pour gérer les fonds de recherche.</i></p>	<p>Le programme de recherches COMOBIO est terminé, la synthèse des résultats a été présentée le 21 décembre 2001. Un programme COMOBIO bis est en préparation, seule la partie métrologique est validée, l'objectif actuellement recherché est d'inclure dans ce programme des études relatives aux pathologies humaines et à l'épidémiologie. Au niveau européen, plusieurs programmes de recherches sont en cours dans le cadre du 5^{ème} PCRD : programmes REFLEX, CEMFEC et PERFORM A. Au niveau international la France est associée au programme INTERPHONE piloté par le CIRC.</p>
<p>Poursuite par les industriels, de leurs efforts pour réduire les niveaux d'émission des mobiles.</p>	<p>Cette diminution résulte d'abord d'une évolution technologique naturelle constatée depuis plusieurs années vers une réduction des niveaux de champs pour des raisons d'interférences et de qualités des réseaux. La centralisation et la diffusion des informations techniques relatives aux niveaux de DAS des téléphones mobiles par l'ANFr n'est pas encore effective.</p>
<p>Rendre d'application obligatoire la recommandation européenne du 12 juillet 1999.</p>	<p>Le décret relatif à la fixation des valeurs limites d'exposition du public applicables aux champs électromagnétiques en provenance des équipements fixes des réseaux de télécommunications a été publié le 3 mai 2002, il est fondé sur les valeurs limites de la recommandation du 12 juillet 1999. Observation : Le champ d'application de ce décret est beaucoup plus large que les stations de base de téléphonie mobile puisqu'il prend en compte tous les réseaux de télécommunications, y compris les émetteurs de radiodiffusion et télévision et les réseaux des services publics. La circulaire du 16 octobre 2001 a fourni des éléments d'informations en matière de règles techniques d'installation des stations de base.</p> <p>En ce qui concerne les terminaux mobiles et tous les équipements radioélectriques fixes (incluant les stations de base), un décret en Conseil d'Etat est en préparation. Il transposera, entre autres, la directive n° 1999/5 CE du 9 mars 1999, dite directive R&TTE. Il fixera les exigences essentielles à respecter pour la mise sur le marché et notamment le respect de la santé, qui passe par le respect de valeurs limites d'exposition. Il fixera les règles d'évaluation de conformité des équipements. Il s'accompagnera d'un arrêté fixant des spécifications techniques en matière de valeurs limites de DAS que ne doivent pas dépasser les terminaux. Ces valeurs limites sont fondées sur celles de la recommandation du 12 juillet 1999. Le décret prévoit des sanctions pénales et un retrait du marché en cas de non respect des valeurs limites d'exposition pour les mobiles comme pour les installations fixes (décret du 3 mai 2002).</p>

<p>Téléphones mobiles, affichage de la valeur du DAS</p> <p><i>Proposition OPECST: rendre obligatoire l'indication du niveau de DAS dans les points de vente avec des recommandations d'usage.</i></p>	<p>Les normes CENELEC EN 50360 et 50361 relatives à la vérification de conformité des téléphones mobiles à la recommandation du 12 juillet 1999 ont été approuvées et publiées dans le cadre de l'application de la directive 1999/5 CE. Le projet de décret en Conseil d'État suscité doit transposer en droit français cette directive.</p> <p>L'indication obligatoire du DAS dans la notice de chaque téléphone mobile sera fixée par un arrêté interministériel d'application de ce projet de décret. Il conviendra également que l'Autorité de régulation des télécommunications (art. L34-9 du Code des Postes et télécommunications) définisse les organismes notifiés au titre de la directive pour réaliser les mesures de DAS. Le même arrêté interministériel d'application, fixera le contenu des informations relatives à la sécurité et à la santé devant figurer dans les notices. Ces deux projets d'arrêtés ont été élaborés en partenariat interministériel et ont été notifiés à la Commission européenne. Dans les faits les constructeurs affichent déjà les valeurs de DAS depuis plusieurs mois, mais de manière non-coordonnée, soit dans les notices, soit sur leur site Internet mais pas en général sur les lieux de vente. Le personnel de vente n'a pas reçu en général de formation sur ce point permettant d'informer utilement le public.</p>
<p>Mesure des radiofréquences émises par les stations de base.</p> <p><i>Proposition OPECST: a/ élargir le champ de compétence de l'ANFr au domaine de la mesure et du contrôle de champs et à la métrologie, b/ étude de faisabilité de dosimètres à domicile afin d'évaluer dans la durée l'exposition des occupants d'une habitation. (le matériel reste à concevoir)</i></p>	<p>Le protocole "normalisé" de mesures in situ pour les stations fixes a été publié par l'ANFr en 2001 ainsi que le formulaire de restitution des résultats, ce protocole de mesure a été officialisé par la circulaire du 16 octobre 2001. Il n'existe actuellement pas de base législative ou réglementaire permettant à l'ANFr d'avoir une légitimité en matière de contrôle des niveaux d'exposition. Aucune procédure d'agrément ou de certification des organismes de contrôle technique réalisant des mesures n'est actuellement disponible pour contrôler la qualité et la conformité de leur travail.</p> <p>L'ANFr a donc publié une liste d'organismes qui se sont engagés à respecter son protocole et à fournir les résultats en vue de leur publication. L'ANFr a publié en décembre 2001 les résultats de la campagne de mesures qu'elle a menée sur plus de 100 sites représentatifs de l'exposition de la population aux stations de base et autres émetteurs fixes. Les mesures seront ensuite réalisées essentiellement par des organismes de contrôle technique, l'ANFr se chargeant du rôle de contrôle de deuxième niveau et d'exploitation de leurs résultats. Une base de données de mesures est actuellement en cours de constitution par l'ANFr, qui comporte environ 700 mesures. Une norme européenne relative à la définition de procédures de mesures in-situ est en cours de préparation et devrait sortir en 2003, permettant d'harmoniser les procédures de mesure en Europe.</p>
<p>Information des conducteurs et renforcement du code de la route</p> <p><i>Proposition OPECST campagne d'information et de sensibilisation sur le risque d'accidents accompagnée d'une répression effective</i></p>	<p>Les campagnes d'information et de sensibilisation, annoncées dans le plan d'action des pouvoirs publics n'ont pas eu lieu. Les conditions d'application de la circulaire du Garde des Sceaux du 4 décembre 2000 ne sont pas connues, pas plus que les résultats obtenus. Dans le cadre du comité interministériel à la sécurité routière, des propositions ont été faites par les administrations concernées, en décembre 2002, pour réprimer plus sévèrement l'usage du téléphone mobile lors de la conduite.</p>

<p>Diffusion d'un document d'information grand public relatif à l'utilisation des téléphones mobiles, dans le but de faire participer les utilisateurs à une démarche de précaution.</p> <p><i>Proposition OPECST: information des élus locaux par le biais d'un "plan d'occupation des toits" tenu à jour permettant de connaître l'état des installations.</i></p>	<p>Un document grand public (portant sur les terminaux mobiles uniquement) a été diffusé en mars 2002 à 100.000 ex et sur le site Internet du ministère de la santé. Ce document reprend les différents conseils en matière de santé et de sécurité proposés dans les recommandations du groupe d'experts. Il serait souhaitable que ce document très demandé fasse l'objet d'une réédition à beaucoup plus large échelle en 2003. Un document d'information beaucoup plus complet est toujours en cours d'élaboration en direction des DDASS et DRASS, afin de permettre aux services concernés de disposer d'un support d'information. Une formation spécialisée a été organisée en décembre 2001 en direction des ingénieurs sanitaires des DRASS afin de leur donner les moyens de répondre aux interrogations du public qui leur parviennent directement. Les ingénieurs sanitaires qui ont suivi cette formation remplissent un rôle de coordonnateurs interrégionaux en matière de téléphonie mobile. De nombreux documents d'information sont également disponibles sur le réseau Intranet du ministère de la santé, ils peuvent être diffusés auprès du public et des élus. De son côté l'Agence Nationale des fréquences a réalisé un document d'information portant sur les stations de base, diffusé aux maires mais pouvant également être destiné au grand public. Des Contacts ont été pris entre la DGS et l'INPES afin d'étudier les modalités de réalisation de documents d'information destinés au public.</p>
<p>Arrêt des stations de base lors d'interventions du personnel de maintenance.</p>	<p>Aucune disposition spécifique n'a été prévue actuellement par le ministère du travail. Ces dispositions sont dès à présent prises en compte par les opérateurs, sur la base d'un dispositif normatif, (norme ENV 50 166-2) dans le cadre de leurs protocoles de maintenance. La circulaire du 16 octobre 2001 pilotée par la DGS et relative à l'installation des stations de base de radiotéléphonie mobile fournit des précisions en la matière, en assimilant au public toutes les personnes, y compris les professionnels d'autres corporations, qui ne sont pas mandatés par l'opérateur.</p>
<p>Revue périodique des données scientifiques</p>	<p>Cette mission a été confiée à l'AFSSE (Article 19 III de la loi n° 2001-624 du 17 juillet 2001 portant diverses dispositions d'ordre social, éducatif et culturel) qui a créé un groupe d'experts spécialisé chargé de rendre un rapport pour le 31 mars 2003 (saisine DGS/D4E du 12 novembre 2002).</p>
<p>Nouvelles propositions de recommandations de l'OPECST, non proposées dans le plan d'action des pouvoirs publics du 7 février 2001.</p>	<p>A/ Assurer une formation des jeunes et du corps médical en matière de champs électromagnétiques.</p> <p>B/ Développer des outils de dialogue au sujet des antennes relais; forums d'information, instances de concertation. Observation : ces instances de concertation ont été créées au niveau départemental par la circulaire du 16 octobre 2001 leur mise en place est en cours en fonction des nécessités locales, ce dispositif pourrait être élargi. Cette circulaire fixait également des recommandations générales pour l'installation des stations de base notamment à proximité de certains établissements considérés comme "sensibles".</p> <p>C/ Modèle de charte type entre les mairies et les opérateurs de télécommunication, intégrant une grille d'évaluation multicritères. Observation : actuellement des chartes locales ou départementales fondées sur des critères très disparates sont en cours d'élaboration, créant ainsi une confusion certaine dans l'esprit du public et un manque de visibilité des objectifs nationaux.</p> <p>D/ Organiser les formations nécessaires à la diffusion des connaissances au sein d'une structure visant plus largement à promouvoir l'information scientifique. Observation : cette structure reste à identifier ou à créer.</p>

13 ANNEXE : MESURES PRISES PAR LES OPÉRATEURS DE TÉLÉPHONIE MOBILE

13.1 La contribution à l'effort de recherche

Les opérateurs soutiennent depuis longtemps les travaux de recherches dans le domaine de la téléphonie mobile et de la santé.

Ils sont très favorables à la création d'une fondation, comme le suggère le rapport de l'OPECST, qui permette de garantir et d'afficher l'objectivité et l'indépendance des chercheurs.

En attendant la mise en place de cette fondation, les opérateurs soutiennent (depuis 1994 pour les plus anciens) de façon plus ou moins importante, un certain nombre de travaux (voir tableaux en annexe ?). Pour le choix des projets, ils s'appuient sur des conseillers scientifiques et s'en tiennent majoritairement à l'agenda de l'OMS.

Au travers des programmes de recherche du RNRT (e.g. Adonis, SP1 et SP2 de Comobio), du programme Headexp de l'INRIA, les opérateurs contribuent activement aux études dans le domaine de la dosimétrie. Ils apportent une expertise technique et scientifique aux programmes de recherches en cours (e.g. support technique dans le domaine dosimétrique aux études épidémiologiques).

13.2 Les téléphones mobiles

Le kit piéton

Parmi les actions les plus importantes initiées par les opérateurs, on peut noter la fourniture systématique d'un kit piétons gratuit dans leurs offres packagées. Les modalités de généralisation de cette mesure au parc existant sont en cours d'examen.

A noter par ailleurs, les opérateurs prévoient également de diffuser prochainement dans leurs espaces commerciaux des documents d'information reprenant les recommandations émises par la DGS sur l'utilisation d'un kit piéton.

La vérification du DAS

Les opérateurs exigent également dans leurs procédures d'achat un engagement des constructeurs sur les niveaux d'émission (DAS) des téléphones mobiles qu'ils commercialisent. Ils vérifient de manière systématique ou par échantillonnage les valeurs fournies.

13.3 Les antennes-relais

La protection des bâtiments sensibles

Depuis le 2 janvier 2002, l'Agence Nationale des fréquences demande qu'une déclaration intitulée « Impact potentiel sur la santé des rayonnements électromagnétiques » accompagne toute demande d'implantation ou de modification d'une station radioélectrique émettrice (procédure COMSIS – Commission Sites et Servitudes).

Cette déclaration comprend 4 champs :

- conformité des installations aux règles CSTB (annexe 1 de la circulaire interministérielle du 16 octobre 2001)

- existence d'un balisage lorsque le périmètre de sécurité des antennes est accessible au public,

- respect des valeurs limites du décret du 3 mai 2002, évaluation du niveau de champs

- présence de bâtiments dits sensibles à moins de 100 m de nos installations en application de l'article 5 du décret n°2002-775 du 3 mai 2002 .

Lorsqu'il existe des bâtiments sensibles à moins de 100 m des antennes, leurs coordonnées sont précisées (qu'ils soient situés ou non dans le lobe principal des antennes) ainsi que les estimations des niveaux d'expositions en leur sein. Si ce niveau est supérieur à 30% du niveau de référence du décret, l'ANFr peut demander des informations complémentaires (simulations, mesures in situ) avant d'autoriser ou de refuser la mise en service des installations.

Les trois opérateurs s'engagent dans cette logique sachant, cependant, qu'il n'existe toujours pas de référentiel officiel des bâtiments dits sensibles. Dans l'attente de celui-ci, les opérateurs se sont dotés d'une base de donnée identique à celle de l'ANFr, acquise auprès de la société Géocible. Elle recense les établissements « sensibles » au sens du décret du 3 mai 2002 qui sont de notoriété publique.

Ce fichier est le résultat d'un recoupement de fichiers Sirene de l'Insee, Finess du Ministère de la santé et du fichier BCE du Ministère de l'Education nationale.

Les règles d'implantation des antennes

La circulaire interministérielle du 16 octobre 2001 relative à l'implantation des antennes relais de téléphonie mobile propose les limites d'exposition du public, les règles d'installation pour les stations de base et les limites des périmètres de sécurité et de balisage pour nos antennes.

Ces règles sont mises en application par les 3 opérateurs et font l'objet de documents de référence diffusés au sein de chaque entreprise.

Chaque document précise dans le détail :

- les règles d'implantation, de balisage des antennes et de protection des personnes,
- les consignes de prévention lors des interventions sur les sites qu'ils soient partagés ou non : consignes à respecter à proximité des antennes, lors des interventions d'entreprises extérieures, procédures de coupure d'émission.

Tous les types d'antennes et de puissances associées sont testées en laboratoire afin de déterminer (pour chacun) les périmètres de sécurité nécessaires en application des niveaux limites du décret.

La simulation et la mesure in situ de certaines installations sont des méthodes complémentaires qui permettent de vérifier la qualité de nos périmètres.

Il faut rappeler qu'avant le décret, la méthodologie de mise en sécurité des opérateurs s'appuyait sur la recommandation européenne du 12 juillet 1999 qui préconisaient les mêmes valeurs limites.

En application de la Charte nationale de recommandations environnementales signée le 12 juillet 1999 par les trois opérateurs avec le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et le ministère de la Culture, les opérateurs mènent de nombreuses actions pour préserver le cadre de vie et l'environnement lors de l'installation de leurs antennes relais. Cette charte est relayée sur le terrain par la mise en place au niveau départemental d'instances de concertation auxquelles les opérateurs participent activement.

Dans les bâtiments et les zones classées, un véritable partenariat est organisé avec les architectes des Services Départementaux d'Architecture et du Patrimoine (SDAP) ou les Directions Régionales des Affaires culturelles. Dans les zones urbaines, les opérateurs privilégient l'implantation sur des structures déjà existantes (immeubles, co-localisations...).

En milieu rural, c'est en concertation avec les directions régionales de l'Environnement que les opérateurs étudient l'implantation et l'intégration de leurs antennes, notamment dans les zones protégées et sensibles. Là encore, les supports existants sont privilégiés (sites TDF, pylônes EDF, co-localisation, églises, châteaux d'eau ...). La création d'un nouveau pylône n'est envisagée qu'en dernier ressort.

D'une manière générale, le choix des matériaux, des fournisseurs et des niveaux de finition contribue à minimiser l'impact visuel des antennes.

13.4 Les actions des pouvoirs publics

Le décret

La traduction de la directive européenne en droit français s'est concrétisée par le décret n°2002-775 du 03 mai 2002.

L'affichage du DAS

Les niveaux d'exposition des téléphones mobiles (DAS) commercialisés par les opérateurs sont consultables dans les brochures commerciales des trois opérateurs et sur les sites Web de certains d'entre eux. Ces niveaux sont fournis par les constructeurs et font l'objet de vérifications par des

organismes indépendants à la demande des opérateurs.

Permettre à l'utilisateur de prendre connaissance par l'écran de son appareil, lors de ses conversations téléphoniques, de la puissance émise est une approche qui, si elle était possible techniquement (ce qui reste à démontrer), ne peut être mise en œuvre sur le seul territoire français. Cette question ne dépend pas des opérateurs, en revanche c'est un projet qui peut être discuté au niveau européen avec tous les constructeurs.

Les mesures de champs

Les opérateurs ont développé des moyens de mesure et de simulations qui permettent au public et aux autorités de connaître l'exposition au voisinage des antennes relais.

Depuis juin 2001, le « protocole de mesure in situ » de l'Agence Nationale des Fréquences permet de vérifier que les stations émettrices fixes respectent les limitations de l'exposition du public aux champs électromagnétiques prévues par la recommandation du Conseil de l'Union Européenne du 12 juillet 1999 (1999/519/CE). Ce protocole est systématiquement appliqué par les organismes de contrôle mandatés par les opérateurs.

Au niveau européen les opérateurs contribuent activement pour qu'une norme de mesure in situ cohérente avec le protocole ANFR, soit établie.

Les résultats de toutes les mesures commanditées par les opérateurs à des organismes de contrôle, indépendants et référencés par l'ANFR, sont communiqués à cette dernière pour vérification puis mis en ligne sur son site internet. Plus de 1 000 mesures ont ainsi été réalisées depuis avril 2001 par des bureaux de contrôle indépendants à la demande des 3 opérateurs.

L'ANFR a en effet créé un registre nominatif des résultats des mesures effectuées par elle et par tous les organismes de contrôle référencés par elle, sous forme d'une base de données accessible au public sur son site Internet.

En 2001, les résultats d'une campagne de mesures conduite par l'ANFR ont été décrits dans une plaquette intitulée « Panorama de rayonnement électromagnétique en France ».

Concernant le principe de la mesure, les opérateurs proposent aux collectivités ou aux particuliers qui en font la demande, de faire réaliser par un bureau de contrôle indépendant, une mesure de champ électromagnétique. Le demandeur est invité à participer à la mesure s'il le souhaite. Tous les résultats font l'objet d'un dossier circonstancié dont un exemplaire est transmis à l'ANFR. Ce travail vient en complément des efforts menés par l'Agence pour réaliser un panorama complet.

De plus, les opérateurs ont signé certaines chartes avec des communes qui prévoient des campagnes de mesures annuelles permettant de vérifier les niveaux d'exposition du public.

Les opérateurs contribuent activement au niveau européen à l'établissement d'une norme CENELEC de mesure in situ (il est prévu que cette norme soit publiée au JOCE). Ils ont également contribué à l'établissement d'une norme de mise en service. Cette norme est actuellement en discussion dans les comités nationaux.

13.5 Le téléphone mobile et la sécurité routière

La recommandation de « ne pas téléphoner au volant » est inscrite dans les brochures des 3 opérateurs. Une campagne menée avec la Prévention routière avait eu lieu en 2000. Le danger de la téléphonie au volant est également formellement rappelé aux collaborateurs des 3 opérateurs dans le cadre de séances d'information annuelle et de conférences à destination du grand public.

13.6 Des campagnes et des outils pour informer

Les trois opérateurs ont adopté le principe d'information et de transparence.

On peut citer notamment :

- leurs sites WEB :

www.sante.bouyguestelecom.fr

www.sfr.fr/sfr_sante/prehome/index.jsp

www.francetelecom.com/fr/groupe/dossiers/telephonie_sante/index.html

- leurs brochures et CD-Rom d'information sur les radiofréquences et la santé,

- la brochure rédigée par la DGS qui s'intitule « Téléphonie mobile et santé » qui est relayée sur

les sites internet des opérateurs.

- l'information spécifique de leurs personnels via les intranets, brochures et séances d'information auprès des directions régionales,
- une réponse systématique à tout courrier qui leur est adressé (plus de 1500 lettres en 2002),
- l'organisation ou la participation à des conférences ou des colloques sur le thème Téléphonie mobile et Santé (exemple : Collège de France, Journée BIO de FT R&D...). Au total 300 réunions publiques ont été tenues en 2002,
- l'information auprès des collectivités ou des syndicats de propriétaires.

Les personnes possédant des implants électroniques peuvent trouver (sur les sites web ou sur les plaquettes d'information), les recommandations qui leur sont destinées.

Les 3 opérateurs relayent dans leurs plaquettes d'information, la position du groupe d'experts sur l'inutilité pour les utilisateurs d'adopter des systèmes de protection anti-radiation.

13.7 La protection des travailleurs

Les opérateurs suivent avec beaucoup d'attention ces questions et en particulier le projet de directive en cours de rédaction au niveau de l'Union Européenne.

En l'absence de réglementation nationale, les opérateurs ont édicté des règles internes pour leur personnel.

On peut citer notamment :

- des mesures sur sites à proximité des périmètres de sécurité des antennes, autour des baies afin de vérifier la conformité des équipements.....Les dimensions des zones de sécurité (public et travailleurs) ont été déterminées par le calcul et confirmées par des mesures en chambre anéchoïque.

- des informations auprès des CHSCT, réalisées à leur demande,
- la diffusion de documents de référence définissant les principes de mise en application des règles de protection (information sur les sites, règles d'implantation, règles de balisage et procédure de coupure), et décrivant les périmètres et les règles d'implantation des antennes (macro cellule sur point haut, sur terrasse, en zone urbaine ; micro cellule, pico cellule, zones spéciales, installation de plusieurs antennes panneaux sur un même site, faisceaux hertziens).

Il convient de noter la signature en octobre 2002, d'une convention inter-opérateurs de coupure d'émission d'ondes radioélectriques sur des sites partagés pour les interventions programmées

En relation avec les CHSCT, un groupe de travail a été créé visant à étudier les modalités d'intervention des professionnels sur des sites communs (ex : pylônes TDF)

Les opérateurs étudient les actions qui pourraient être proposées à la médecine du travail dans le cadre du suivi des travailleurs.

14 ANNEXE : BASE DE DONNÉES DE L'OMS (AU 15 MARS 2003)

Épidémiologie

Study Type/Subtype	Ongoing	Completed	Total
Epidemiology			
Case Control Epi Study	<u>17</u>	<u>6</u>	<u>23</u>
Cognitive Function & Memory	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Cohort Epi Study	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>5</u>
Eye Pathology	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>4</u>
Headache & Fatigue	<u>0</u>	<u>6</u>	<u>6</u>
Teratogenicity, Reproduction, & Development	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Vehicular Accident Study	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>
Total	22	20	42

Études humaines

Study Type/Subtype	Ongoing	Completed	Total
Human / Provocation			
Auditory Pathology & MW Hearing	<u>2</u>	<u>0</u>	<u>2</u>
Blood Pressure, Heart Rate, Circulation, and Respiratory Rate	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>7</u>
Calcium (and other ion) Efflux & Neuron Conduction, Smooth Muscle Contraction	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
Case Study of a Patient(s)	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
Cognitive Function & Memory	<u>3</u>	<u>5</u>	<u>8</u>
EEG, Sleep Disturbances & Event Related Potentials	<u>7</u>	<u>25</u>	<u>32</u>
Eye Pathology	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Headache & Fatigue	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>4</u>
Hormone Changes	<u>1</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Hypersensitivity	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
Modeling, Tissue Properties, & SAR determination	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Other Human / Provocation Studies	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Total	19	51	70

Études animales

Study Type/Subtype	Ongoing	Completed	Total
In Vivo			
Animal Behavior, Brain Biochemistry, Neuropathology, Drug Interaction	<u>4</u>	<u>10</u>	<u>14</u>
Auditory Pathology & MW Hearing	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
Blood Brain Barrier Permeability	<u>1</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Calcium (and other ion) Efflux & Neuron Conduction, Smooth Muscle Contraction	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Cell Line Injection Tumor Bioassay	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
Chemical-Radiation-Genetically Initiated Tumor Bioassay	<u>6</u>	<u>13</u>	<u>19</u>
DNA Breaks, Damage & Mutation	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
EEG, Sleep Disturbances & Event Related Potentials	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
Gene & Protein Expression & Activity	<u>2</u>	<u>9</u>	<u>11</u>
Hormone Changes	<u>0</u>	<u>9</u>	<u>9</u>
Immune Function & Hematology	<u>1</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Long Term Rodent Bioassay	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>15</u>
Micronuclei & Chromosome Aberrations	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>3</u>
Modeling, Tissue Properties, & SAR determination	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>
Other Animal Studies	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>5</u>
Oxidative Stress	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>
Proliferation, Growth Rate, & Cell Cycle Analysis	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Teratogenicity, Reproduction, & Development	<u>0</u>	<u>7</u>	<u>7</u>
Total	30	82	112

Études cellulaires

Study Type/Subtype	Ongoing	Completed	Total
In Vitro			
Blood Brain Barrier Permeability	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Blood Pressure, Heart Rate, Circulation, and Respiratory Rate	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Calcium (and other ion) Efflux & Neuron Conduction, Smooth Muscle Contraction	<u>4</u>	<u>9</u>	<u>13</u>
DNA Breaks, Damage & Mutation	<u>2</u>	<u>12</u>	<u>14</u>
Gene & Protein Expression & Activity	<u>7</u>	<u>20</u>	<u>27</u>
Hormone Changes	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>
Immune Function & Hematology	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>
Membrane Biochemistry and Fluidity Studies	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
Micronuclei & Chromosome Aberrations	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>15</u>
Other Tissue/Cell Culture Studies	<u>4</u>	<u>2</u>	<u>6</u>
Oxidative Stress	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>4</u>
Proliferation, Growth Rate, & Cell Cycle Analysis	<u>6</u>	<u>12</u>	<u>18</u>
Transformation	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>4</u>
Total	36	71	107